



Τεχνολογικό
Πανεπιστήμιο
Κύπρου

Σχολή Μηχανικής και
Τεχνολογίας

Πτυχιακή διατριβή

**ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ**

Ελπίδα Σταυρινίδου

Λεμεσός, Απρίλιος 2019

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

Πτυχιακή διατριβή

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

της

Ελπίδας Σταυρινίδου

Επιβλέπων Καθηγητής

Δρ. Ανδρέας Κκολός

Λεμεσός, Απρίλιος 2019

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Ελπίδα Σταυρινίδου, 2019

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 εκ' βαθέων τον επιβλέποντα καθηγητή μου, δρ. Ανδρέα Κκολό που ήταν στο πλευρό μου καθ' όλη τη διάρκεια διεκπεραίωσης της παρούσας πτυχιακής διατριβής δείχνοντας αμείωτο ενδιαφέρον από την πρώτη στιγμή καθώς και για την καθοδήγηση και υποστήριξη που μου προσέφερε σε αυτό το χρονικό διάστημα. Ο ορθός τρόπος σκέψης μου οφείλεται κυρίως στις εξαιρετικές υποδείξεις και τις ορθές συμβουλές που μου προσέφερε δίνοντας μου σημαντικά εφόδια για την μετέπειτα ζωή μου. Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην εταιρεία AuDeSy για την παραχώρηση του προγράμματος 3DR.STRAD για την περάτωση της παρούσας εργασίας. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω ως προς την κ. Μαρία Χρυσοστόμου για το πολύτιμο χρόνο που διέθεσε και την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση της στο πρόγραμμα 3DR.STRAD. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους του καθηγητές του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια. Επιπλέον, θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής, οι οποίοι ευγενικά δέχθηκαν να αξιολογήσουν την παρούσα πτυχιακή εργασία. Τέλος, ένα τεράστιο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένεια μου που ήταν από την πρώτη στιγμή δίπλα μου, στηρίζοντας με και ενθαρρύνοντας με σε κάθε μου βήμα. Πέραν όμως από την πολύτιμη αυτή στήριξη, κατανόηση και εμπιστοσύνη που μου έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου, μου έδωσαν όλα τα εφόδια ώστε να γίνω ένας σωστός άνθρωπος στην κοινωνία και αυτό είναι κάτι που δεν μαθαίνεται, αλλά μεταδίδεται.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή διατριβή με τίτλο «Αποτίμηση και ενίσχυση υφιστάμενης κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα» εκπονήθηκε στα πλαίσια του πτυχιακού προγράμματος σπουδών «Πολιτικής Μηχανικής» του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου. Κύριος στόχος της πτυχιακής διατριβής, είναι η αποτίμηση και ο ανασχεδιασμός υφιστάμενης δώροφης κατασκευής σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα, τις διατάξεις και τα κριτήρια που εισάγει ο Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.). Το κτίριο που επιλέχθηκε να μελετηθεί, κατασκευάστηκε το 1987 στα δυτικά προάστια της πόλης της Λεμεσού με βάση τις διατάξεις και τις επικρατούσες τότε κατασκευαστικές πρακτικές και αντιλήψεις.

Αποτελείται από δύο μέρη όπου αρχικά στο πρώτο μέρος της παρουσιάζεται η αντισεισμικότητα του νησιού μας και πώς τα Ευρωπαϊκά πρότυπα συμβάλουν για την επίτευξη της ενίσχυσης και επισκευής μιας κατασκευής. Επιπλέον, αναφέρεται στην παθολογία των κατασκευών από ΟΣ και στα αίτια που προκαλούν τις διάφορες βλάβες στις κατασκευές. Επιπρόσθετα, αναφέρεται στις διάφορες μορφές αστοχίας που πιθανόν να προκύψουν, καθώς και στους βαθμούς βλάβης που είναι πιθανόν να εμφανιστούν σε κάθε δομικό στοιχείο από ΟΣ. Ακόμη, παρουσιάζονται οι διάφορες διαδικασίες για τη διάγνωση των βλαβών στα δομικά στοιχεία, καθώς και η διαδικασία ανασχεδιασμού των υφιστάμενων κατασκευών που είναι απαραίτητο να γνωρίζει ο κάθε μηχανικός πριν ξεκινήσει μια μελέτη. Ολοκληρώνοντας το πρώτο μέρος, γίνεται αναφορά στους τρόπους επισκευής και ενίσχυσης που μπορούν να εφαρμοσθούν σε κάθε δομικό στοιχείο καθώς επίσης και στα υλικά τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την επισκευή ή/και ενίσχυση της υφιστάμενης υφιστάμενης κατασκευής από ΟΣ.

Το δεύτερο μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, συμπεριλαμβάνει τη διαδικασία ελέγχου και την ανάλυση της υφιστάμενης κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα που επιλέχθηκε να μελετηθεί, με τη βοήθεια του στατικού προγράμματος 3DR.STRAD και στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τρόποι επισκευής και ενίσχυσης της υφιστάμενης κατασκευής σύμφωνα με τα αποτελέσματα που έδωσε το πρόγραμμα. Τέλος, η ανάλυση πλευρικής φόρτισης

με προσέγγιση q θα βοηθήσει για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας της υφιστάμενης κατασκευής.

ABSTRACT

The present diploma thesis titled "Valuation and reinforcement of existing reinforced concrete construction." was prepared within the framework of the Civil Engineering degree course of the Cyprus University of Technology. The main aim of the diploma thesis is the evaluation and the redesign of an existing two-story construction with the provision of a floor elevation in accordance with the European standards, provisions and criteria introduced by the Greek Regulation of Interventions (KAN. EPE). The building that was chosen to be studied it originally constructed in 1987 in the western suburbs of Limassol, based on the provisions and the at the time, prevailing construction practices and concepts.

It consists of two parts, where initially in the first part the earthquake resistance of the island is negotiated along with the way of how the European standards contribute to the strengthening and repair of a construction. In addition, the dissertation deals with the pathology of constructions by reinforced concrete and the causes of various structural damages. Furthermore, it refers to the various types of failure that may arise, as well as to the degrees of damage that are likely to occur in each building element from an reinforced concrete. Also, the various procedures for building element fault diagnosis are presented along with the process of redesigning existing constructions (a process each engineer needs to know before launching a study). Reference is made in the end of the first part, to the repair and reinforcement methods that can be applied to each building element as well as to the materials that could be used to repair and /or to reinforce the existing reinforced concrete construction.

The second part of this diploma thesis includes the control procedure and the analysis of the existing reinforced concrete construction that was chosen to be studied with the help of the 3DR.STRAD static program and the presentation of ways of repairing and reinforcing the existing structure according to the results of the program. Finally, the lateral load analysis with q approximation, will help to assess the carrying capacity of the existing construction.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ABSTRACT.....	vii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	xiv
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	xix
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ.....	xx
1 Εισαγωγή.....	1
2 Παθολογία Κατασκευών και διάγνωση βλαβών.....	2
2.1 Αίτια Φθοράς Κτιρίων.....	2
2.2 Ρωγμές σε κατασκευές από σκυρόδεμα.....	2
2.2.1 Κατηγορίες Ρωγμών.....	3
2.2.2 Εύρος Ρωγμής.....	3
2.3 Σεισμός.....	5
2.3.1 Σεισμικότητα της Κύπρου.....	5
2.3.2 Αίτια Σεισμού.....	6
2.3.3 Απόκλιση του φάσματος σχεδιασμού από το φάσμα αποκρίσεων.....	6
2.4 Ρωγμές ως επακόλουθο εξωτερικών φορτίσεων.....	7
2.4.1 Υποστυλώματα.....	7
2.4.2 Τοιχεία.....	12
2.4.3 Δοκοί.....	14
2.4.3.1 Τύποι Ρωγμών σε δοκούς.....	16
2.4.4 Κόμβοι (Δοκών - Υποστυλωμάτων).....	19
2.4.4.1 Αίτια ρηγμάτωσης των κόμβων.....	21
2.4.5 Πλάκες.....	22

2.4.5.1	Τύποι Ρωγμών στις πλάκες.....	23
2.4.6	Οργανισμός Πληρώσεως.....	24
2.5	Ρωγμές ως επακόλουθο μη εξωτερικών φορτίσεων	24
2.5.1	Συστολή ξύρανης του σκυροδέματος	24
2.5.2	Διάβρωση των ράβδων οπλισμού του σκυροδέματος	25
2.5.3	Ελλιπής οπλισμός.....	27
2.5.4	Θερμοκρασιακές μεταβολές.....	27
2.5.5	Αυξημένα εξωτερικά φορτία	28
2.5.6	Μη επαρκής συνάφεια χάλυβα - σκυροδέματος.....	29
2.5.7	Ανεπαρκής διάρκεια συντήρησης του σκυροδέματος και τελείωμα	29
2.5.8	Επιρροή χρόνου και ελλιπής συντήρηση	29
2.5.9	Πλαστική συστολή και πλαστική κάθιση.....	30
2.5.10	Λιγνισμός.....	31
2.5.11	Ενανθράκωση – Ασβεστοποίηση	31
2.6	Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.).....	32
2.6.1	Στάθμες Επιτελεστικότητας βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ.	34
2.7	Ευρωκώδικες	37
2.7.1	Ευρωκώδικας 8 (EN 1998) - Αντισεισμικός Σχεδιασμός	38
3	Χρησιμότητα ελέγχων διάγνωσης βλαβών.....	39
3.1	Τυπικοί βαθμοί βλάβης δομικών στοιχείων	39
3.1.1	Παραδείγματα βαθμών βλάβης σε υφιστάμενες κατασκευές	41
3.2	Μέθοδοι διάγνωσης βλαβών.....	46
3.3	Κατηγορίες μεθόδων διάγνωσης βλαβών.....	46
3.3.1	Μη καταστροφικοί έλεγχοι.....	46
3.3.1.1	Οπτικός Έλεγχος – Επιθεωρήσεις	46

3.3.1.2	Κρουσιμέτρηση.....	48
3.3.1.3	Χρήση Υπερήχων	50
3.3.1.4	Μαγνητικές Μέθοδοι	51
3.3.1.5	Μέτρηση του ηλεκτρικού δυναμικού σιδηροπλισμού.....	52
3.3.1.6	Θερμογράφηση με Υπέρυθη Ακτινοβολία.....	53
3.3.1.7	Μέτρηση Υγρασίας με Εκπομπή Νετρονίων	54
3.3.1.8	Ακτινογράφηση με ακτίνες “Χ” και “Γ”.....	54
3.3.2	Ημικαταστροφικοί	56
3.3.2.1	Λήψη πυρήνων	56
3.3.2.2	Χρήση εξολκέα.....	57
3.3.2.3	Έλεγχος ράβδων οπλισμού σε εφελκυσμό.....	58
3.3.2.4	Μέθοδος της πετρογραφικής ανάλυσης.....	59
3.3.3	Επι τόπου χημικοί έλεγχοι.....	59
3.3.3.1	Έλεγχος του βάθους ενανθράκωσης.....	59
3.3.3.2	Έλεγχος χλωριόντων.....	60
3.3.4	Έλεγχοι καθολικής φόρτισης.....	61
3.4	Μέθοδοι Ανάλυσης.....	61
3.4.1	Ισοδύναμη στατική μέθοδος.....	62
3.4.1.1	Επίπεδα γνώσης και συντελεστές εμπιστοσύνης.....	62
3.4.1.2	Παράγοντες για τον καθορισμό επίπεδου εμπιστοσύνης.....	62
3.4.2	Δυναμική Φασματική Μέθοδος (Ελαστική δυναμική).....	63
3.4.3	Ελαστική ιδιομορφική στατική ανάλυση.....	63
3.4.4	Ανελαστική στατική μέθοδος (Μέθοδος Push-over analysis).....	64
4	Επισκευές και Ενισχύσεις.....	67
4.1	Γενικά.....	67

4.2	Υποστρώματα	67
4.2.1	Επισκευές υποστρωμάτων	67
4.2.1.1	Επισκευές με ρητινενέσεις ή επισκευαστικά κονιάματα	67
4.2.1.2	Διαστασιολόγηση.....	68
4.2.1.3	Τοπικές αποκαταστάσεις ίσης διατομής	68
4.2.2	Ενίσχυση υποστρωμάτων	70
4.2.2.1	Ενίσχυση με περίσφιγξη.....	70
4.2.2.2	Μανδύες από ινοπλισμένα πολυμερή	71
4.2.2.3	Τεχνική του μεταλλικού κλωβού.....	72
4.2.2.4	Μηχανικά χαρακτηριστικά περισφγγμένου σκυροδέματος ..	73
4.2.2.5	Αποκατάσταση περιοχών με ανεπαρκή μήκη μάτισης διαμήκων οπλισμών.....	74
4.2.3	Μανδύες υποστρωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα.....	74
4.2.3.1	Είδη μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος	75
4.2.3.2	Διαδικασία κατασκευής μανδύων.....	75
4.2.3.3	Ανοικτοί μανδύες.....	76
4.2.3.4	Μεταφορά αξονικών φορτίων	77
4.2.3.5	Συνδετήρες μανδύα	78
4.2.4	Διαστασιολόγηση.....	78
4.2.5	Κατασκευαστικές διατάξεις.....	78
4.3	Τοιχώματα	79
4.3.1	Επισκευές τοιχωμάτων	79
4.3.2	Ενισχύσεις τοιχωμάτων	79
4.3.2.1	Ενίσχυση με περίσφιγξη.....	79
4.3.2.2	Ενίσχυση με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος.....	80
4.3.3	Διαστασιολόγηση.....	81

4.3.4	Κατασκευαστικές διατάξεις.....	81
4.4	Δοκοί και πλάκες	81
4.4.1	Επισκευή δοκών και πλακών.....	81
4.4.2	Ενίσχυση δοκών και πλακών.....	81
4.4.2.1	Καμπτική Ενίσχυση με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος	82
4.4.2.2	Καμπτική ενίσχυση απο επικολλητά φύλλα από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή.....	83
4.4.2.3	Οι μορφές αστοχίας που πρέπει να ελεγχθούν είναι οι τρεις ακόλουθες	84
4.4.3	Κατασκευαστικές Διατάξεις	84
4.4.4	Διατμητική ενίσχυση με εξωτερικά στοιχεία	85
4.4.5	Ενίσχυση με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος	87
4.4.6	Διαστασιολόγηση.....	88
4.5	Κόμβοι δοκών - υποστυλωμάτων	89
4.5.1	Επάρκεια αντοχής κόμβων	89
4.5.2	Επισκευή Κόμβων.....	89
4.5.3	Ενίσχυση Κόμβων.....	90
4.5.4	Μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος	90
4.5.5	Η τεχνική των χιαστή κολάρων	91
4.5.6	Η τεχνική των επικολλητών φύλλων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή.....	92
5	Διαδικασία Ανασχεδιασμού Υφιστάμενων Κατασκευών	94
5.1	Αποτίμηση	94
5.2	Λήψη της απόφασης.....	94
5.3	Σχεδιασμός της λύσης	96
5.4	Στρατηγικές Επεμβάσεων	96

5.4.1	Διαχειριστικές στρατηγικές	97
6	Αποτίμηση και ενίσχυση υφιστάμενης κατοικίας	99
6.1	Στοιχεία υφιστάμενης κατασκευής	99
6.2	Διαδικασία ανάλυσης υφιστάμενης κατασκευής στο πρόγραμμα 3DR.STRAD	99
6.3	Στατικός έλεγχος της υφιστάμενης κατασκευής σε φορτία σεισμού.101	
6.3.1	Κάτοψη στάθμης 2 για προκαταρκτική ανάλυση	102
6.3.1.1	Αποτελέσματα προκαταρκτικής μελέτης για στάθμη 2	103
6.3.1.2	Ενισχύσεις υφιστάμενης κατοικίας για στάθμη 2	105
6.3.2	Κάτοψη στάθμης 3 για προκαταρκτική ανάλυση	111
6.3.2.1	Αποτελέσματα προκαταρκτικής μελέτης για στάθμη 3	112
6.3.2.2	Ενισχύσεις υφιστάμενης κατοικίας για στάθμη 3	113
7	Αποτελέσματα	119
8	Συμπεράσματα	120
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	122

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Όργανο μέτρησης εύρους ρωγμής	4
Εικόνα 2: Αποδεκτά όρια εύρους ρωγμής.....	4
Εικόνα 3: Χάρτης Σεισμικότητας της Κύπρου	5
Εικόνα 4: Διατμητική αστοχία κοντού υποστυλώματος	8
Εικόνα 5: Διατμητική αστοχία κοντού υποστυλώματος	8
Εικόνα 6: Χιαστί λοξές διατμητικές ρωγμές βαθμού βλάβης c.....	9
Εικόνα 7: Ισχυρή αξονική σύνθλιψη και τέμνουσα.....	10
Εικόνα 8: Ισχυρή αξονική σύνθλιψη και εναλλασσόμενη καμπτική ροπή.....	10
Εικόνα 9: Αστοχία υποστυλωμάτων στη συνέχεια μονόπλευρων τοιχοπληρώσεων	11
Εικόνα 10: Διατμητική βλάβη τοιχώματος.....	12
Εικόνα 11: Διατμητική βλάβη τοιχώματος.....	13
Εικόνα 12: Καμπτική βλάβη σε τοίχωμα	13
Εικόνα 13: Διατμητική βλάβη σε δοκό	14
Εικόνα 14: Καμπτική ρωγμή στο εφελκόμενο πέλμα	15
Εικόνα 15: Καμπτική αστοχία στο άνω πέλμα και ολίσθηση οπλισμών από κάτω.....	15
Εικόνα 16: Εγκάρσια ρήγματα στο άνοιγμα της δοκού	16
Εικόνα 17: Διατμητική αστοχία δοκού παρά τις στηρίξεις	17
Εικόνα 18: Καμπτικά ρήγματα στο άνω ή κάτω πέλμα στις στηρίξεις	17
Εικόνα 19: Διατμητική αστοχία στη θέση εδράσεως δευτερευουσών δοκών....	18
Εικόνα 20: Διατμητική αστοχία δοκού που συνδέει τοίχειο	18
Εικόνα 21: Βλάβη σε ακραίο κόμβο	19
Εικόνα 22: Βλάβη σε μεσαίο κόμβο	20
Εικόνα 23: Βλάβες σε ακραίους κόμβους	20

Εικόνα 24: Βλάβες σε μεσαίους κόμβους	21
Εικόνα 25: Βλάβη πλάκας λόγω διάτρησης	22
Εικόνα 26: Πιθανές μορφές ρηγμάτωσης λόγω συστολής ξήρανσης.....	24
Εικόνα 27: Διάβρωση οπλισμού υποστυλωμάτων.....	25
Εικόνα 28: Διάβρωση λόγω εμφάνισης παράλληλων ρωγμών στον κύριο οπλισμό.....	26
Εικόνα 29: Ομοιόμορφη διάβρωση.....	26
Εικόνα 30: Τοπική διάβρωση	27
Εικόνα 31: Εμφάνιση ρωγμών λόγω ανάπτυξης τάσεων άρα και παραμορφώσεων εξαιτίας θερμοκρασιακών μεταβολών	27
Εικόνα 32: Εμφάνιση ρωγμών λόγω φόρτισης, διατμητικές αριστερά και καμπτικές δεξιά.....	28
Εικόνα 33: Ρηγμάτωση που οφείλεται σε διάτμηση λόγω καθίζησης.....	30
Εικόνα 34: Ρηγμάτωση λόγω πλαστικής συστολή	30
Εικόνα 35: Ενανθράκωση σκυροδέματος	31
Εικόνα 36: Ασβεστοποίηση σκυροδέματος.....	32
Εικόνα 37: Στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού φέροντος οργανισμού.....	34
Εικόνα 38: Ανεκτοί στόχοι αποτίμησης και ανασχεδιασμού υφιστάμενων κατασκευών	36
Εικόνα 39: Τυπικός βαθμός βλάβης Α.....	40
Εικόνα 40: Τυπικός βαθμός βλάβης Β	40
Εικόνα 41: Τυπικός βαθμός βλάβης Γ	40
Εικόνα 42: Βαθμός βλάβης Δ	41
Εικόνα 43: Γ βαθμός βλάβης σε κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα.....	42
Εικόνα 44: Γ βαθμός βλάβης σε άοπλη τοιχοποιία.....	42
Εικόνα 45: Δ βαθμός βλάβης σε άοπλη τοιχοποιία	43

Εικόνα 46: Ε βαθμός βλάβης σε κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα	44
Εικόνα 47: Δ βαθμός βλάβης σε κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα	44
Εικόνα 48: Ε βαθμός βλάβης σε κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα	45
Εικόνα 49: Γ βαθμός βλάβης σε κτίριο με τοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα	45
Εικόνα 50: Οπτικός Έλεγχος	47
Εικόνα 51: Εξειδικευμένα εργαλεία οπτικού ελέγχου	48
Εικόνα 52: Ψηφιακό κρουσίμετρο σκυροδέματος	48
Εικόνα 53: Δοκιμή κρουσίμετρου σε υποστύλωμα	49
Εικόνα 54: Δοκιμή κρουσίμετρου σε τοιχείο	49
Εικόνα 55: Εφαρμογή μεθόδου των υπέρηχων	50
Εικόνα 56: Τρόποι μέτρησης ταχύτητας των υπερήχων	51
Εικόνα 57: Εφαρμογή μαγνητικής μεθόδου στο σκυρόδεμα	51
Εικόνα 58: Μέτρηση του ηλεκτρικού δυναμικού σιδηροπλισμού	53
Εικόνα 59: Ακτινογράφιση με ακτίνες “Χ” και “Γ”	54
Εικόνα 60: Επίδραση της διεύθυνσης της ακτίνας (a) στην εμφάνιση επιπέδων και (b) σφαιρικών ασυνεχειών	55
Εικόνα 61: Ειδικό διατρητικό μηχάνημα λήψης πυρήνων στο σκυρόδεμα	56
Εικόνα 62: Λήψη πυρήνα από το σκυρόδεμα	57
Εικόνα 63: Χρήση εξολκεία στο σκυρόδεμα	58
Εικόνα 64: Έλεγχος βάθους ενανθράκωσης	59
Εικόνα 65: Μέτωπο του ενανθρακωμένου σκυροδέματος συναντά τον οπλισμό	60
Εικόνα 66: Έλεγχος γλωριόντων	60
Εικόνα 67: Διάγραμμα Ανάλυσης «Push over analysis»	64
Εικόνα 68: Κατανομή Φορτίσεων	66

Εικόνα 69 : Αποκατάσταση υποστυλώματος, με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος της βλαβείσας περιοχής.....	69
Εικόνα 70: Αποκατάσταση υποστυλώματος με μερική αποδιοργάνωση της βλαβείσας περιοχής.....	69
Εικόνα 71: Περίσφιγξη με μεταλλικά επικολλητά ελάσματα	70
Εικόνα 72: Περίσφιγξη με σπειροειδή οπλισμό	70
Εικόνα 73: Περίσφιγξη με μεταλλικό κλωβό	71
Εικόνα 74: Επέμβαση με μεταλλικό κλωβό για προσωρινή ανάληψη κατακόρυφων φορτίων	72
Εικόνα 75: Τροποποιημένος καταστατικός νόμος περισφιγμένου σκυροδέματος	73
Εικόνα 76: Μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος.....	75
Εικόνα 77: Μονόπλευρη ή δίπλευρη επέκταση υποστυλώματος	76
Εικόνα 78: Περιπτώσεις ανοικτών μανδύων	77
Εικόνα 79: Γενική διάταξη ενίσχυσης τοιχώματος με κλειστό μανδύα.....	80
Εικόνα 80: Ενίσχυση κάτω πέλματος δοκού	82
Εικόνα 81: Ενίσχυση πλακών (α) στο πάνω πέλμα, (β) στο κάτω πέλμα.....	83
Εικόνα 82: Αστοχία ακραίας περιοχής δοκού με επικολλητά φύλλα	83
Εικόνα 83: Ειδικά επικολλητά γωνιακά αγκύρωσης όταν χρησιμοποιούνται χαλύβδινα ελάσματα	85
Εικόνα 84: Ενδεικτικοί τρόποι ενίσχυσης σε διάτμηση έναντι ανεπάρκειας οπλισμού διάτμησης.....	86
Εικόνα 85: Κλειστός μανδύας δοκού.....	87
Εικόνα 86: Ανοικτός μανδύας δοκού.....	88
Εικόνα 87: Ενίσχυση κόμβου με μανδύα	90
Εικόνα 88: Ενίσχυση με χιαστί κολάρα	91
Εικόνα 89: Ενίσχυση με χιαστί κολάρα σε εξωτερικούς κόμβους	92

Εικόνα 90: Ενίσχυση κόμβου με επικολλητά ελάσματα.....	93
Εικόνα 91: Ενίσχυση κόμβου με χαλυβδινά κυματοειδή ελάσματα.....	93
Εικόνα 92: Στρατηγικές ενίσχυσης.....	98
Εικόνα 93: Αρχιτεκτονικό σχέδιο υφιστάμενης κατοικίας	101

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΕΤΕΚ: Τεχνικό Επιμελητήριο Κύπρου

ΟΣ: Οπλισμένο σκυρόδεμα

ΚΑΝ.ΕΠΕ.: Κανονισμός Επεμβάσεων

mk: Μάζα που ενεργοποιείται από την ιδιομορφή k

Fbk: Τέμνουσα βάση

Tk: Ιδιοπερίοδος

Sd(Tk): Τιμή της επιτάχυνσης που προκύπτει από το φάσμα σχεδιασμού για την ιδιοπερίοδο Tk

Tc: Το τέλος του οροπέδιου σταθερών επιταχύνσεων του φάσματος σχεδιασμού

q: Συντελεστής συμπεριφοράς

FRP: Ινοπλισμένα Πολυμερή

kr, kk: Συντελεστές προσομοίωσης

γc: Συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος

γs: Συντελεστής ασφαλείας χάλυβα

λ, ρ: συντελεστής επάρκειας

fck: Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη

fyk: Χαρακτηριστική αντοχή χάλυβα σε εφελκυσμό

EΓ: Επίπεδο γνώσης

ls_o: Μήκος μάτισης ράβδων οπλισμού

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

Pushover analysis: Ανελαστική Στατική ανάλυση

mm: χιλιοστά

1 Εισαγωγή

Όπως είναι εύκολα αντιληπτό, καθώς περνούν τα χρόνια διαπιστώνουμε ότι οι υφιστάμενες κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα ενδέχεται να παρουσιάσουν διάφορες φθορές, οι οποίες προέρχονται, είτε από φυσικά αίτια είτε από εξωγενείς παράγοντες. Οι φθορές αυτές αλλοιώνουν και υποβαθμίζουν την κατασκευή θέτοντας σε κίνδυνο την σταθερότητα και στατικότητα της. Έτσι, μέσω των αναπόφευκτων αυτών ζημιών είναι αναγκαία η ανθρώπινη παρέμβαση ούτως ώστε να ενισχυθεί, να αποκαταστηθεί ή να κατεδαφιστεί μια υφιστάμενη κατασκευή.

Η ενίσχυση και αποκατάσταση των υφιστάμενων κατασκευών είναι έκτος από απαραίτητη, και υποχρεωτική σε κάποιες περιπτώσεις. Κάποιες φορές το πρόβλημα είναι ακόμη μεγαλύτερο για τον μηχανικό. Δημιουργείται το εξής ερώτημα. Αξίζει τον κόπο να ενισχυθεί η υφιστάμενη κατασκευή ή είναι καλύτερα να κατεδαφισθεί; Αυτό το φλέγον ζήτημα καλείται ο Πολιτικός μηχανικός να απαντήσει λαμβάνοντας υπόψη όλες τις πιθανές παραμέτρους που παρουσιάζονται. Η εμπειριστατωμένη γνώση του πάνω σε αυτό το θέμα είναι εκείνη που θα τον οδηγήσει στην άμεση ανταπόκριση ώστε να δράσει άμεσα σε όλες τις δυσκολίες και τα εμπόδια που θα βρει μπροστά του και να πάρει την ορθότερη απόφαση σε κάθε περίπτωση.

Στην παρούσα πτυχιακή διατριβή παρουσιάζονται όλες οι πιθανές βλάβες και οι βαθμοί βλάβης που υπόκειται μια κατασκευή, οι τρόποι και οι μέθοδοι ενίσχυσης για κάθε περίπτωση και αναλόγως της περίπτωσης πράττεται η βέλτιστη λύση για την υφιστάμενη κατασκευή.

Στο δεύτερο και τελευταίο μέρος της πτυχιακής διατριβής, αναφέρεται η διαδικασία ελέγχου και η ανάλυση της υφιστάμενης κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα που επιλέχθηκε να μελετηθεί, με την βοήθεια του στατικού προγράμματος 3DR.STRAD και στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τρόποι επισκευής και ενίσχυσης της υφιστάμενης κατασκευής σύμφωνα με τα αποτελέσματα που έδωσε το πρόγραμμα. Τέλος, η ανάλυση πλευρικής φόρτισης με προσέγγιση q θα βοηθήσει για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας της υφιστάμενης κατασκευής.

2 Παθολογία Κατασκευών και διάγνωση βλαβών

Οι βλάβες σε μια κατασκευή είναι ένα αναπόφευκτο γεγονός για οποιαδήποτε περίπτωση κατασκευής. Η παραδοχή αυτή αποδεικνύεται στο ότι η φιλοσοφία των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών επιτρέπει τις βλάβες όχι μόνο στα μη-φέροντα στοιχεία αλλά και στο ίδιο το δομικό σύστημα. Οι βλάβες όμως αυτές πρέπει να είναι περιορισμένες και επιδιορθώσιμες. Η πιο διαδεδομένη βλάβη που παρατηρείται στις υφιστάμενες κατασκευές είναι η μερική ή ολική κατάρρευση τμημάτων είτε αυτά είναι οροφές και δάπεδα είτε φέροντα στοιχεία. Πολύ συχνά προκαλούν ρηγματώσεις στην κατασκευή, απώλεια συνάφειας μεταξύ των δομικών στοιχείων καθώς επίσης και προβλήματα ανθεκτικότητας στο χρόνο.

2.1 Αίτια Φθοράς Κτιρίων

Τα κύρια αίτια που επηρεάζουν την παθολογία των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα σχετίζονται κυρίως με τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή, το χρόνο, τις επιδράσεις του περιβάλλοντος, η ποιότητα του κάθε εδάφους όπου είναι θεμελιωμένα τα κτίρια και τα καιρικά φαινόμενα. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο παίζουν οι εξωτερικές δράσεις όπως είναι οι σεισμοί, η παράβλεψη των ιδιοκτητών να συντηρήσουν το κτίριο εγκαίρως που αυτό συνεπάγεται με την εγκατάλειψη του κτιρίου και την εισχώρηση των στοιχείων της φύσης σε αυτό. Τέλος, η παράμετρος του χρόνου, σε συνδυασμό με όλα τα παραπάνω, αποτελεί σημαντική αιτία εμφάνισης παθολογίας στα κτίρια.

2.2 Ρωγμές σε κατασκευές από σκυρόδεμα

Ρωγή ορίζεται ως η ασυνέχεια του υλικού, η οποία ασυνέχεια έχει τη μία διάσταση πολύ μικρότερη από τις άλλες. Οποιαδήποτε κατασκευή από σκυρόδεμα ενδέχεται να ρηγματωθεί. Οι ρωγμές είναι πιθανόν να προκύψουν από διάφορα αίτια, προκαλώντας στις κατασκευές διάφορες τάσεις αλλά και παραμορφώσεις. Οι ρωγμές στην κατασκευή έχουν επιπτώσεις σε κάποιο βαθμό στην εμφάνιση, όμως επηρεάζουν ακόμη πιο πολύ την αντοχή του υφιστάμενου κτιρίου. Η εμφάνιση των ρωγμών στην κατασκευή είναι επιθυμητή, αφού με αυτό τον τρόπο υποδεικνύει το πρόβλημα που υπάρχει, ώστε ο

μηχανικός να το δει και να κατανοήσει την αιτία που δημιούργησε την ρηγματώση στο σκυρόδεμα.

Στις πλείστες περιπτώσεις η επισκευή των ρωγμών δεν συνεπάγεται με την αύξηση της αντοχής του μέλους αλλά απλά της αποκατάστασης της ήδη μειωμένης. Η επισκευή των ρηγματώσεων όμως, επιβάλλεται συνήθως για αισθητικούς και πρακτικούς λόγους. Το ρηγματωμένο στοιχείο χρήζει επισκευής μόνο όταν από στατικής άποψης είναι ασφαλές κατά τη χρήση του, διαφορετικά απαιτείται και η ενίσχυσή του. Έτσι, αν η ασφάλεια μπορέσει να επιτευχθεί τότε οι ρωγμές επιδιορθώνονται ώστε το αίσθημα ασφαλείας από τους χρήστες να διατηρηθεί και να μπορέσουν να αντιμετωπιστούν και να επιλυθούν διάφορα άλλα προβλήματα όπως διαρροές υγρών, εισχώρηση υγρασίας.

2.2.1 Κατηγορίες Ρωγμών

Οι ρωγμές μπορούν να διακριθούν σε ενεργές και μη-ενεργές. Για την πρώτη περίπτωση, οι ενεργές ρωγμές, οι οποίες έχουν και μεγαλύτερο βαθμό επικινδυνότητας, εξακολουθούν να έχουν μετακινήσεις με άμεσο επακόλουθο την αύξηση του εύρους ή του μήκους τους. Είναι απαραίτητο να υπάρχει συνεχής εποπτεία αλλά και παρέμβαση σε περιπτώσεις που κρίνεται αναγκαίο. Για την δεύτερη περίπτωση, οι μη-ενεργές ρωγμές δεν παρουσιάζουν περαιτέρω μετακινήσεις και δεν προκαλούν ιδιαίτερη ανησυχία παρά μόνο σε περιπτώσεις διείσδυσης της υγρασίας με συνέπεια διάβρωσης των ράβδων οπλισμού.

2.2.2 Εύρος Ρωγμής

Όπως προαναφέρθηκε, οι ρωγμές σε γενικές γραμμές δεν είναι το κυριότερο πρόβλημα για να διατηρηθεί η ασφάλεια μιας κατασκευής, υπό την προϋπόθεση ότι το άνοιγμα της ρωγμής περιορίζεται στα επιτρεπόμενα όρια όπως αυτά ορίστηκαν από τις απαιτήσεις και τους περιορισμούς για την εμφάνιση του κτιρίου, τη στεγανότητα και την προστασία των οπλισμών της κατασκευής από τη διάβρωση.



Εικόνα 1: Όργανο μέτρησης εύρους ρωγμής (<http://www.ktiritest.gr>)

Το εύρος της ρωγμής που θεωρείται ανεκτό από άποψη εμφάνισης εξαρτάται από τη φύση του επιχρίσματος, αλλά και από το είδος χρήσης της κατασκευής.

Στον πιο κάτω πίνακα φαίνονται με περισσότερη λεπτομέρεια τα μέγιστα αποδεκτά όρια εύρους ρωγμής για διάφορα είδη κατασκευής και περιβαλλοντικές συνθήκες.

Είδος κατασκευής και περιβαλλοντικές συνθήκες	Μέγιστο εύρος ρωγμής mm
εσωτερικές κατασκευές ξηρό περιβάλλον, παροχή αδιαπέραστης επικάλυψης	0.4 ~ 0.5
εξωτερικές κατασκευές, μέτρια υγρό περιβάλλον, όχι διαβρωτικοί παράγοντες	0.3 ~ 0.4
εξωτερικές κατασκευές, ιδιαίτερα υγρό περιβάλλον	0.2 ~ 0.3
ιδιαίτερα υγρό περιβάλλον, ύπαρξη διαβρωτικών παραγόντων (θαλασσινό νερό...)	0.1 ~ 0.15
δεξαμενές υγρών	0.1

Εικόνα 2: Αποδεκτά όρια εύρους ρωγμής (Δρίτσος, 2005)

Οι ρωγμές επίσης θα μπορούσαν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το αν είναι επακόλουθο εξωτερικών φορτίσεων – σεισμό ή σε αυτές που είναι επακόλουθο μη εξωτερικών φορτίσεων.

2.3 Σεισμός

Σεισμός ορίζεται ως η ξαφνική και γρήγορη κίνηση η οποία οφείλεται σε ανακατατάξεις του εσωτερικού της γης και γίνεται αντιληπτός λόγω της ενέργειας που μεταδίδεται στην επιφάνεια της Γης. Ο σεισμός είναι ένα φυσικό φαινόμενο που μπορεί να προκαλέσει πολλές απώλειες τόσο σε ανθρώπινο δυναμικό όσο και σε υλικά αγαθά. Ανάλογα με το μέγεθος και το είδος του σεισμού, κατατάσσονται σε τεκτονικοί, ηφαιστειακοί και εγκατακρημνισιγενείς σεισμοί.

2.3.1 Σεισμικότητα της Κύπρου

Η Κύπρος, ένα νησί στο οποίο οι σεισμικές δονήσεις είναι ένα σύνηθες φαινόμενο, επηρεάζονται έντονα οι υφιστάμενες κατασκευές έχοντας ως αποτέλεσμα αμέτρητες και ανεπανόρθωτες, σε κάποιες περιπτώσεις, βλάβες. Το φαινόμενο αυτό επηρεάζει κυρίως κατασκευές οι οποίες υλοποιήθηκαν πριν από την θέσπιση των νόμων περί των σύγχρονων ευρωπαϊκών αντισεισμικών κανονισμών.



Εικόνα 3: Χάρτης Σεισμικότητας της Κύπρου (<http://www.moa.gov.cy>)

Ο λόγος που η Κύπρος εμφανίζει σεισμική δραστηριότητα είναι διότι βρίσκεται στη Μεσογειακή ζώνη διάρρηξης, η οποία αποτελεί το όριο σύγκρουσης της Αφρικανικής και την Ευρασιατική Πλάκα. Η Αφρικανική Πλάκα καταδύεται κάτω από την Πλάκα Ανατολίας η οποία αποτελεί το νοτιότερο τμήμα της Ευρασιατικής Πλάκας. (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης)

2.3.2 Αίτια Σεισμού

Η κύρια αιτία δημιουργίας του σεισμού είναι ότι ο πλανήτης μας είναι γεωλογικά «ζωντανός». Οι δύσκαμπτες λιθοσφαιρικές πλάκες του περιβλήματος της Γης, οι οποίες «επιπλέουν» και μετακινούνται πάνω από το συγκριτικά πιο εύπλαστο εσωτερικό της Γης, βρίσκονται σε συνεχή κίνηση και εκτελούν ένα σοβαρό έργο της ζωής του πλανήτη μας: ανακυκλώνουν το εξωτερικό του περίβλημα με το να δημιουργούν νέο φλοιό ή να καταστρέφουν τον παλιό φλοιό σπρώχνοντάς τον πίσω στο εσωτερικό της Γης. Ως αποτέλεσμα της κίνησης των πλακών είναι η συσσώρευση τάσεων, που όταν αυτές υπερβούν την αντοχή των πετρωμάτων, αυτά σπάζουν και έτσι προκαλείται ένας σεισμός.

Τα δυναμικά χαρακτηριστικά, η συμμετρία, το ύψος, η κανονικότητα σε κάτοψη αλλά κυρίως η χρονική περίοδος κατασκευής είναι οι βασικοί παράγοντες που εξαρτάται η συμπεριφορά μιας κατασκευής που εκτίθεται σε σεισμικές φορτίσεις. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό που κάνει τις βλάβες να ξεχωρίζουν όταν προέρχονται από σεισμικές φορτίσεις είναι πως αναπτύσσονται σε πολύ μικρό διάστημα, δηλαδή κατά τη διάρκεια του σεισμού. Οι βλάβες που αναπτύσσονται αφότου προηγηθεί ο σεισμός είναι συνδυασμός της σεισμικής έντασης με άλλες φορτίσεις που υπόκειται η κατασκευή. Για αυτό τον λόγο πρέπει η αξιολόγηση και η καταγραφή των βλαβών να γίνεται με λεπτομέρεια και ακρίβεια ούτως ώστε να μπορεί να κριθεί αν οι βλάβες προέρχονται από τον σεισμό ή από άλλα φαινόμενα και να πραγματοποιείται ανάλογα η τεχνική επέμβασης - αποκατάστασης που είναι αναγκαία (Χρυσοστόμου 2009).

2.3.3 Απόκλιση του φάσματος σχεδιασμού από το φάσμα αποκρίσεων

Η αδυναμία εκτίμησης των χαρακτηριστικών της αναμενόμενης σεισμικής καταπόνησης κατά την σχεδιαστική φάση του έργου είναι μια κύρια αιτία παρουσίας ρηγματώσεων σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα. Όπως είναι αναμενόμενο ένας ισχυρός σεισμός μπορεί να επηρεάσει ένα μεγάλο φάσμα υφιστάμενων κατασκευών, ειδικά

αυτών που κατασκευάστηκαν πριν την θέσπιση των νέων αντισεισμικών κανονισμών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα όλο το φάσμα των παλαιών κατασκευών να βρίσκεται εκτός των προδιαγραφών και να εμφανίζονται σε αυτές χαρακτηριστικές βλάβες. Αυτό μπορεί να συμβεί και στις νέες κατασκευές και οι λόγοι παρουσιάζονται πιο κάτω: (Μπάρκας 2000)

1. Η σεισμική δόνηση δεν είναι ένα φαινόμενο που μπορεί να υπολογισθεί με ακρίβεια. Οι κανονισμοί βελτιώνουν συνεχώς το εν λόγω φαινόμενο αλλά δεν το προσδιορίζουν με ακρίβεια. Έτσι, είναι πολύ πιθανόν οι κατασκευές που σχεδιάζονται και κατασκευάζονται σήμερα βάσει των τωρινών κανονισμών και προδιαγραφών να είναι εκτός προδιαγραφών σε μερικά χρόνια.
2. Ο σχεδιασμός των σύγχρονων κατασκευών γίνεται ούτως ώστε όταν πραγματοποιηθεί ο σεισμός να έχουν ανελαστική συμπεριφορά, δηλαδή να παρουσιάζει ένα συγκεκριμένο ποσοστό βλαβών.
3. Αρκετές φορές το φάσμα σχεδιασμού της κατασκευής είναι μεγεθυμένο κατά το δείκτη συμπεριφοράς q και το συντελεστή ασφαλείας και δεν συσχετίζεται με το φάσμα αποκρίσεως. Έτσι προτού παρθούν βεβαιασμένες μετρήσεις και καταγραφές βλαβών επιβάλλεται αρχικά να μελετηθεί προσεκτικά το φάσμα αποκρίσεως του σεισμού που προκάλεσε τις βλάβες σε συσχέτισμό με τις προβλέψεις του αντισεισμικού κανονισμού με τις οποίες δομήθηκε η πλειονότητα των κατασκευών.

2.4 Ρωγμές ως επακόλουθο εξωτερικών φορτίσεων

2.4.1 Υποστυλώματα

Μετά από ένα ισχυρό σεισμό, οι ρωγμές που εμφανίζονται στα υποστυλώματα μιας υφιστάμενης κατασκευής είναι κυρίως διατμητικού χαρακτήρα και κάνουν την εμφάνισή τους υπό μορφή χιαστί στην ασθενέστερη ζώνη του υποστυλώματος. Κυρίως κάνουν την εμφάνισή τους σε υποστυλώματα μέτριας λυγηρότητας με οριακή εικόνα την εκρηκτική διατμητική αστοχία των κοντών υποστυλωμάτων. Η κυριότερη αιτία του συγκεκριμένου τύπου βλάβης βασίζεται στο γεγονός ότι στα μέτριας λυγηρότητας υποστυλώματα η καμπτική αντοχή είναι πολύ μεγαλύτερη από τη διατμητική, με αποτέλεσμα να υπερισχύει η διατμητική αστοχία.



Εικόνα 5: Διατμητική αστοχία κοντού υποστυλώματος

(<http://www.episkeves2.civil.upatras.gr>)



Εικόνα 4: Διατμητική αστοχία κοντού υποστυλώματος

(<http://www.episkeves2.civil.upatras.gr>)

Η ασφάλεια της κατασκευής εξαρτάται άμεσα από τις βλάβες που θα προκληθούν στα υποστυλώματα μετά από έναν ισχυρό σεισμό. Τα υποστυλώματα σε περίπτωση σεισμού υφίστανται τις πλείστες και ταυτοχρόνως τις πιο σοβαρές βλάβες, το γεγονός αυτό τα θέτει στοιχεία προτεραιότητας γιατί στην δυσμενέστερη περίπτωση βλαβών που θα υποστούν η κατασκευή μπορεί να οδηγηθεί σε τμηματική ή συνολική κατάρρευση.

Σημαντικό είναι να επισημανθεί ότι βάση του Ευρωκώδικα και των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών εφαρμόζεται ο ικανοτικός σχεδιασμός, όπου απαιτεί πρώτα αστοχία στους δοκούς, γεγονός όπου μια υφιστάμενη κατασκευή πρόκειται να μην

ικανοποιεί. Οι βλάβες που παρατηρούνται σε υποστυλώματα μπορεί να είναι καμπτικού ή διατμητικού χαρακτήρα, ενώ ο τύπος της βλάβης εξαρτάται από τη συσχέτιση της καμπτικής και διατμητικής καταπόνησης του υποστυλώματος.

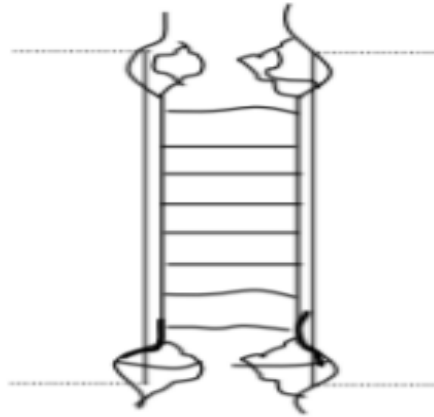


Εικόνα 6: Χιαστί λοξές διατμητικές ρωγμές βαθμού βλάβης c
(<http://www.episkeves2.civil.upatras.gr>)

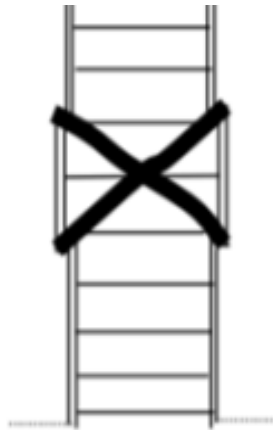
Οι βλάβες καμπτικού χαρακτήρα παρουσιάζονται λόγω μεγάλης καμπτικής έντασης η οποία εφαρμόζεται συνήθως στη κορυφή και τη βάση του υποστυλώματος. Όταν η αξονική φόρτιση στο υποστυλώμα είναι μικρή, η βλάβη που παρουσιάζεται είναι λόγω της υπέρβασης του ορίου διαρροής του διάμησης οπλισμού σε εφελκυσμό, όπου το γεγονός αυτό οφείλεται στην ανεπάρκεια του διάμησης οπλισμού. Το εύρος της ρωγμής συνήθως εκφράζει το βαθμό βλάβης του υποστυλώματος και είναι της μορφής οριζόντιας καμπτικής ρωγμής. Παράλληλα οι καμπτικές βλάβες μπορούν να εμφανιστούν με αποφλοίωση του σκυροδέματος λόγω υπέρβασης της θλιπτικής αντοχής. Οι βλάβες καμπτικού χαρακτήρα συνήθως χαρακτηρίζονται ελαφράς μορφής.

Όσον αφορά τις βλάβες διατμητικού χαρακτήρα, παρουσιάζονται σε υποστυλώματα με μικρό λόγο διάτμησης στις περιοχές με μεγαλύτερη διατμητική αδυναμία. Οι βλάβες αυτές δεν εμφανίζονται κατ' ανάγκη στα άκρα του υποστυλώματος, όμως στη περίπτωση καμπτικών βλαβών, τα άκρα ενός υποστυλώματος είναι επιρρεπείς και σε διατμητικές βλάβες. Επίσης οι βλάβες αυτού του τύπου είναι συνηθέστερες στην περίπτωση κοντών υποστυλωμάτων όπου ο λόγος της διάτμησης είναι μικρότερος από 2,5 καθώς και σε κανονικά υποστυλώματα όπου εμποδίζονται οι οριζόντιες μετακινήσεις από δύσκαμπτα στοιχεία σε ένα τμήμα του ύψους τους.

Οι βλάβες διατμητικού χαρακτήρα παρουσιάζονται με λοξές ρωγμές, όπου λόγω της αντιστροφής της σεισμικής δράσης πολλές φορές παρουσιάζουν χιαστί μορφή, η εμφάνιση αυτών των βλαβών εκδηλώνει τη χαμηλή ποιότητα σκυροδέματος αλλά και την έλλειψη επαρκούς διατμητικού οπλισμού.



Εικόνα 8: Ισχυρή αξονική σύνθλιψη και εναλλασσόμενη καμπτική ροπή
(Δρίτσος 2005)

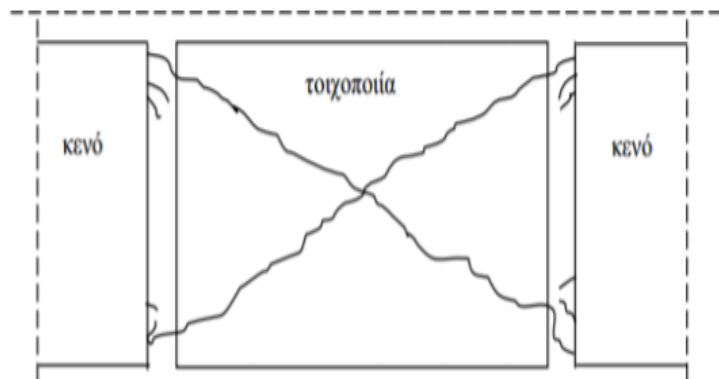


Εικόνα 7: Ισχυρή αξονική σύνθλιψη και τέμνουσα
(Δρίτσος 2005)

Ως τύπος διατμητικής αστοχίας επίσης μπορεί να θεωρηθεί η αστοχία τοιχοπλήρωσης ενός πλαισίου, η οποία επεκτείνεται στα υποστυλώματα. Το γεγονός αυτό συμβαίνει όταν τα υποστυλώματα που απαρτίζουν το πλαίσιο είναι ασθενή και η τοιχοπλήρωση είναι μονόπλευρη.

Η δυσμενέστερη περίπτωση η οποία προκαλεί σοβαρές βλάβες ψαθυρού χαρακτήρα στα υποστυλώματα είναι η ταυτόχρονη ύπαρξη διάτμησης και κάμψης. Οι βλάβες τέτοιου

χαρακτήρα εμφανίζονται σε υποστυλώματα με ανεπάρκεια της διατομής τους, τα οποία βρίσκονται σε κόμβους όπου συντρέχουν ισχυρές δοκοί και δεν ικανοποιείται ο ικανοτικός σχεδιασμός. Οι βλάβες αυτές λόγω αντιστροφής της σεισμικής δράσης μπορεί να εμφανιστούν και στις δύο πλευρές του υποστυλώματος εκδηλώνοντας σύνθλιψη και αποδιοργάνωση της θλιβόμενης ζώνης. Ωστόσο συχνά παρατηρείται εγκάρσια διόγκωση του 25 σκυροδέματος και η διαρροή ή θραύση των συνδετήρων στη περιοχή θραύσης, έχοντας ως αποτέλεσμα στις πλείστες περιπτώσεις τη βράχυνση του υποστυλώματος και σε λυγισμό του διάμηκες οπλισμού. Η εμφάνιση τέτοιων βλαβών σε υποστυλώματα υποδηλώνει την χαμηλή ποιότητα σκυροδέματος, την έλλειψη περίσφιξης και την ανεπάρκεια διατμητικού οπλισμού.

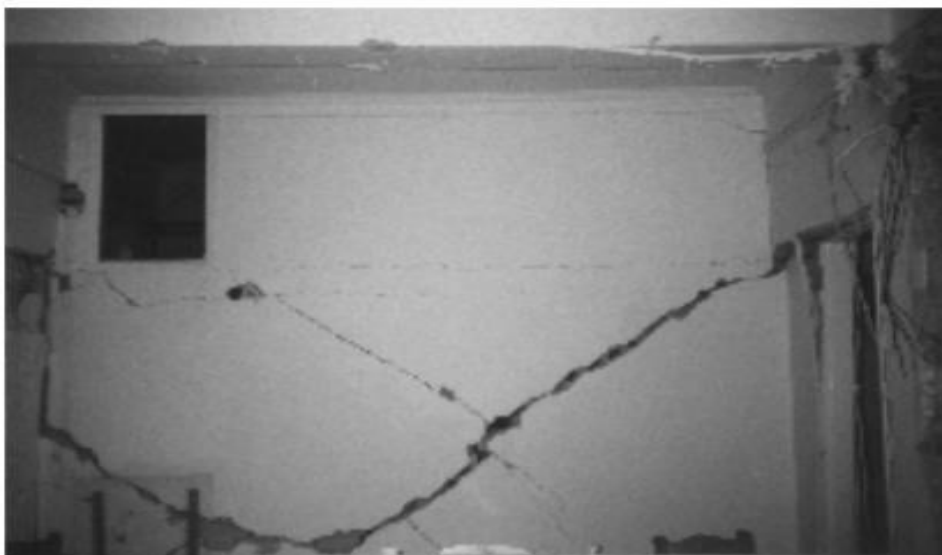


Εικόνα 9: Αστοχία υποστυλωμάτων στη συνέχεια μονόπλευρων τοιχοπληρώσεων (Δρίτσος 2005)

Οι βλάβες αυτές είναι πολύ σοβαρές για τις κατασκευές γιατί εκτός από ψαθυρή αστοχία υποδηλώνεται η σημαντική μείωση της δυσκαμψίας των υποστυλωμάτων, συνεπώς και η αδυναμία μεταφοράς των κατακόρυφων φορτίσεων. Η κατάσταση αυτή δημιουργεί υπερφόρτωση των γειτονικών υποστυλωμάτων λόγω ανακατανομής των φορτίσεων, δημιουργώντας μεγάλη πιθανότητα να οδηγηθεί η κατασκευή σε κατάρρευση. (Δρίτσος 2005)

2.4.2 Τοιχεία

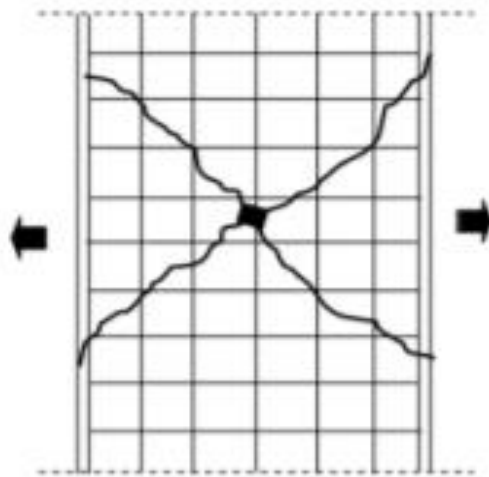
Στα τοιχεία, οι ρωγμές που εμφανίζονται είναι τριών τύπων. Ο πιο συνήθης τύπος ρωγμής είναι να εμφανίζονται ρωγμές σε αρμούς σκυροδετήσεως. Αυτό προκαλείται κυρίως λόγω κακοτεχνίας στην σύνδεση παλιού σκυροδέματος με το καινούργιο. Στη συνέχεια από πλευράς συχνότητας παρουσιάζονται χιαστί ρωγμές σε διάφορα σημεία του τοιχείου. Πρόκειται για διατμητικής μορφής αστοχία ψαθυρού χαρακτήρα. Τέλος, υπάρχουν και οι ρωγμές καμπτικού τύπου που έχουν εμφανισθεί ελάχιστες φορές.



Εικόνα 10: Διατμητική βλάβη τοιχώματος (<http://okeanis.lib.puas.gr>)

Τα τοιχώματα σε μια κατασκευή έχουν έντονη λειτουργία έναντι σ' ένα σεισμό, αφού μεγάλο ποσοστό της σεισμικής έντασης παραλαμβάνεται από αυτά. Μετά από έναν ισχυρό σεισμό, η συχνότητα εμφάνισης βλαβών σε ένα τοίχωμα είναι ίδια όπως και για την εμφάνιση βλαβών σε ένα υποστύλωμα..

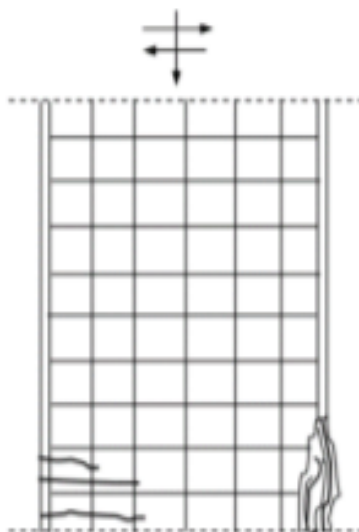
Οι διατμητικές βλάβες είναι συχνότερες μετά από έναν ισχυρό σεισμό και κρίνονται ως οι πιο σοβαρές βλάβες που μπορεί να υποστεί ένα τοίχωμα. Η σοβαρότητα των διατμητικών βλαβών οφείλεται στο ότι αποτελούν ψαθυρή αστοχία, ως εκ τούτου οφείλεται και στο γεγονός ότι μπορεί να προκληθούν επιμέρους μετακινήσεις των τριγωνικών τμημάτων του τοιχώματος, όπως φαίνεται στην εικόνα 11. Το γεγονός αυτό προκαλεί βράχυνση του τοιχώματος και αδυναμία μεταφοράς των κατακόρυφων φορτίων, συνεπώς και ολική κατάρρευση της κατασκευής.



Εικόνα 11: Διατμητική βλάβη τοιχώματος (Δρίτσος 2005)

Τα αίτια της διατμητικής αστοχίας των τοιχωμάτων καθορίζονται από το σχεδιασμό, και συνηθώς συνδυάζονται με τον ανεπαρκή διατμητικό οπλισμό και τη χαμηλή ποιότητα σκυροδέματος.

Όσον αφορά τις καμπτικές βλάβες η εμφάνιση τους είναι λιγότερο συχνή. Παρουσιάζονται στη βάση του τοιχώματος κοντά στη θεμελίωση και είναι εμφανείς στο ισόγειο μιας κατασκευής όταν αυτά στηρίζονται σε ισχυρή θεμελίωση ή σε περιμετρικά τοιχώματα υπογείου, όπου δημιουργούνται συνθήκες πάκτωσης του τοιχώματος.



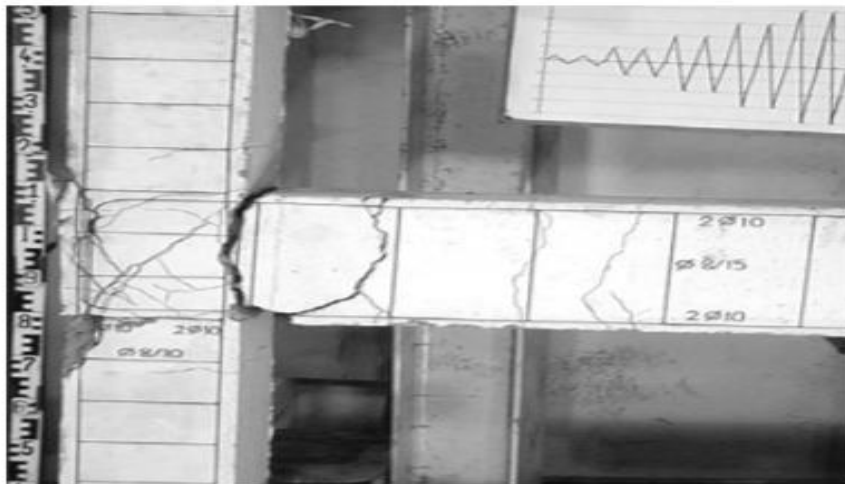
Εικόνα 12: Καμπτική βλάβη σε τοίχωμα (Δρίτσος 2005)

Στην περίπτωση θεμελίωσης των τοιχωμάτων σε μεμονωμένα πέδιλα, αναπτύσσονται μικρότερες ροπές λόγω της επιτρεπόμενης στροφής του πέδιλου, ενώ δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στην αναπτυσσόμενη τέμνουσα. Συνεπώς οι αναπτυσσόμενες βλάβες θα είναι διατμητικής μορφής με πιθανές αστοχίες στις συνδετήριες δοκούς της θεμελίωσης. (Δρίτσος 2005)

2.4.3 Δοκοί

Οι ρωγμές στις δοκούς παρουσιάζονται πιο συχνά απότι στα υποστυλώματα και χαρακτηρίζονται ως λιγότερο επικίνδυνες σε όσο αφορά την ευστάθεια του φορέα σε σύνολο.

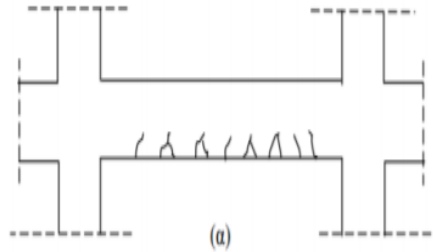
Οι βλάβες που παρατηρούνται στις δοκούς μιας κατασκευής είναι εξ' ίσου συχνές και προέρχονται είτε από σεισμό είτε από κατακόρυφα φορτία. Η μορφή των βλαβών στις δοκούς είναι λιγότερο επικίνδυνες όσον αφορά την ευστάθεια μιας κατασκευής και συνηθώς διακρίνονται σε καμπτικές και διατμητικές βλάβες.



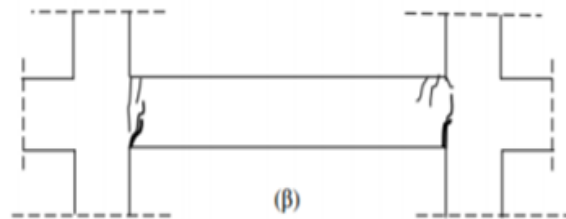
Εικόνα 13: Διατμητική βλάβη σε δοκό (<http://www.pavleas.gr>)

Μετά από ένα σεισμό ο συχνότερος τύπος βλαβών που εμφανίζονται στις δοκούς είναι οι εγκάρσιες καμπτικές ρωγμές στο κάτω πέλμα όπως φαίνονται στις εικόνες 14 και 15. Η εμφάνιση των ρωγμών αυτών οφείλεται από υπάρχουσες τριχοειδής ρωγμές οι οποίες γίνονται ορατές μετά από την επίδραση ενός σεισμού. Σε περίπτωση όμως όπου η πιο πάνω εικόνα μιας δοκού είναι εμφανής μόνο υπό την επίδραση των κατακόρυφων φορτίσεων, υποδηλώνεται η καμπτική ανεπάρκεια της. Η δοκός σε μια τέτοια περίπτωση παρουσιάζει συγκεκριμένες ρωγμές μεγάλου πλάτους, οι οποίες μπορούν να

προκαλέσουν ανάπτυξη της μέγιστης ροπής και συνεπώς η διαρροή του εφελκόμενου χάλυβα. Επιπρόσθετα οι καμπτικές βλάβες παρουσιάζονται πολύ συχνά λόγω σεισμικών δράσεων στο πάνω πέλμα των δοκών κοντά στις στηρίξεις, όπως παρομοίως και στο κάτω πέλμα. Οι ρωγμές στο άνω πέλμα της δοκού εμφανίζονται λόγω καμπτικής αστοχίας όταν ο εφελκόμενος οπλισμός διαρρεύσει, όπου αυτό συνηθίζεται λόγω ισχυρού σεισμού, ή λόγω ανεπαρκούς αγκύρωσης και ολίσθησης του οπλισμού στο κάτω πέλμα.



**Εικόνα 14: Καμπτική ρωγή στο εφελκόμενο πέλμα
(Δρίτσος 2005)**



**Εικόνα 15: Καμπτική αστοχία στο άνω πέλμα και ολίσθηση οπλισμών από
κάτω (Δρίτσος 2005)**

Όσον αφορά τις διατμητικές βλάβες παρουσιάζονται μετά από έναν ισχυρό σεισμό και κρίνονται σοβαρής μορφής. Παρουσιάζονται συνήθως στις περιοχές στήριξης των δοκών και είναι ανεπιθύμητες βλάβες λόγω της ψαθυρής αστοχίας που προκαλούν.

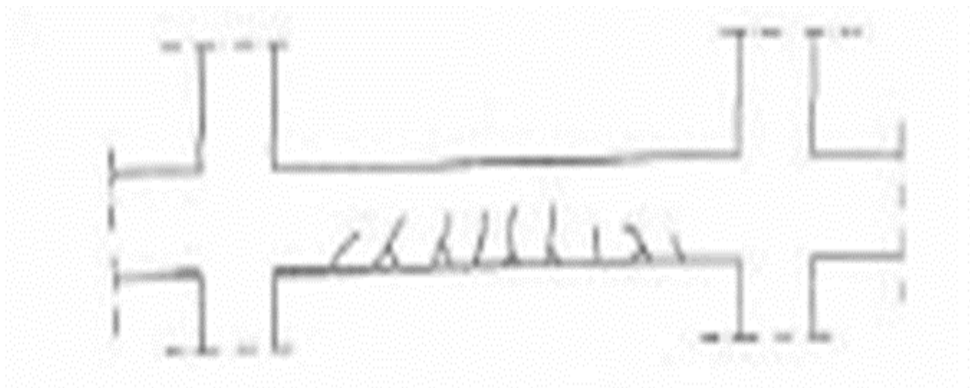
Οι βλάβες αυτές πλέον προβλέπονται από τους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς με βάση τον ικανοτικό σχεδιασμό ο οποίος βασίζεται στις μέγιστες ροπές που μπορούν να αναπτυχθούν στα άκρα της δοκού. Επίσης ένας άλλος σημαντικός παράγοντας δημιουργίας διατμητικών βλαβών οφείλεται από την εφαρμογή συγκεντρωμένων φορτίων, όπως για παράδειγμα τα φυτευτά υποστυλώματα ή οι δευτερεύουσες δοκοί σε μια κατασκευή. Οι βλάβες σε αυτή την περίπτωση προκύπτουν λόγω ανεπαρκούς οπλισμού διάτμησης και ανάρτησης.

2.4.3.1 Τύποι Ρωγμών σε δοκούς

Οι πιο διαδεδομένοι τύποι ρωγμών που εμφανίζονται στις δοκούς είναι οι ακόλουθοι:

1. Ρηγματώσεις με εγκάρσια ρήγματα στο εφελκόμενο πέλμα του ανοίγματος

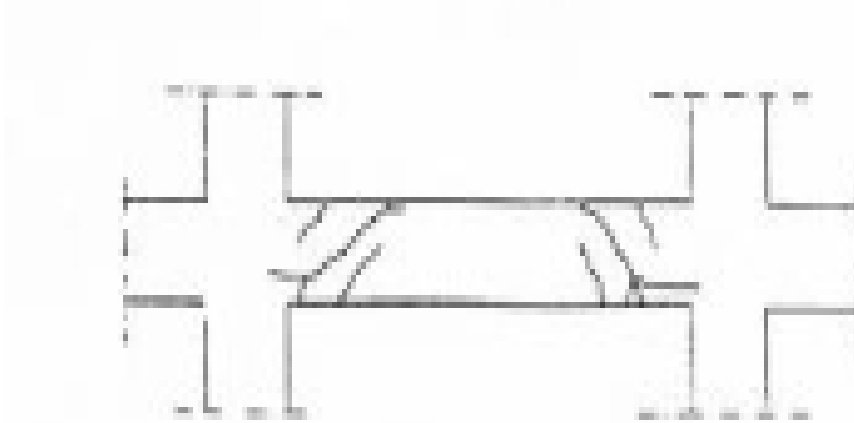
Χαρακτηρίζεται ως ο πιο διαδεδομένος τύπος ρωγμής που εμφανίζεται τις περισσότερες φορές σε μια κατασκευή. Ως επί των πλείστον, η ρωγμή αυτού του τύπου είναι ακίνδυνη για μια κατασκευή και χαρακτηρίζεται ως φυσιολογική ρηγμάτωση, υπό την προϋπόθεση ότι η επίδραση των σεισμικών φορτίων δεν αλλοιώνει τη ροπή κάμψεως του ανοίγματος. (Δρίτσος 2005 ; Κοντού 2013)



Εικόνα 16: Εγκάρσια ρήγματα στο άνοιγμα της δοκού (Δρίτσος 2005)

1. Διατμητική αστοχία παρά τις στηρίξεις

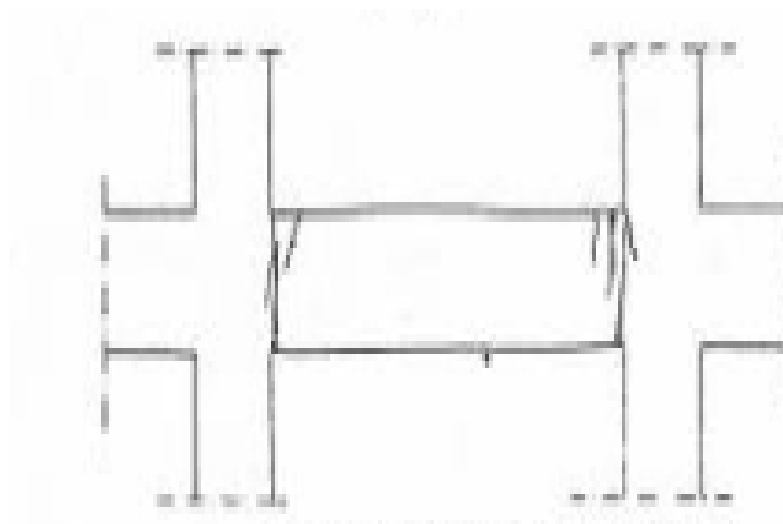
Ο συγκεκριμένος τύπος ρωγμής είναι ο δεύτερος σε συχνότητα εμφάνισης. Οι βλάβες που παθαίνει η δοκός σε αυτή την περίπτωση είναι πιο σοβαρές από τον προηγούμενο τύπο βλάβης της δοκού λόγω του ότι οι βλάβες σε αυτή την περίπτωση είναι ψαθυρού χαρακτήρα. Όμως, πολύ σπάνια τέτοιου είδους βλάβης είναι επικίνδυνες για την ευστάθεια της κατασκευής. (Δρίτσος 2005)



Εικόνα 17: Διατμητική αστοχία δοκού παρά τις στηρίξεις (Δρίτσος 2005)

2. Καμπτικά ρήγματα στο άνω ή κάτω πέλμα στις στηρίξεις

Αυτού του τύπου η ρηγματώση οφείλεται κυρίως στην στατική προσομείωση του σεισμού σε σχέση με τα οριζόντια φορτία. Οι ρωγμές που εμφανίζονται στο κάτω πέλμα των στηρίξεων κυρίως προκαλούνται λόγω κακής αγκύρωσης του οπλισμού και έτσι εμφανίζεται κυρίως με ένα ή δύο ρήγματα μεγάλου εύρους γύρω από το σημείο της στήριξης. (Κοντού, Τετράδη 2013)

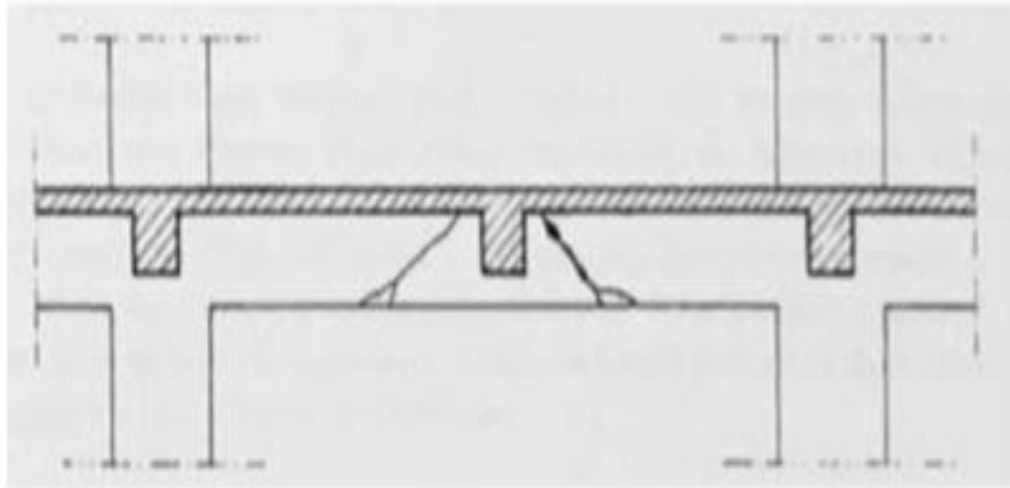


Εικόνα 18: Καμπτικά ρήγματα στο άνω ή κάτω πέλμα στις στηρίξεις

(Δρίτσος 2005)

3. Διατμητική ή καμπτική αστοχία στις θέσεις εδράσεως δευτερευουσών δοκών ή φυτευτών υποστυλωμάτων

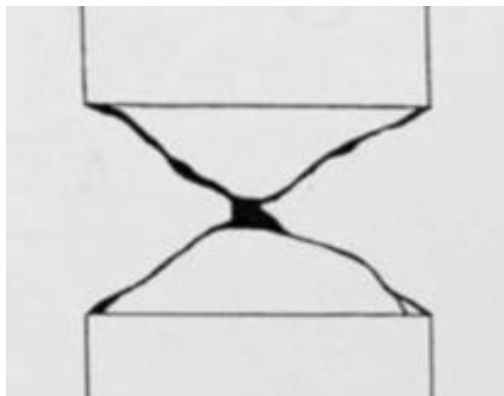
Η βλάβη στην δοκό λόγω αυτού του τύπου ρηγμάτωσης κάνει την εμφάνιση της πολύ συχνά και οφείλεται κυρίως στην κατακόρυφη εναλλασσόμενη συνιστώσα της σεισμικής δράσης επί του μοναχικού φορτίου. (Δρίτσος 2005; Κοντού 2013)



Εικόνα 19: Διατμητική αστοχία στη θέση εδράσεως δευτερευουσών δοκών
(<http://repository.library.teimes.gr>)

4. Χιαστί διατμητικά ρήγματα σε κοντές δοκούς που συνδέουν τοιχεία.

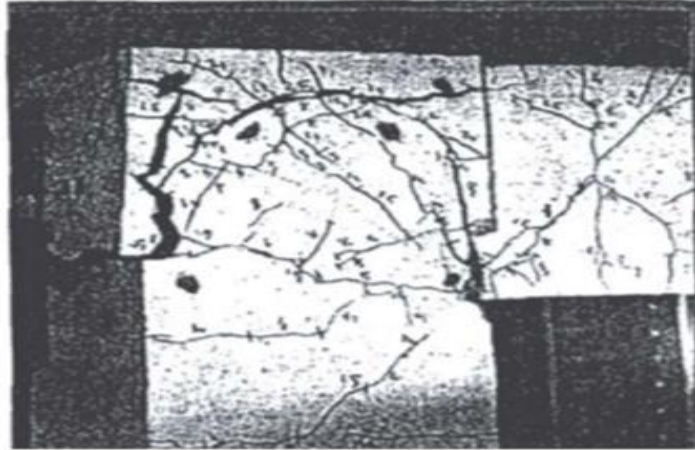
Η βλάβη αυτή είναι μια μορφή διατμητικής αστοχίας, εμφανίζεται αρκετά συχνά στις κατασκευές και είναι παρόμοια με αυτή των κοντών υποστυλωμάτων.



Εικόνα 20: Διατμητική αστοχία δοκού που συνδέει τοιχείο
(<http://www.teepelop.gr>)

2.4.4 Κόμβοι (Δοκών - Υποστρωμάτων)

Οι βλάβες σε αυτά τα σημεία της κατασκευής χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερα κρίσιμες αφού μέσω αυτών υποβαθμίζεται η ακαμψία του φέροντος οργανισμού και οδηγούμαστε στη με ελεγχόμενη ανακατανομή των τάσεων. Από τις πρώτες εκδηλώσεις αυτού του είδους των βλαβών πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την επιδιόρθωση τους καθώς κρίνονται βλάβες άμεσης αντιμετώπισης.



Εικόνα 21: Βλάβη σε ακραίο κόμβο
(<http://www.episkevesold.civil.upatras.gr>)

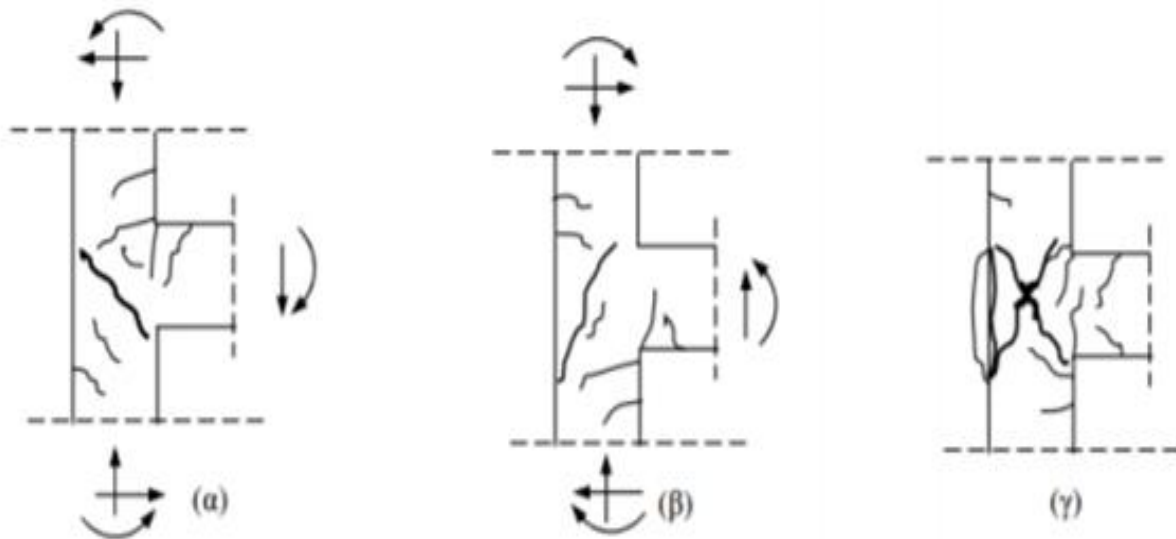
Μετά από έναν ισχυρό σεισμό είναι αποδεδειγμένο και αναμενόμενο να παρουσιαστούν σοβαρές βλάβες στους κόμβους δοκών-υποστρωμάτων, ιδιαίτερα στους εξωτερικούς κόμβους. Τα σημεία κόμβων σε μία κατασκευή είναι τα πιο ευπαθή σε μια υφιστάμενη κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Οι βλάβες στους κόμβους δοκών-υποστρωμάτων θεωρούνται πολύ σοβαρές και καθιστούν ανησυχητικές, όσον αφορά την ευστάθεια μιας κατασκευής. Ο λόγος της σοβαρότητας αυτών των βλαβών πηγάζει στο γεγονός ότι υποβαθμίζουν την ακαμψία των φερόντων στοιχείων και οδηγεί σε μεγάλες ανακατανομές των φορτίσεων. Από το πρωταρχικό στάδιο εμφάνισης των βλαβών τέτοιου τύπου, δηλαδή από την εμφάνιση των πρώτων ρωγμών πρέπει να λαμβάνονται μέτρα αποκατάστασης τους.

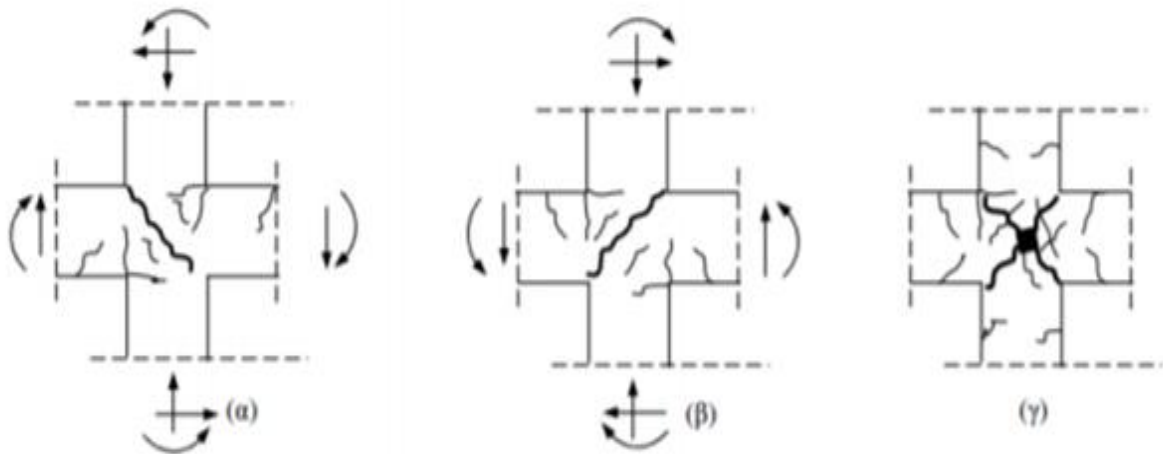


Εικόνα 22: Βλάβη σε μεσαίο κόμβο (<http://library.tee.gr>)

Έστω και στην περίπτωση όπου παρατηρούνται ρωγμές πολύ μικρού εύρους η κατάσταση κρίνεται επικίνδυνη σε σύγκριση με τα επιμέρους δομικά στοιχεία τα οποία παρουσιάζουν την ίδια κατάσταση βλαβών. (Αρμπιρος 2001)



Εικόνα 23: Βλάβες σε ακραίους κόμβους (<https://docplayer.gr>)



Εικόνα 24: Βλάβες σε μεσαίους κόμβους (<https://docplayer.gr>)

Τα πιο πάνω σχήματα, παρουσιάζουν τις βλάβες σε ακραίους και μεσαίους κόμβους πλαισίων. Το σημείο (α) παρουσιάζει την σύνθλιψη της κάτω παρειάς της δοκού ενώ το σημείο (β) της άνω παρειάς, αντίστοιχα το σημείο (γ) στα σχήματα παρουσιάζει την αποδιοργάνωση τη κόμβου από ανακυλιζόμενη φόρτιση. Οι ρηγματώσεις των σημείων (α) και (β) κατατάσσονται βαθμού βλάβης Γ, ενώ αντίστοιχα το σημείο (γ) βαθμός βλάβης Δ. Η ευπάθεια των κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων έναντι σε έναν ισχυρό σεισμό οφείλονται κυρίως στην αυξημένη διατμητική ένταση που αναπτύσσεται σ' αυτούς, καθώς και στο ότι πρακτικά η περιοχή των κόμβων σε μια κατασκευή είναι συχνά περιοχές κακής σκυροδέτησης λόγω της ύπαρξης πυκνού οπλισμού. Σημαντικό είναι επίσης να τονισθεί ότι ο σχεδιασμός κόμβων όσον αφορά τις υφιστάμενες κατασκευές δεν αποτελούσε αντικείμενο μελέτης για τις τοπικές εντάσεις που αναπτύσσονται. (Δρίτσος 2005)

2.4.4.1 Αίτια ρηγμάτωσης των κόμβων

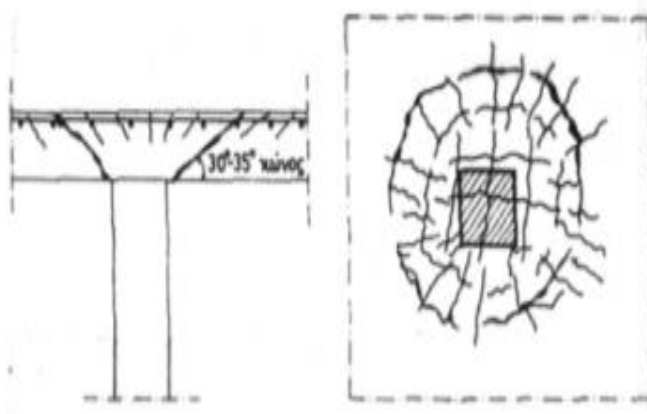
Τα αίτια των βλαβών σε αυτά τα σημεία οφείλονται κυρίως σε:

1. Ελλιπής σχεδιασμός κόμβων λόγω μη ύπαρξης των παλαιών κανονισμών.
2. Κακή τοποθέτηση σκυροδέματος και κακή συμύκνωση του εξαιτίας της τοποθεσίας των κόμβων (ανάμεσα σε πολλούς οπλισμούς)

3. Ελάχιστος αριθμός συνδετήρων με συνέπεια την αποφλοιώση του σκυροδέματος, τη διατμητική αστοχία και τον λυγισμό των διαμηκών ράβδων
4. Ανεπαρκές μήκος αγκύρωσης των διαμηκών ράβδων δοκών έχοντας ως συνέπεια να χάνεται η πρόσφυση, με επακόλουθο την μείωση αντοχής και δυσκαμψίας του φορέα στα σημεία αυτά
5. Μη επαρκές μήκος αγκύρωσης και μήκος μάτισης διαμήκων ράβδων υποστυλωμάτων προκαλώντας ολίσθηση ραβδών και υποστυλωμάτων καθώς επίσης εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα του υποστυλώματος
6. Επέκταση ρωγμών από την τοιχοποιία στους κόμβους λόγω δυσμενών τοπικών δράσεων στον κόμβο

2.4.5 Πλάκες

Οι βλάβες σε πλάκες, και γενικά οριζόντιων επιφανειακών στοιχείων μιας κατασκευής είναι δευτερεύουσας σημασίας, αφού δεν επηρεάζει την ευστάθεια της κατασκευής. Ωστόσο οι πλάκες είναι στοιχεία τα οποία ουσιαστικά δεν επηρεάζονται από τις σεισμικές δράσεις. Οι βλάβες που παρουσιάζονται στις πλάκες είναι συνήθως κατ' επέκταση των βλαβών στα επιμέρους δομικά στοιχεία.



Εικόνα 25: Βλάβη πλάκας λόγω διάτρησης
(<http://www.episkeves2.civil.upatras.gr/>)

Μετά από έναν ισχυρό σεισμό λόγω της συνεργασίας δοκών-πλακών μπορεί να παρουσιασθούν εγκάρσιες ρωγμές στη πλάκα λόγω των καμπτικών ρηγματώσεων στις στηρίξεις των δοκών. Ωστόσο μπορεί να παρουσιαστούν σοβαρότερες μορφές βλαβών

από καθιζήσεις υποστυλωμάτων, βλάβες γειτονικών δοκών και ρηγματώσεις τοιχοπληρώσεων. Επιπλέον μια σοβαρή μορφή βλάβης σε πλάκες είναι η αστοχία της πλάκας από διάτρηση, όταν αυτή εδράζεται απευθείας σε υποστυλώματα χωρίς την συμβολή των δοκών. Συνήθως η διάταξη αυτή των δομικών στοιχείων αποφεύγεται στις νέες αντισεισμικές κατασκευές. (Δρίτσος 2005)

Οι βλάβες που παρατηρούμε στους προβόλους χαρακτηρίζονται ως κρίσιμα στοιχεία και κρίνεται αναγκαίο να μελετηθούν. Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε ρηγματώσεις με διεύθυνση κάθετη με τον κύριο οπλισμό. Ο λόγος υπάρξης αυτών βασίζεται στο μειωμένο στατικό ύψος που δημιουργείται πριν τη σκυροδέτηση, όταν τοποθετείται ο οπλισμός. Η επέκταση αυτών γίνεται κυρίως στην επικάλυψη του σκυροδέματος αλλά λόγω του μεγάλου πάχους τους γίνονται εύκολα αντιληπτές. Ο Μηχανικός σε αυτή την περίπτωση πρέπει να είναι σε θέση να προσδιορίσει την υπάρχουσα αντοχή του προβόλου ώστε να λάβει τα κατάλληλα μέτρα ενίσχυσης όπου προκύψει ανεπάρκεια. Άμεσα μέτρα επέμβασης απαιτούνται όταν παρατηρηθεί βάθος ρωγμών μεγαλύτερο από το πάχος της επικάλυψης γιατί υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να διαρρεύσει ο εφελκόμενος χάλυβας. (Δρίτσος 2005)

2.4.5.1 Τύποι Ρωγμών στις πλάκες

Οι πιο συνήθεις τύποι ρωγμών που παρουσιάζονται στις πλάκες είναι οι εξής :

1. Ρήγματα παράλληλα ή κάθετα προς τους οπλισμούς σε τυχαίες θέσεις.

Τέτοιου είδους ρωγμής οφείλεται συνήθως στη διεύρυνση των τριχοειδών ρηγμάτων που προϋπήρχαν στο σκυρόδεμα από καμπτική λειτουργία, είτε από θερμοκρασιακές μεταβολές ή συρρίκνωση και έγιναν εμφανή λόγω σεισμού. Σπανιότερα οφείλονται σε καθιζήσεις στύλων, τότε όμως θα έχουμε ρηγματώση και των γύρω δοκών, τοίχων πληρώσεως.

2. Ρήγματα σε κρίσιμες διατομές μεγάλων ανοιγμάτων ή μεγάλων προβόλων κάθετα προς τους κύριους οπλισμούς.

Αυτού του τύπου ρωγμής στην πλάκα οφείλεται κυρίως στην κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού.

3. Ρήγματα σε περιοχές ανωμαλιών κατόψεων όπως στις γωνίες μεγάλων οπών (φωταγωγού, ανοίγματος εσωτερικών κλιμακοστασίων κ.λ.π.).

Όπως και προηγουμένος αυτού του τύπου ρωγμής οφείλεται κυρίως στην κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού.

4. Ρήγματα σε σημεία συγκεντρώσεως μεγάλων σεισμικών δυνάμεων στις ζώνες συνδέσεως των πλακών με τοιχεία ή με υποστυλώματα χωρίς δοκούς.

Τελος, αυτό το είδος ρωγμής συσχετίζεται άμεσα με αστοχία που επεκτείνεται από την ανακυκλιζόμενη καμπτική επιπόνηση λόγω σεισμου.

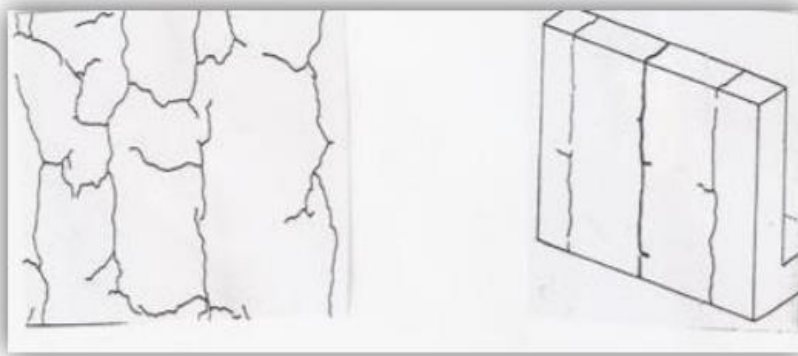
2.4.6 Οργανισμός Πληρώσεως

Ο οργανισμός πλήρώσεως είναι κατασκευασμένος από υλικά που έχουν μικρότερη αντοχή και παραμορφωσιμότητα από ό,τι ο σκελετός, οπότε είναι ο πρώτος που αστοχεί.

2.5 Ρωγμές ως επακόλουθο μη εξωτερικών φορτίσεων

2.5.1 Συστολή ξύρανης του σκυροδέματος

Όπως είναι γνωστό, ο κορεσμένος με νερό τσιμεντοπολτός σε συνθήκες υγρασίας υφίσταται απώλεια νερού και συστέλλεται επιφέροντας την πρόκληση ρηγματώσεων, οι οποίες αποτελούν μέσο για να περάσουν τόσο το διοξείδιο του άνθρακα όσο και τα χλωριόντα στον οπλισμό επιταχύνοντας τη διαδικασία της διάβρωσης. (Καλλιανώτης 2009)



Εικόνα 26: Πιθανές μορφές ρηγμάτωσης λόγω συστολής ξήρανης
(<https://e-archimedes.gr/faq/item/28->)

Ο περιορισμός της πρώιμης συστολής ξήρανης και κατ' επέκταση της ρηγμάτωσης του σκυροδέματος μπορεί να προληφθεί με την λήψη κατάλληλων μέτρων όπως είναι η

χρήση ανεμοφρακτών, στεγάστρων, χημικών συνθέσεων περιορισμού της εξάτμισης καθώς και χρήση ψεκασμού σε συνδυασμό με την εφαρμογή υλικού δημιουργίας μεμβράνης προστασίας αμέσως μετά την ολοκλήρωση των εργασιών επεξεργασίας της επιφανείας. (Αναγνωστόπουλος 2001)

Η συστολή ξήρανσης προέρχεται από λανθασμένη ανάμιξη αδρανών με τσιμεντοπολτό. Όταν το σκυρόδεμα έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε τσιμεντοπολτό συρρικνώνεται και ενδεχομένως να εμφανίσει θραύση. Η συρρίκνωση προέρχεται λόγω της εξάτμισης του νερού από τον κορεσμένο τσιμεντοπολτό. Συστολή μπορεί επίσης να προκληθεί λόγω ενυδάτωσης του τσιμέντου σε τελείως κλειστό χώρο ή κορεσμένο με υδρατμούς περιβάλλον η οποία οδηγεί στη μείωση του όγκου του τσιμεντοπολτού, μέσω χημικής ή αυτογενούς συρρίκνωσης. (Αναγνωστόπουλος 2001)

2.5.2 Διάβρωση των ράβδων οπλισμού του σκυροδέματος

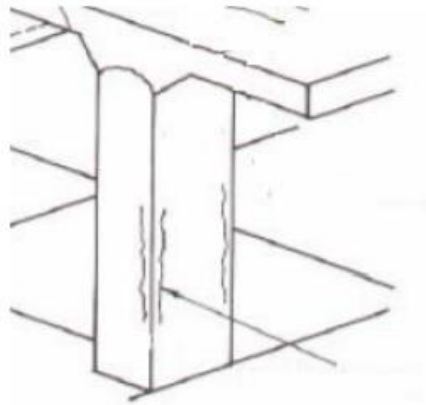
Η διάβρωση ορίζεται ως το φαινόμενο κατά το οποίο πραγματοποιούνται χημικές αντιδράσεις οι οποίες αλλάζουν την χημική σύσταση του οπλισμού του σκυροδέματος. Αυτό έχει ως επακόλουθο τη μείωση, σε μεγάλο βαθμό της αντοχής και της λειτουργικότητας της κατασκευής.



Εικόνα 27: Διάβρωση οπλισμού υποστυλωμάτων

(www.michanikos.gr)

Οι παράγοντες που τείνουν να μεγεθύνουν το φαινόμενο αυτό είναι διάφοροι, άλλοτε είναι φυσικοί (κλιματολογικές συνθήκες περιβάλλοντος), και άλλοτε εξωγενείς (κακός σχεδιασμός). Οι κυριότερες αιτίες είναι η ενανθράκωση και η διείσδυση χλωριόντων στον οπλισμό. Οι δύο αυτές διαδικασίες δεν είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, καθώς η πρώτη επηρεάζει άμεσα τη δεύτερη. (Κατσένιου, 2006 ; Ξάνθης 2004).



Εικόνα 28: Διάβρωση λόγω εμφάνισης παράλληλων ρωγμών στον κύριο οπλισμό

(<http://www.episkeves2.civil.upatras.gr>)

Η διάβρωση των ράβδων οπλισμού σκυροδέματος συνήθως είναι επακόλουθο της μικρής επικάλυψης με σκυρόδεμα, της κακής ποιότητας του σκυροδέματος, του πορώδες στη μάζα σκυροδέματος. Οφείλεται κυρίως στη μικρή επικάλυψη με σκυρόδεμα, στην κακή ποιότητα του σκυροδέματος και στο πορώδες της μάζας του σκυροδέματος.



Εικόνα 29: Ομοιόμορφη διάβρωση (<http://www.episkeves2.civil.upatras.gr>)



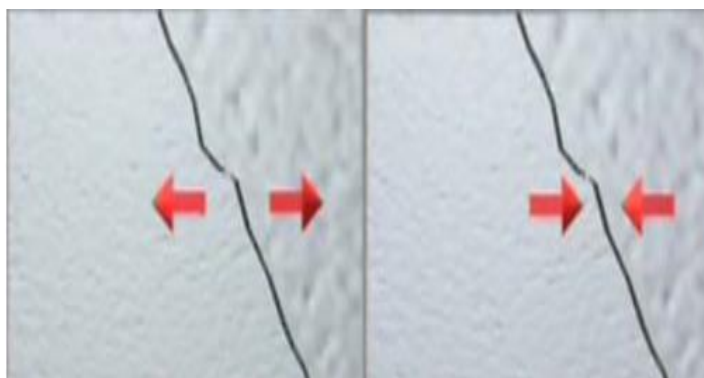
Εικόνα 30: Τοπική διάβρωση (<http://www.episkeves2.civil.upatras.gr>)

2.5.3 Ελλιπής οπλισμός

Όταν σε μια υφιστάμενη κατασκευή ο υπάρχων οπλισμός είναι λιγότερος από ότι θα έπρεπε παρατηρούνται ρωγμές λόγω υπέρβασης της αντοχής του μέλους. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να προκληθούν προβλήματα στη δομική συμπεριφορά του μέλους με την επισκευή της υφιστάμενης κατασκευής, διότι είναι πρακτικά αδύνατον να αυξηθεί περαιτέρω η ροπή αντοχής της διατομής. (Καλλιανιώτης, Σταθάς 2009)

2.5.4 Θερμοκρασιακές μεταβολές

Οι ρηγματώσεις και οι βλάβες που παρουσιάζονται λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών τις πλείστες περιπτώσεις πρόκειται για ρωγμές οι οποίες είναι ακίνδυνες και επισκευάζονται κυρίως για αισθητικούς λόγους.



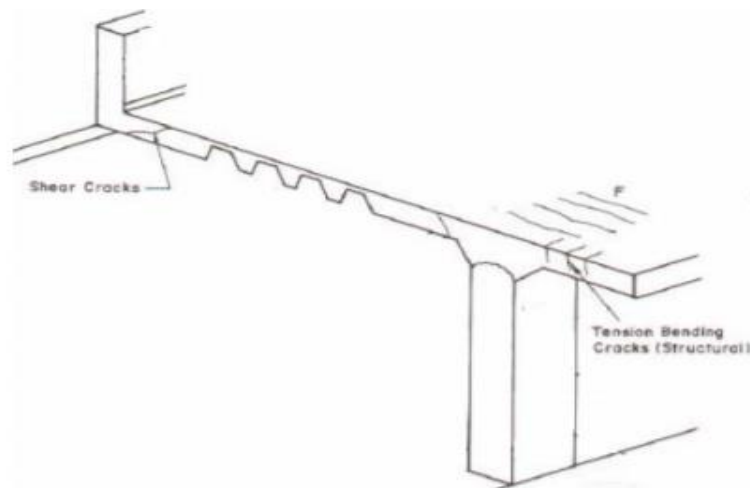
Εικόνα 31: Εμφάνιση ρωγμών λόγω ανάπτυξης τάσεων άρα και παραμορφώσεων εξαιτίας θερμοκρασιακών μεταβολών(<http://5a.arch.ntua.gr>)

Συνήθως σε κατασκευές μεγάλου μεγέθους, με την αύξηση της θερμοκρασίας του σκυροδέματος κατά την ενυδάτωση του τσιμεντοπολτού (λίγες ημέρες μετά τη σκυροδέτηση) προκαλείται ανάπτυξη εφελκυστικών παραμορφώσεων και ρηγμάτωση λόγω διαφοράς θερμοκρασίας των εξωτερικών επιφανειών (ψυχρότερες) με το εσωτερικό (θερμότερο) των στοιχείων.

Το μέγεθος των εφελκυστικών παραμορφώσεων και τάσεων που πιθανόν να οδηγήσουν σε ρηγμάτωση εξαρτάται από το βαθμό περιορισμού των παραμορφώσεων της κατασκευής, το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος, το συντελεστή θερμικής διαστολής, την αύξηση της θερμοκρασίας λόγω ενυδάτωσης και τη χαλάρωση των τάσεων λόγω ερπυσμού. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος περιορισμού τάσεων είναι ο περιορισμός της θερμοκρασιακής μεταβολής που επιτυγχάνεται με πρόψυξη του σκυροδέματος με κρύα αδρανή κατά τη σκυροδέτηση, καθώς επίσης και με μερική αποκατάσταση του τσιμέντου με ποζολάνες.

2.5.5 Αυξημένα εξωτερικά φορτία

Μια υφιστάμενη κατασκευή οδηγείται σε ρηγμάτωση όταν παρατηρηθούν αυξημένα εξωτερικά φορτία από αυτά που προβλέπονται.



Εικόνα 32: Εμφάνιση ρωγμών λόγω φόρτισης, διατμητικές αριστερά και καμπτικές δεξιά
(<http://www.episkevesold.civil.upatras.gr>)

2.5.6 Μη επαρκής συνάφεια χάλυβα - σκυροδέματος

Σε αυτή την περίπτωση ο αριθμός των ρηγματώσεων που παρουσιάζονται στο σκυρόδεμα είναι συνήθως αρκετά μικρός όμως είναι ρωγμές μεγάλου πλάτους στην περιοχή απώλειας της συνάφειας, συνήθως στις παρειές.

2.5.7 Ανεπαρκής διάρκεια συντήρησης του σκυροδέματος και τελείωμα

Αυτού του τύπου παρουσίασης ρωγμών είναι συνήθως τριχοειδείς ρωγμές μικρού μήκους και πολύ μικρού βάθους (περίπου 1 mm) στην επιφανειακή στρώση του σκυροδέματος. Παρουσιάζονται στο σκυρόδεμα αρκετές εβδομάδες μετά τη σκυροδέτηση στην περίπτωση όπου η εξωτερική επιφάνεια του σκυροδέματος είναι πλουσιότερη σε νερό από το εσωτερικό της. Το φαινόμενο γίνεται εμφανέστερο στην περίπτωση όπου η επιφάνεια έχει διαβραχεί. (Νικόλαος, Καλλιανώτης 2009)

2.5.8 Επιρροή χρόνου και ελλιπής συντήρηση

Με την πάροδο του χρόνου το σκυρόδεμα αντιμετωπίζει προβλήματα λόγω του γεγονότος ότι είναι μεταποιημένο υλικό. Αυτό σημαίνει ότι περιέχει μια περίσσια ενέργεια ως προς την αρχική του κατάσταση (ως αδρανή φυσικά υλικά) την οποία τείνει να ισορροπήσει με το περιβάλλον. Έτσι, όσο καλά προστατευμένο και να είναι ένα σκυρόδεμα από διαβρωτικούς παράγοντες, με την πάροδο του χρόνου και με αργούς ρυθμούς θα χάσει σιγά – σιγά τις αντοχές του και θα διαλυθεί.

Ο μέγιστος χρόνος ζωής ενός σκυροδέματος θεωρείται πως είναι τα 100 έτη. Πιο αυστηρές θεωρήσεις αναφέρουν πως ο χρόνος αυτός είναι τα 80 και άλλες τα 60 έτη. (Ζέρης 2014)

Έμεις, ως μηχανικοί σχεδιάζουμε ένα κτίριο για 50 χρόνια ζωής, όμως αυτό για να είναι εντάξει απέναντι στο χρόνο θα πρέπει ο ιδιοκτήτης του κτιρίου να κάνει τις ανάλογες συντηρήσεις. Κύρια προϋπόθεση για να διατηρηθεί μια κατασκευή υγιείς θα πρέπει να είναι η σταδιακή και συστηματική συντήρηση της όποτε κρίνεται αναγκαίο, διαφορετικά η κατασκευή όχι μόνο θα ρηγματωθεί (αναπόφευκτο κομμάτι) αλλά και θα χάθει η αντοχή του σκυροδέματος μας και γενικότερα όλης της κατασκευής μας σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

2.5.9 Πλαστική συστολή και πλαστική κάθιση

Το φαινόμενο της πλαστικής κάθισης παρουσιάζεται επί το πλείστον στο άνω άκρο υποστηλώματος λόγω μεγάλης εξίδρωσης και συνθηκών απότομης αρχικής ξήρανσης. Η πλαστική συστολή εμφανίζεται συνήθως σε πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος λόγω μικρής εξίδρωσης, απότομης αρχικής ξήρανσης και ύπαρξης οπλισμού κοντά στην επιφάνεια.



Εικόνα 33: Ρηγμάτωση που οφείλεται σε διάτμηση λόγω καθίζησης
(<http://5a.arch.ntua.gr>)



Εικόνα 34: Ρηγμάτωση λόγω πλαστικής συστολής
(<https://docplayer.gr>)

2.5.10 Λιγνισμός

Ο λιγνισμός δημιουργείται σε περιπτώσεις με μεγάλο λόγο καμπτικής ροπής προς διατμητικές δυνάμεις. Κάνει την εμφάνισή του γύρω από βάσεις τοίχων, σαν συμπαγές σώμα με σύνθλιψη των θλιβόμενων ζωνών στις γωνιές του τοίχου καθώς και αποκόλληση των αρμών στην εφελκυσόμενη ζώνη. (Τσώλου 2012)

2.5.11 Ενανθράκωση – Ασβεστοποίηση

Οι πιο διαδεδομένες βλάβες σκυροδέματος είναι η ενανθράκωση και η ασβεστοποίηση του σκυροδέματος που οδηγούν στη διάβρωση των οπλισμών και ρηγματώση σε διάφορους βαθμούς.



Εικόνα 35: Ενανθράκωση σκυροδέματος (<https://www.eletech.gr>)

Αρχικά, η ασβεστοποίηση αναφέρεται στην αποσάθρωση του σκυροδέματος, καθώς τα αδρανή (συστατικά του σκυροδέματος) μπορούν να χάσουν την ικανότητά τους. Η ενανθράκωση του σκυροδέματος οφείλεται στην μετατροπή του υδροξειδίου του ασβεστίου σε ανθρακικό ασβέστιο. Κατά την πήξη του τσιμέντου παράγεται υδροξείδιο του ασβεστίου Ca(OH)_2 . Εκεί οφείλεται το υψηλό αλκαλικό pH. Ο οπλισμός βρίσκεται μέσα στο αλκαλικό αυτό περιβάλλον και είναι προστατευμένος από οξείδωση. Ωστόσο με τις διεισδύουσες όξινες ουσίες μειώνεται διαρκώς το pH. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό της βροχής, συχνά και με διοξείδιο του θείου (SO_2) που βρίσκεται σε βιομηχανικές και μολυσμένες περιοχές, αφομοιώνεται

τριχοειδώς από την επιφάνεια του μπετόν με αποτέλεσμα τη βαθμιαία εξουδετέρωση της αλκαλικότητας και την αρχή της διάβρωσης των οπλισμών.



Εικόνα 36: Ασβεστοποίηση σκυροδέματος
(<https://www.skyrodema2018.g>)

Στις αστικές περιοχές που έχουν υψηλά ποσοστά διοξειδίου του άνθρακα η ενανθράκωση αποτελεί μια από τις κυριότερες αιτίες “ασθένειας” του οπλισμένου σκυροδέματος, ενώ σε παραθαλάσσιες περιοχές που συνυπάρχουν και χλωριούχες ενώσεις η συνολική δράση ενανθράκωσης και χλωριόντων επιταχύνει τη φθορά. Επίσης, η ενανθράκωση επιταχύνεται δραστικά από πόρους ή φολιές στο σκυρόδεμα ή από ανομοιογενή κακή δόνηση. Όταν οξειδωθεί ο οπλισμός παρατηρούνται λόγω της αύξησης του όγκου του, αρχικά τριχοειδείς ρωγμές στο μπετόν και στη συνέχεια αποκολλώνται τεμάχια σκυροδέματος με αποτέλεσμα να αποκαλύπτεται ο οπλισμός.

Η επισκευή υλοποιείται μετά από οπτικό έλεγχο και αξιολόγηση του μεγέθους των βλαβών, στοχεύοντας με αυτόν τον τρόπο την αναστολή της ενανθράκωσης και την αντικατάσταση του ενανθρακωμένου σκυροδέματος.

2.6 Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)

Το 2010 ολοκληρώθηκε στην Ελλάδα η σύνταξη του Κανονισμού Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ), για την επισκευή και ενίσχυση κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο κανονισμός επεμβάσεων που ισχύει στην Ελλάδα ισχύει και στην Κύπρο για το σχεδιασμό και την αποτίμηση των κατασκευών.

Πρωταρχικός σκοπός του κανονισμού επεμβάσεων είναι η θεσμοθέτηση κριτηρίων για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υφιστάμενων κτιρίων και κανόνων εφαρμογής για τον αντισεισμικό ανασχεδιασμό τους, καθώς και για τις πιθανές επεμβάσεις, επισκευές ή ενισχύσεις. Για την επίτευξη αυτού του στόχου ο κανονισμός επεμβάσεων περιέχει διατάξεις υποχρεωτικής εφαρμογής που καθορίζουν:

1. Τα κριτήρια αποτίμησης της φέρουσας ικανότητας υφιστάμενου κτιρίου
2. Τις ελάχιστες υποχρεωτικές απαιτήσεις φέρουσας ικανότητας ανασχεδιασμένων κτιρίων ή μελών τους
3. Τον ακριβή προσδιορισμό των τρόπων με τους οποίους μπορεί να γίνει η επέμβαση
4. Τη συσχέτιση του ΚΑΝ.ΕΠΕ με άλλους κανονισμούς (υλικών, φορτίσεων κ.λπ.) (Σπυράκος 2004)

Επομένως, ο κανονισμός αυτός αφορά αποκλειστικά την ενίσχυση υφιστάμενων κατασκευών. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται στην παρούσα πτυχιακή διατριβή για ενίσχυση κτιρίων είναι το 3DR STRAD το οποίο ακολουθεί τους κανονισμούς που προδιαγράφει τόσο ο Ευρωκώδικας 8-Μέρος 3, όσο και ο ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για τον υπεύθυνο μηχανικό καθώς ο ανασχεδιασμός ή η ενίσχυση ενός κτιρίου είναι μια πρόκληση γι' αυτόν. Αυτό οφείλεται στο ότι δεν σχεδιάζει ένα φορέα εκ του μηδενός στον οποίο θα δώσει τα στοιχεία που επιθυμεί αλλά επεμβαίνει σε έναν υφιστάμενο φορέα στον οποίο η οποιαδήποτε τροποποίηση δεν γνωρίζει τι αποτέλεσμα θα έχει. Επίσης σε έναν υφιστάμενο φορέα μπορεί να υπάρχουν αβεβαιότητες, από τον υπεύθυνο μηχανικό, για το κατά πόσο τα εγκεκριμένα σχέδια που υπάρχουν για το κτίσμα ανταποκρίνονται στη πραγματικότητα, για το αν χρησιμοποιήθηκαν τα υλικά που έχουν δηλωθεί κ.α. Όλες αυτές οι αβεβαιότητες περιλαμβάνονται στις στάθμες αξιοπιστίας δεδομένων. Τέλος, ο κανονισμός περιλαμβάνει και κάποιους ακόμα σημαντικούς όρους που επηρεάζουν την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας μιας κατασκευής και είναι οι στάθμες επιτελεστικότητας και οι στόχοι αποτίμησης.

2.6.1 Στάθμες Επιτελεστικότητας βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Για την εξυπηρέτηση ευρύτερων κοινωνικο-οικονομικών αναγκών, θεσπίζονται «στάθμες επιτελεστικότητας» (στοχευόμενες συμπεριφορές). Οι στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού αποτελούν συνδυασμούς αφενός μιας στάθμης επιτελεστικότητας και αφετέρου μιας σεισμικής δράσης, με δεδομένη «ανεκτή πιθανότητα υπέρβασης κατά την τεχνική διάρκεια ζωής του κτιρίου» (σεισμός σχεδιασμού). (Σπυράκος 2004)

Στάθμη επιτελεστικότητας φέροντος οργανισμού			
Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών	Άμεση χρήση μετά τον σεισμό	Προστασία ζωής	Αποφυγή οιοσεί κατάρρευσης
10%	A1	B1	Γ1
50%	A2	B2	Γ2

Εικόνα 37: Στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού φέροντος οργανισμού (<https://eclass.uniwa.gr>)

Οι στάθμες επιτελεστικότητας για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό της κατασκευής διακρίνονται με βάση το είδος και το επίπεδο των βλαβών που αναπτύσσονται στη κατασκευή, δηλαδή στο φέροντα και μη φέροντα οργανισμό, από το σεισμό σχεδιασμού και ορίζονται με βάση την οριακή γωνία στροφής χορδής ως εξής:

1. Περιορισμένες βλάβες (DL)

Σε αυτή την κατηγορία βλαβών ο φέρον οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί μόνο ελαφριές βλάβες (αραιές τριχοειδείς ρωγμές), με τα δομικά στοιχεία να μην έχουν διαρρεύσει σε σημαντικό βαθμό και να διατηρούν την αντοχή και τη δυσκαμψία τους. Αντίστοιχα, οι βλάβες στο μη φέροντα οργανισμό είναι ελάχιστες. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι αμελητέες. (Σπυράκος 2004)

2. Σημαντικές βλάβες (SD)

Στην κατηγορία αυτή, ο φέρον οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί σημαντικές και εκτεταμένες αλλά επισκευάσιμες βλάβες, ενώ τα δομικά στοιχεία διαθέτουν

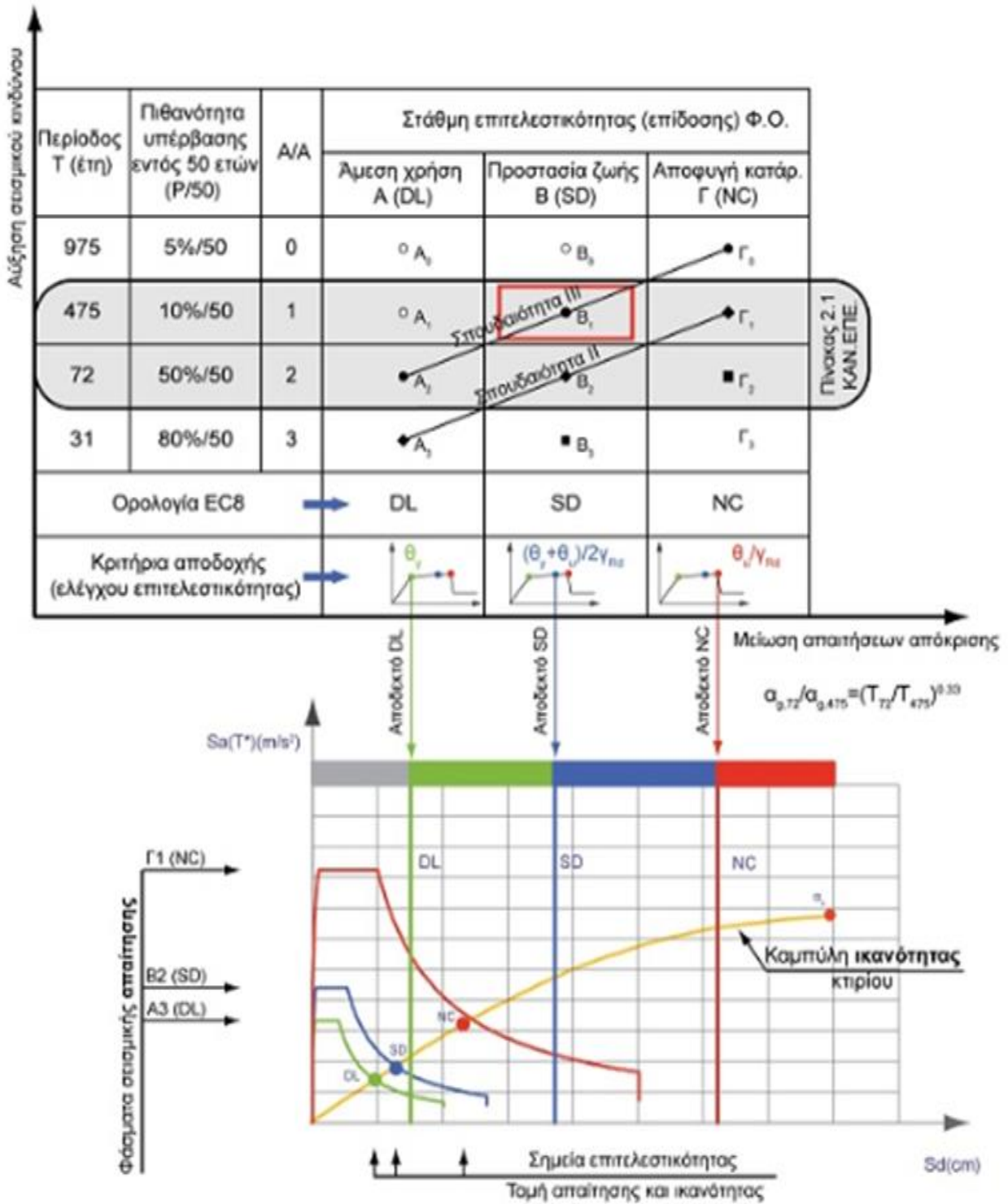
εναπομένουσα αντοχή και δυσκαμψία και είναι σε θέση να παραλάβουν τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μετρίου μεγέθους και ο φέρων οργανισμός μπορεί να αντέξει μετασεισμούς μέτριας έντασης. Αυτή η στάθμη επιτελεστικότητας επιτρέπει την εμφάνιση βλαβών στον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό καθώς και σε διακοσμητικά αρχιτεκτονικά στοιχεία και περιορισμένη πιθανότητα πτώσης μη αγκυρούμενων αντικειμένων. (Σπυράκος 2004)

3. Οικονομική κατάρρευση (NC)

Στην τρίτη και τελευταία κατηγορία βλαβών ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί εκτεταμένες και σοβαρές ή βαριές (μη επισκευάσιμες κατά πλειονότητα) βλάβες. Οι βλάβες που παρουσιάζονται θέτουν σε κίνδυνο τη σωματική ακεραιότητα των χρηστών. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μεγάλες και ο φέρων οργανισμός έχει ακόμη την ικανότητα να φέρει τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία χωρίς να διαθέτει άλλο ουσιαστικό περιθώριο ασφαλείας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης, ακόμη και για μετασεισμούς μέτριας έντασης. (Σπυράκος 2004)

Σε κάθε περίπτωση, σύμφωνα με το παράρτημα 9Α του ΚΑΝ.ΕΠΕ για τις στάθμες επιτελεστικότητας SD, NC οι δευτερεύουσες δοκοί επιτρέπεται να μην ελέγχονται.

Στην εικόνα 38 της επόμενης σελίδας παρατηρούμε συνοπτικά τις προαναφερθείσες στάθμες επιτελεστικότητας όπως αναφέρονται στο ΚΑΝ.ΕΠΕ. Στο κόκκινο πλαίσιο ορίζεται ο βασικός στόχος σχεδιασμού και αποτίμησης στον οποίο βασίζονται οι διατάξεις του EC8 και του ΕΑΚ2000. Ο στόχος αυτός είναι η προστασία ζωής των ενοίκων σε ένα σεισμικό γεγονός που έχει περίοδο επαναφοράς 10% στα 5 χρόνια. Επίσης, παρατηρούμε ότι ανάλογα με τη σπουδαιότητά της, μια υφιστάμενη κατασκευή παρουσιάζει διαφορετικούς στόχους αποτίμησης για διάφορες στάθμες επιτελεστικότητας.



Εικόνα 38: Ανεκτοί στόχοι αποτίμησης και ανασχεδιασμού υφιστάμενων κατασκευών (<http://www.lhlogismiki.gr>)

2.7 Ευρωκώδικες

Την εκπόνηση σειράς Ευρωπαϊκών Προτύπων ανάλαβε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN), με ολοκλήρωση της δημοσίευσής τους το 2006, έχοντας ως κύριο στόχο την δημιουργία ενός κοινού υποβάθρου ευρωπαϊκών κανονισμών με τους οποίους θα πρέπει όλες οι χώρες της ευρωζώνης να εναρμονίζονται και κατ' επέκταση τα έργα πολιτικής μηχανικής να σχεδιάζονται σύμφωνα με αυτούς. Συγκεκριμένα, ο υπολογισμός της στατικής επάρκειας των δομημάτων και όλων των μερών που τα απαρτίζουν, καθώς και η μηχανική αντοχή του κάθε έργου πολιτικής μηχανικής θα καθορίζεται, σύμφωνα με τους ευρωκώδικες. Επομένως, με την εφαρμογή των Ευρωκωδικών στην Ευρωπαϊκή Ένωση, όλοι οι μέχρι τώρα εθνικοί κανονισμοί του κάθε κράτους-μέλους της Ευρωπαϊκής Ένωσης αντικαταστήθηκαν με αυτούς. (Χριστοδούλου 2012)

Κάθε ευρωκώδικας αποτελείται από δύο μέρη, το βασικό κείμενο ,το οποίο είναι ίδιο για όλες τις χώρες και το Εθνικό Προσάρτημα που εκδίδεται από την κάθε χώρα και καθορίζει τις «Εθνικά Προσδιορισμένες Παραμέτρους» της κάθε χώρας. Επιπρόσθετα, οι ευρωκώδικες απαρτίζονται από 10 κύρια Ευρωπαϊκά πρότυπα, και υποδιαιρούνται σε 58 μέρη τα οποία συμπεριλαμβάνουν όλους τους τρόπους δόμησης (σκυρόδεμα, χάλυβα, ξύλινες κατασκευές, τοιχοποιία και αλουμίνιο). Πιο κάτω υποδεικνύονται εκτεταμένα όλα τα μέρη των Ευρωκωδικών: (Χριστοδούλου 2012)

1. EN 1990 Ευρωκώδικας 0: Βάσεις Σχεδιασμού (1 Μέρος)
2. EN 1991 Ευρωκώδικας 1: Δράσεις στους φορείς (10 Μέρη)
3. EN 1992 Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός Φορέων από Σκυρόδεμα (4 Μέρη)
4. EN 1993 Ευρωκώδικας 3: Σχεδιασμός Φορέων από Χάλυβα (20 Μέρη)
5. EN 1994 Ευρωκώδικας 4: Σχεδιασμός Σύμμεικτων Φορέων από Χάλυβα και Σκυρόδεμα (3 Μέρη)
6. EN 1995 Ευρωκώδικας 5: Σχεδιασμός Ξύλινων Φορέων (3 Μέρη)
7. EN 1996 Ευρωκώδικας 6: Σχεδιασμός Φορέων από Τοιχοποιία (5 Μέρη)
8. EN 1997 Ευρωκώδικας 7: Γεωτεχνικός Σχεδιασμός (3 Μέρη)
9. EN 1998 Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός Σχεδιασμός (6 Μέρη)
10. EN 1999 Ευρωκώδικας 9: Σχεδιασμός Φορέων από Αλουμίνιο (3 Μέρη)

2.7.1 Ευρωκώδικας 8 (EN 1998) - Αντισεισμικός Σχεδιασμός

Ο Ευρωκώδικας 8 (EN 1998) έχει ως θέμα τον αντισεισμικό σχεδιασμό, και όπως μπορεί να αντιληφτεί κανείς, εφαρμόζεται στο σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων και διαφόρων άλλων έργων πολιτικής μηχανικής σε σειсмоγενείς περιοχές. Ο κύριος σκοπός του ευρωκώδικα, είναι να προσφέρει σιγουριά στο ότι σε περίπτωση σεισμού θα προστατευτούν οι ανθρώπινες ζωές. Επιπρόσθετα, συμπεριλαμβάνονται διατάξεις τις οποίες εφαρμόζοντάς τις, εξασφαλίζετε ότι δομήματα που είναι σημαντικά για την κοινωνία, όπως νοσοκομεία και σχολεία, θα είναι λειτουργήσιμα μετά το σεισμό (δεν συμπεριλαμβάνονται ειδικές κατασκευές, όπως πυρηνικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, παράκτιες κατασκευές και μεγάλα φράγματα). (Χριστοδούλου 2012)

Ο Ευρωκώδικας 8 χωρίζεται περαιτέρω σε 10 διαφορετικά μέρη, συμπληρώνοντας ουσιαστικά, άλλους κώδικες τους οποίους χρησιμοποιεί ο μηχανικός για το σχεδιασμό μιας κατασκευής.

Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής διατριβής, θα αναφερθούμε στο 3^ο μέρος του ευρωκώδικα, το οποίο αναφέρεται στην αποτίμηση και ανακαίνιση κτιρίων. Συγκεκριμένα, το Μέρος 3 του Ευρωκώδικα 8 είναι εφαρμόσιμο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της σεισμικής επάρκειας και ενίσχυσης κτιρίων. Ειδική αναφορά γίνεται στο δεύτερο μέρος της πτυχιακής, στο οποίο παρουσιάζεται η εφαρμογή των διατάξεων του κώδικα για την αποτίμηση της αντοχής και την ενίσχυση υφιστάμενου κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα στα πλαίσια του προγράμματος 3DR.STRAD.

3 Χρησιμότητα ελέγχων διάγνωσης βλαβών

Το σημαντικό σε περίπτωση όπου μια υφιστάμενη κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα υποστεί βλάβες στα επιμέρους δομικά της στοιχεία είναι να καθοριστούν και να αντιμετωπιστούν οι αβεβαιότητες ως προς τη φέρουσα ικανότητά της. Η φέρουσα ικανότητα μιας κατασκευής σε τέτοια περίπτωση καθορίζεται από την απομένουσα φέρουσα ικανότητα της στάθμης της κατασκευής που εμφανίζει τις περισσότερες βλάβες.

Η διάγνωση των βλαβών και της κατάστασης μια υφιστάμενης κατασκευής δύσκολα προσδιορίζεται μόνο από οπτικό έλεγχο, είναι συνήθως απαραίτητοι οι πειραματικοί έλεγχοι διάγνωσης βλαβών. Οι πειραματικοί αυτοί έλεγχοι έχουν τη δυνατότητα να δώσουν μια πλήρη εικόνα της συνολικής κατάστασης και της σοβαρότητας των βλαβών. Η χρησιμότητα των ελέγχων αυτών και οι πληροφορίες που προκύπτουν όσον αφορά την κατασκευή, κατά κανόνα έχουν σημαντική επίδραση στην επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου ενίσχυσης.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω είναι σημαντικό να γίνεται η διάγνωση όλων των βλαβών που προκύπτουν σε μια κατασκευή, ώστε να γίνεται η εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής και η επίδραση των βλαβών σε αυτή. (Σπυράκος 2004)

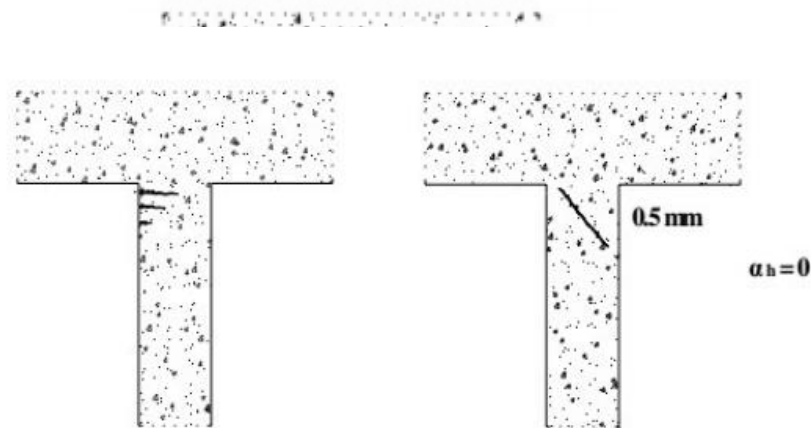
3.1 Τυπικοί βαθμοί βλάβης δομικών στοιχείων

Ο βαθμός βλάβης που έχει υποστεί ένα δομικό στοιχείο κατά τη διάρκεια μιας σεισμικής δράσης, επηρεάζει άμεσα την επιλογή στρατηγικής επέμβασης. Η σχέση μεταξύ τους καθορίζεται από την απομένουσα φέρουσα ικανότητα του δομικού στοιχείου, όσο και από τα διαθέσιμα περιθώρια ασφαλείας. (Σπυράκος 2004)

Οι βλάβες στα δομικά στοιχεία διακρίνονται σε τέσσερις τυπικούς βαθμούς όπως φαίνονται πιο κάτω:

1. Βαθμός βλάβης Α,Β

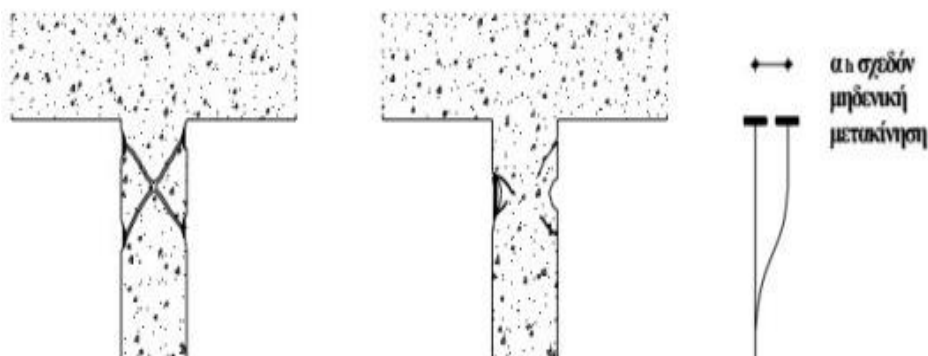
Ο βαθμός βλάβης A και B υποδηλώνει απλή ρηγμάτωση. Στην περίπτωση αυτή, το δομικό στοιχείο παρουσιάζει μεμονωμένες οριζόντιες ρωγμές εύρους 1-2 mm, λόγω δευτερευόντων αιτιών και τοπικών αδυναμιών, είτε πολλές ρωγμές λόγω κάμψης ή μεμονωμένες λοξές ρωγμές λόγω διάτμησης εύρους 0,5 mm. Οι πιο πάνω βλάβες χαρακτηρίζονται ελαφρές εφόσον δεν παρατηρούνται μεγάλες μετακινήσεις στην κατασκευή.



Εικόνα 40: Τυπικός βαθμός βλάβης Β (<https://pithos.oceanos.grnet.gr>)

2. Βαθμός βλάβης Γ

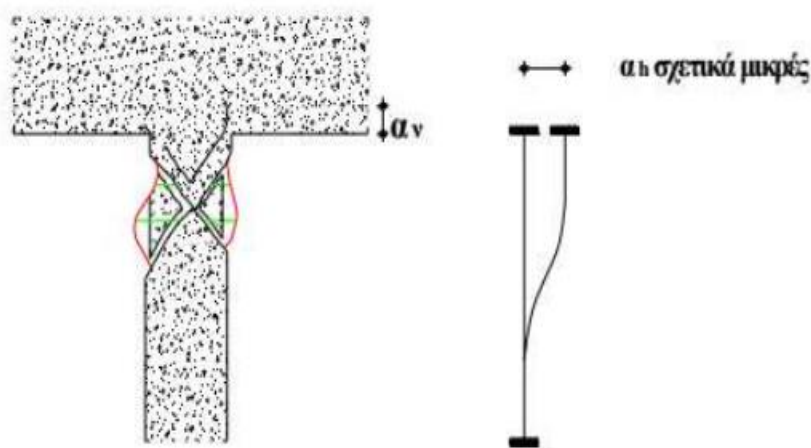
Ο βαθμός βλάβης Γ υποδηλώνει μερική αποδιοργάνωση. Στο σκυρόδεμα παρατηρούνται χιαστί λοξές διατμητικές ρωγμές ή έντονη τοπική σύνθλιψη, καθώς και τοπική αποδιοργάνωση. Οι παραμένουσες παραμορφώσεις είναι μικρές, παρ' όλα αυτά οι βλάβες αυτού του βαθμού θεωρούνται σοβαρές.



Εικόνα 41: Τυπικός βαθμός βλάβης Γ (<https://pithos.oceanos.grnet.gr>)

3. Βαθμός βλάβης Δ

Ο βαθμός βλάβης Δ υποδηλώνει διακοπή συνέχειας από πλήρη αποδιοργάνωση σκυροδέματος ή βλάβη οπλισμών. Συγκεκριμένα, παρατηρείται στην περιοχή βλάβης η πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος, ο λυγισμός των διαμηκών οπλισμών και η διαρροή ή θραύση των συνδετήρων. Ωστόσο δημιουργείται ασυνέχεια στην περιοχή, χωρίς όμως να προκληθεί κατάρρευση. Οι βλάβες αυτές χαρακτηρίζονται βαριές και είναι η δυσμενέστερη κατηγορία πριν την κατάρρευση του δομικού στοιχείου. Παρ' όλα αυτά οι εναπομένουσες μετακινήσεις και παραμορφώσεις, ιδιαίτερα οι κατακόρυφες, είναι σχετικά μικρές.



Εικόνα 42: Βαθμός βλάβης Δ (<https://pithos.okeanos.grnet.gr>)

4. Βαθμός βλάβης Ε

Οι βλάβες σε αυτό το βαθμό, περιγράφουν την κατάρρευση του δομικού στοιχείου. Ωστόσο, η αποτίμηση μιας κατασκευής με βάση τους βαθμούς βλάβης εκτελείται σε συντηρητικά επίπεδα. Συγκεκριμένα, για ένα στοιχείο το οποίο πλήρη τα χαρακτηριστικά μιας κατηγορίας βλαβών, λαμβάνεται ο βαθμός βλάβης αυξημένος κατά μια κατηγορία.

3.1.1 Παραδείγματα βαθμών βλάβης σε υφιστάμενες κατασκευές

Το κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα που φαίνεται στην εικόνα 43, έχει υποστεί ρωγμές σε υποστυλώματα και σε τοίχους πλήρωσης με αποκόλληση τμημάτων επιχρίσματος. Σε μερικές περιπτώσεις υπάρχει μερική αστοχία των τοίχων πλήρωσης από οπτοπλινθοδομή. Η δομική βλάβη (στα υποστυλώματα) είναι μέτρια, και η μη δομική βλάβη (στους τοίχους πλήρωσης) είναι βαρεία, καθιστώντας τη βλάβη βαθμού Γ.



Εικόνα 43: Γ βαθμός βλάβης σε κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα
(<https://eclass.uoa.gr>)

Η υφιστάμενη κατασκευή με άοπλη τοιχοποιία και πλάκες από οπλισμένο σκυρόδεμα που φαίνεται στην εικόνα 44 υπέστη επίσης βλάβη βαθμού Γ. Οι ρωγμές στον εξωτερικό τοίχο είναι μεγάλες και εκτεταμένες αλλά δεν διεισδύουν όλες σ'όλο το πάχος του τοίχου.



Εικόνα 44: Γ βαθμός βλάβης σε άοπλη τοιχοποιία (<https://eclass.uoa.gr>)

Πιο κάτω, στην εικόνα 45 παρουσιάζεται μια κατασκευή, η οποία όπως και προηγούμενος είναι άοπλης τοιχοποιίας, με πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος. Οι μεγάλες διαγώνιες ρωγμές στους τοίχους και η μερική απώλεια σύνδεσης μεταξύ των εξωτερικών τοίχων είναι ένδειξη βαρειάς δομικής βλάβης. Αυτή είναι βλάβη Δ βαθμού.



Εικόνα 45: Δ βαθμός βλάβης σε άοπλη τοιχοποιία (<https://eclass.uoa.gr>)

Στην εικόνα 46 προφανώς παρουσιάζονται πολύ βαρειές δομικές βλάβες και σχεδόν ολοκληρωτική κατάρρευση, και επομένως βλάβες βαθμού Ε. Ο σκελετός οπλισμένου σκυροδέματος που περιλάμβανε ένα ορισμένο επίπεδο αντισεισμικού σχεδιασμού επηρεάστηκε δυσμενώς από την ανεπαρκή σύνδεση μεταξύ δοκών και υποστυλωμάτων. Αυτός ο κτιριακός τύπος είναι τυπικό παράδειγμα όπου κανείς θα έπρεπε να αποδώσει χαμηλή κατηγορία τρωτότητας.



Εικόνα 46: Ε βαθμός βλάβης σε κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα
(<https://eclass.uoa.gr>)

Επιπρόσθετα, στην εικόνα 47 παρουσιάζεται μια κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα. Πολλοί εξωτερικοί τοίχοι πλήρωσης έχουν αστοχήσει πλήρως, και αυτό αποτελεί πολύ βαρεία δομική βλάβη. Σε μερικές περιπτώσεις υπάρχουν βαρείες βλάβες στους αρμούς δοκαριών-υποστυλωμάτων. Αυτές είναι βλάβες Δ βαθμού.



Εικόνα 47: Δ βαθμός βλάβης σε κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα
(<https://eclass.uoa.gr>)

Η εικόνα 48 αποικονίζει ένα κτίριο με σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το μεσαίο τμήμα αυτού του κτιρίου έχει καταρρεύσει πλήρως, καθιστώντας τη βλάβη βαθμού Ε.



Εικόνα 48: Ε βαθμός βλάβης σε κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα
(<https://eclass.uoa.gr>)

Τέλος, το κτίριο που φαίνεται στην εικόνα 49 υπέστη μέτριες δομικές βλάβες σ' όλο του το ύψος. Οι ρωγμές επικεντρώνονται στα ασθενή κατακόρυφα στοιχεία χαμηλού ύψους της εξωτερικής όψης. Η ακεραιότητα του συνόλου δεν έχει προσβληθεί. Ο βαθμός βλαβών είναι τύπου Γ.



Εικόνα 49: Γ βαθμός βλάβης σε κτίριο με τοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα
(<https://eclass.uoa.gr>)

3.2 Μέθοδοι διάγνωσης βλαβών

Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται αναφορικά οι μέθοδοι διάγνωσης των βλαβών, οι οποίες συμπεριλαμβάνουν τις κατάλληλες ενόργανες μεθόδους διάγνωσης των βλαβών σε συνδιασμό με την οπτική αξιολόγηση της κατασκευής. Το στάδιο αυτό είναι σημαντικό για την εξαγωγή επαρκών πληροφοριών ώστε να παρθεί η βέλτιστη στρατηγική επέμβασης της κατασκευής. Ωστόσο υπάρχουν πλείστοι μέθοδοι ελέγχων βλαβών, οι οποίοι αποσκοπούν στην εκτίμηση της αντοχής μιας υφιστάμενης κατασκευής και στο προσδιορισμό των περιοχών που απαιτείται ενίσχυση.

Επιπλέον για τον έλεγχο διάγνωσης των βλαβών, μια κατασκευή μπορεί να υποβληθεί και σε άλλους συμπληρωματικούς ελέγχους ώστε να πάρουμε τα απαιτούμενα συμπεράσματα όσον αφορά την εμφάνιση των βλαβών. Τέτοιοι έλεγχοι χαρακτηρίζονται ως οι έλεγχοι γεωμετρίας των δομικών στοιχείων του φορέα, που περιλαμβάνουν μετρήσεις διαστάσεων των διατομών, μετρήσεις του εύρους των ρωγμών όπου υπάρχουν και μετρήσεις των παραμενουσών παραμορφώσεων. Επίσης, ακόμη ένας συμπληρωματικός έλεγχος είναι ο έλεγχος της θεμελίωσης και του εδάφους έδρασης, που περιλαμβάνει τη μέτρηση των διαστάσεων των θεμελιώσεων, καθώς και τη λήψη και εξέταση δειγμάτων του υπεδάφους. (Σπυράκος 2004)

3.3 Κατηγορίες μεθόδων διάγνωσης βλαβών

Οι μέθοδοι διάγνωσης βλαβών διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες οι οποίες παρουσιάζονται πιο κάτω:

3.3.1 Μη καταστροφικοί έλεγχοι

Στην συμπεριλαμβάνουν πληθώρα ελέγχων εκ των οποίων, τον οπτικό έλεγχο για άμεση εκτίμηση της επιφανειακής κατάστασης, την κρουσιομέτρηση η οποία βασίζεται στη σχέση της σκληρότητας του σκυροδέματος ως προς τη θλιπτική αντοχή, την χρήση υπερήχων και τις μαγνητικές μεθόδους.

3.3.1.1 Οπτικός Έλεγχος – Επιθεωρήσεις

Ο οπτικός έλεγχος είναι ίσως η πιο χρήσιμη, γρήγορη και εύκολη διαδικασία που ενδέχεται να χρησιμοποιήσει ο μηχανικός για να κάνει μια αρχική εκτίμηση της

επιφανειακής κατάστασης του σκυροδέματος μιας κατασκευής, και για το λόγο αυτό θα πρέπει να πραγματοποιείται με μεγάλη προσοχή.

Ο οπτικός έλεγχος συνίσταται στην άμεση καταγραφή, σε σχέδια ή σκαριφήματα, των εμφανών φθορών-βλαβών που παρουσιάζει μία κατασκευή, όπως είναι:

1. θέση και εύρος ρωγμών
2. φθορές και ανομοιογένεια σε σκυρόδεμα και χάλυβα
3. διάβρωση οπλισμών
4. υγρασία

Τα ευρήματα της οπτικής επιθεώρησης αποτελούν βασικό οδηγό για τις μεθόδους μη καταστροφικού ελέγχου που θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια, αλλά και για τις θέσεις διεξαγωγής των ανωτέρω ελέγχων. Έτσι, ο οπτικός έλεγχος λειτουργεί πάντα συνδυαστικά με άλλες μεθόδους μη καταστροφικού ελέγχου.



Εικόνα 50: Οπτικός Έλεγχος (<https://www.tuv-nord.com>)

Όπως ειπώθηκε και προηγουμένως ο οπτικός έλεγχος χρησιμοποιείται κατά κανόνα για τον προσδιορισμό ρηγματώσεων, αποφλοιώσεων και άλλων επιφανειακών ατελειών οι οποίες γίνονται αντιληπτές με το μάτι. Η επιθεώρηση (αυτοψία) είναι ο αρχικός έλεγχος για την αποτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης ενός δομήματος, ανεξάρτητα από το υλικό που έχει κατασκευασθεί. Για τον καθορισμό του είδους των ρωγμών χρειάζεται ένα έμπειρο και αξιόλογο συνεργείο. Σε αυτό τον έλεγχο χρησιμοποιείται μεγεθυντικός φακός, ηλεκτρικός φακός ή ρωγμοσκόπιο. Το ρωγμοσκόπιο είναι ένα εξαιρετικά αποδοτικό όργανο, αφού είναι μικροσκόπιο με ενσωματωμένη κλίμακα. Έτσι ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ποσοτικοποιεί το εύρος των ορατών επιφανειακών ρωγμών και

σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους ελέγχου να έχουμε μια εμπειρισταωμένη άποψη για την κατάσταση της κατασκευής (Κ.Σπυράκος 2004).



Εικόνα 51: Εξειδικευμένα εργαλεία οπτικού ελέγχου
(<http://ad-ndt.gr/>)

3.3.1.2 Κρουσιμέτρηση

Η μέθοδος της κρουσιμέτρησης είναι από τους πιο συνήθεις μη καταστροφικούς ελέγχους που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Η μέθοδος βασίζεται στο συσχετισμό της σκληρότητας της επιφάνειας του σκυροδέματος με τη θλιπτική αντοχή του. Με τη βοήθεια της μεθόδου αυτής μας δίνεται η δυνατότητα να προσδιορίσουμε τη σκληρότητα της επιφάνειας του σκυροδέματος ανάλογα με το ύψος αναπήδησης του κρουσίμετρου. Η μέτρηση του δείκτη επιφανειακής σκληρότητας του σκυροδέματος έχει μικρότερο ποσοστό σφάλματος για ηλικίες σκυροδέματος μεταξύ 14 ημερών και 3 μηνών. Τα κρουσίμετρα είναι εύκολα στην χρήση και η μέθοδος σχετικά απλή και αξιόπιστη. Η



Εικόνα 52: Ψηφιακό κρουσίμετρο σκυροδέματος
(<http://www.totalstation.gr>)

απαίτηση για συχνές βαθμονομήσεις του οργάνου ανάλογα με τον τύπο του τσιμέντου και την ποιότητα των αδρανών που θα χρησιμοποιηθούν είναι ένα βασικό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου. Επιπλέον, τα αποτελέσματα μπορούν να αλλοιωθούν λόγω των επιφανειακών συνθήκων και των διαστάσεων του σκυροδέματος. Έτσι, για να υπάρξει αύξηση ακρίβειας και αξιοπιστίας του οργάνου, προτείνεται οι μετρήσεις να γίνονται σε ξηρά στοιχεία, καθώς παρουσία υψηλού ποσοστού υγρασίας στο σκυρόδεμα έχει ως επακόλουθο την καθοριστική μείωση της. Ένας ακόμη δυσμενής παράγοντας που μπορεί να επιφέρει μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ της πραγματικής αντοχής του σκυροδέματος και της υπολογιζόμενης, είναι το βάθος ενανθράκωσης. Έτσι, για να μπορέσουμε να αντιμετωπίσουμε την κατάσταση αυτή, αφαιρούμε μια επιφανειακή στρώση πάχους έως 5mm από την επιφάνεια του δοκιμίου. Οι έλεγχοι αυτού του είδους κατά κανόνα συνοδεύονται από τους οπτικούς ελέγχους, χωρίς όμως να έχουν την βέλτιστη ακρίβεια και γι' αυτό και δεν χρησιμοποιούνται αφού υπάρχουν πιο αξιόπιστες μέθοδοι. Σε κάθε περίπτωση απαιτούνται κατ' ελάχιστο οκτώ έλεγχοι κρουσιμέτρησης ανά όροφο και δεκαέξι ανά κτίριο. (Σπυράκος 2004; Σταματούλης 2013)



Εικόνα 53: Δοκιμή κρουσίμετρου σε υποστώλωμα
(<http://sideris-konstantinos.blogspot.com>)



Εικόνα 54: Δοκιμή κρουσίμετρου σε τοιχείο
(<http://sideris-konstantinos.blogspot.com>)

3.3.1.3 Χρήση Υπερήχων

Είναι μία μέθοδος όπου βασίζεται στην ηχώ (αντήηση) εξ αντανάκλασεως υπερηχητικών ή κρουστικών κυμάτων και κατατάσσεται στη κατηγορία έμμεσων μη καταστροφικών μεθόδων από σκυροδέμα και τοιχοποιία. Με τη μέθοδο των υπερήχων έχουμε τη δυνατότητα να εντοπίσουμε τις ανωμαλίες του σκυροδέματος (φθορές, ρωγμές, κενά κ.α.), να ελέγξουμε την ποιότητα και να εκτιμήσουμε την αντοχή του σκυροδέματος μετά από την κατάλληλη βαθμονόμηση του οργάνου.



Εικόνα 55: Εφαρμογή μεθόδου των υπέρηχων
(<http://okeanis.lib.puas.gr>)

Η μέθοδος των υπέρηχων είναι αρκετά δημοφιλής γιατί εκτός από τον εντοπισμό των ατελειών της κατασκευής είναι ικανή να εκτιμήσει την θλιπτική αντοχή, το μέτρο ελαστικότητας, τη σταθερά του Poisson και τη ποιότητα του σκυροδέματος. Τέλος, με τη μέθοδο των αυτή μπορούν να παρθούν μετρήσεις των αλλαγών οι οποίες εμφανίζονται με το πέρασ του χρόνου στις ιδιότητες του σκυροδέματος των κατασκευών (Σπυράκος 2004; Σταματούλης 2013)

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι που μπορούν να τοποθετηθούν πομπός και δέκτης για να γίνει η μέτρηση:

1. Τοποθετώντας στις δύο κάθετες πλευρές, όπου είναι η πιο ακριβής μέθοδος

2. Τοποθετώντας στις δύο κάθετες πλευρές, αλλά έχει αρκετή δυσκολία στο να προσδιορίσει το μήκος του στοιχείου.
3. Τοποθετώντας στη ίδια πλευρά, μόνο όταν δεν υπάρχει άλλη επιλογή ή αν υπάρχει υποψία διαφοροποίησης του σκυροδέματος.



Εικόνα 56: Τρόποι μέτρησης ταχύτητας των υπερήχων (<http://okeanis.lib.puas.gr>)

3.3.1.4 Μαγνητικές Μέθοδοι

Τα μαγνητόμετρα είναι όργανα τα οποία έχουν την δυνατότητα να εντοπίσουν και να προβλέψουν με ακρίβεια τη θέση του οπλισμού, το πάχος της επικάλυψης του σκυροδέματος ακόμη και τη διάμετρο της ράβδου.



Εικόνα 57: Εφαρμογή μαγνητικής μεθόδου στο σκυρόδεμα (<http://www.ktiriotest.gr>)

Η διαδικασία της μέτρησης είναι απαραίτητο να πραγματοποιείται δύο φορές, όπου την πρώτη φορά η μέτρηση θα γίνεται τοποθετώντας την κεφαλή του οργάνου πάνω στο σκυρόδεμα ενώ τη δεύτερη με τη κεφαλή του οργάνου να βρίσκεται τοποθετημένη σε συγκεκριμένη απόσταση. Η μαγνητική μέθοδος στηρίζεται στη αλληλεπίδραση του οπλισμού με ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (όργανο). Στην μέθοδο αυτή παρατηρείται χρήση μαγνητικών πεδίων. Η δημιουργία αυτού του πεδίου υλοποιείται με κατάλληλα βαθμονομημένες συσκευές (μαγνητόμετρα) που έχουν ως σκοπό να προσδιοριστεί η θέση και η διάμετρος του οπλισμού με σημείο αναφοράς την επιφάνεια του σκυροδέματος και το πάχος της επικάλυψης του. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι αρκετά σύντομη και αξιόπιστη και ανάλογα με τον τύπο τους, τα όργανα αυτά μπορούν να πάρουν μετρήσεις με σφάλμα της τάξεως του $\pm 0,01$ για βάθος έως 180mm. Η εύκολη μεταφορά τους και η αξιοπιστία τους κάνουν αυτές τις συσκευές ιδιαίτερα δημοφιλή. Πρέπει να είμαστε προσεκτικοί όταν τα συστατικά του σκυροδέματος εμπεριέχουν μαγνητικά στοιχεία γιατί σε αυτή την περίπτωση απαιτούνται ειδικές βαθμονομήσεις στο όργανο. (Σπυράκος 2004)

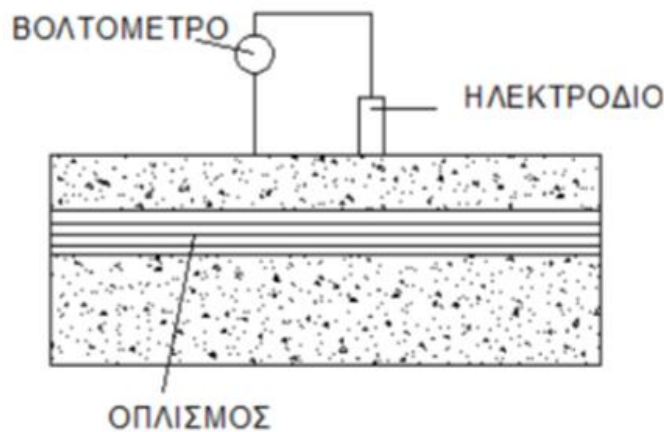
Μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι πως η αξιοπιστία των προαναφερθέντων οργάνων μειώνεται όταν:

1. υπάρχουν πλάκες οπλισμένες με πλέγμα ή δοκοί και υποστρώματα με στρώσεις οπλισμού περισσότερες από μία
2. όταν αυξάνεται το πάχος επικάλυψης (Σπυράκος 2004; Σταματούλης 2013)

3.3.1.5 Μέτρηση του ηλεκτρικού δυναμικού σιδηροπλισμού

Πριν ξεκινήσουμε οποιαδήποτε διαδικασία μέτρησης θα πρέπει να είμαστε γνώστες στο τι πρόκειται να αντιμετωπίσουμε ούτως ώστε να ληφθούν τα ορθά μέτρα ασφαλείας. Για να πραγματοποιηθεί έλεγχος στην κατασκευή όσον αφορά τον κίνδυνο διάβρωσης του χάλυβα θα πρέπει να γίνουν οι μετρήσεις δυναμικού χάλυβα με ηλεκτρόδιο αναφοράς χαλκού ή αργίλου. Επιπλέον, για τον προσδιορισμό της υγρασίας τοποθετούνται τέσσερα ηλεκτρόδια σε μικρό βάθος όπου συνδέονται με βολτόμετρο και ρεύμα. Στη συνέχεια εφαρμόζεται ρεύμα εντάσεως i , όπου μετριέται το αντίστοιχο δυναμικό και υπολογίζεται η αντίσταση R του σκυροδέματος. Από τον τύπο ($\rho=2\pi a R$) προσδιορίζεται

η ειδική αντίσταση του σκυροδέματος η οποία είναι αυτή που καθορίζει την υγρασία.



Εικόνα 58: Μέτρηση του ηλεκτρικού δυναμικού σιδηροπλισμού

<https://eclass.teiath.gr>

Η υλοποίηση της μεθόδου αυτής είναι αρκετά απλή, πρέπει όμως να υπάρξει μεγάλη προσοχή στην τοποθέτηση των ηλεκτροδίων ώστε να αποφευχθεί τυχών επαφή με τον οπλισμό. Επίσης παρόλο που η μέθοδος αυτή είναι σχετικά απλή δεν μπορεί να μας δώσει στοιχεία για το βαθμό διάβρωσης ενώ παράλληλα παρέχει ενδείξεις και όχι αποδείξεις διαβρωτικής δράσης. (Σταματούλης 2013)

3.3.1.6 Θερμογράφιση με Υπέρυθρη Ακτινοβολία

Στη μέθοδο αυτή εφαρμόζουμε υπέρυθη ακτινοβολία στη μια πλευρά του ελεγχόμενου στοιχείου έχοντας ως επακόλουθο την καταγραφή και ανάλυση της υπέρυθρης ενέργειας. Ο εντοπισμός των κενών και ασυνεχειών στο σκυρόδεμα πραγματοποιείται όταν γίνουν αντιληπτά αυτά λόγω της διατάραξης της ροής που προκαλεί η ακτινοβολία. Η θερμογράφιση με υπέρυθη ακτινοβολία χρησιμοποιείται κυρίως για την ανίχνευση διάβρωσης, εσωτερικών ρωγμών, κενών, αυξημένου πορώδους και αλλαγών στη σύσταση του σκυροδέματος. Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων που δίνει καθώς επίσης, και η ύπαρξη δυνατότητας ελέγχου σε μεγάλες επιφάνειες έχοντας ως επακόλουθο την μείωση του κόστους και του χρόνου, ενώ μειονέκτημα της είναι το σχετικά υψηλό κόστος του ειδικού εξοπλισμού που απαιτείται για τη διεκπεραίωση της. (Σπυράκος 2004; Σταματούλης 2013)

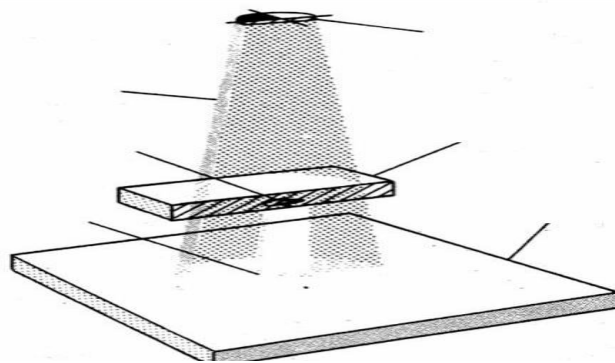
Με τη βοήθεια της θερμικής ακτινοβολίας παράγεται ένα θερμογράφημα, δεν μετρά όμως απευθείας τη θερμοκρασία της επιφάνειας αλλά μετράει τη μεταβολή τη μεταβολή της επιφανειακής ακτινοβολίας. Όταν αυξάνεται η θερμοκρασία το μήκος του κύματος γίνεται βραχύτερο έως ορατό φάσμα σε κάποιες περιπτώσεις. Οι υποεπιφανειακές ανωμαλίες επηρεάζουν τη ροή θερμότητας, γεγονός που επηρεάζει την επιφανειακή θερμοκρασία. Οι ιδανικές συνθήκες για τη μέθοδο υπέρυθρης φωτογράφισης: είναι καθαρός ουρανός, έντονη ηλιακή ακτινοβολία, ασθενείς άνεμοι (έως 25km/h) και ξηρή επιφάνεια.

3.3.1.7 Μέτρηση Υγρασίας με Εκπομπή Νετρονίων

Στη μέθοδο αυτή ένα φορητό όργανο εκπέμπει ροή νετρονίων στο σώμα του 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 πλέον αξιόπιστη μέθοδο για προσδιορισμό του ποσοστού υγρασίας του σκυροδέματος, αλλά το κόστος του φορητού οργάνου που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση είναι ιδιαίτερα υψηλό.

3.3.1.8 Ακτινογράφιση με ακτίνες “Χ” και “Γ”

Στη μέθοδο αυτή οι ακτίνες «Χ» χρησιμοποιούνται για το προσδιορισμό της θέσης των ράβδων οπλισμού όπως επίσης και για την εξέταση της πυκνότητας και της σύστασης του σκυροδέματος. Οι ακτίνες «Γ» μπορούν να εστιάσουν κενά και να προσδιορισθεί η διάμετρος των ράβδων. Πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί το γεγονός ότι ο εξοπλισμός μεταφέρεται εύκολα και τα αποτελέσματα είναι αξιόπιστα. (Σπυράκος 2004)

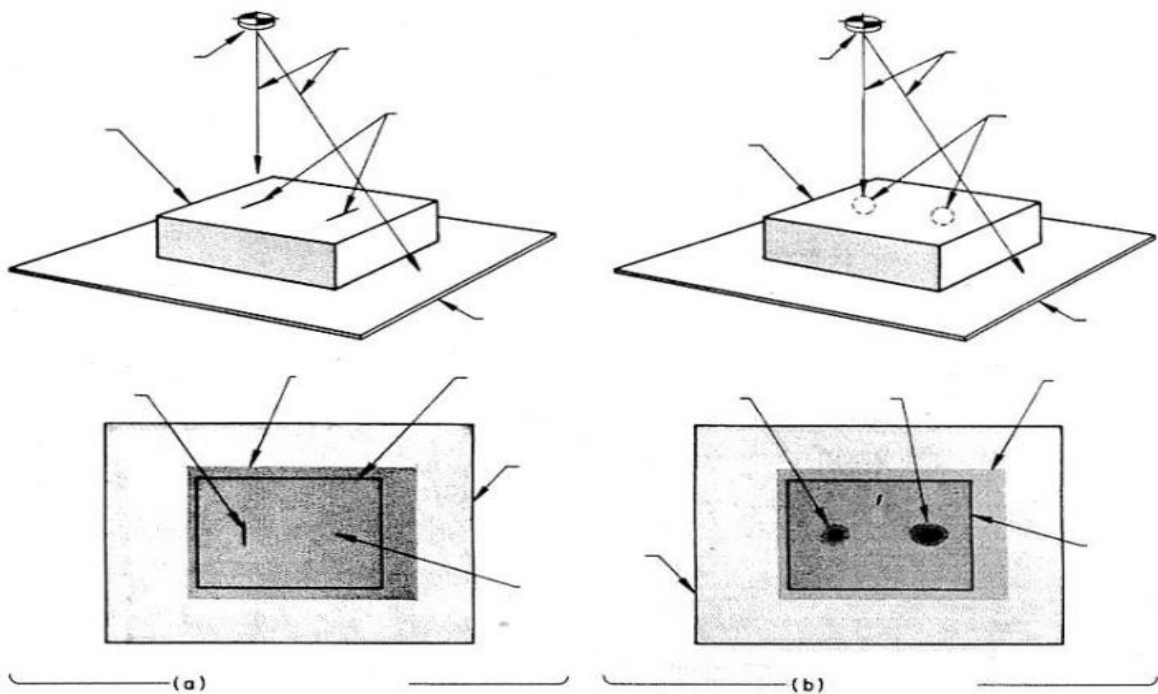


Εικόνα 59: Ακτινογράφιση με ακτίνες “Χ” και “Γ”

(<https://eclass.teiath.gr>)

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου αναφέρονται πιο κάτω :

1. Υψηλό κόστος μεθόδου
2. Ο έλεγχος δεν είναι ακριβής για πάχη μεγαλύτερα από 30 cm
3. Η αξιοπιστία των μετρήσεων μειώνεται όταν υπάρχουν περισσότερες από μια στρώσεις οπλισμού
4. Υπάρχει απαίτηση για πρόσβαση και στις δύο πλευρές του στοιχείου που πρόκειται να ελεγχθεί



Εικόνα 60: Επίδραση της διεύθυνσης της ακτίνας (a) στην εμφάνιση επιπέδων και (b) σφαιρικών ασυνεχειών (<https://eclass.teiath.gr>)

Γενικά, στη μέθοδο αυτή, η ραδιενέργεια παράγει μια ακτινογραφία όπου απεικονίζει το εσωτερικό τμήμα της κατασκευής. Στην μια μεριά του εξεταζόμενου φορέα τοποθετείται μια πηγή ραδιενεργούς ακτινοβολίας ενώ στην άλλη ένα φωτογραφικό φιλμ, όπου καταγράφει την ένταση της ραδιενεργούς ακτινοβολίας. Στο φιλμ παρατηρείται με λευκά σημεία ο οπλισμός ενώ με μαύρα τα κενά από το σκυρόδεμα. Ανάλογα με το πάχος και τη πυκνότητα του στοιχείου καθορίζεται η ένταση της ραδιενέργειας. Για τη σωστή και ασφαλή εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται ειδικευμένου προσωπικό και ειδικά μέτρα ασφάλειας. (Σταματούλης 2013)

3.3.2 Ημικαταστροφικοί

Οι ημικαταστροφικοί έλεγχοι, νοείται ότι έχουν περιορισμό στις βλάβες που επιτρέπεται να προκαλέσει στην κατασκευή. Στους ημικαταστροφικούς ελέγχους συμπεριλαμβάνεται η λήψη πύρινων, η χρήση εξολκεία και ο έλεγχος των ράβδων οπλισμού σε εφελκυσμό.

3.3.2.1 Λήψη πυρήνων

Με τη μέθοδο αυτή, έχουμε τη δυνατότητα να εξετάσουμε τη γενική κατάσταση του σκυροδέματος, καθώς επίσης και τη θλιπτική αντοχή του. Επιπλέον εύκολα μπορούμε να δούμε τη θέση, το μέγεθος των ράβδων οπλισμού, την ύπαρξη ρωγμών ή άλλων αστοχιών στη μάζα του σκυροδέματος, την αποτελεσματικότητα προγενέστερων επεμβάσεων, κτλ. Ακόμη, υπάρχει η δυνατότητα να πάρουμε πληροφορίες για είδος των αδρανών, την πιθανή ύπαρξη χλωριόντων και τυχόν διάβρωση του οπλισμού. (Σπυράκος 2004)



Εικόνα 61: Ειδικό διατηρητικό μηχάνημα λήψης πυρήνων στο σκυρόδεμα
(<https://www.slideshare.net>)

Η λήψη πυρήνων (καρότα) επιβάλλεται από όλους τους διεθνείς κανονισμούς και ο μηχανικός είναι υπεύθυνος να πάρει από την κάθε κατασκευή τα δείγματα που χρειάζεται. Οι πυρήνες που αφαιρούνται από το σκυρόδεμα επιβάλλεται να έχουν διάμετρο από 10 έως 15cm. (Σπυράκος 2004)

Όταν πάρουμε τους πυρήνες από το σκυρόδεμα, τότε αυτοί υποβάλλονται σε εργαστηριακούς ελέγχους ώστε να προσδιοριστούν οι διάφορες ιδιότητες του σκυροδέματος, συμπεριλαμβανομένης της θλιπτικής του αντοχής και του μέτρου

ελαστικότητας. Ο ελάχιστος αριθμός πυρήνων που απαιτούνται ώστε να ελέγξουμε τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος είναι τρεις. Σε κάποιες περιπτώσεις ίσως φτάσει τους 12 αν χρειάζεται επανέλεγχος.



Εικόνα 62: Λήψη πυρήνα από το σκυρόδεμα
(<https://www.slideshare.net>)

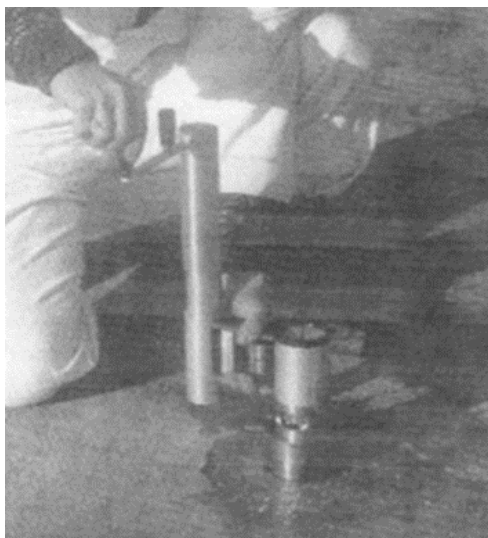
Λόγω του ότι πολύ συχνά κάποιοι πυρήνες αστοχούν, ενδίδνυται να λαμβάνονται δύο εφεδρικοί πυρήνες. Σε περίπτωση που κάποιος από τους πυρήνες που λήφθηκαν περιέχει ράβδο οπλισμού καλό θα ήταν να μην πραγματοποιείται έλεγχος σε θλίψη, διότι πιθανόν η ράβδος να προκαλέσει μείωση της αντοχής του σκυροδέματος (Κ.Σπυράκος 2004).

Το πλεονέκτημα της πυρηνοληψίας είναι το γεγονός ότι είναι μια μέθοδος ευρύτατα διαδεδομένη καθώς επίσης και ότι παρουσιάζει μεγάλη αξιοπιστία έλεγχου ιδιοτήτων σκυροδέματος. Αντιθέτως, κύριο μειονέκτημα της είναι ότι το σχετικά μεγάλο κόστος του εξοπλισμού, καθώς επίσης και η δυσκολία να λαμβάνονται πυρήνες από κατακόρυφα στοιχεία. (Σπυράκος 2004)

3.3.2.2 Χρήση εξολκέα

Με τη χρήση του εξολκέα, ο οποίος είναι το όργανο που μας καθορίζει τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος και στηρίζεται στο συνδυασμό της αντοχής του σκυροδέματος σε θλίψη με τη δύναμη που χρειάζεται για την έξοδο ενός ειδικού μπουλονιού από την επιφάνεια του. Η επίλυση τη συγκεκριμένης μεθόδου πραγματοποιείται με τη χρήση ειδικού μπουλονιού ή κυκλικής μεταλλικής πλάκας, η οποία συγκολλάται στην επιφάνεια του σκυροδέματος και τεντώνεται από ειδικό όργανο μέχρι την θραύση του

σκυροδέματος. Η μέθοδος αυτή μπορεί επίσης να μας βοηθήσει να προσδιορίσουμε την αντοχή συγκόλλησης διάφορων επικαλύψεων στο σκυρόδεμα.



Εικόνα 63: Χρήση εξολκέα στο σκυρόδεμα
(<https://gr.dreamstime.com>)

Βασικό πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής με τη χρήση εξολκέα είναι ότι μπορεί να αποδώσει πιο σε μικρότερο χρονικό διάστημα, από ότι με τη λήψη πυρήνων, και τα αποτελέσματα της είναι τις περισσότερες φορές ικανοποιητικής ακρίβειας. (Σπυράκος 2004)

3.3.2.3 Έλεγχος ράβδων οπλισμού σε εφελκυσμό

Η μέθοδος αυτή μας δίνει στοιχεία για το σκυρόδεμα ώστε να μπορούμε να υπολογίσουμε το όριο διαρροής του σκυροδέματος και την εφελκυστική αντοχή των ραβδών οπλισμού. Στην πράξη, η μέθοδος αυτή πραγματοποιείται ξεκινώντας από την απομάκρυνση του προυπάρχοντος σκυροδέματος και αποκόπτοντας τμήμα ράβδου μήκους 30 cm. Στην συνέχεια, γίνεται υποβολή του υπάρχοντος δείγματος για έλεγχο αξονικού εφελκυσμού και τέλος γίνεται προσδιορισμός της αντοχής και της επιμήκυνσης. Κύρια μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι το σχετικά μεγάλο κόστος καθώς επίσης μεγάλος χρόνος που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί ο έλεγχος. (Σπυράκος 2004)

3.3.2.4 Μέθοδος της πετρογραφικής ανάλυσης

Η μέθοδος της πετρογραφικής ανάλυσης υλοποιείται με τη λήψη πυρήνων σκυροδέματος, όπου αποκόπτονται τμήματα του, καθαρίζονται και εξετάζονται με μικροσκόπιο μεγάλης ακρίβειας ώστε να υπολογισθούν οι χημικές και φυσικές ιδιότητες του. Αποτέλεσμα της μεθόδου, είναι ο εντοπισμός των χημικά ενεργών αδρανών, ο εντοπισμός των βλαβών πρόσμιξης στο σκυρόδεμα, καθώς και ο υπολογισμός του βάθους ενανθράκωσης και του εύρους των ρωγμών του σκυροδέματος. Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι έχει μεγάλη αξιοπιστία αλλά απαιτείται ειδικός εξοπλισμός και άρτια ειδικευμένο προσωπικό. (Σπυράκος 2004)

3.3.3 Επι τόπου χημικοί έλεγχοι

Οι οποίοι συσχετίζονται κυρίως με τη διάρκεια ζωής του σκυροδέματος.

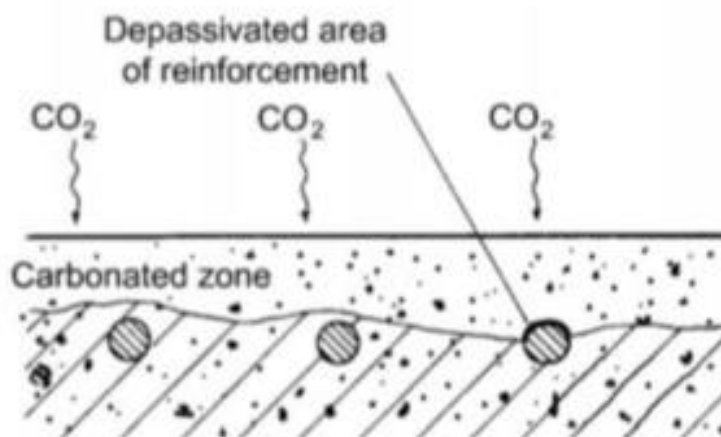
3.3.3.1 Έλεγχος του βάθους ενανθράκωσης

Το βάθος της ενανθράκωσης μετριέται με εφαρμογή διαλύματος φαινολοφθαλείνης στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Συγκεκριμένα, το βάθος μετριέται με την εναλλαγή του χρώματος του ψεκασμένου δοκιμίου. Το σκυρόδεμα διατηρεί την αλκαλικότητα του και δηλαδή προστατεύει τις ράβδους οπλισμούς έναντι διάβρωσης όταν η τιμή του PH είναι γύρω στο 12,5.



Εικόνα 64: Έλεγχος βάθους ενανθράκωσης
(<https://www.concrepairs.gr>)

Το χρώμα του σκυροδέματος με την φαινολοφθαλείνη μετατρέπεται σε βιολετί όταν pH του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερο από 9,5. Έτσι, όταν το σκυρόδεμα είναι υγιές, δηλαδή όταν το PH του είναι μεγαλύτερο από 9,5 το δοκίμιο αποκτά χρώμα βιολετί.



Εικόνα 65: Μέτωπο του ενανθρακωμένου σκυροδέματος συναντά τον οπλισμό (<https://www.concrepairs.gr>)

3.3.3.2 Έλεγχος χλωριόντων

Ο προσδιορισμός της ποσότητας των χλωριόντων πραγματοποιείται με ανάλυση δείγματος σκυροδέματος. Η περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε χλωριόντα είναι πολύ σημαντική, διότι η παρουσία επαρκούς υγρασίας και οξυγόνου, μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση του οπλισμού. Ο προσδιορισμός της γίνεται με προσεκτική δειγματοληψία επιτόπου στο έργο και περαιτέρω εργαστηριακή ανάλυση.



Εικόνα 66: Έλεγχος χλωριόντων (<http://sideris-konstantinos.blogspot.com>)

Ουσιαστικά ο έλεγχος περιλαμβάνει ανάλυση δείγματος από σκυρόδεμα ώστε να προσδιορισθεί η ποσότητα των χλωριόντων. Όταν παρουσιασθούν στο σκυρόδεμα υδατοδιαλύτες χλωριόντων πέρα από 0.20%, τότε υπάρχει σοβαρή ένδειξη διάβρωσης. Πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί το γεγονός ότι είναι μια σχετικά γρήγορη μέθοδος και χαμηλού κόστους, αν και θεωρείται πρόσφατη σχετικά εφαρμογή. (Σπυράκος 2004)

3.3.4 Έλεγχοι καθολικής φόρτισης

Ο έλεγχος αυτός γίνεται στη δυσμενέστερη περίπτωση, όπου δεν είναι διαθέσιμα τα κατασκευαστικά σχέδια και η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής είναι ασαφής. Η μέθοδος της καθολικής φόρτισης μπορεί να αξιολογήσει τις κατασκευές η οποίες έχουν ασάφειες στη φέρουσα ικανότητα και μη χρησιμοποιήσιμα αρχικά σχέδια. Η δυσκολία που αντιμετωπίζει ο μηχανικός στο να προσδιορίσει την ποιότητα και τη σύσταση του σκυροδέματος τον αναγκάζει να υποβάλει το σκυρόδεμα σε τέτοιους ελέγχους ώστε να προσδιορισθούν οι ιδιότητες του. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου γίνεται κυρίως σε πλαίσιακούς φορείς με εμφανή ίχνη φθοράς αλλά και σε κατασκευές που υπάρχει υπέρβαση επιτρεπόμενων τάσεων υπό δεδομένη φόρτιση. Η φόρτιση αυτή πραγματοποιείται με μικροδονήσεις, αρμονικές δονήσεις ή άλλες μεθόδους διέγερσης, οι οποίες υπολογίζουν τα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής. (Σπυράκος 2004)

3.4 Μέθοδοι Ανάλυσης

Οι μέθοδοι ανάλυσης που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση υφιστάμενων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα και την αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς των κατασκευών, βάσει της επίδρασης από τον συνδυασμό των σεισμικών δράσεων σε συνδυασμό με τις μόνιμες και μεταβλητές δράσεις όπως καθορίζονται από των ευρωκώδικα 8, μέρος 1 (EN1998-1, §3.2.2, 3.2.3) είναι οι ακόλουθες:

1. Ισοδύναμη στατική μέθοδος
2. Δυναμική φασματική μέθοδος (ελαστική δυναμική)
3. Ελαστική ιδιομορφική στατική ανάλυση
4. Ανελαστική στατική μέθοδος (Μέθοδος Push-over analysis)
5. Ανελαστική δυναμική ανάλυση

Καταλήγοντας, μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι παρόλο που ελαστικές αναλύσεις είναι πιο απλές στην εφαρμογή τους, μπορεί να οδηγήσουν σε λιγότερο ακριβή αποτελέσματα απότι θα έδιναν οι ανελαστικές μέθοδοι.

3.4.1 **Ισοδύναμη στατική μέθοδος**

Η ισοδύναμη στατική μέθοδος κυρίως στηρίζεται σε απλοποιημένες παραδοχές, που ισχύουν κυρίως σε συματικές κατασκευές κανονικού τύπου χωρίς σημαντικές ιδιαιτερότητες των δυναμικών τους χαρακτηριστικών, και οι οποίες τελικά καταλήγουν σε μία «ισοδύναμη» ελαστική ιδιομορφική στατική ανάλυση αντί της πλήρους δυναμικής ανελαστικής ανάλυσης.

Πεδίο εφαρμογής αυτών των απλοποιητικών μεθόδων είναι ο αντισεισμικός σχεδιασμός κτηριακών κυρίως κατασκευών των οποίων η σεισμική απόκριση προκαλεί μη γραμμικότητες του υλικού και περιορισμένες γεωμετρικές μη γραμμικότητες, ενώ περιγράφεται ικανοποιητικά από την πρώτη τους ιδιομορφή. Η ισοδύναμη στατική ελαστική ιδιομορφική ανάλυση βασίζεται στην παρακάτω παραδοχή: Η κατασκευή θεωρείται ως ένα ιδεατό ελαστικό σύστημα του οποίου η μέγιστη απόκριση υπολογίζεται από το ελαστικό φάσμα απόκρισης (φάσμα σχεδιασμού με $q=1$).

Η συγκεκριμένη μέθοδος λαμβάνει υπόψη της αποκλειστικά τη θεμελιώδη ιδιομορφή και στις δύο κύριες διευθύνσεις του δομήματος. Η μέθοδος αυτή δίνει καλά αποτελέσματα, εάν η κατανομή των δυνάμεων είναι γραμμική και δεν υπάρχει επιρροή από ανώτερες ιδιομορφές. (Σεισμική Μηχανική Δρ Κ.Χρυσόστομου)

3.4.1.1 **Επίπεδα γνώσης και συντελεστές εμπιστοσύνης**

Ανάλογα με την ποσότητα και την ποιότητα των δεδομένων, που έχουμε συλλέξει από την κατάσταση μιας υφιστάμενης κατασκευής, ο Ευρωκώδικας 8 μέρος 3, μας καθορίζει τρία επίπεδα γνώσης τα οποία αντιστοιχούν σε συγκεκριμένους συντελεστές εμπιστοσύνης. Με βάση αυτά, επιλέγεται και ο ανάλογος επιτρεπόμενος τρόπος ανάλυσης. Τα επίπεδα αυτά είναι:

1. ΕΓ1: Περιορισμένη γνώση
2. ΕΓ2: Κανονική γνώση
3. ΕΓ3: Πλήρης γνώση

3.4.1.2 **Παράγοντες για τον καθορισμό επιπέδου εμπιστοσύνης**

Οι παράγοντες για το καθορισμό του επιπέδου γνώσης φαίνονται πιο κάτω :

1. Η γεωμετρία του δομικού συστήματος
2. Οι λεπτομέρειες που αφορούν την ποσότητα και την διάταξη του οπλισμού
3. Οι μηχανικές ιδιότητες των συστατικών υλικών της κατασκευής

3.4.2 Δυναμική Φασματική Μέθοδος (Ελαστική δυναμική)

Η μέθοδος αυτή, σύμφωνα με το κεφάλαιο 4.3.3.3 του Ευρωκώδικα 8, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό όλων των κτιρίων, και ειδικά για κτίρια μη κανονικά καθ' ύψος. Είναι μια μέθοδος δυνάμεων που έχουν τη μορφή μητρώων και το βασικό πλεονέκτημα της είναι η ταχύτητα των αποτελεσμάτων που δίνει. Επιπλέον, με την μέθοδο αυτή μπορεί κανείς να επιλύσει εύκολα ελαστικούς φορείς για οποιοδήποτε συνδυασμό φορτίων και τα αποτελέσματα μιας απλοποιημένης φασματικής μεθόδου πλησιάζουν αρκετά εκείνα της δυναμικής φασματικής μεθόδου όταν η δυναμική απόκριση της κατασκευής κυριαρχείται από την πρώτη ιδιομορφή.

Συνήθως η μέθοδος αυτή εκτελείται με το φάσμα που δίνει ο αντισεισμικός κανονισμός, και κατά την διάρκεια της ανάλυσης της θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλες οι ιδιομορφές που συνεισφέρουν σε σημαντικό βαθμό στα αποτελέσματα της ανάλυσης. Αυτές οι ιδιομορφές θα πρέπει να καλύπτουν τις ακόλουθες απαιτήσεις (Α.Καβουρά 2010):

1. Το ποσοστό της μάζας που ενεργοποιείται σε κάθε διεύθυνση από το σύνολο των ιδιομορφών που λαμβάνονται υπόψη θα πρέπει να υπερβαίνει το 90% της συνολικής μάζας του κτιρίου.

Η μάζα m_k που ενεργοποιείται από την ιδιομορφή k , προκαλεί στη διεύθυνση του σεισμού τέμνουσα βάρηση που εκφράζεται ως:

$$F_{bk} = S_d(T_k) m_k$$

Όπου: $S_d(T_k)$ η τιμή της επιτάχυνσης που προκύπτει από το φάσμα σχεδιασμού για την ιδιοπερίοδο T_k .

3.4.3 Ελαστική ιδιομορφική στατική ανάλυση

Η ελαστική ιδιομορφική στατική ανάλυση βασίζεται κυρίως στην θεωρία της ελαστικότητας και δίνεται να χρησιμοποιείται για ελέγχους αντοχής αλλά και λειτουργικότητας. Για να προσδιοριστούν τα αποτελέσματα των δράσεων η γραμμική ανάλυση λαμβάνει μέρος με παραδοχές. Για να μπορέσουν να υπολογιστούν οι «πραγματικές» μετατοπίσεις του συστήματος, είναι αναγκαίο οι μετακινήσεις που

προκύπτουν από την ισοδύναμη γραμμική ελαστική ανάλυση με τη σεισμική δράση σχεδιασμού να πολλαπλασιαστούν με τον αντίστοιχο συντελεστή συμπεριφοράς q .

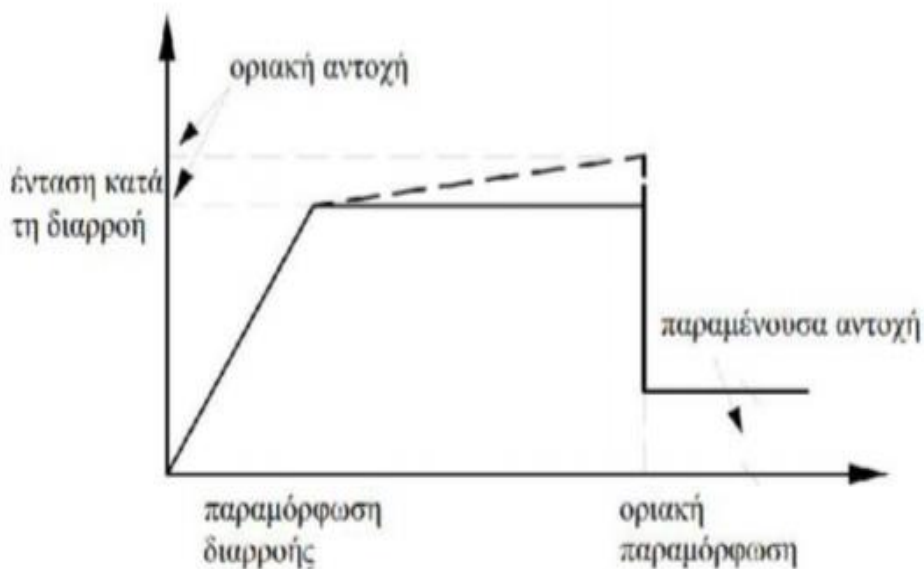
Η μέθοδος αυτή σύμφωνα με το κεφάλαιο 4.3.3.2 του Ευρωκώδικα 8, εφαρμόζεται μόνο σε κτίρια κανονικά καθ' ύψος και με ιδιοπεριόδους που δεν ξεπερνάνε τις ακόλουθες τιμές:

$$T_1 \leq \begin{cases} 4 \cdot T_c \\ 2,0 \text{ s} \end{cases}$$

Όπου: T_c είναι το τέλος του οροπέδιου σταθερών επιταχύνσεων του φάσματος σχεδιασμού και δίνεται στους πίνακες 3.2 και 3.3 του Ευρωκώδικα 8 και συνδέεται με την κατηγορία του εδάφους στην οποία εδράζεται το κτίριο.

3.4.4 Ανελαστική στατική μέθοδος (Μέθοδος Push-over analysis)

Η ανελαστική στατική ανάλυση, περιγράφεται στο κεφάλαιο 4.3.3.4.2 του Ευρωκώδικα 8 και λαμβάνει υπόψη την ανελαστική συμπεριφορά των δομικών στοιχείων. Η ανάλυση αυτή παρουσιάζει με ένα ρεαλιστικό τρόπο την εικόνα της κατασκευής όταν αυτή υποβάλλεται σε φορτίσεις που την κάνουν να ξεπερνάει την ελαστική περιοχή όπως φαίνεται στην εικόνα 67.



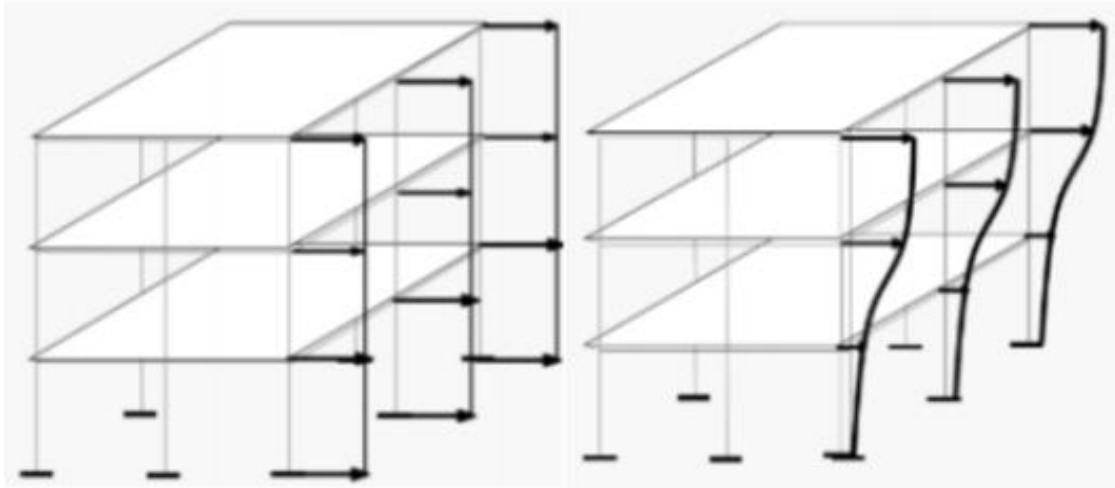
Εικόνα 67: Διάγραμμα Ανάλυσης «Push over analysis» (Δρίτσος 2005)

Βασίζεται κυρίως στο γεγονός ότι μπορεί να μας παρουσιάσει τις πιθανές ασθενείς περιοχές της κατασκευής, καθώς επίσης και να περιγράψει τις τοπικές αστοχίες στα διάφορα φέροντα στοιχεία του φορέα, κατά τη μονότονα αυξανόμενη στατική πλευρική φόρτιση. Η διαδικασία της ανάλυσης, περιλαμβάνει την επιβολή οριζόντιου φορτίου το οποίο κατανέμεται καθ' ύψος της κατασκευής με καθορισμένο τρόπο. Οι οριζόντιες αυτές δυνάμεις, αυξάνονται μονοτονικά με σταθερή αναλογία, ελέγχοντας έτσι τις μετακινήσεις στην οροφή της κατασκευής, μέχρι αυτή να φτάσει σε ένα συγκεκριμένο όριο. Η οριακή αυτή τιμή της μετακίνησης, στην οποία σταματάει η ανάλυση μπορεί να είναι η μετακίνηση που αναμένεται στο σεισμό σχεδιασμού όταν πρόκειται για σχεδιασμό νέας κατασκευής, ή η μετακίνηση που αντιστοιχεί σε αστοχία όταν πρόκειται για αποτίμηση υφιστάμενης κατασκευής. Ακολούθως, η κατασκευή και τα επιμέρους μέλη της, ελέγχονται ως προς την πλαστιμότητα, την παραμόρφωση και την αντοχή. (Καματερή 2012).

Στην ανελαστική στατική ανάλυση το αποτέλεσμα της σεισμικής δράσης προσομοιώνεται με στατικά επιβαλλόμενες φορτίσεις ή στατικά φορτία σταδιακά αυξανόμενα μέχρι να επιτευχθεί η κατάρρευση της κατασκευής.

Κατά την εφαρμογή της ανελαστικής στατικής ανάλυσης (Push-over), αρχικά απαιτείται για το προσομοίωμα της κατασκευής να κατηγοριοποιηθούν τα φέροντα στοιχεία σε πρωτεύοντα και δευτερεύοντα με βάση την στάθμη επιτελεστικότητας. Το προσομοίωμα φορτίζεται με οριζόντια φορτία διαφορετικών κατανομών καθ' ύψος, τα οποία αυξάνουν μονότονα και αναπαριστούν τις αδρανειακές δυνάμεις που εφαρμόζονται στα επίπεδα των ορόφων κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Σύμφωνα με τον EC8-1,3 (EN1998-1, §4.3.3.4.2.2) είναι δυνατό να εφαρμοστούν ομοιόμορφη και ιδιομορφική κατανομή. Η φόρτιση αυτή συμβαίνει μέχρι να σημειωθεί αστοχία του φορέα.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 68, στα αριστερά παρουσιάζεται ομοιόμορφη φόρτιση η οποία είναι ανάλογη προς τη μάζα κάθε ορόφου, ενώ αντίστοιχα στο σχήμα στα δεξιά παρουσιάζεται ιδιομορφική κατανομή των οριζόντιων φορτίων όπως προκύπτει από την ελαστική ανάλυση. Σταδιακά σχηματίζονται πλαστικές αρθρώσεις κατά μήκος των δομικών στοιχείων, καθώς ο σχηματισμός τους οφείλεται στην σταδιακή απομείωση της αντοχής των κόμβων.



Εικόνα 68: Κατανομή Φορτίσεων (Παυλίδου 2015)

Είναι πολύ σημαντικό σε κάθε περιοχή που αναμένεται ανελαστική συμπεριφορά να λαμβάνεται υπόψη η σχέση φορτίου-παραμόρφωσης μέσω καμπυλών μονοτονικής φόρτισης μέχρι την αστοχία του στοιχείου. Στις καμπύλες αυτές απαιτείται να παρουσιάζεται τόσο η φάση απομείωσης της αντοχής καθώς και η ανάπτυξη παραμένουσας αντοχής, εφόσον υπάρχει.

Καταλήγοντας, όπως έχει προαναφερθεί, η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στην μελέτη νέων, όσο και στην μελέτη υφιστάμενων κτιρίων για τους πιο κάτω σκοπούς:

1. Για υπολογισμό των συντελεστών υπεραντοχής
2. Για εκτίμηση των αναμενόμενων πλαστικών αρθρώσεων και των θέσεων όπου δημιουργούνται βλάβες
3. Για αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς υφιστάμενων κατασκευών
4. Σαν μια εναλλακτική λύση αντί της στατικής ελαστικής ανάλυσης, για τον σχεδιασμό νέων κατασκευών, με χρήση του συντελεστή συμπεριφοράς q
5. Καθορισμό της στοχευόμενης μετατόπισης με βάση την οποία γίνεται ο σχεδιασμός του κτιρίου

4 Επισκευές και Ενισχύσεις

4.1 Γενικά

Η πτυχιακή εργασία έχει ως στόχο να αναπτύξει τις μεθόδους και τις τεχνικές οι οποίες εφαρμόζονται για τις επισκευές ή τις ενισχύσεις των δομικών στοιχείων με κύριο συστατικό το οπλισμένο σκυρόδεμα. Η ενίσχυση και επισκευή των δομικών στοιχείων θα αναπτυχθούν σε μεθόδους και τεχνικές, όπως επίσης και τα χαρακτηριστικά της κάθε τεχνικής και η αποτελεσματικότητά της. Τα δομικά στοιχεία τα οποία θα μελετηθούν είναι τα ακόλουθα:

1. Υποστυλώματα
2. Τοιχώματα
3. Δοκοί και πλάκες
4. Κόμβοι δοκών και υποστυλωμάτων

4.2 Υποστυλώματα

Στον αντισεισμικό ανασχεδιασμό μιας προυπάρχουσας κατασκευής πολύ συχνή πρακτική είναι πλέον οι επεμβάσεις στα υποστυλώματα. Όταν μετά από σεισμό εμφανιστούν βλάβες στην υποδομή υπάρχουν δύο ενδεδειγμένες επιλογές. Η επισκευή τους, δηλαδή η αποκατάσταση των αρχικών χαρακτηριστικών των υποστυλωμάτων είτε η ενίσχυσή τους. Η ενίσχυση των υποστυλωμάτων μπορεί φυσικά να εφαρμοστεί χωρίς να υπάρχουν βλάβες, αλλά όταν υπάρχουν προηγείται η επισκευή.

4.2.1 Επισκευές υποστυλωμάτων

Οι επισκευές εφαρμόζονται ή με την χρήση ρητινενέσεων ή επισκευαστικών κονιαμάτων όταν οι βλάβες είναι ελαφριές ή με καθαίρεση των περιοχών που έχουν βλάβες όταν είναι μεγάλες.

4.2.1.1 Επισκευές με ρητινενέσεις ή επισκευαστικά κονιάματα

Η διαδικασία αποκατάστασης που εφαρμόζεται όταν στο υποστυλώμα υπάρχουν ρηγματώσεις είναι οι ρητινενέσεις και στις αποφλοιώσεις σκυροδέματος ή λυγισμό των ράβδων οπλισμού είναι τα επισκευαστικά κονιάματα. Όταν οι αποφλοιώσεις είναι μικρού

πάχους τοποθετούνται ρητινοκονιάματα και όταν είναι μεγαλύτερου πάχους χρησιμοποιούνται μη συρρικνωμένα κονιάματα με βάση το τσιμέντο.

4.2.1.2 Διαστασιολόγηση

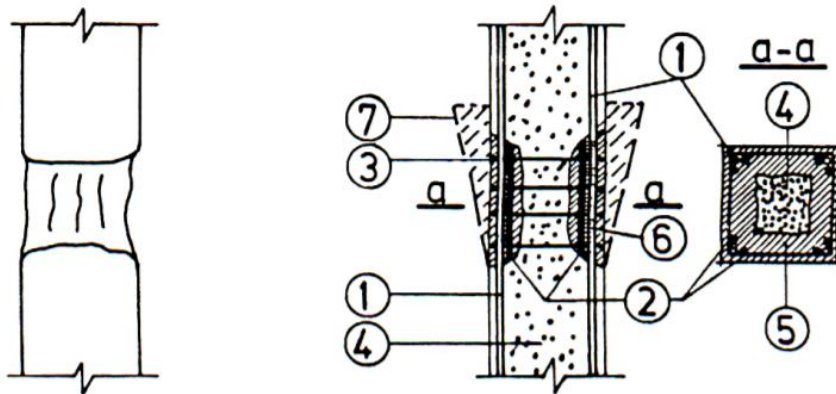
Οι διορθωτικοί συντελεστές προσομοιώματος μπορούν να θεωρηθούν ίσοι ως προς την μονάδα. $k_f=k_k=1$.

4.2.1.3 Τοπικές αποκαταστάσεις ίσης διατομής

Στις σοβαρές βλάβες όπου μπορεί να είναι η αποδιοργάνωση ή η διάρρηξη του σκυροδέματος εφαρμόζονται επεμβάσεις με καθαίρεση και αποκατάσταση ίσης διατομής. Αργότερα μπορεί να ενισχυθεί το υποστύλωμα με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος. Οι ενέργειες που γίνονται για την αποκατάσταση του υποστύλωματος περιλαμβάνουν:

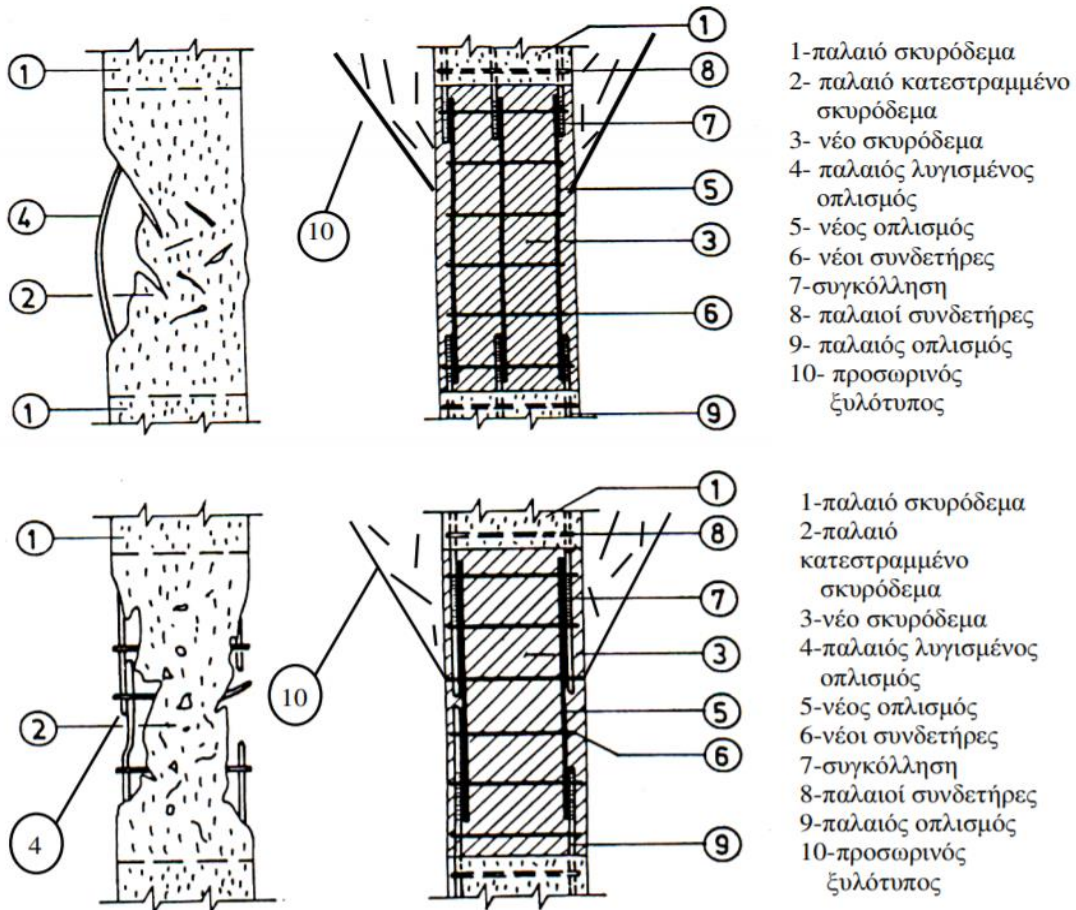
1. Καθαίρεση και απομάκρυνση οποιουδήποτε υλικού σκυροδέματος σε μήκος υποστύλωματος μεγαλύτερο από αυτό της βλαβείσας περιοχής και καλό καθαρισμό.
2. Αφαίρεση συνδετήρων της περιοχής.
3. Κόψιμο οποιονδήποτε λυγισμένων τμημάτων των διαμήκων ράβδων.
4. Ηλεκτροκόλληση νέων τμημάτων διαμήκων ράβδων.
5. Νέα τοποθέτηση πυκνότερων συνδετήρων.
6. Σκυροδέτηση καθαιρεθέντος τμήματος.

Για την αντιμετώπιση της συστολής ξήρανσης του νέου σκυροδέματος χρησιμοποιούνται ειδικά πρόσμεικτα ή ειδικές μίξεις σκυροδέματος.



1. παλιός οπλισμός, 2. νέος οπλισμός, 3. νέοι συνδετήρες, 4. παλιό σκυρόδεμα,
5. νέο σκυρόδεμα, 6. συγκόλληση, 7. προσωρινός ξυλότυπος.

Εικόνα 70: Αποκατάσταση υποστύλωματος με μερική αποδιοργάνωση της βλαβείσας περιοχής (Δρίτσος 2005)



- 1-παλιό σκυρόδεμα
2- παλιό κατεστραμμένο σκυρόδεμα
3- νέο σκυρόδεμα
4- παλιός λυγισμένος οπλισμός
5- νέος οπλισμός
6- νέοι συνδετήρες
7-συγκόλληση
8- παλαιοί συνδετήρες
9- παλιός οπλισμός
10- προσωρινός ξυλότυπος

- 1-παλιό σκυρόδεμα
2-παλιό κατεστραμμένο σκυρόδεμα
3-νέο σκυρόδεμα
4-παλιός λυγισμένος οπλισμός
5-νέος οπλισμός
6-νέοι συνδετήρες
7-συγκόλληση
8-παλαιοί συνδετήρες
9-παλιός οπλισμός
10-προσωρινός ξυλότυπος

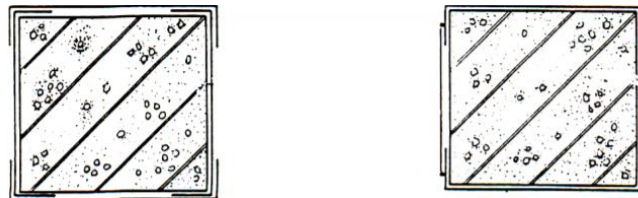
Εικόνα 69 : Αποκατάσταση υποστύλωματος, με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος της βλαβείσας περιοχής (Δρίτσος 2005)

4.2.2 Ενίσχυση υποστλωμάτων

Για την ενίσχυση των υποστλωμάτων υπάρχουν δύο βασικές περιπτώσεις ενίσχυσης, σχετικά με την αύξηση της διατομής του υποστυλώματος ή όχι. Στην μία περίπτωση δεν αυξάνεται η διατομή του υποστυλώματος και γίνεται ενίσχυση με περίσφιξη του στοιχείου. Στη δεύτερη περίπτωση η διατομή του υποστυλώματος αυξάνεται κατασκευάζοντας ένα μανδύα από αποτελείται από νέες στρώσεις σκυροδέματος και νέους οπλισμούς.

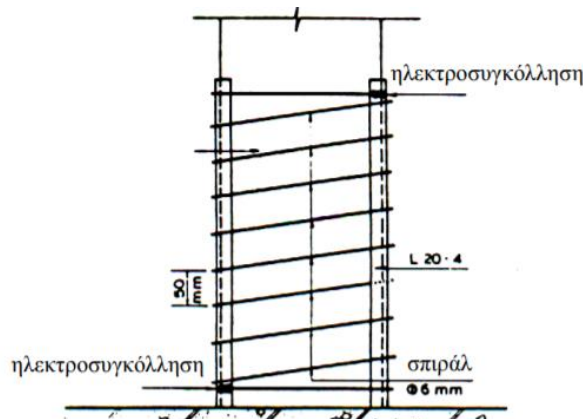
4.2.2.1 Ενίσχυση με περίσφιξη

Η περίπτωση ενίσχυσης του υποστυλώματος με περίσφιξη εφαρμόζεται όταν χρειάζεται πλαστιμότητα το στοιχείο, αύξηση της θλιπτικής αντοχής, αύξηση της διατμητικής αντοχής και όταν υπάρχει κίνδυνος αστοχίας. Η εξωτερική περίσφιξη μπορεί να γίνει με την χρήση επικολλητών κολάρων που είναι συνήθως μεταλλικά ελάσματα με πάχος 1-2mm.



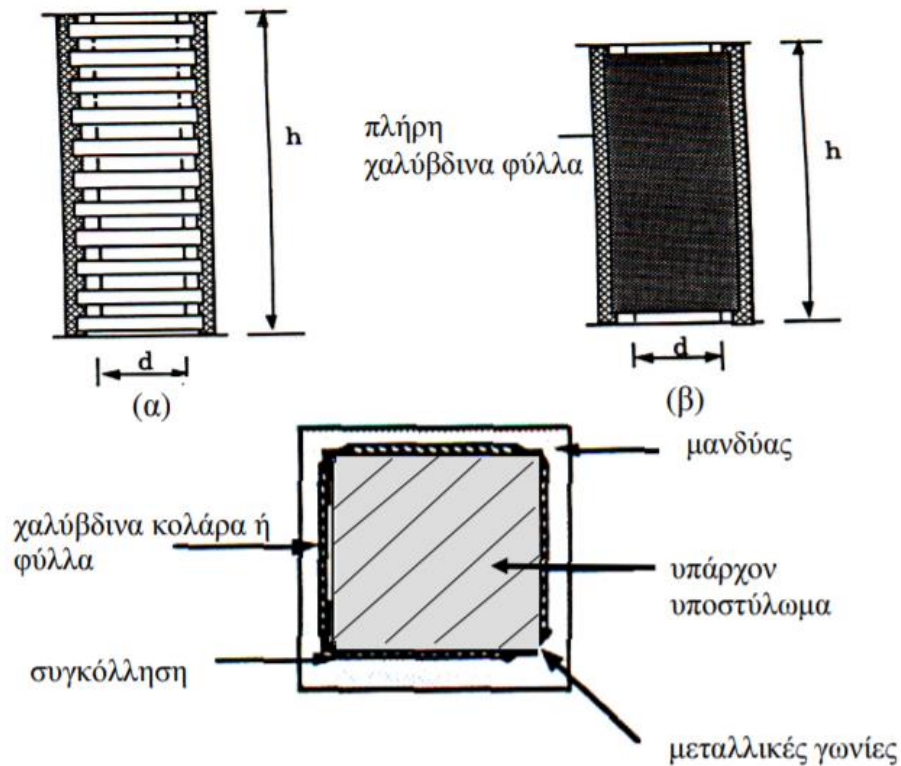
Εικόνα 71: Περίσφιξη με μεταλλικά επικολλητά ελάσματα
(Δρίτσος 2005)

Επίσης με την χρήση προεντεταμένων κολάρων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή. Ακόμα με την χρήση σπειροειδούς οπλισμού από μεταλλικό έλασμα ή ινοπλισμένο πολυμερές.



Εικόνα 72: Περίσφιξη με σπειροειδή οπλισμό
(Δρίτσος 2005)

Επιπλέον, με την χρήση ολόσωμου μανδύα από φύλλα χάλυβα ή ινοπλισμένο πολυμερές. Και τέλος με την χρήση μεταλλικού κλωβού.



Εικόνα 73: Περίσφιγξη με μεταλλικό κλωβό (Δρίτσος 2005)

4.2.2.2 Μανδύες από ινοπλισμένα πολυμερή

Αυτός ο τρόπος επιβολής της περίσφιγξης θεωρείται από τους πιο εύχρηστους. Ο μανδύας εφαρμόζεται σε οριζόντια φορά συμβάλλοντας στον εγκιβωτισμό του υποστύλωματος και αυξάνοντας την διατμητική του αντοχή. Αντί να χρησιμοποιηθούν φύλλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν λωρίδες που είναι μια πιο οικονομική επιλογή σαν υλικό αλλά έχει αυξημένο κόστος εφαρμογή. Αν χρειαστεί να γίνει αύξηση και της καμπτικής αντοχής θα χρησιμοποιηθούν και φύλλα με κατακόρυφη φορά. Όμως θα πρέπει να συνδιαστεί με την ενίσχυση των κόμβων με τις δοκούς λόγω του ότι τα άκρα του υποστύλωματος έχουν αυξημένη καμπτική ένταση. Στα ορθογωνικά υποστύλωματα πριν την εφαρμογή της τεχνικής πρέπει να εξομαλυνθούν οι γωνίες αποκτώντας καμπύλη ακτίνας 30mm. Η εφαρμογή των μανδύων είναι πιο απλή και αποδοτικότερη στα κυκλικά υποστύλωματα.

4.2.2.3 Τεχνική του μεταλλικού κλωβού

Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται με τέσσερα γωνιακά ελάσματα στην κάθε γωνιά του υποστυλώματος και οριζόντια ελαστικά ελάσματα υπό μορφή κολάρου που συγκολλούνται πάνω στα γωνιακά. Πριν την συγκόλληση προηγείται η σύσφιξη των γωνιακών ελασμάτων ή προθέρμανση του οριζόντιου οπλισμού ούτως ώστε να δημιουργηθεί η περίσφιξη από την συστολή. Αλλιώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν βίδες. Στην επαφή που έχει το σκυρόδεμα και ο μεταλλικός κλωβός δημιουργούνται κενά που μπορούν να καλυφθούν με εποξειδική κόλλα ή ένα μη συρρικνωμένο κονίαμα. Όταν το υποστύλωμα είναι σχετικά μικρό $h/d \leq 3$ χρησιμοποιείται η αντικατάσταση των κολάρων με χαλύβδινα φύλλα. Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης και σε συνδυασμό του ότι η τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί με μεγάλη ταχύτητα, αποτελεί την καταλληλότερη προσωρινή λύση άμεση ανάληψης κατακόρυφων φορτίων σε υποστυλώματα που οι βλάβες που έχουν υποστεί έχουν ως αποτέλεσμα να αδυνατούν να μεταφέρουν τα αξονικά τους φορτία.



Εικόνα 74: Επέμβαση με μεταλλικό κλωβό για προσωρινή ανάληψη κατακόρυφων φορτίων (Δρίτσος 2005)

4.2.2.5 Αποκατάσταση περιοχών με ανεπαρκή μήκη μάτισης διαμήκων οπλισμών

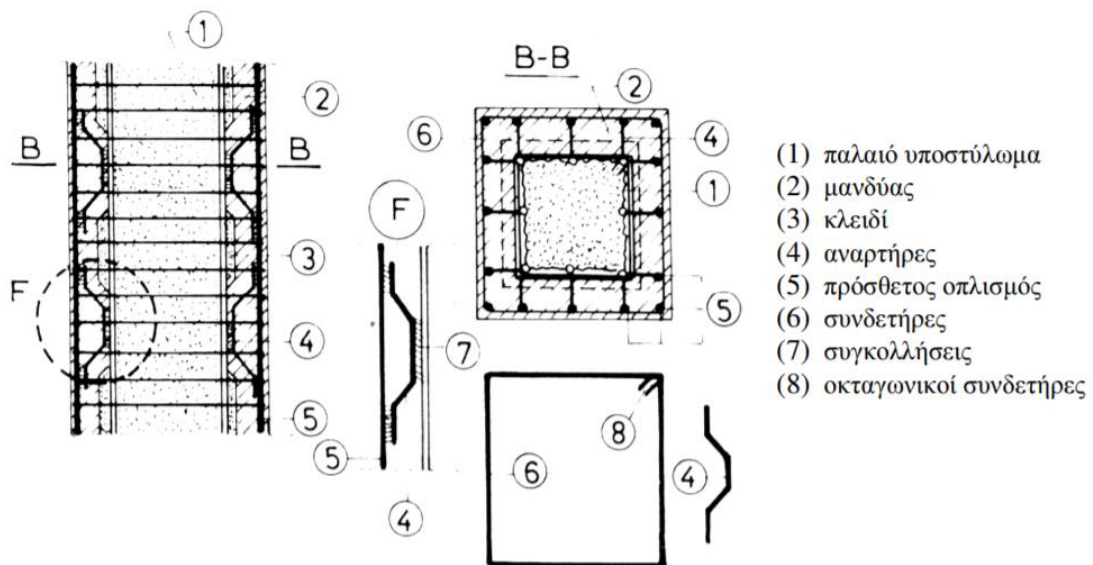
Στο σχέδιο δύο του ΚΑΝ.ΕΠΕ (ΟΑΣΠ.2005) στα κτίρια τα οποία είναι υφιστάμενα το απαιτούμενο μήκος μάτισης των ράβδων οπλισμού (l_{so}) εκτιμάται λιγότερο συντηρητικά σε σχέση με προηγούμενα χρόνια της τάξεως $l_{so} = l_b$. Όταν όμως το διατιθέμενο μήκος μάτισης είναι ανεπαρκές μπορούν να εφαρμοστούν δύο μέθοδοι αποκατάστασης που θα βοηθήσουν στην βελτίωση των συνθηκών μεταφοράς των δυνάμεων μεταξύ των ράβδων.

Η πρώτη μέθοδος είναι η ηλεκτροκόλληση των αναμονών με καινούργιες ράβδους ή μπορούν να επεκταθούν οι υφιστάμενες αναμονές με πρόσθετες ράβδους ηλεκτροσυγκολλώντας τις. Η δεύτερη μέθοδος είναι η εφαρμογή εξωτερικής περίσφιξης στο υποστύλωμα που έχει ως στόχο την αποτροπή της πρόωρης αστοχίας της περιοχής της μάτισης από το υφιστάμενο περιβάλλον. Σαν εξωτερικός οπλισμός περίσφιξης μπορούν να χρησιμοποιηθούν μανδύες ή κολάρα από χάλυβα ή ινοπλισμένα υλικά με την προϋπόθεση ότι εξασφαλίζεται η πλήρης επαφή του υλικού που χρησιμοποιείται για περίσφιξη και της επιφάνειας του δομικού στοιχείου. Αν χρησιμοποιηθεί μανδύας από οπλισμένο σκυρόδεμα, οι συνδετήρες του μανδύα θα αναλάβουν τον ρόλο του εξωτερικού οπλισμού περίσφιξης.

Άλλες δράσεις περίσφιξης είναι αρχικά η ανάληψη διατμητικού φορτίου που λειτουργεί σαν εξωτερικός συνδετήρας που τοποθετείται με τους εγκάρσιους οπλισμούς. Επίσης η ανάληψη των κατακόρυφων φορτίων που ενισχύονται και τα φέροντα κατακόρυφα στοιχεία όπως την τεχνική του μεταλλικού κλωβού.

4.2.3 Μανδύες υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα

Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται στις περιπτώσεις όπου τα υποστυλώματα οπλισμένου σκυροδέματος έχουν σοβαρές βλάβες ή όταν γίνεται η διαπίστωση ότι υπάρχει ανεπάρκεια στην αντοχή και σε άλλα χαρακτηριστικά τους. Πρέπει να αναφέρουμε ότι η κατασκευή μανδύων στις μέρες μας είναι η αποδοτικότερη μέθοδος αύξησης της αντοχής, της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητας των υποστυλωμάτων. Παρακάτω αναλύονται με σχεδιαγράμματα η τεχνική με αύξηση της διατομής με νέο σκυρόδεμα και νέους οπλισμούς και από τις δύο κατευθύνσεις.



Εικόνα 76: Μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος (Δριτσος 2005)

4.2.3.1 Είδη μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των μανδύων μπορεί να είναι είτε από έγχυτο σκυρόδεμα το οποίο για μανδύες πάχους $>80\text{mm}$ και απαιτείται να κατασκευαστεί ξυλότοιχος. Οι μανδύες με εκτοξευμένο σκυρόδεμα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μανδύων $<100\text{mm}$ και δεν χρειάζεται ξυλότοιχος, είναι η πιο συνήθης τακτική όμως απαιτεί ιδιαίτερη φροντίδα. Ένα είδος μανδύων είναι από σκυροτσιμεντόπηγμα το οποίο πλεονεκτεί στην απρόσκοπτη σκυροδέτηση παρουσίας πυκνών οπλισμών, θα μπορούσε να θεωρηθεί η καταλληλότερη τεχνική όμως στην εφαρμογή δεν υπάρχει η κατάλληλη εμπειρία. Τέλος οι μανδύες από τσιμεντοκονιάματα, οι οποίοι χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται μικρό μήκος μανδύα και σε ιδιαίτερες περιπτώσεις, λόγω αυξημένου κόστους.

4.2.3.2 Διαδικασία κατασκευής μανδύων

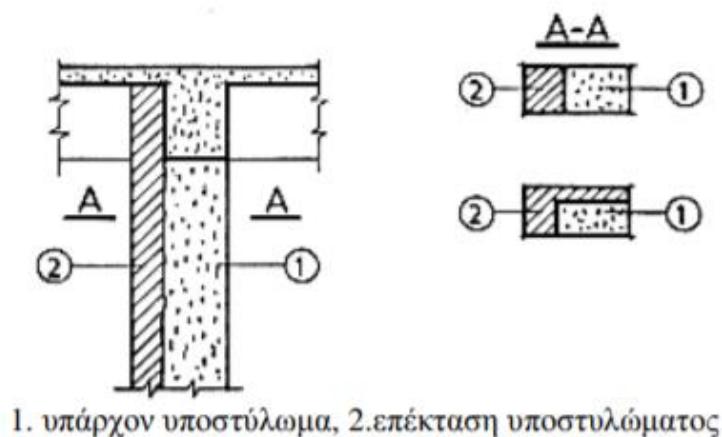
1. Αποφόρτιση και υποστύλωση των πλακών και των δοκών
2. Απομάκρυνση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος και αντικατάστασή του καθώς και επισκευή τοπικών βλαβών
3. Άνοιγμα και προετοιμασία οπών στις θέσεις αγκύρωσης των καινούργιων ράβδων οπλισμού και των βλήτρων
4. Απομάκρυνση εξωτερικής στρώσης τσιμεντοπολτού ,με επιμέλεια σε βάθος 6mm
5. Καθαρισμός επιφάνειας και εσωτερικού των οπών

6. Αγκύρωση των διαμήκων ράβδων οπλισμού στα άκρα του υποστυλώματος με την χρήση ρητίνης. Μπορεί για περισσότερη ευκολία να αγκυρωθούν πρώτα μικρότερα τμήματα των οπλισμών
7. Αγκύρωση μηχανικών ή χημικών βλήτρων όπου και αν χρειάζονται
8. Τοποθέτηση και ηλεκτροκόλληση των χαλύβδινων παρεμβλημάτων σύνδεσης παλιών και νέων οπλισμών
9. Τοποθέτηση νέων συνδετήρων
10. Τελικός καθαρισμός των επιφανειών με αέρα κα νερό υπό πίεση
11. Διαβροχή της επιφάνειας του παλιού σκυροδέματος 6 ώρες πριν την σκυροδέτηση του νέου, όπως επίσης και του ξυλότοιχου
12. Σκυροδέτηση του μανδύα και ακολούθως των μέτρων συντήρησης σύμφωνα με τον κανονισμό τεχνολογίας σκυροδέματος

4.2.3.3 Ανοικτοί μανδύες

Ανοικτός μανδύας εννοείται ο μανδύας που δεν περικλείει ολόκληρο το υποστύλωμα, όπως στην περίπτωση που το υποστύλωμα είναι στα όρια με άλλη υποδομή. Ακολουθούν σχεδιαγράμματα που δείχνουν πως ο μανδύας περιβάλλει τρεις από τις τέσσερις γωνίες του υποστυλώματος.

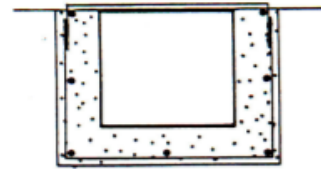
Όταν ο μανδύας περικλείει μόνο δύο ή μια πλευρά στην ουσία γίνεται μια προέκταση του υποστυλώματος.



Εικόνα 77: Μονόπλευρη ή δίπλευρη επέκταση υποστυλώματος (Δρίτσος 2005)

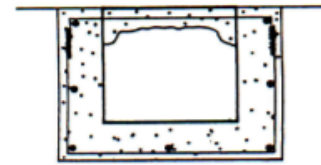
(α) Νέοι συνδετήρες με εξωτερική ράβδο ή λάμα και συγκόλληση

(α)

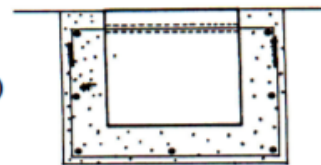


(β, γ) Νέοι συνδετήρες με διαμπερές χάντρωμα ή τρύπα και συγκόλληση

(β)

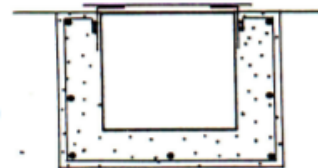


(γ)



(δ) Νέοι συνδετήρες συγκολλημένοι σε δύο γωνιακά (π.χ. L 50.100.5) και εξωτερική λάμα

(δ)



(ε) Νέοι συνδετήρες συγκολλημένοι σε δύο γωνιακά (π.χ. L 50.100.5) στερεωμένα στο υποστύλωμα με βλήτρα.

(ε)



Εικόνα 78: Περιπτώσεις ανοικτών μανδύων (Δρίτσος 2005)

4.2.3.4 Μεταφορά αξονικών φορτίων

Οι σχέσεις οι οποίες υπολογίζουν το μέγεθος της μεταφοράς του αξονικού φορτίου του υποστύλωματος στον μανδύα είναι προσεγγιστικές. Υπάρχουν κάποιες οδοί μεταφοράς των δυνάμεων όπως αναφέρονται παρακάτω.

Μεταφορά δυνάμεων μέσω τριβής, μεταφορά δυνάμεων μέσω συγκολλημένων οπλισμών, μεταφορά δυνάμεων μέσω της περιοχής βλάβης, μεταφορά δυνάμεων από τον από πάνω όροφο απευθείας στον μανδύα, μεταφορά δυνάμεων μέσω των παλιών οπλισμών και μεταφορά δυνάμεων μέσω του μηχανισμού δράσης βλήτρου.

Εκτίμηση μεγέθους μεταφερόμενου αξονικού φορτίου. Το αξονικό φορτίο που μεταφέρεται στον μανδύα μέσω τριβής πάλι εκτιμάται προσεγγιστικά.

4.2.3.5 Συνδετήρες μανδύα

Όπως προαναφέραμε οι θλιπτικές φορτίσεις μεταφέρονται από το παλιό υποστύλωμα προς τον μανδύα μέσω της οδού του μηχανισμού τριβής. Στις περιοχές αυτές οι εγκάρσιες εφελκυστικές τάσεις του μανδύα παίρνουν την μεγαλύτερη τιμή λόγω του ότι η παραμόρφωση του υποστυλώματος είναι η μέγιστη ενώ του μανδύα μηδαμινή. Έτσι στις ακραίες περιοχές του μανδύα πρέπει να τοποθετούνται πυκνοί συνδετήρες για να μην ρηγματωθεί ο μανδύας.

4.2.4 Διαστασιολόγηση

Για την περίπτωση των ολόσωμων μανδύων οι συντελεστές μονολιθικότητας που προτείνονται στον EC8-PART1,4(1995) είναι $k_r = 0,8$ και $k_k = 0,7$ με την προϋπόθεση ότι στην περιοχή βλάβης του υποστυλώματος αποκαταστάθηκε η συνέχεια του πριν να κατασκευαστεί ο μανδύας. Επίσης ότι όλες οι κοινές ράβδοι έχουν αγκυρωθεί σωστά στο υποστύλωμα και το εμβαδόν της διατομής του μανδύα δεν ξεπερνά το διπλάσιο της διατομής του αρχικού φορέα. Η συμπεριφορά του μανδύα από χυτό επι τόπου σκυρόδεμα είναι διαφορετική σε αντοχή και δυσκαμψία από τον αντίστοιχο μονολιθικό και άρα οι συντελεστές προσομοιώματος που προτείνονται στον EC8-PART1,4(1995) είναι $k_r = 0,8-1$ και $k_k = 0,7-1$. Ο σχεδιασμός των φερόντων στοιχείων της κατασκευής μπορεί να γίνει με δύο αναλύσεις. Στην πρώτη θεωρείται ότι $k_k = 0,7$ και στην δεύτερη ότι $k_k = 1$.

4.2.5 Κατασκευαστικές διατάξεις

Μετά από έρευνες και πειράματα θεωρούμε ελάχιστο πλάτος μανδύα με εκτοξευμένο σκυρόδεμα 50mm, με έγχυτο σκυρόδεμα και μία νέα σειρά οπλισμών 80-120mm και τέλος με έγχυτο σκυρόδεμα και δύο νέες σειρές οπλισμών ≥ 120 mm. Για πάχος μανδύα < 75 mm τα άκρα των συνδετήρων πρέπει να ηλεκτροσυγκολλούνται σε εναλλασσόμενες πλευρές του υποστυλώματος. Για τους ελάχιστους συνδετήρες και τους κατακόρυφους νέους οπλισμούς ισχύουν οι διατάξεις σύμφωνα με το Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ,2000 και στην περιοχή της βλάβης τοποθετούνται συνδετήρες τουλάχιστον $\Phi 8/75$ mm. Η αντοχή του σκυροδέματος του μανδύα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το παλιό υποστύλωμα. Το εμβαδόν της διατομής του μανδύα να μην ξεπερνά το διπλάσιο του εμβαδού της διατομής

του παλιού υποστυλώματος. Τα όρια του μανδύα πρέπει να φτάνουν σε απόσταση μιάμιση φορά μεγαλύτερη από αυτή το φορέα από τα όρια της βλάβης. Και τέλος στην περίπτωση όπου χρειάζεται επισκευή το υποστύλωμα κοντά σε κόμβο να εξετάζεται η δυνατότητα επέκτασης του μανδύα σε γειτονικό όροφο.

4.3 Τοιχώματα

Στο παρελθόν, στις μελέτες υποβάθμιζαν την πραγματική ένταση των τοιχωμάτων έτσι για κατακύριο λόγο πρέπει να ανασχεδιάζεται η αντισεισμική μελέτη για ενίσχυση ή επισκευή των τοιχωμάτων.

4.3.1 Επισκευές τοιχωμάτων

Για τις επισκευές των τοιχωμάτων είτε για μικρές βλάβες ή για μεγάλες βλάβες χρησιμοποιούμε ρητινενέσεις είτε επισκευαστικά κονιάματα, την τεχνική της τοπικής αποκατάστασης ίσης διατομής και για τις δύο βλάβες αντίστοιχα. Το τοίχωμα το οποίο θα επισκευαστεί έχει περίπου την ίδια αντοχή αλλά μικρότερη δυσκαμψία από το αντίστοιχο μονολιθικό : $k_r = 1,0$ $k_k = 0,9 \sim 1,0$

4.3.2 Ενισχύσεις τοιχωμάτων

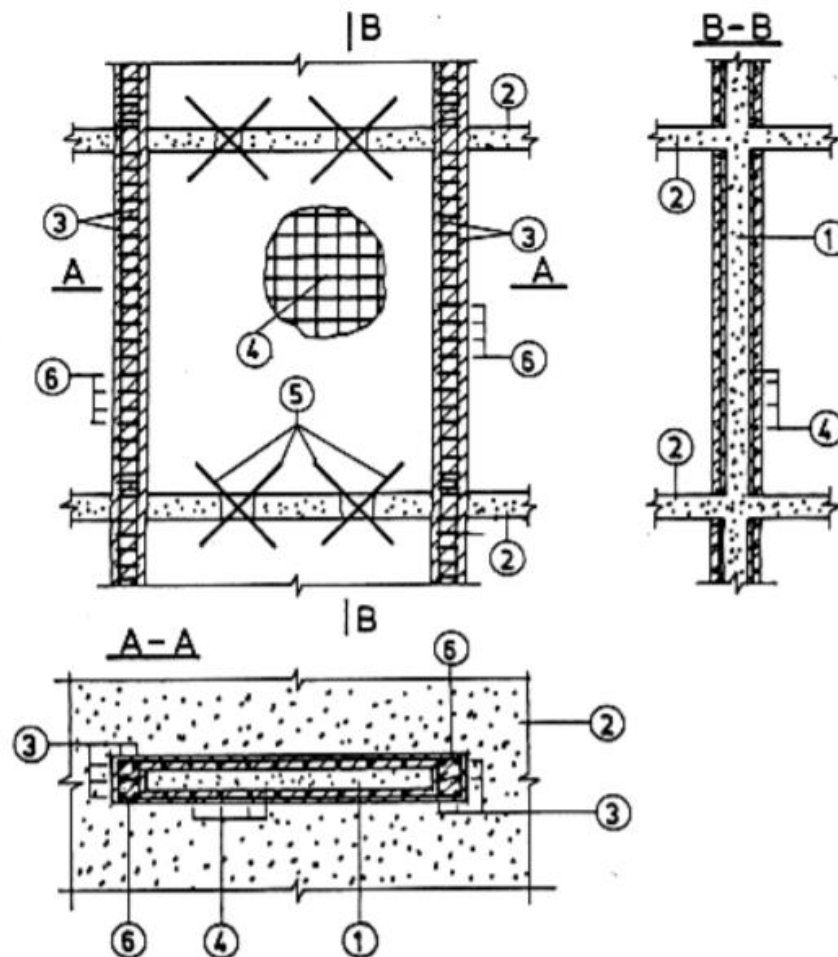
Για τις ενισχύσεις των τοιχωμάτων μπορούν να εφαρμοστούν η τεχνική των μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος και η τεχνική περίσφιξης όπως γίνεται για την ενίσχυση υποστυλωμάτων αλλά με τις ενδεδειγμένες εκ νέου προσαρμογές.

4.3.2.1 Ενίσχυση με περίσφιξη

Αυτή η τεχνική εφαρμόζεται όπως ακριβώς και για τα υποστυλώματα. Δεν επιτρέπει όμως αξιόλογη απόδοση και έτσι δεν συνίσταται. Μπορεί όμως να αποδειχθεί σημαντική λόγω του ότι η ισχνή απόδοση της περίσφιξης αυξάνεται με την παρεμβολή μεταλλικών στοιχείων σε σχήμα Z ή Π, τα οποία ηλεκτροσυγγολούνται μαζί με τα μεταλλικά ελάσματα των κλωβών. Ακόμα, η τεχνική προσλαμβάνει τις δυνάμεις που τέμνονται και συνεχίζει να είναι μια αποδοτική λύση λήψης κατακόρυφων φορτίων στα συγκεκριμένα τοιχώματα που δεν μπορούν να μεταφέρουν τα αξονικά φορτία τους λόγω σοβαρής βλάβης.

4.3.2.2 Ενίσχυση με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος

Αυτή η τεχνική ενίσχυσης των τοιχωμάτων είναι η περισσότερο διαδεδομένη και η πλέον αποτελεσματική. Λόγω όμως του ότι μπορεί η μία διάσταση να έχει μεγάλο μήκος, συνήθως δεν έχει κλειστή μορφή, και επί της ουσίας το πάχος αυξάνεται είτε από την μία πλευρά είτε και από τις δύο πλευρές με σκοπό την ενίσχυση στις άκρες των τοιχωμάτων. Για να προετοιμαστούν και να τοποθετηθούν οι νέοι οπλισμοί, η διαδικασία που ακολουθείται είναι η ίδια με την διαδικασία για τα υποστυλώματα, που γίνεται με έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.



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

Εικόνα 79: Γενική διάταξη ενίσχυσης τοιχώματος με κλειστό μανδύα (Δρίτσος 2005)

4.3.3 Διαστασιολόγηση

Θεωρούμαι τα ενισχυμένα τοιχώματα μονολιθικά στοιχεία και χρησιμοποιούμε τις τιμές για τη δυσκαμψία και την αντοχή όπως και στους μανδύες υποστυλωμάτων $k_f=0,8$ και $k_k=0,7$ με την προϋπόθεση ότι στην περιοχή βλάβης του υποστυλώματος αποκαταστάθηκε η συνέχεια του πριν να κατασκευαστεί ο μανδύας. Επίσης, υπό την προϋπόθεση ότι οι ράβδοι που θα τοποθετηθούν στον αρχικό φορέα έχουν καλή αγκύρωση. Και τέλος, οι τιμές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν το εμβαδόν της διατομής του μανδύα δεν υπερβαίνει το διπλάσιο της διατομής του αρχικού τοιχώματος.

4.3.4 Κατασκευαστικές διατάξεις

Το ελάχιστο πλάτος μανδύα με εκτοξευμένο σκυρόδεμα θεωρούμαι 50mm, και με έγχυτο σκυρόδεμα 80mm. Η αντοχή του σκυροδέματος του μανδύα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το παλιό τοίχωμα. Το εμβαδόν της διατομής του μανδύα να μην ξεπερνά το διπλάσιο του εμβαδού της διατομής του παλιού τοιχώματος.

4.4 Δοκοί και πλάκες

Στην περίπτωση σεισμικής έντασης οι βλάβες οι οποίες συγκεντρώνονται στην υποδομή βρίσκονται κυρίως κοντά στους κόμβους των υποστυλωμάτων-δοκών. Γι' αυτό και όταν επεμβαίνουμε πάνω στις δοκούς είναι μια συνολική επέμβαση και στα κατακόρυφα στοιχεία αλλά και στους κόμβους.

4.4.1 Επισκευή δοκών και πλακών

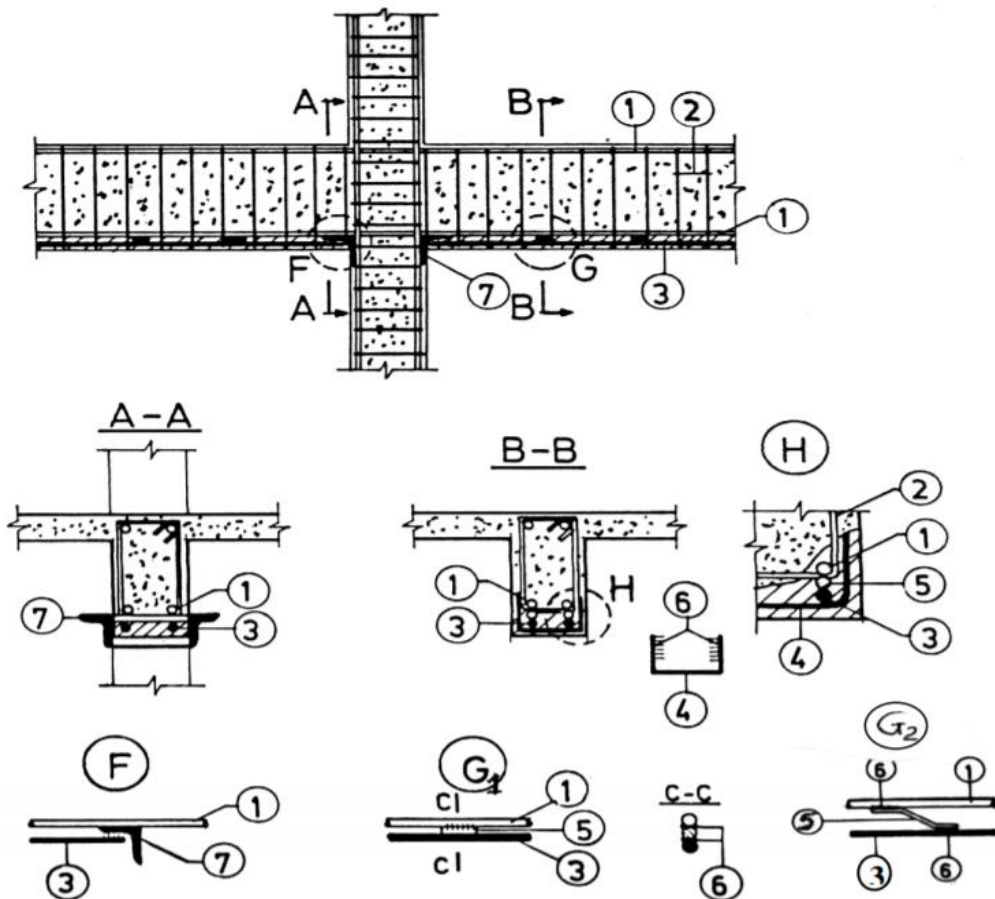
Ανάλογα με την βλάβη την οποία έχει υποστεί το κτίριο οι επισκευές γίνονται με την χρήση της τεχνικής της ρητινένεσης των κονιαμάτων για ελαφριές βλάβες, ή με τη τεχνική της αποκατάστασης ίσης διατομής αντίστοιχα για σοβαρές βλάβες. Ακολουθούν χαρακτηριστικές περιπτώσεις για τις βαριές βλαβες που μπορεί να υποστεί η δοκός και η πλάκα.

4.4.2 Ενίσχυση δοκών και πλακών

Οι τεχνικές ενίσχυσης των δοκών έχουν στόχο την αύξηση της καμπτικής αντοχής ή και την αύξηση της διατμητικής αντοχής.

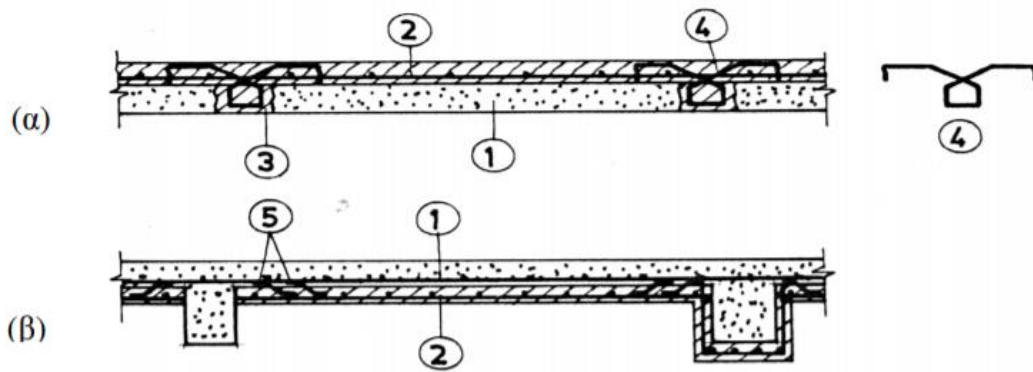
4.4.2.1 Καμπτική Ενίσχυση με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος

Η καμπτική ενίσχυση εφαρμόζεται κυρίως για ισχυρές ενισχύσεις δοκών και πλακών στο εφελκόμενο πέλμα. Υπάρχουν περιπτώσεις που μπορεί να εφαρμοστεί και στο θλιβόμενο πέλμα. Ο πρώτος τρόπος είναι με την χρήση νέων οπλισμών από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε όλο το πλάτος της δοκού με πάχος ~ 50-100 mm. Στη δεύτερη περίπτωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ή και εγχυτο χωρίς επιπλέον οπλισμούς. Αυτή η τεχνική μπορεί να γίνει είτε με χαλίβδινα πλήκτρα που προτιμάται αλλά και με ηλεκτροσυγκολήσεις που μπορεί να επιδράσει αρνητικά στα χαρακτηριστικά του χάλβα. Ακολουθούν σχήματα που παρουσιάζουν τρόπους εφαρμογής ενίσχυσης δοκών και πλακών.



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

Εικόνα 80: Ενίσχυση κάτω πέλματος δοκού (Δρίτσος 2005)

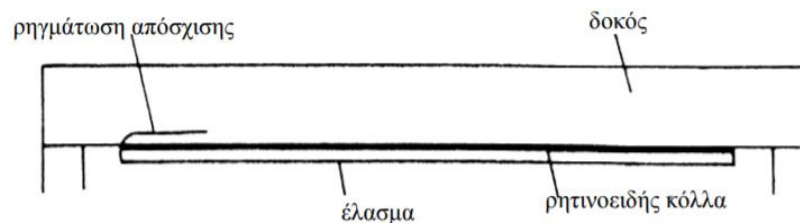


1. παλιά πλάκα, 2. νέοι οπλισμοί, 3. φολιές αγκυρώσεως, 4. οπλισμοί αγκυρώσεως, 5. συγκολλημένοι σύνδεσμοι

Εικόνα 81: Ενίσχυση πλακών (α) στο πάνω πέλμα, (β) στο κάτω πέλμα (Δρίτσος 2005)

4.4.2.2 Καμπτική ενίσχυση απο επικολλητά φύλλα από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή

Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται κυρίως στις πλάκες και στις δοκούς. Τα υφάσματα κολλώνται πάνω στο πέλμα που εφελκύεται με κόλλα ρητίνης. Στη συγκεκριμένη τεχνική η αύξηση της καμπτικής αντίστασης του στοιχείου θα πρέπει να συνυπολογίζεται, για να μην αυξηθεί η δυσκαμψία να μην παραμορφωθεί και να μην ριγματώσει το στοιχείο όπως επίσης και να μην μειωθεί η πλαστιμότητα. Η τεχνική μπορεί να αποτύχει στην περιοχή όπου αγκυρώνονται τα άκρα των φύλλων. Κύρια μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου οφείλονται στην μαζική ύπαρξη τάσεων στην περιοχή, που είναι η διάβρωση των άκρων με την χρήση χάλυβα και η πρόωρη αστοχία με απόσχιση.



Εικόνα 82: Αστοχία ακραίας περιοχής δοκού με επικολλητά φύλλα (Δρίτσος 2005)

Χρησιμοποιώντας ινοπλασμένα πολυμερή φύλλα αντί για ελάσματα από χάλυβα βλέπουμε διαφορετική συμπεριφορά του στοιχείου αφού ο νέος οπλισμός έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά από τον ήδη υπάρχων που καλείται να αναλάβει δυνάμεις εφελκισμού. Αν τα στοιχεία χρειάζονται να ενισχυθούν μετά απο σεισμό δεν συνίσταται αυτή η τεχνική εκτός και αν γίνει εκτενής μελέτη που εγγυάται ότι είναι αποδεκτή η πλαστιμότητα του ενισχυμένου μέρους.

4.4.2.3 Οι μορφές αστοχίας που πρέπει να ελεγχθούν είναι οι τρεις ακόλουθες

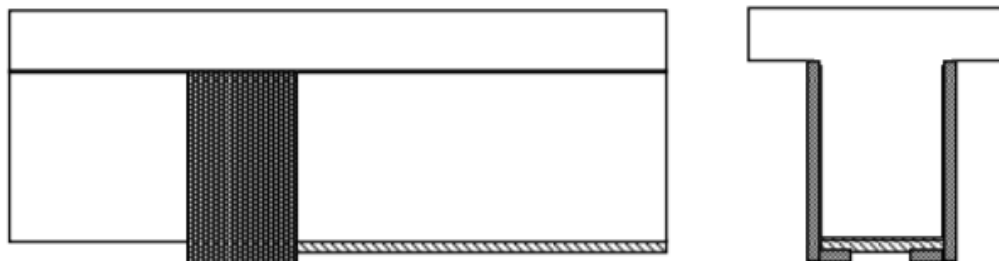
1. Πρώτη Μορφή Αστοχίας : Αφορά την αστοχία του ίσιου υλικού ενίσχυσης. Αν το υλικό αυτό είναι ινοπλισμένο πολυμερές η θραύση θεωρείται η αστοχία, ενώ στην περίπτωση του χάλυβα αστοχία θεωρείται η διαρροή του.
2. Δεύτερη Μορφή Αστοχίας : Είναι η πρόωρη αποκόλληση του υλικού λόγω του ότι δεν είναι επαρκής η σύνδεση κατά μήκος του στοιχείου ή και της αγκύρωσης των άκρων του.
3. Τρίτη Μορφή Αστοχίας: Αφορά την πρόωρη διατμητική αστοχία του σκυροδέματος όπου είναι απο τις πλέον συνήθεις με την μορφή απόσχισης της επικάλυψης στην περιοχή απόληξης του οπλισμού ενίσχυσης.

4.4.3 Κατασκευαστικές Διατάξεις

Συνοψίζοντας προτείνονται οι εξής κατασκευαστικές διατάξεις

1. Προς αποφυγή της πρόωρης αστοχίας στην επικόλληση του ελάσματος πρέπει το πάχος του να είναι μικρό, λιγότερο από 4mm όπως επίσης να μην ξεπερνά το 2% του πλάτους του ελάσματος, κυρίως στην περιοχή αγκύρωσης. Με το να είναι μικρό το πάχος του ελάσματος συνδέεται καλύτερα με την δοκό χωρίς να μπαίνουν περισσότερες τοπικές τάσεις
2. Οι στρώσεις των ελασμάτων να είναι λιγότερες από 3 και λιγότερες από 5 για να εύκαμπτα υφάσματα
3. Συνίσταται το υλικό ενίσχυσης να μην ματίζεται
4. Η κόλλα η οποία ενώνει τα στοιχεία πρέπει να έχει πλάστιμη συμπεριφορά για να υπάρχει καλύτερη κατανομή τάσεων στην περιοχή της αγκύρωσης
5. Όταν χρησιμοποιούνται χαλύβδινα ελάσματα να επιβεβαιώνεται η ύπαρξη πλήρους μεταφοράς δυνάμεων του οπλισμού ενίσχυσης στο σκυρόδεμα μέσω βλήτρων

6. Ο οπλισμός ενίσχυσης να αγκυρώνεται στην θλιβόμενη περιοχή
7. Η αγκύρωση στα άκρα των ελασμάτων μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας εγκάρσιες λωρίδες. Όταν χρησιμοποιηθούν χαλύβδινα ελάσματα προτείνεται να χρησιμοποιούνται και χαλύβδινες γωνίες αγκύρωσης που ηλεκτροσυγκολλούνται στα ελάσματα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχεδιάγραμμα



Εικόνα 83: Ειδικά επικολλητά γωνιακά αγκύρωσης όταν χρησιμοποιούνται χαλύβδινα ελάσματα (Δρίτσος 2005)

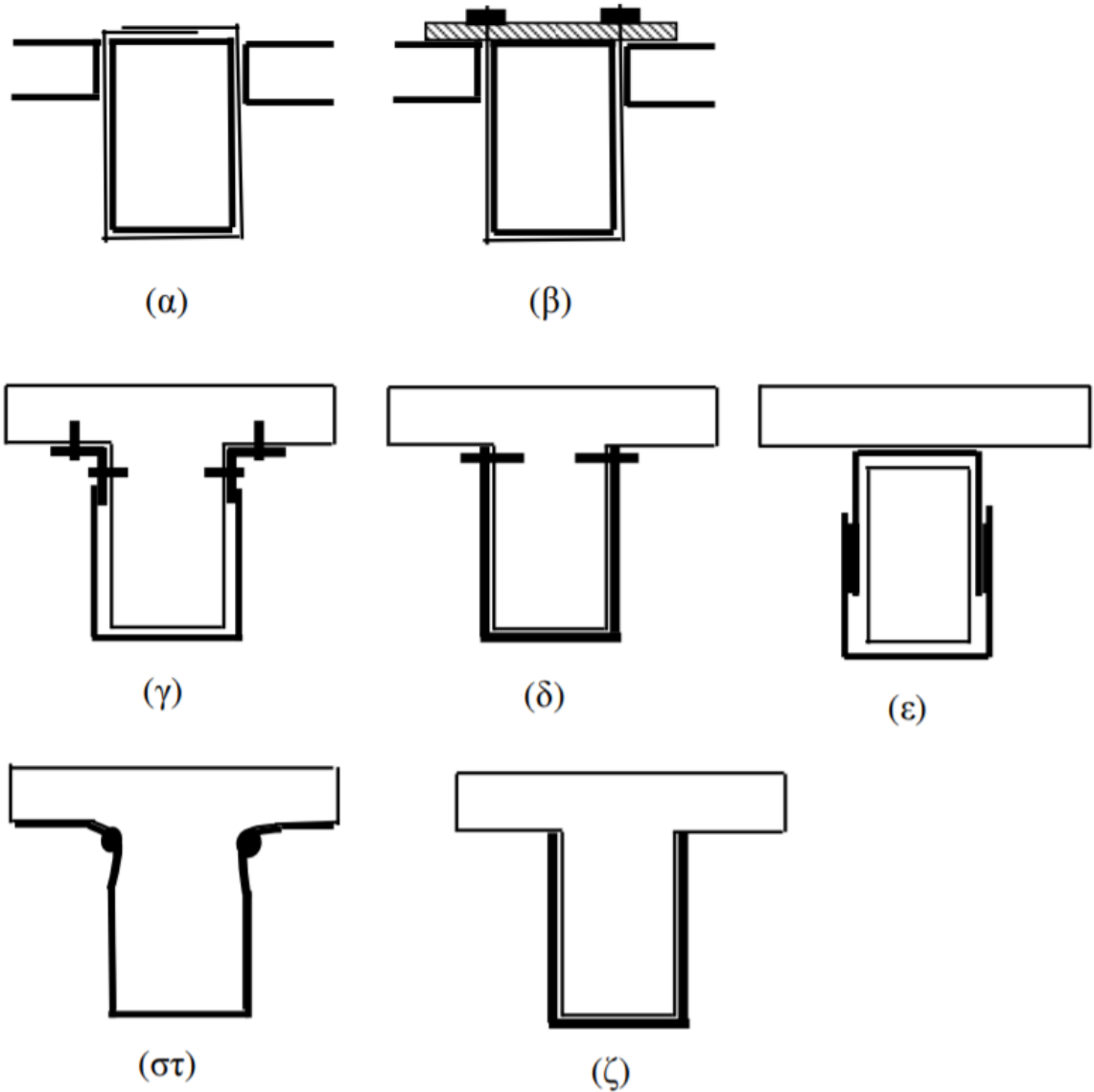
4.4.4 Διατμητική ενίσχυση με εξωτερικά στοιχεία

Αυτή η τεχνική θα χρησιμοποιηθεί όταν η τέμνουσα σχεδιασμού υπερβαίνει την τέμνουσα αντοχής του στοιχείου είτε τη σχετιζόμενη με τη λοξή θλίψη του κορμού, είτε με τη σχετιζόμενη διάτμηση του οπλισμού.

Προσθέτοντας νέες στρώσεις σκυροδέματος με κλειστή μορφή μανδύα μπορεί να αντιμετωπιστεί η ανεπάρκεια έναντι λοξής θλίψης. Όταν δεν μπορεί να κατασκευαστεί κλειστός μανδύας μπορούμε να ενισχύσουμε το στοιχείο με ανοικτή ενίσχυση νέων στρώσεων σκυροδέματος που να καλύπτει τουλάχιστον τρεις πλευρές του αρχικού στοιχείου. Για να χρησιμοποιηθεί ο ανοικτός μανδύας χρειάζεται μελέτη η οποία αποδεικνύει ότι ο μανδύας αγκυρώνεται στα υφιστάμενα στοιχεία σκυροδέματος και ποίοι είναι οι ενδεχόμενοι τρόποι αστοχίας. Ακόμα ένας τρόπος ο οποίος μπορεί να αντιμετωπιστεί η ανεπάρκεια έναντι λοξής θλίψης είναι η περίσφυξη του στοιχείου στοχεύοντας έτσι την αύξηση αντοχής του σκυροδέματος και η τέμνουσα αντοχή.

Η ανεπάρκεια οπλισμού διάτμησης αντιμετωπίζεται είτε με μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα ή με τεχνικές εξωτερικής περίσφυξης. Όταν η ενίσχυση γίνεται με τον

πρώτο τρόπο η διαστασιολόγηση και η εφαρμογή της τεχνικής γίνεται όπως θα χρησιμοποιείται στην ανεπάρκεια σε λοξή θλιψη του κορμού. Στον δεύτερο τρόπο η ενίσχυση μπορεί να γίνει με εξωτερικά στοιχεία από χάλυβα. Τα εξωτερικά στοιχεία περισφύγονται στο στοιχείο και αναλαμβάνουν τον ρόλο οπλισμού διάτμησης.

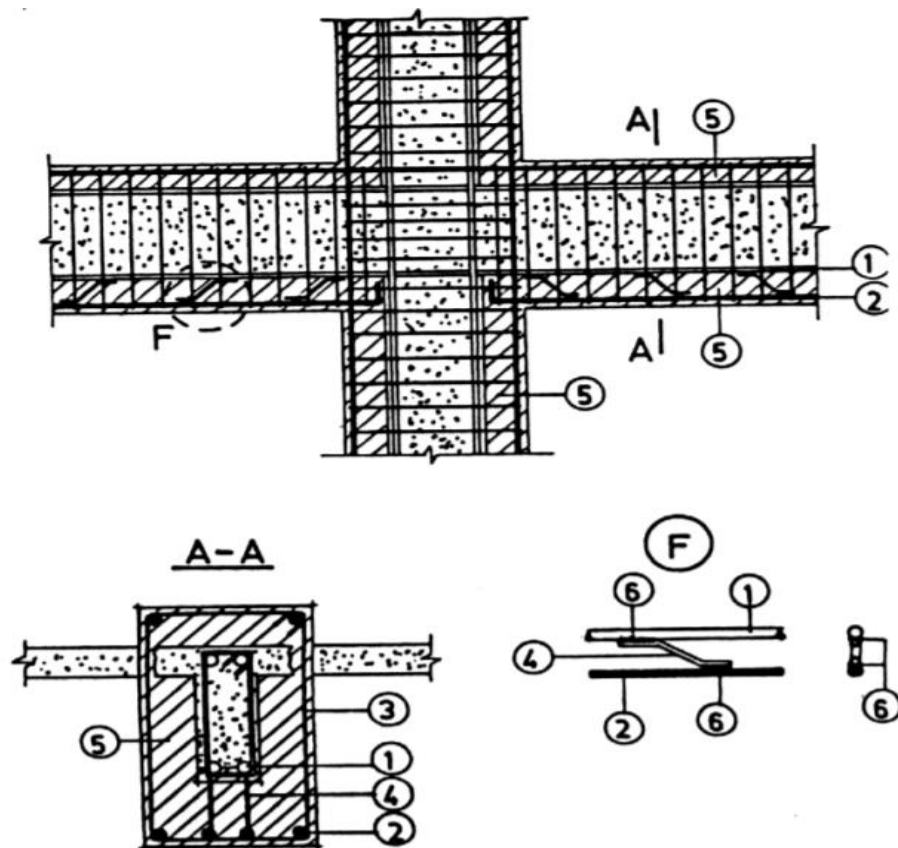


Εικόνα 84: Ενδεικτικοί τρόποι ενίσχυσης σε διάτμηση έναντι ανεπάρκειας οπλισμού διάτμησης (Δρίτσος 2005)

(α), (β) κλειστή ενίσχυση, (γ), (δ), (ε), (στ) ανοικτή ενίσχυση με αγκυρωμένα άκρα, (ζ) ανοικτή ενίσχυση

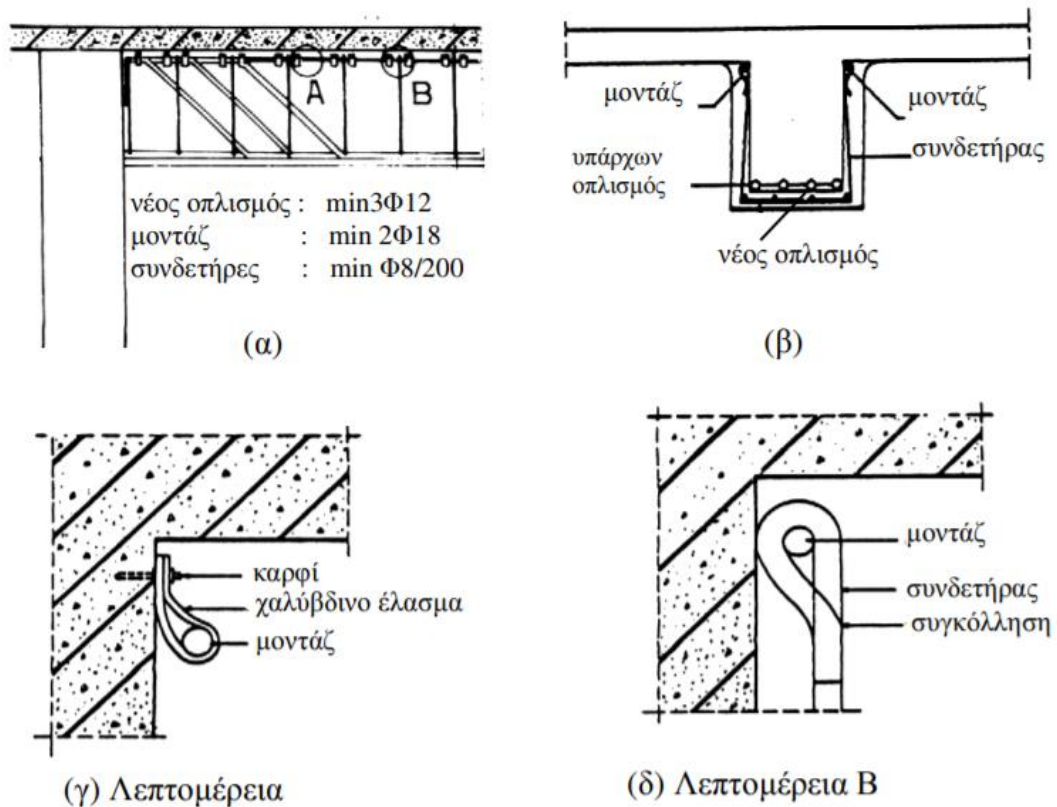
4.4.5 Ενίσχυση με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος

Η τεχνική αυτή είναι η αποδοτικότερη μέθοδος για να αυξηθεί η καμπτική και διατμητική αντοχή του στοιχείου, αυξάνεται η διατομή της δοκού με στρώμα νέου σκυροδέματος καινούργιους διαμήκους οπλισμούς και συνδετήρες οι οποίοι περικλείουν το υφιστάμενο στοιχείο. Συνήθως χρησιμοποιείται εκτοξευμένο σκυρόδεμα για ευκολία του κατασκευαστή. Όταν χρειάζεται και διατμητική και καμπτική αντοχή όπως έχουμε πει, χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος, όταν όμως χρειάζεται αύξηση μόνο της καμπτικής αντοχής συνήθως χρησιμοποιείται η πιο απλή τεχνική η οποία είναι αυτή των προσθετικών στρωμάτων σκυροδέματος. Το βασικότερο εμπόδιο της εφαρμογής της τεχνικής αυτής είναι το πώς θα κατασκευαστεί ο κλειστός μανδύας στο πάνω μέρος της δοκού όπου υπάρχουν οι πλάκες, και για αυτό συνήθως επιλέγεται να κατασκευαστεί ανοιχτός μανδύας που δεν είναι τόσο αποτελεσματικό. Ακολουθούν σχεδιαγράμματα με εφαρμογή κλειστού και ανοικτού μανδύα.



1. παλαιός οπλισμός, 2. πρόσθετος οπλισμός, 3. πρόσθετοι συνδετήρες, 4. ράβδοι συνδέσεως, 5. μανδύας σκυροδέματος, 6. συγκόλληση.

Εικόνα 85: Κλειστός μανδύας δοκού (Δρίτσος 2005)



Εικόνα 86: Ανοικτός μανδύας δοκού (Δρίτσος 2005)

- (α) γενική διάταξη οπλισμού ενίσχυσης (κατά μήκος τομή)
- (β) γενική διάταξη οπλισμού ενίσχυσης (εγκάρσια τομή)
- (γ) στήριξη οπλισμού προσαρμογής (μοντάζ)
- (δ) στήριξη απόληξης άκρων συνδετήρων

4.4.6 Διαστασιολόγηση

Στον EC8-Part1,4(1995) συνίσταται η καμπτική αντοχή που θα αυξηθεί στην δοκό να είναι μικρότερη από εκείνη της αρχικής και η αύξηση της διατμητικής να είναι μικρότερη από τη διπλάσια αντοχή που έχει το στοιχείο στην αρχική του κατάσταση. Επίσης για την δυσκαμψία ο διορθωτικός συντελεστής προσομοιώματος $k_k = 0,75$. Για την κάμψη θεωρούμε το διορθωτικό συντελεστή προσομοιώματος για την αντοχή $k_{r,M} = 0,90$. Για την διατμητική αντοχή $k_{r,V} = 0,80$.

4.5 Κόμβοι δοκών - υποστυλωμάτων

Οι συγκεκριμένοι κόμβοι δοκών-υποστυλωμάτων είναι το πιο ευαίσθητο σημείο μιας υφιστάμενης υποδομής από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ενδεχομένως η επισκευή και η ενίσχυση των κόμβων να είναι η πιο δύσκολη κατασκευαστική διαδικασία επέμβασης σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται.

4.5.1 Επάρκεια αντοχής κόμβων

Ο έλεγχος για τον σχεδιασμό δεν προβλέπεται από τον Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.2000, λόγω του ότι εφαρμόζοντας τις προβλεπόμενες διατάξεις του κανονισμού πχ την τοποθέτηση των συνδετήρων εντός του κόμβου εξασφαλίζεται η απαιτούμενη επάρκειά του, όμως αυτό δεν ισχύει για τις παλιές κατασκευές και γι' αυτό ο έλεγχος των κόμβων πρέπει να θεωρηθεί απαραίτητος για μία υφιστάμενη κατασκευή. Η μέση διατμητική τάση (τ_j) η οποία αναπτύσσεται στο κέντρο του κόμβου σχετίζεται με την μέγιστη τέμνουσα δύναμη, πρέπει να λαμβάνει κύριο ρόλο για τον έλεγχο. Η μέγιστη τέμνουσα δύναμη προσδιορίζεται από την αντοχή των πιο αδύναμων στοιχείων που αποτελούν τον κόμβο. Αν λοιπόν τα υποστυλώματα είναι το ασθενέστερο στοιχείο στον κόμβο η διατμητική ένταση θα καθοριστεί από την αντοχή των υποστυλωμάτων και αντιστρόφως αν οι δοκοί είναι τα αδύναμα στοιχεία του κόμβου η διατμητική ένταση θα καθοριστεί από την αντοχή τους.

4.5.2 Επισκευή κόμβων

Όπως και σε άλλα δομικά στοιχεία για ελαφρά ρήγματα προτείνεται η τεχνική των ρητινενέσεων και παράλληλα για σοβαρές βλάβες προτείνεται η τεχνική της αποκατάστασης ίσης διατομής. Στην τεχνική της αποκατάστασης ίσης διατομής αρκετές φορές τοποθετούν περισσότερους συνδετήρες και διορθώνονται ελαττώματα που μπορεί να υπάρχουν στον οπλισμό και γι αυτόν τον λόγο αυτή η τεχνική μπορεί να θεωρηθεί και τεχνική ενίσχυσης. Για να έχουν αποτέλεσμα και οι δύο τεχνικές χρειάζεται αυστηρός ποιοτικός έλεγχος και επίβλεψη. Για τις επισκευές με ρητινενέσεις πειραματικές έρευνες συμπέραναν η αντοχή των κόμβων μπορεί να αποκατασταθεί εντελώς όπως αποκαθίσταται σε πολύ μεγάλο βαθμό και η δυσκαμψία, όπως επίσης και η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας. Σε έρευνες που έγιναν και για την τεχνική διατομής σε

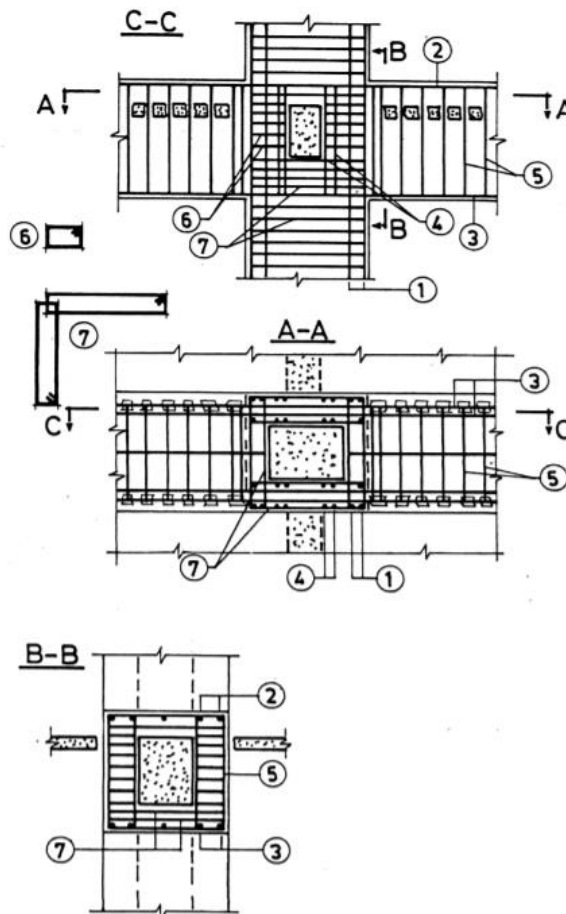
αποκαταστάσεις κόμβων φαίνεται ότι τα χαρακτηριστικά των κόμβων βελτιώνονται αισθητά.

4.5.3 Ενίσχυση κόμβων

Υπάρχουν τρεις βασικές διαδικασίες ως προς την ενίσχυση των κόμβων. Αρχικά η κατασκευή του μανδύα σκυροδέματος όπως ακριβώς εφαρμόζεται για τα υποστυλώματα και τις δοκούς, ακολουθεί η μορφή των χιαστή κολλάρων και τέλος η χρήση επικολλητών φύλλων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή.

4.5.4 Μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος

Η τεχνική αυτή θεωρείται η αποτελεσματικότερη για την ενίσχυση του κόμβου που μπορεί να είναι ως συνέχεια του μανδύα για την ενίσχυση του υποστυλώματος ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μεμονωμένα.

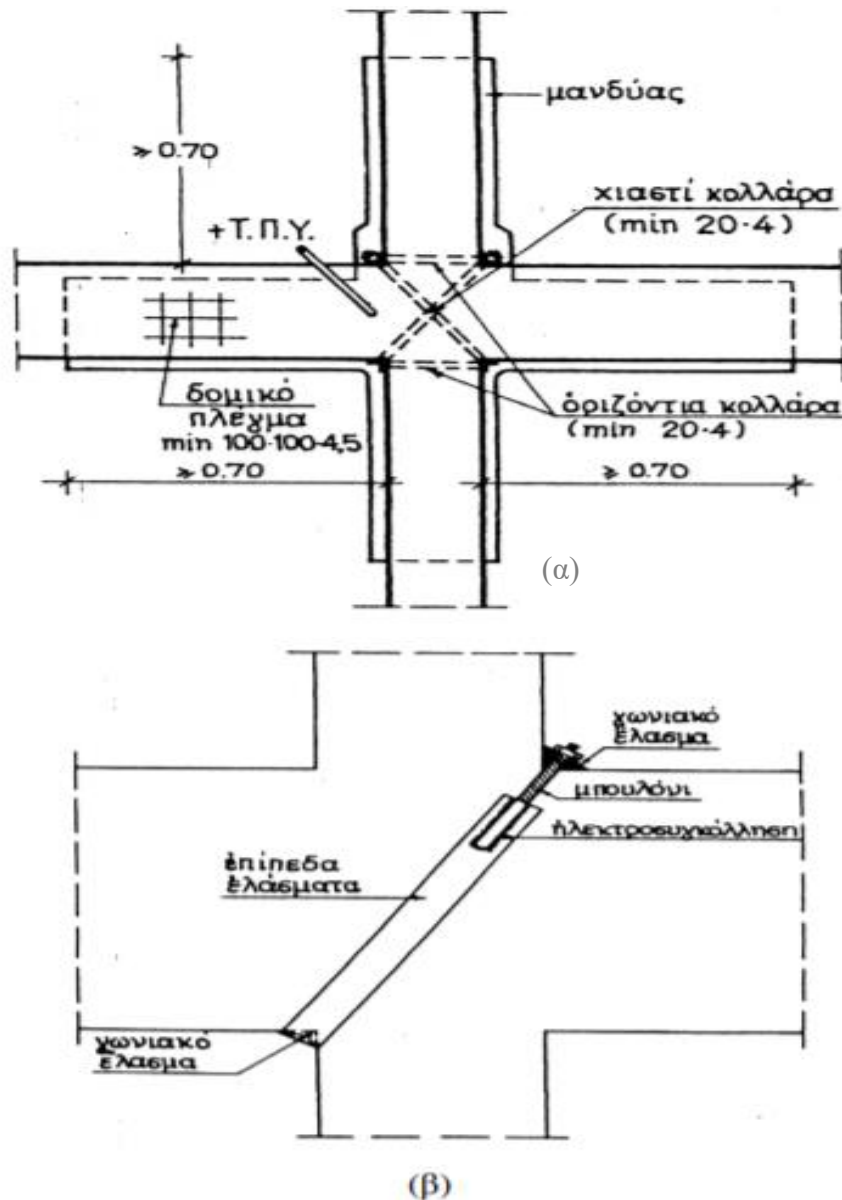


1. οπλισμοί υποστυλώματος, 2. οπλισμοί δοκού άνω, 3. οπλισμοί δοκού κάτω, 4. κατακόρυφοι σύνδεσμοι κόμβου, 5. συνδετήρες δοκού, 6. συνδετήρες υποστυλώματος, 7. συνδετήρες υποστυλώματος μέσα στον κόμβο.

Εικόνα 87: Ενίσχυση κόμβου με μανδύα (Δρίτσος 2005)

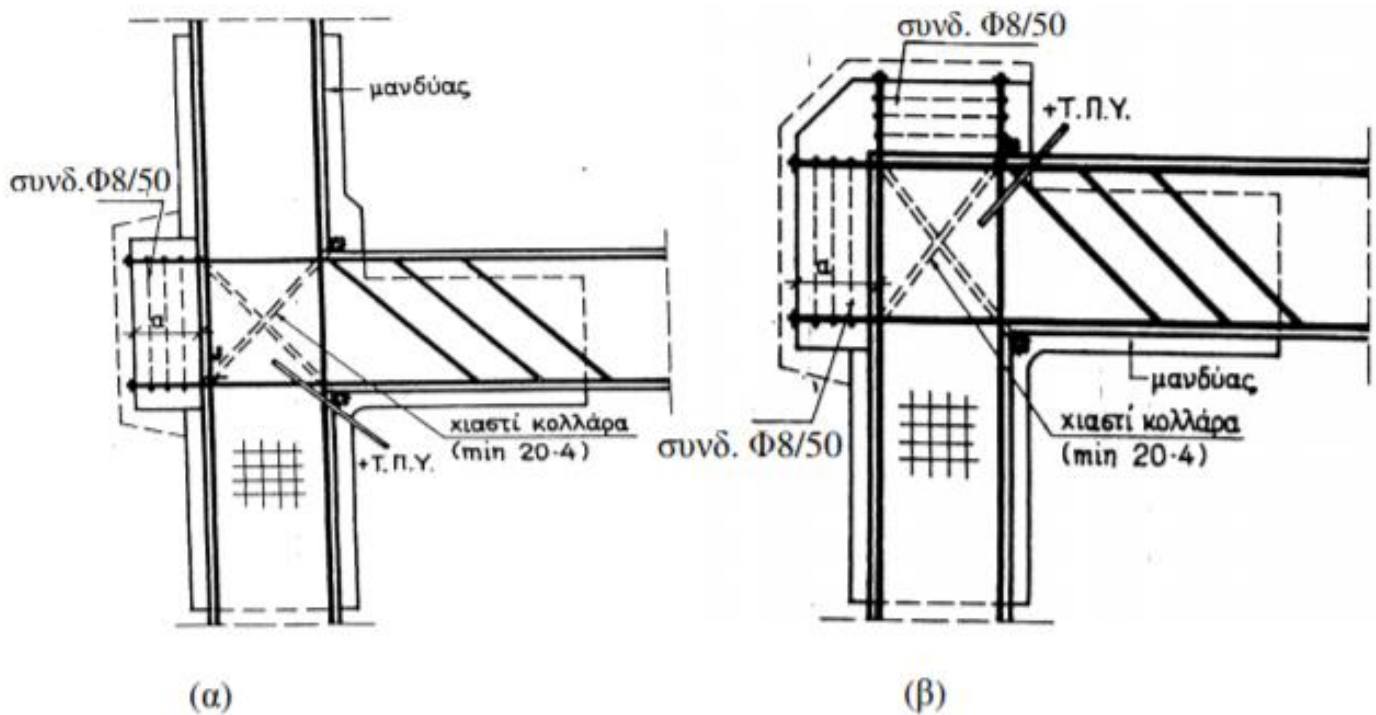
4.5.5 Η τεχνική των χιαστί κολάρων

Τα χιαστί κολάρα ενισχύονται μηχανικά. Για να αυξηθεί η πλαστιμότητα και η συνθήκες αγκύρωσης των ράβδων της δοκού τα κολάρα περισφίγγονται πάνω στον κόμβο. Για να μείνει σταθερό το σύστημα περίσφιξης των χιαστί κολάρων τοποθετούνται και συγκολλούνται δύο οριζόντια κολάρα. Ακολούθως ο κόμβος εξωτερικά μπορεί να καλυφθεί με μανδύα από έγχυτο ή εκτοξευμένο ή οπλισμένο σκυρόδεμα και έτσι επιτυγχάνεται ένα μεγάλο ποσοστό ενίσχυσης του κόμβου. Όταν υπάρχουν τέσσερις δοκοί στον κόμβο δεν μπορεί να εφαρμοστεί η τεχνική αυτή.



Εικόνα 88: Ενίσχυση με χιαστί κολάρα (Δρίτσος 2005)

(α) γενική διάταξη, (β) λεπτομέρεια εφαρμογής



Εικόνα 89: Ενίσχυση με χιαστί κολλάρα σε εξωτερικούς κόμβους (Δρίτσος 2005)

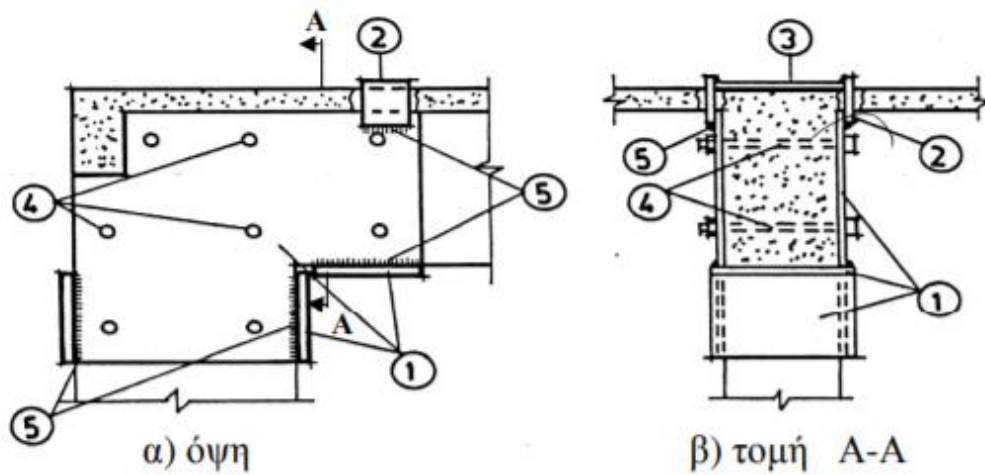
(α) με υποστύλωμα στον ανώτερο όροφο, (β) χωρίς υποστύλωμα στον ανώτερο όροφο

4.5.6 Η τεχνική των επικολλητών φύλλων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή

Η τεχνική εφαρμογής επικολλητών φύλλων από χάλυβα αν και βοηθά στο να ενισχυθεί ο κόμβος, πρακτικά είναι σχεδόν ανέφικτη να κατασκευαστεί. Εφαρμόζεται μόνο υπο μορφή «οιονεί κλειστών» ενισχύσεων που περικλύουν τον κόμβο και αγκυρώνουν τα άκρα. Τα ελάσματα δεν συγκολούνται μόνο αλλά χρησιμοποιούνται βίδες ή ντίζες για την σύσφιξή τους. Η τεχνική με τα ινοπλισμένα πολυμερή εφαρμόζεται πιο εύκολα στην περιοχή του κόμβου. Τα επικολλητά φύλλα κολλώνται με ρητίνη στον κόσμο αλλά και στις δοκούς. Αυτή η τεχνική ωστόσο βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο αφού δεν υπάρχει αρκετή επιστημονική τεκμηρίωση, όμως τα αποτελέσματα που έχει είναι θετικά.

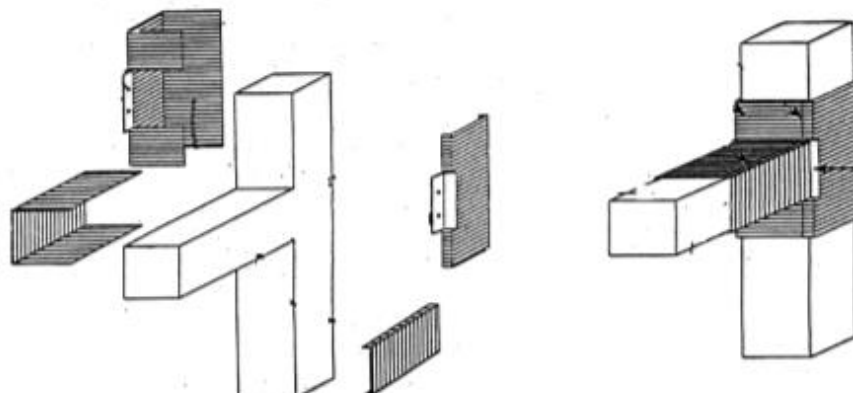
Η ενίσχυση λόγω ανεπάρκειας σε διαγώνια θλίψη γίνεται μέσω μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η ενίσχυση λόγω ανεπάρκειας οπλισμού κόμβου αντιμετωπίζεται μέσω της ενίσχυσης μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα ή με χιαστή κολλάρα ή επικολλητά ελάσματα ή προσθέτοντας νέους οριζόντιους και κατακόρυφους συνδετήρες. Για να

επιλεγεί μία τεχνική από τις προηγούμενες, λαμβάνουμε υπόψη τις κατασκευαστικές δυνατότητες κάθε περίπτωσης ξεχωριστά.



1. μεταλλικά ελάσματα, 2. μεταλλικό έλασμα, 3. μεταλλική ταινία, 4. προεντεταμένοι κοχλίες, 5. συγκολλήσεις.

Εικόνα 90: Ενίσχυση κόμβου με επικολητά ελάσματα (Δρίτσος 2005)



Εικόνα 91: Ενίσχυση κόμβου με χαλβιδινά κοματοειδή ελάσματα (Δρίτσος 2005)

5 Διαδικασία Ανασχεδιασμού Υφιστάμενων Κατασκευών

Τα τρία στάδια στη συνολική διαδικασία που απαιτούνται για τον ανασχεδιασμό μιας υφιστάμενης κατασκευής, είναι τα ακόλουθα:

1. Αποτίμηση
2. Λήψη της απόφασης
3. Σχεδιασμός της λύσης

5.1 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 περιλαμβάνεται η αποτύπωση του φέροντα οργανισμού, η καταγραφή των βλαβών, καθώς και η εκτίμηση των συνοριακών συνθηκών, των κατακόρυφων φορτίων και των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών της κατασκευής. Η αξιολόγηση των βλαβών και των ατελειών σε μεμονωμένα στοιχεία, δεν θα ωφελήσει αν τελικά δεν εκτιμηθεί η πιθανότερη παθολογική εικόνα του συνόλου της κατασκευής, που θα πρέπει να επιβεβαιωθεί από τα αποτελέσματα μιας ανάλυσης που θα αποτιμά τη σεισμική της ικανότητα. (Δρίτσος 2007)

5.2 Λήψη της απόφασης

Το στάδιο που αφορά την λήψη αποφάσεων περιέχει την εξέταση πιθανών σχημάτων επέμβασης, καθώς και την επιλογή λύσης, συμπεριλαμβανόμενης και της κατεδάφισης. Κατά τη διαδικασία λήψης της απόφασης, θα πρέπει αρχικά να έχουν αξιολογηθεί όλες οι παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν την απόφαση προς κάθε μία από τις παρακάτω τέσσερις κρίσιμες δυνατές επιλογές:

1. Επισκευή της κατασκευής (αν υπάρχουν βλάβες) ή καμία επέμβαση

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.

2. Επέμβαση της κατασκευής

Με τον όρο επέμβαση της κατασκευής εννοούμε την οποιαδήποτε εργασία που οδηγεί στη στοχευόμενη μεταβολή των προυπάρχον μηχανικών χαρακτηριστικών ενός στοιχείου ή δομήματος και έχει σαν αποτέλεσμα τη τροποποίηση της απόκρισής του.

3. 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.

4. Κατεδάφιση της κατασκευής και ανέγερση νέας

Με τον όρο κατεδάφιση της κατασκευής εννοούμε το ολικό γκρέμισμα της υφιστάμενης προυπάρχουσας κατασκευής.

Η απόφαση που θα επιλεγεί για επισκευή, ενίσχυση και της κατεδάφισεις/ανασκευής, είναι αποτέλεσμα μιας επαναληπτικής διαδικασίας εξέτασης εναλλακτικών σχημάτων επέμβασης η οποία έχει ως στόχο την αποδεκτή σεισμική συμπεριφορά της κατασκευής ως σύνολο.

Σε ενδεχόμενο που επιλεγεί ως λύση η ενίσχυση, η αναζήτηση του σχήματος επέμβασης μπορεί να γίνει σε δύο κατευθύνσεις. Αρχικά, για την πρώτη κατεύθυνση θα αναζητηθεί κάποια λύση, που σύμφωνα με αυτή η κατασκευή θα ενισχύεται ως σύνολο έτσι ώστε να μειωθεί η ένταση στα αδύναμα στοιχεία της κατασκευής σε επίπεδα χαμηλότερα από τα ανεκτά όρια ικανότητας τους. Για τη δεύτερη κατεύθυνση θα αναζητηθεί μια λύση που σύμφωνα με αυτή θα ενισχύονται τα αδύναμα στοιχεία της υφιστάμενης κατασκευής προσδίδοντας πρόσθετη ικανότητα (αντοχή, πλαστιμότητα) ή άλλα ελλείποντα χαρακτηριστικά σε μεμονωμένα στοιχεία. Η πρώτη κατεύθυνση ακολουθείται συνήθως όταν τα αδύναμα στοιχεία της κατασκευής είναι πολλά και επομένως χρειάζεται μία συνολική αντιμετώπιση του θέματος, ενώ η δεύτερη κατεύθυνση ακολουθείται όταν αξιολογείται ότι πρέπει να εξαλειφθούν μόνο κάποιες τοπικές αδυναμίες της κατασκευής. (Δρίτσος 2007)

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

5.3 Σχεδιασμός της λύσης

Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει την διαστασιολόγηση των μελών του επισκευασμένου/ενισχυμένου φορέα, την τεχνική περιγραφή των προβλεπόμενων εργασιών, καθώς και το κόστος της λύσης. Η χρήση νέων στοιχείων σε συνεργασία με τα παλιά δημιουργεί νέα πολυφασικά, σύνθετα στοιχεία, των οποίων η διαστασιολόγηση ξεφεύγει συχνά από τις συνήθεις διαδικασίες διαστασιολόγησης μονολιθικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η χρήση νέων για την ενίσχυση των υφιστάμενων στοιχείων απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή κατά την εφαρμογή τους λόγω έλλειψης εμπειρίας και του συχνά υπερβολικού ενθουσιασμού που πηγάζει από την ευκολία εφαρμογής στην πράξη. Η αναδιαστασιολόγηση του φορέα καταλήγει πάντα στα σχέδια λεπτομερειών της οριστικής μελέτης επέμβασης και κοστολόγηση των εργασιών. Η επιλογή πρέπει στο τέλος να κριθεί οικονομικά ωφέλιμη. (Δρίτσος 2007)

5.4 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. (Αποστολοπούλου 2008)

Οι τεχνικές και διαχειριστικές στρατηγικές μπορούν να συνδυαστούν για το βέλτιστο αποτέλεσμα. Οι τεχνικές στρατηγικές αποτελούν προσεγγίσεις οι οποίες στοχεύουν 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. (Αποστολοπούλου 2008)

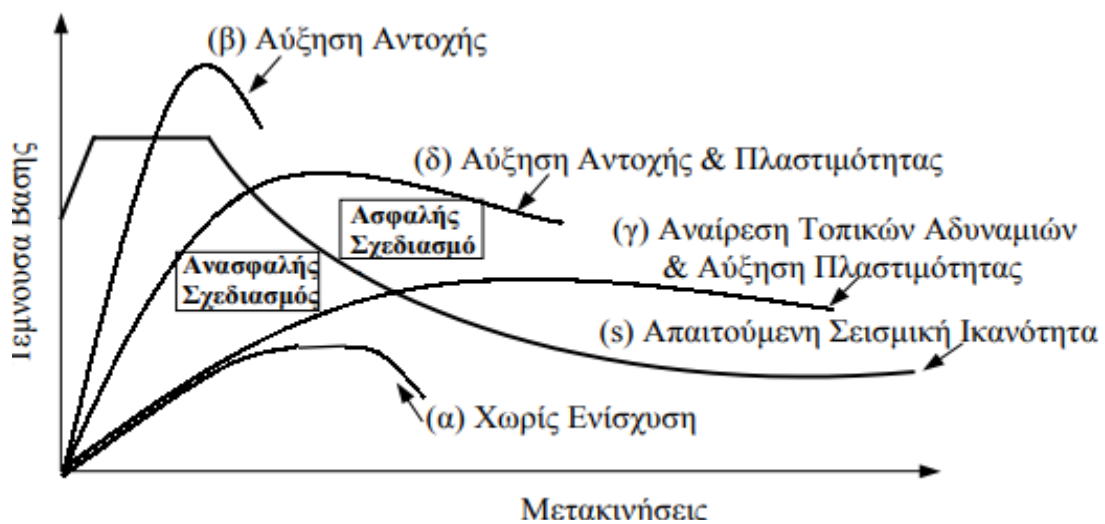
5.4.1 Διαχειριστικές στρατηγικές

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)

1. Την απόφαση να υλοποιηθούν οι επεμβάσεις ενώ το κτίριο παραμένει σε χρήση ή να εκκενωθεί το κτίριο έως ότου πραγματοποιηθούν οι εργασίες ενίσχυσης
2. Να θεωρηθεί αποδεκτή η υπάρχουσα σεισμική διακινδύνευση της κατασκευής και να μη γίνουν επεμβάσεις ή να αλλαχτεί η χρήση της κατασκευής, έτσι ώστε να είναι αποδεκτή η διακινδύνευση
3. Να κατεδαφιστεί το υπάρχον κτίριο και να αντικατασταθεί με άλλο
4. Να υλοποιηθούν οι προτεινόμενες επεμβάσεις προοδευτικά μέσα σε μεγάλης διάρκειας χρονικό περιθώριο ή να ληφθούν προσωρινά μέτρα ενίσχυσης έως ότου αντικατασταθεί η κατασκευή
5. Εάν οι επεμβάσεις θα γίνουν στο εξωτερικό του κτιρίου, έτσι ώστε να μειωθούν οι αρνητικές επιπτώσεις στους ενοίκους, ή αντίθετα αν οι εργασίες θα γίνουν στο εσωτερικό του κτιρίου προκειμένου να μην αλλοιωθούν τα χαρακτηριστικά της εξωτερικής του όψης.

Οι διαχειριστικές στρατηγικές είναι πολύ πιθανό να έχουν πολύ σημαντική επίδραση τόσο στην εφαρμοσιμότητα όσο και στο κόστος της προτεινόμενης τεχνικής στρατηγικής των επεμβάσεων. Επιπλέον, η καλύτερη λύση για μια κατασκευή έχει να κάνει με τη λήψη αποφάσεων διαχειριστικής και τεχνικής φύσης. Για αυτούς τους λόγους οι διαχειριστικές στρατηγικές είναι καλό να συνεκτιμώνται από τον υπεύθυνο μηχανικό και να επισημαίνονται στον κύριο του έργου προκειμένου να επιλεγεί η κατάλληλη στρατηγική επεμβάσεων. (Σπυράκος 2004)

Στην εικόνα 92 παρουσιάζονται σε ένα διάγραμμα οι στρατηγικές ενίσχυσεως. 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)



Εικόνα 92: Στρατηγικές ενίσχυσης (Δρίτσος 2007)

Επίσης, στην εικόνα 92 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 ενίσχυση 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)

6 Αποτίμηση και ενίσχυση υφιστάμενης κατοικίας

Στο δεύτερο μέρος της παρούσας πτυχιακής πραγματοποιείται ανάλυση υφιστάμενης κατασκευής η οποία κατασκευάστηκε το 1987, με τους κανονισμούς που υπήρχαν και ίσχυαν την τότε εποχή. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε μέσω του προγράμματος 3DR.STRAD και χωρίζεται σε 2 μέρη. Θα πραγματοποιηθεί ο στατικός έλεγχος της υφιστάμενης κατασκευής σε φορτία σεισμού και ακολούθως, θα εφαρμοστούν ενισχύσεις στα μέλη που αντιμετωπίζουν αστάθεια και είναι απαραίτητες να γίνουν ώστε να επιδιορθωθεί και να εξυπηρετεί τους σημερινούς κανονισμούς η υφιστάμενη κατασκευή.

6.1 Στοιχεία υφιστάμενης κατασκευής

Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν από την υφιστάμενη κατασκευή για την ανάλυση όλων των προαναφερθέντων θεμάτων είναι τα εξής:

1. Περιοχή υφιστάμενης κατασκευής: Λεμεσός - Ύψωνας
2. Τύπος εδάφους : B Type 1
3. Σπουδαιότητα κτιρίου II
4. Μόνιμα φορτία πλακών = 1500 N/m^2
5. Μεταβλητά φορτία πλακών = 2000 N/m^2
6. Χάλυβας $f_{yk} = 400 \text{ Mpa}$
7. Μπετόν $f_{ck} = 20 \text{ Mpa}$

6.2 Διαδικασία ανάλυσης υφιστάμενης κατασκευής στο πρόγραμμα 3DR.STRAD

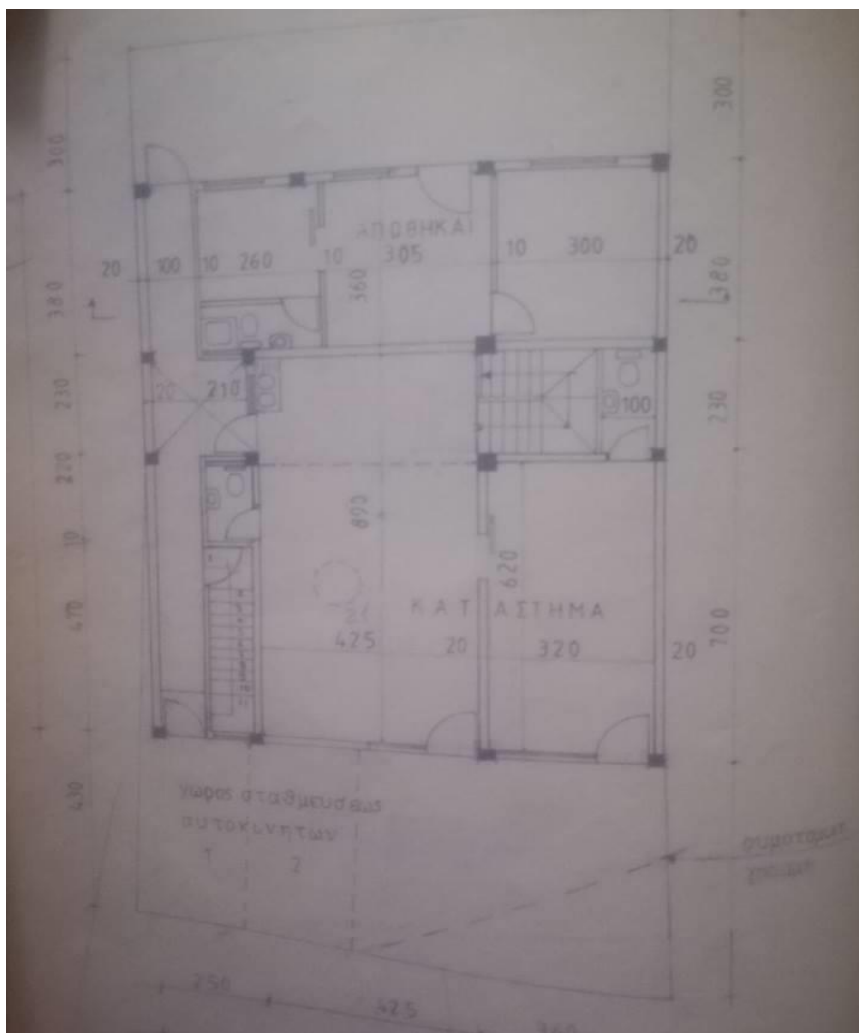
1. Εγκατάσταση των προγραμμάτων AutoCAD και 3DR.STRAD στον υπολογιστή.
2. Εισαγωγή της κάτοψης του υφιστάμενου κτιρίου από το AutoCAD στο πρόγραμμα 3DR.STRAD.
3. Καθορισμός δοκών, κολώνων και πλακών (περιγραφή του φορέα)

4. Ενημέρωση όλων και λογικός έλεγχος
5. Καθορισμός των υφιστάμενων οπλισμών σε κολώνες, δοκούς και πλάκες
6. Ορισμός στοιχείων για αντισεισμικό κανονισμό (σπουδαιότητα κατασκευής, τύπος εδάφους, σεισμική ζώνη κατασκευής κλπ.) και καθορισμός γενικών παραμέτρων (συντελεστές ασφαλείας, κατασκευαστικά στοιχεία κλπ.)
7. Ενημέρωση όλων και λογικός έλεγχος
8. Υπολογισμός αδρανειακών χαρακτηριστικών, φορτίων και συνδεσμολογίας των στοιχείων του φορέα (χωρικό μοντέλο)
9. Επίλυση του χωρικού μοντέλου με ισοδύναμη στατική μέθοδο
10. Προκαταρκτική ανάλυση για έλεγχο επάρκειας των στοιχείων και επιλογή ανάλογης ανάλυσης για τη συνέχεια
11. 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.
12. Εφαρμογή της εντολής ‘Σχεδιασμός’ ώστε να ελέγξουμε ξανά σε περισσότερη λεπτομέρεια αυτή την φορά την επάρκεια της κατασκευής.
13. Ανάλογα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης, αποφασίσαμε τι ενισχύσεις θα εφαρμόσουμε και σε ποια μέλη.
14. Εφαρμογή των ενισχύσεων στα δομικά στοιχεία
15. Επανάληψη των βημάτων 6-14 ούτως ώστε να ελέγξουμε αν οι ενισχύσεις που εφαρμόσαμε ήταν ικανοποιητικές ή χρειάζονταν κάποιες αλλαγές/διορθώσεις ή επιπρόσθετες ενισχύσεις.
16. Ακολούθως μέσω των εντολών ‘STRADPLOT’, ‘Σχέδιο ενίσχυσης υποστυλωμάτων’, ‘Σχέδιο ενίσχυσης δοκών’ προχωρήσαμε με την δημιουργία σχεδίων ενίσχυσης, δεδομένου ότι οι ενισχύσεις μας ήταν ικανοποιητικές. 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 6 έως 13.

6.3 Στατικός έλεγχος της υφιστάμενης κατασκευής σε φορτία σεισμικό

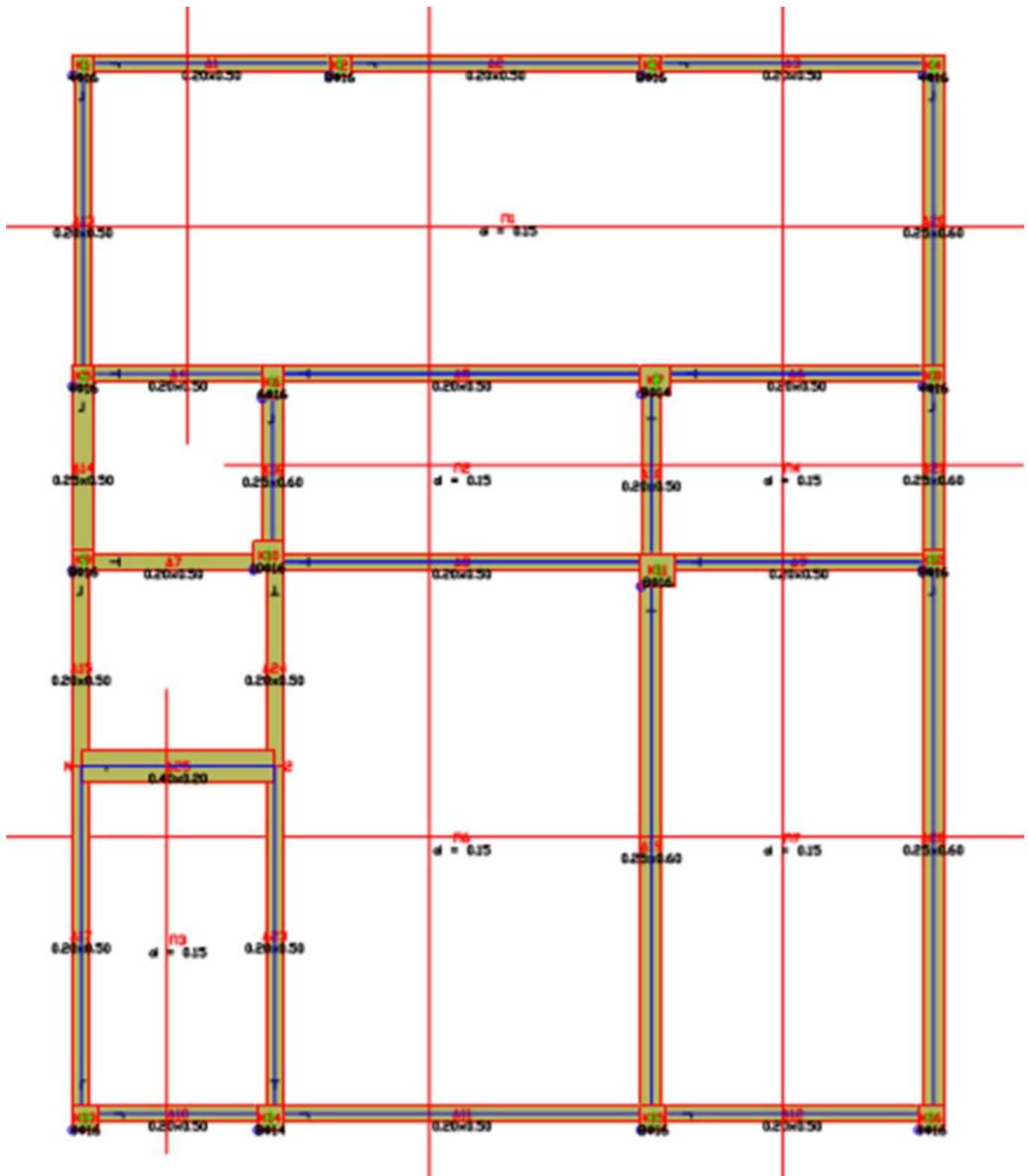
Ο στατικός έλεγχος της υφιστάμενης κατασκευής έγινε σύμφωνα με τα βήματα του στατικού προγράμματος 3DR STRAD. Όταν έγινε η προκαταρκτική μελέτη της κατασκευής φάνηκε ότι υπήρχε ανεπάρκεια οπλισμού η οποία και έπρεπε να αντιμετωπιστεί εφορμόζοντας τις κατάλληλες ενισχύσεις. Με την εφαρμογή της προκαταρκτικής μελέτης, παρατηρήσαμε ότι οι συντελεστές ανεπάρκειας κάποιων στοιχείων της κατασκευής ήταν μεγαλύτεροι από το μέγιστο επιτρεπτό ($\lambda > 2.5$) και έτσι αποφασίστηκε ότι θα προχωρήσουμε με ανάλυση πλευρικής φόρτισης με προσέγγιση q το οποίο είχε τιμές $q(y)=1.25$ και $q(x)=1.28$. Απο την ανάλυση που έγινε προέκυψε ότι όλα τα στοιχεία της στάθμης 2 και στάθμης 3 που παρουσίασαν ανεπάρκεια είναι κυρίως λόγω διάτμησης και κάμψης.



Εικόνα 93: Αρχιτεκτονικό σχέδιο υφιστάμενης κατοικίας

6.3.1 Κάτοψη στάθμης 2 για προκαταρκτική ανάλυση

Πάρακατω φαίνεται η κάτοψη της στάθμης 2 στο πρόγραμμα 3DR STRAD που χρησιμοποιήθηκε για την προκαταρκτική μελέτη (προτού τοποθετηθούν ενισχύσεις).



6.3.1.1 Αποτελέσματα προκαταρκτικής μελέτης για στάθμη 2

Στη συνέχεια, αφού τοποθετήσαμε στο σχέδιο μας τον προυπάρχον οπλισμό, συνεχίσαμε την εργασία μας πραγματοποιώντας προκαταρκτική μελέτη για την υφιστάμενη κατασκευή, ώστε ελεγχθεί αν με τους τωρινούς ευρωπαϊκούς αντισεισμικούς κανονισμούς η κατασκευή μας ανταποκρίνεται και έχει την απαραίτητη επάρκεια. Πιο κάτω φαίνονται τα αποτελέσματα για την στάθμη 2 σε δοκούς και υποστυλώματα που έδωσε το πρόγραμμα 3DR STRAD όταν τελειώσε η προκαταρκτική μελέτη.

Δοκοί

Στάθμη 2

Δοκός	MEd/MRd	VEd/VRd,max	VEd/VR	ρ	VSdY	VSdX
Δ001	2.00	.42	.00	2.00	-1.7	-55.1
Δ002	2.00	.34	.00	2.00	-.1	-28.4
Δ003	2.00	.40	.00	2.00	3.8	-46.6
Δ004	2.50	.59	.00	2.50	22.4	-84.7
Δ005	3.33	.58	.00	3.33	-5.4	-50.7
Δ006	3.33	.68	.00	3.33	-9.5	-76.5
Δ007	3.33	.65	.00	3.33	-17.5	-121.8
Δ008	3.33	.61	.00	3.33	4.6	-88.4
Δ009	3.33	.55	.00	3.33	7.7	-91.6
Δ010	3.33	.64	.00	3.33	-1.2	-119.3
Δ011	2.50	.36	.00	2.50	-1.8	-48.0
Δ012	3.33	.43	.00	3.33	.8	-71.8
Δ013	2.00	.42	.00	2.00	52.4	-2.5
Δ014	1.00	.45	.00	1.00	46.6	-5.2
Δ015	3.33	.37	.00	3.33	27.2	-1.2
Δ016	2.50	1.02	.00	2.50	223.1	-5.9
Δ017	3.33	.37	.00	3.33	-27.5	.9
Δ018	3.33	1.09	.00	3.33	207.8	-4.5
Δ019	3.33	.64	.00	3.33	71.5	2.1
Δ020	2.00	.33	.00	2.00	57.1	3.6
Δ021	.62	.60	.00	.62	43.6	-3.4
Δ022	3.33	.37	.00	3.33	37.6	2.4
Δ023	3.33	.73	.00	3.33	-39.5	-1.9
Δ024	3.33	.73	.00	3.33	39.8	2.2
Δ025	.10	.39	.00	.10	-.3	-.3

Max ρ Στάθμης = 3.333333

Sum(VSdY) = 950.5

Sum(VSdX) = 919.0

Στάθμη 2

Υποστώλιωμα	MEd/MRd	VEd/VR,max	VEd/VR	ρ	VSdY	VSdX
K1	1.92	.72	1.56	1.92	-72.1	-60.2
K2	1.27	.88	5.93	1.27	-21.3	-79.4
K3	1.23	.84	5.67	1.23	-21.5	-77.5
K4	2.04	.82	5.52	2.04	-77.6	-51.9
K5	2.44	.91	6.17	2.44	-89.3	-67.2
K6	1.89	.86	7.61	1.89	-155.6	-115.9
K7	1.79	.76	7.23	1.79	-168.9	-159.2
K8	2.70	1.05	7.06	2.70	-94.4	-58.7
K9	1.28	.81	5.46	1.28	-81.1	-68.6
K10	1.85	.96	9.10	1.85	-193.4	-215.4
K11	2.94	1.06	11.42	2.94	-271.9	-252.2
K12	1.45	.97	6.56	1.45	-93.4	-67.3
K13	2.50	.75	6.09	2.50	-66.0	-92.7
K14	2.38	.98	7.95	2.38	-92.5	-137.9
K15	1.67	.94	7.66	1.67	-119.3	-129.7
K16	2.63	.66	5.39	2.63	-83.8	-68.8

Max ρ Στάθμης = 2.94

Sum(VSdY) = 1702.3

Sum(VSdX) = 1702.4

Από τα αποτελέσματα που έδωσε η προκαταρκτική μελέτη, στην στάθμη 2 κάποια δοκάρια και υποστυλώματα φαίνεται ότι αντιμετωπίζουν πρόβλημα επάρκειας ($\lambda > 2.5$) και δεν ανταποκρίνονται στο σημερινό αντισεισμικό ευρωπαϊκό κανονισμό.

Έτσι το πρόγραμμα μας επιτρέπει και μας προτείνει να προχωρήσουμε με την εφαρμογή τριών μεθόδων ανάλυσης. Αρχικά, μας επιτρέπει να προχωρήσουμε με μη γραμμική στατική (Pushover) ανάλυση η οποία επιτρέπεται να εφαρμοστεί για όλες τις στάθμες επιτελεστικότητας εφόσον η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών δεν είναι σημαντική. Επίσης, μας επιτρέπει να πραγματοποιήσουμε ανάλυση πλευρικής φόρτισης με προσέγγιση q για την οποία επίσης επιτρέπεται η εφαρμογή της σε όλες τις στάθμες. Τέλος, το πρόγραμμα μας δίνει την δυνατότητα να προχωρήσουμε με ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης με προσέγγιση q. Σε αυτή την περίπτωση το πρόγραμμα θέτει την προϋπόθεση ότι επιτρέπεται η εφαρμογή της μεθόδου αυτής, εφόσον ο μελετητής κατά την επίλυση ελέγξει ότι το άθροισμα των δρωσών ιδιομορφικών μαζών για τις ιδιομορφές που λαμβάνονται υπόψη είναι τουλάχιστον το 90% της συνολικής

μάζας του φορέα, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις ιδιομορφικές μάζες μεγαλύτερες από το 5% της συνολικής μάζας.

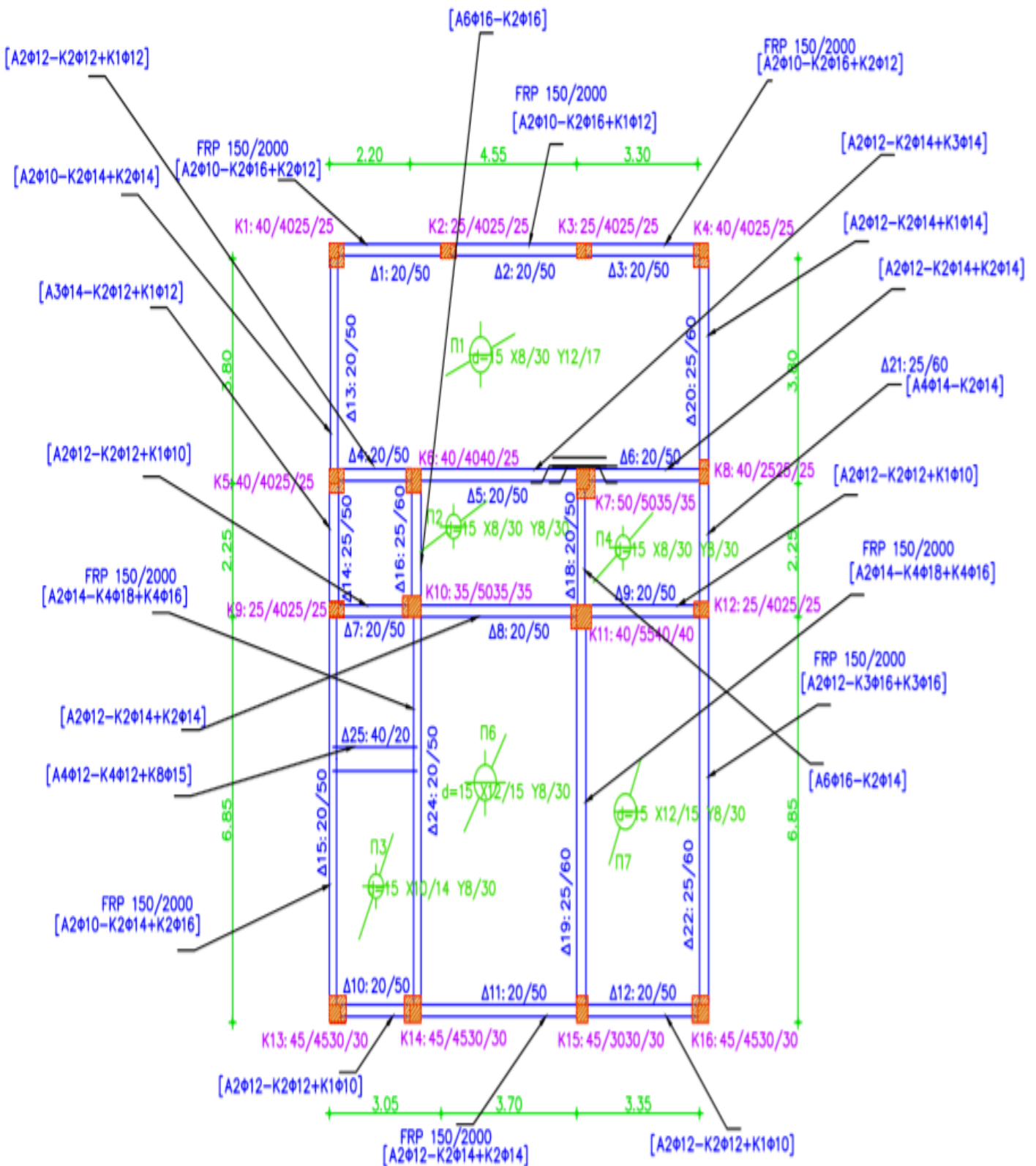
6.3.1.2 Ενισχύσεις υφιστάμενης κατοικίας για στάθμη 2

Για την παρούσα πτυχιακή διατριβή, η ανάλυση που επιλέγηκε να εφαρμοστεί για την τοποθέτηση ενισχύσεων στην υφιστάμενη κατασκευή είναι η ανάλυση πλευρικής φόρτισης με προσέγγιση q με $q(Y) = 1.25$ και $q(X) = 1.28$. Η μέθοδος αυτή επιλέγηκε διότι η κατασκευή μας δεν αντιμετώπιζε πολλά προβλήματα επάρκειας σε δοκούς και κόμβους και έτσι θα ήταν πιο εύκολο να αναλυθεί με την συγκεκριμένη μέθοδο.

Ενισχύσεις στάθμης 2 που επιλέγηκαν βάσει της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε:

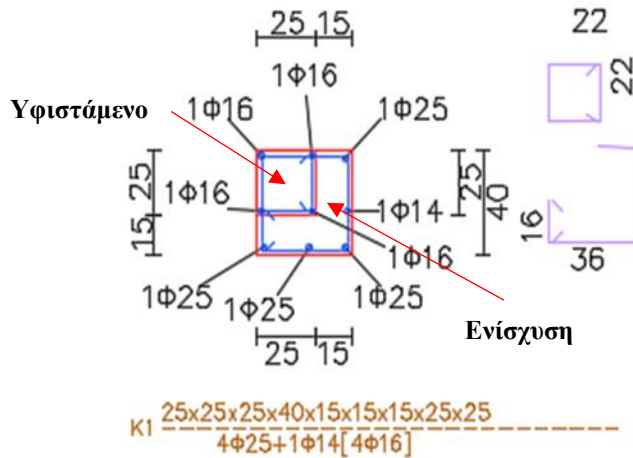
1. Δοκάρια: Για τα δοκάρια που παρουσίασαν ανεπάρκεια στη στάθμη 2 επιλέγηκε ενίσχυση με ανθρακωνήματα στις στηρίξεις και στα ανοίγματα. Ο κύριος λόγος που εφαρμόστηκαν οι συγκεκριμένες ενισχύσεις είναι διότι μπορούμε να πετύχουμε το αποτέλεσμα που επιθυμούμε χωρίς κάποια σημαντική επιβάρυνση στην κατασκευή μας αφού δεν έχουν μεγάλο βάρος. Επίσης, η τοποθέτηση τους είναι σχετικά εύκολη και δεν έχει ιδιαίτερες τροποποιήσεις στην αρχιτεκτονική της κατασκευής. Τέλος, ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα που έχουν τα ανθρακωνήματα είναι η αντοχή τους στο χρόνο, την υγρασία, την κόπωση και τη διάβρωση.
2. Υποστυλώματα: Για τα υποστυλώματα επιλέγηκαν ενισχύσεις με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος καθώς επίσης και ενισχύσεις με έγχυτο η εκτοξευμένο σκυρόδεμα. Ο σκοπός που επιλέγηκαν οι συγκεκριμένες ενισχύσεις στα υποστυλώματα που παρουσίαζαν στατική ανεπάρκεια είναι για να μπορέσουν να ανταποκριθούν σε διάτμηση και κάμψη αυξάνοντας την αντοχή τους.
3. Πλάκες: Για τις πλάκες δεν επιλέγηκε να εφαρμοστεί κάποια ενίσχυση διότι η προκαταρκτική ανάλυση δεν έδειξε να αντιμετωπίζουν κάποιο στατικό πρόβλημα.

Πιο κάτω φαίνεται η κάτοψη της στάθμης 2 μετά την προσθήκη ενισχύσεων

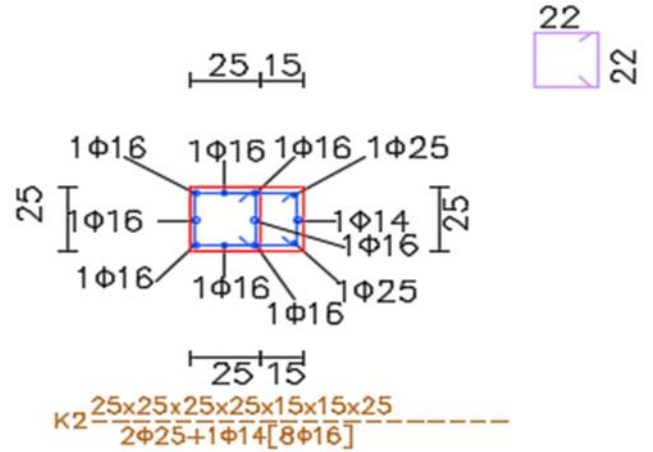


Ακολούθως παρουσιάζονται οι λεπτομέρειες των υποστλωμάτων της στάθμης 2 με τις ενισχύσεις τους.

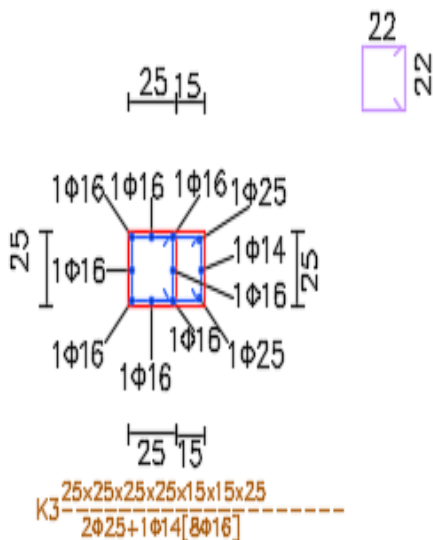
ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: Φ10/10(170cm)



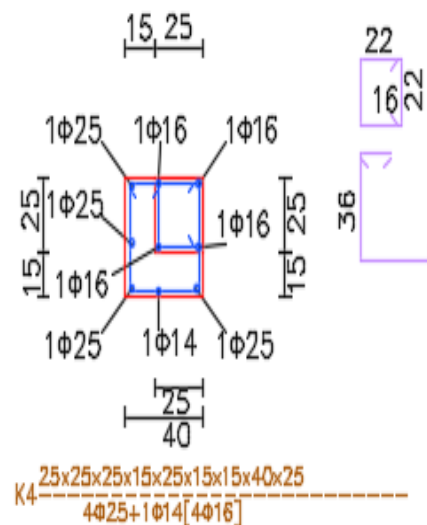
ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: Φ8/20(170cm)



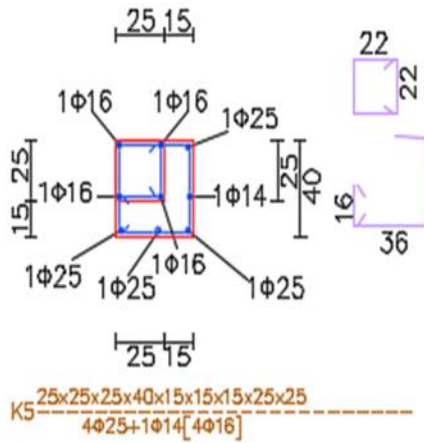
ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: Φ8/20(170cm)



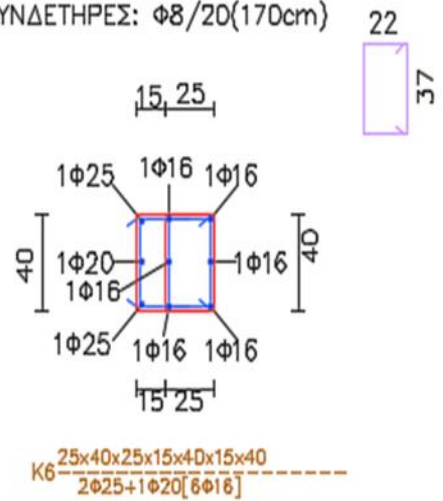
ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: Φ8/20(170cm)



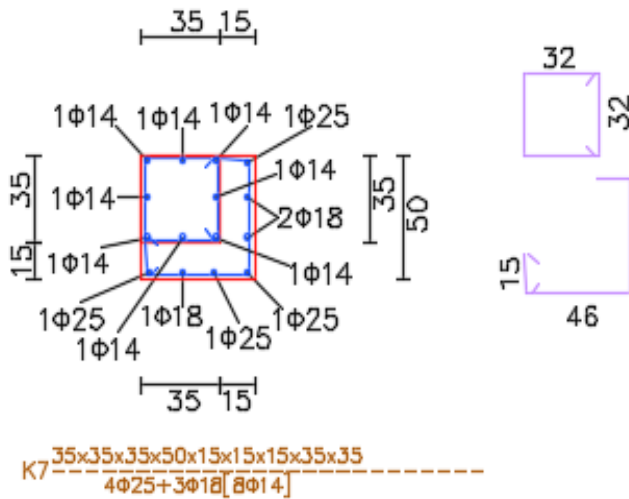
ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/20(170\text{cm})$



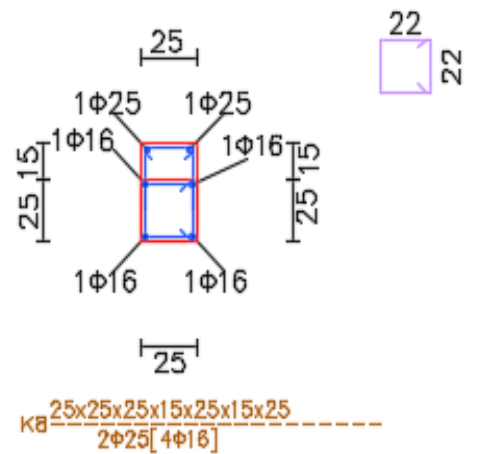
ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/20(170\text{cm})$



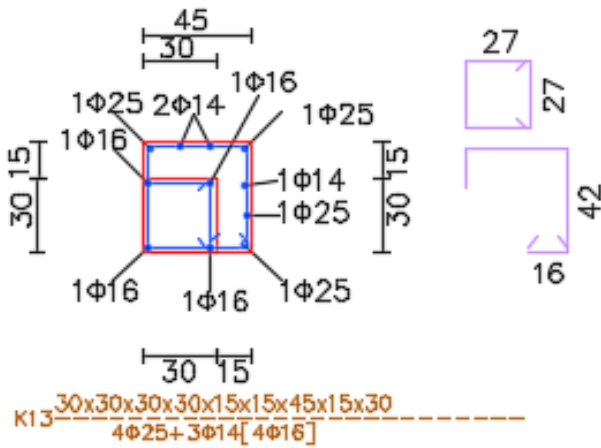
ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/20(170\text{cm})$



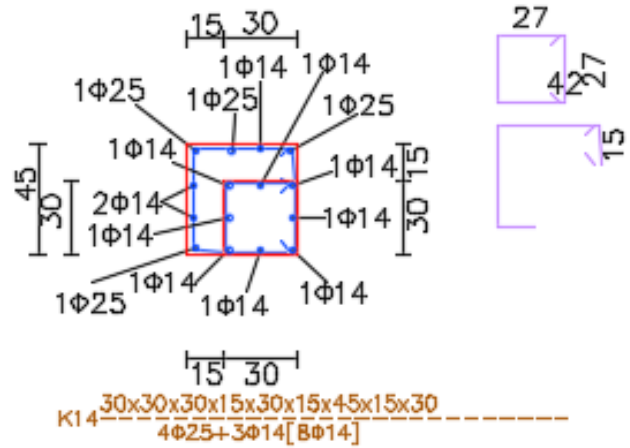
ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/20(170\text{cm})$



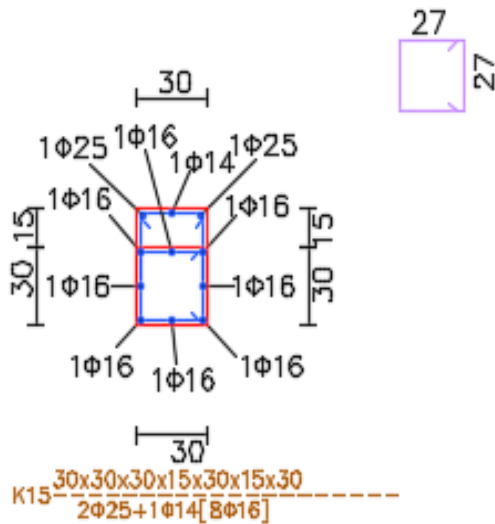
ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/20(170\text{cm})$



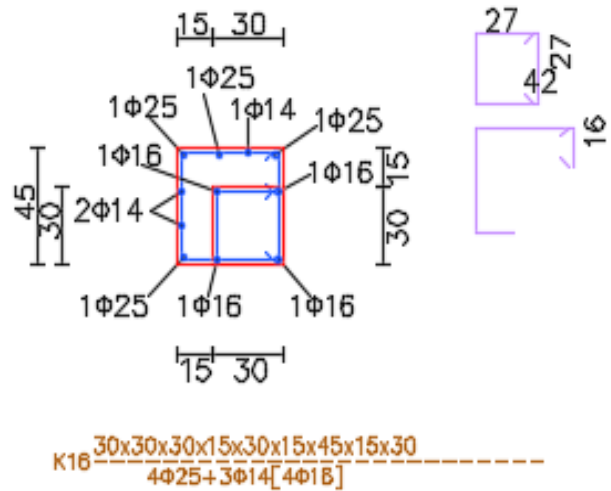
ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/20(170\text{cm})$



ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/20(170\text{cm})$

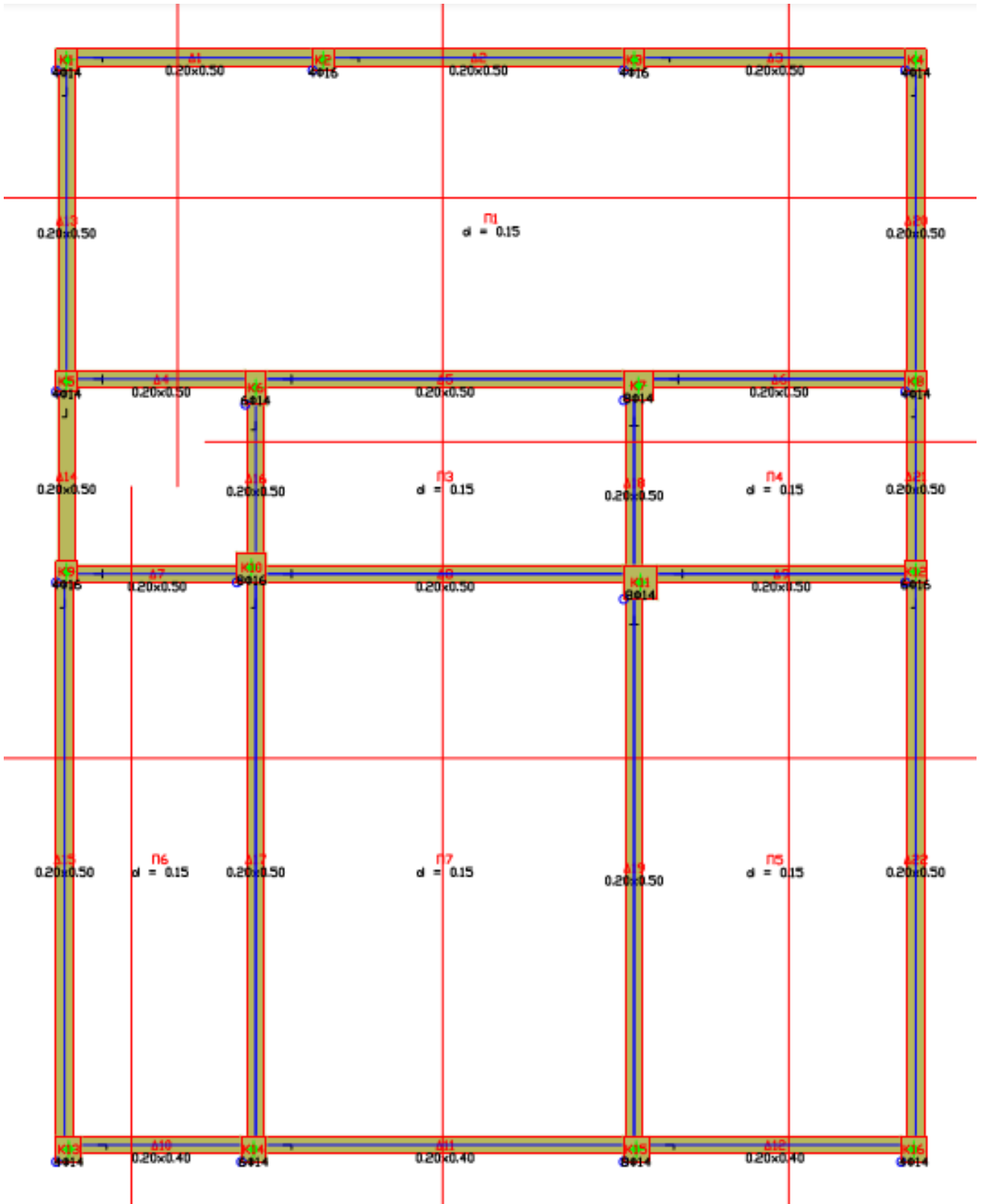


ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/20(170\text{cm})$



6.3.2 Κάτοψη στάθμης 3 για προκαταρκτική ανάλυση

Στην συνέχεια φαίνεται η κάτοψη της στάθμης 3 στο πρόγραμμα 3DR STRAD που χρησιμοποιήθηκε για την προκαταρκτική μελέτη προτού τοποθετηθούν ενισχύσεις.



6.3.2.1 Αποτελέσματα προκαταρκτικής μελέτης για στάθμη 3

Πιο κάτω φαίνονται τα αποτελέσματα για την στάθμη 3 σε δοκούς και υποστύλωματα που έδωσε το πρόγραμμα 3DR STRAD όταν τελειώσε η προκαταρκτική μελέτη.

Στάθμη 3

Υποστύλωμα	MEd/MRd	VEd/VR,max	VEd/VR	ρ	VSdY	VSdX
K1	2.33	.43	.94	2.33	-42.4	-37.6
K2	1.79	.48	3.25	1.79	.6	-44.7
K3	1.79	.48	3.23	1.79	.6	-44.0
K4	2.56	.49	3.30	2.56	-45.1	-36.7
K5	2.22	.46	3.09	2.22	-47.8	-39.2
K6	2.38	.61	4.78	2.38	-112.5	-69.9
K7	2.08	.58	5.44	2.08	-109.5	-123.4
K8	2.50	.52	3.48	2.50	-50.4	-41.6
K9	2.38	.53	3.61	2.38	-47.4	-41.8
K10	3.33	.77	7.32	3.33	-138.0	-140.4
K11	6.25	.87	9.35	6.25	-210.3	-182.2
K12	1.67	.59	3.99	1.67	-51.3	-43.4
K13	9.09	.50	4.04	9.09	-56.7	-61.4
K14	20.00	.66	5.35	20.00	-66.5	-82.6
K15	5.26	.75	6.05	5.26	-87.1	-82.4
K16	20.00	.60	4.86	20.00	-67.0	-59.2

Στάθμη 3

Δοκός	MEd/MRd	VEd/VRd,max	VEd/VR	ρ	VSdY	VSdX
Δ001	1.11	.36	.00	1.11	-1.6	-24.6
Δ002	1.00	.34	.00	1.00	.1	-16.3
Δ003	1.11	.34	.00	1.11	1.8	-21.5
Δ004	1.11	.52	.00	1.11	14.8	-32.7
Δ005	2.50	.54	.00	2.50	-3.3	-32.9
Δ006	1.25	.54	.00	1.25	-4.0	-38.7
Δ007	1.43	.37	.00	1.43	-11.8	-51.3
Δ008	3.33	.45	.00	3.33	2.2	-56.9
Δ009	2.00	.36	.00	2.00	4.4	-46.7
Δ010	3.33	.45	.00	3.33	-.3	-58.1
Δ011	2.00	.30	.00	2.00	-1.0	-22.9
Δ012	2.50	.33	.00	2.50	.8	-37.8
Δ013	.83	.38	.00	.83	27.9	-.4
Δ014	.17	.52	.00	.17	8.9	-3.4
Δ015	1.67	.37	.00	1.67	18.8	.3
Δ016	3.33	.67	.00	3.33	102.5	-4.6
Δ017	3.33	.87	.00	3.33	26.2	1.0
Δ018	3.33	.73	.00	3.33	120.7	-1.9
Δ019	3.33	.97	.00	3.33	35.1	.9
Δ020	.83	.37	.00	.83	26.3	1.6
Δ021	.50	.49	.00	.50	16.3	-1.6
Δ022	1.67	.45	.00	1.67	19.3	.9

6.3.2.2 Ενισχύσεις υφιστάμενης κατοικίας για στάθμη 3

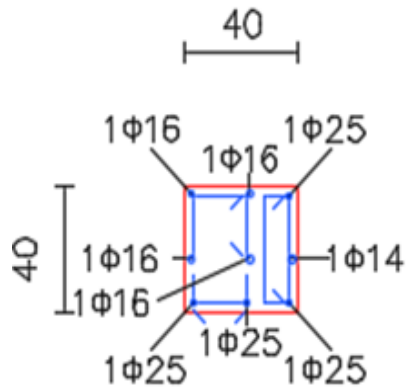
Από τα αποτελέσματα που έδωσε η προκαταρκτική μελέτη, στην στάθμη 3 κάποια δοκάρια και υποστυλώματα φαίνεται ότι αντιμετωπίζουν πρόβλημα επάρκειας ($\lambda > 2.5$) και δεν ανταποκρίνονται στο σημερινό αντισεισμικό ευρωπαϊκό κανονισμό.

Ενισχύσεις στάθμης 3 που επιλέγηκαν βάσει της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε:

1. Δοκάρια: Για τα δοκάρια που παρουσίασαν ανεπάρκεια στη στάθμη 3 επιλέγηκε ενίσχυση με ανθρακωνήματα στις στηρίξεις και στα ανοίγματα. Ο κύριος λόγος που εφαρμόστηκαν οι συγκεκριμένες ενισχύσεις είναι διότι μπορούμε να πετύχουμε το αποτέλεσμα που επιθυμούμε χωρίς κάποια σημαντική επιβάρυνση στην κατασκευή μας αφού δεν έχουν μεγάλο βάρος. Επίσης, η τοποθέτηση τους είναι σχετικά εύκολη και δεν έχει ιδιαίτερες τροποποιήσεις στην αρχιτεκτονική της κατασκευής. Τέλος, ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα που έχουν τα ανθρακωνήματα είναι η αντοχή τους στο χρόνο, την υγρασία, την κόπωση και τη διάβρωση.
2. Υποστυλώματα: Για τα υποστυλώματα επιλέγηκαν ενισχύσεις με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος καθώς επίσης και ενισχύσεις με έγχυτο η εκτοξευμένο σκυρόδεμα. Ο σκοπός που επιλέγηκαν οι συγκεκριμένες ενισχύσεις στα υποστυλώματα που παρουσίαζαν στατική ανεπάρκεια είναι για να μπορέσουν να ανταποκριθούν σε διάτμηση και κάμψη αυξάνοντας την αντοχή τους.
3. Πλάκες: Για τις πλάκες δεν επιλέγηκε να εφαρμοστεί κάποια ενίσχυση διότι η προκαταρκτική ανάλυση δεν έδειξε να αντιμετωπίζουν κάποιο στατικό πρόβλημα.

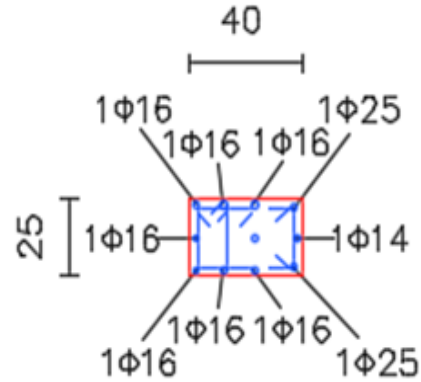
Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι λεπτομέρειες υποστυλωμάτων στάθμης 3 με τις ενισχύσεις τους

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 10/10(250\text{cm})$



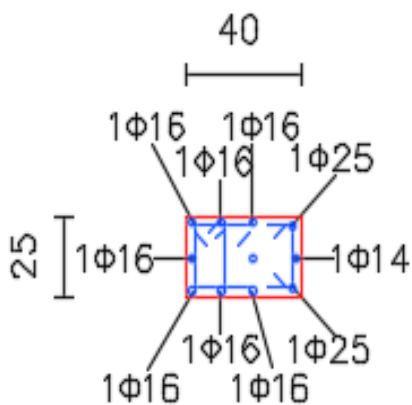
$$K1 \frac{40 \times 40 \times 0 \times 40 \times 40}{4\Phi 25 + 1\Phi 14 [4\Phi 16]}$$

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/20(250\text{cm})$



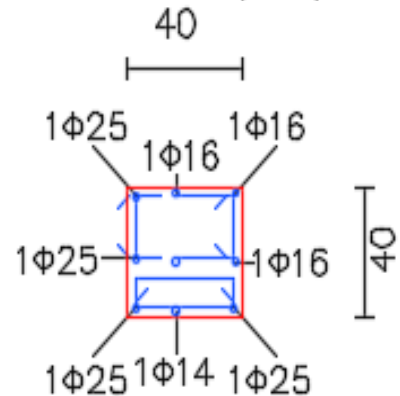
$$K2 \frac{40 \times 25}{2\Phi 25 + 1\Phi 14 [8\Phi 16]}$$

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/20(250\text{cm})$



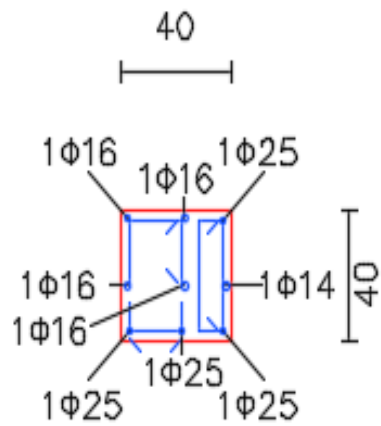
$$K3 \frac{40 \times 25}{2\Phi 25 + 1\Phi 14 [8\Phi 16]}$$

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/20(250\text{cm})$



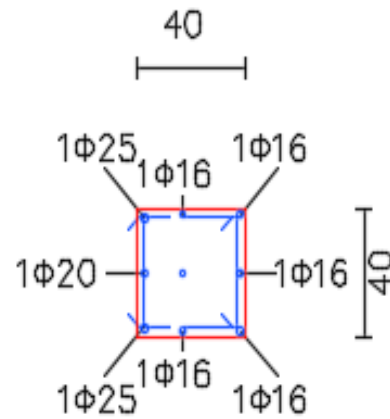
$$K4 \frac{40 \times 40 \times 40 \times 0 \times 40}{4\Phi 25 + 1\Phi 14 [4\Phi 16]}$$

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\phi 8/20(250\text{cm})$



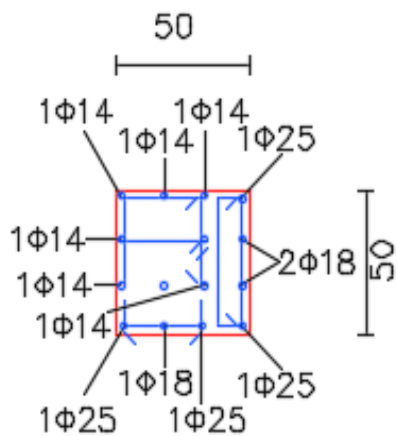
K5 $\frac{40 \times 40 \times 0 \times 40 \times 40}{4\phi 25 + 1\phi 14 [4\phi 16]}$ -----

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\phi 8/20(250\text{cm})$



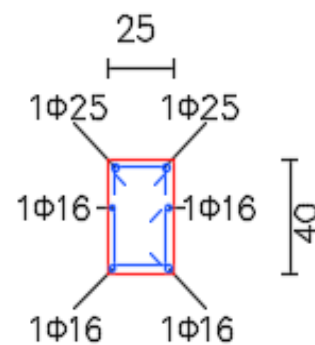
K6 $\frac{40 \times 40}{2\phi 25 + 1\phi 20 [6\phi 16]}$ -----

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\phi 8/20(250\text{cm})$



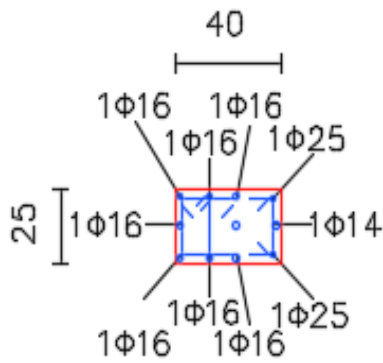
K7 $\frac{50 \times 50 \times 0 \times 50 \times 50}{4\phi 25 + 3\phi 18 [8\phi 14]}$ -----

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\phi 8/20(250\text{cm})$



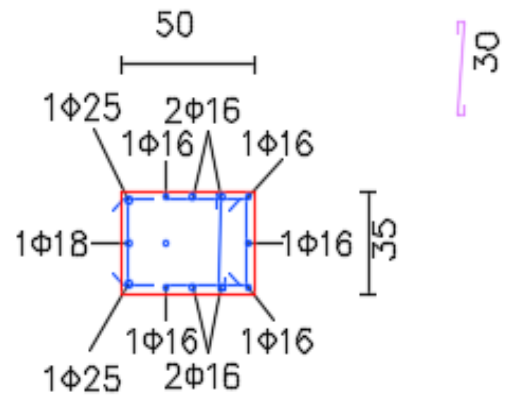
K8 $\frac{25 \times 40}{2\phi 25 [4\phi 16]}$ -----

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/20(250\text{cm})$



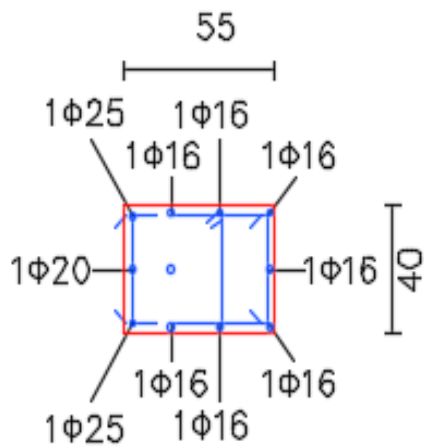
$$K9 \frac{40 \times 25}{2\Phi 25 + 1\Phi 14 [8\Phi 16]}$$

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/20(250\text{cm})$



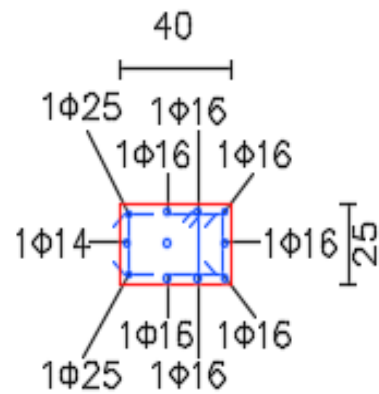
$$K10 \frac{50 \times 35}{2\Phi 25 + 1\Phi 18 [10\Phi 16]}$$

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/20(250\text{cm})$



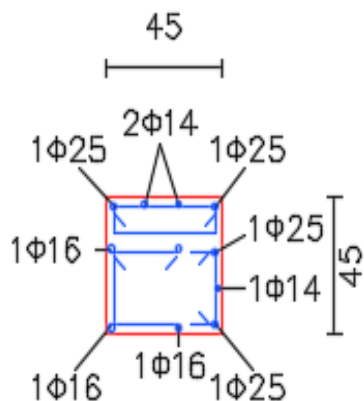
$$K11 \frac{55 \times 40}{2\Phi 25 + 1\Phi 20 [8\Phi 16]}$$

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/20(250\text{cm})$



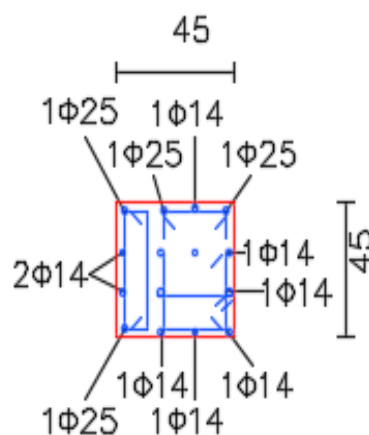
$$K12 \frac{40 \times 25}{2\Phi 25 + 1\Phi 14 [8\Phi 16]}$$

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\phi 8/20(250\text{cm})$



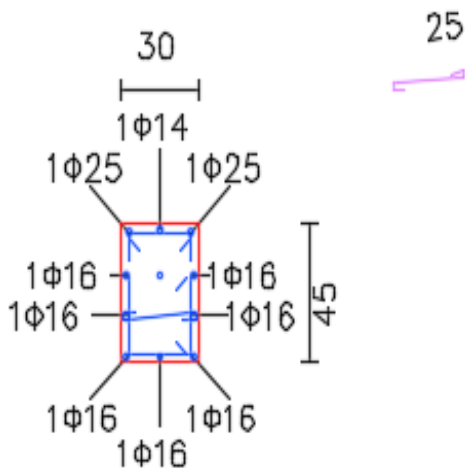
$$K13 \frac{45 \times 45 \times 45 \times 0 \times 45}{4\phi 25 + 3\phi 14 [4\phi 16]}$$

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\phi 8/20(250\text{cm})$



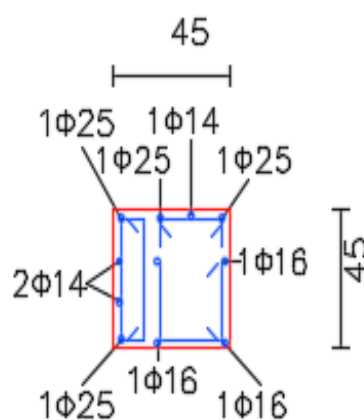
$$K14 \frac{45 \times 45 \times 45 \times 0 \times 45}{4\phi 25 + 3\phi 14 [8\phi 14]}$$

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\phi 8/20(250\text{cm})$



$$K15 \frac{30 \times 45}{2\phi 25 + 1\phi 14 [8\phi 16]}$$

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\phi 8/20(250\text{cm})$



$$K16 \frac{45 \times 45 \times 45 \times 0 \times 45}{4\phi 25 + 3\phi 14 [4\phi 16]}$$

7 Αποτελέσματα

Στην μελέτη που πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του προγράμματος 3DR STRAD σε προκαταρκτικό στάδιο του ανασχεδιασμού της υφιστάμενης κατασκευής, πρωταρχικός στόχος ήταν η αποκατάσταση των ανεπαρκειών που διαγνώστηκαν σε μερικά δοκάρια και υποστυλώματα στις 2 στάθμες της υφιστάμενης κατασκευής κατά την φάση της αποτίμησης. Για τον σκοπό αυτό εφαρμόστηκαν μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος σε 16 υποστυλώματα του φορέα και σε κάποια δοκάρια τα οποία παρουσίαζαν στατική ανεπάρκεια.

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκαν οι ενισχύσεις όπου κρίθηκε απαραίτητο, με κύριο στόχο την αποκατάσταση της καμπτικής και διατμητικής ανεπάρκειας της κατασκευής. Ο έλεγχος της σεισμικής επάρκειας του ανασχεδιασμένου πλέον φορέα με την εφαρμογή της ανάλυσης πλευρικής φόρτισης με προσέγγιση q , έδειξε βελτιωμένη συμπεριφορά της ενισχυμένης κατασκευής σε σχέση με το αρχικό. Οι ανεπάρκειες που παρουσίασαν τα υποστυλώματα, είναι λίγο περισσότερες στη στάθμη 3 και τα ποσοστά των ανεπαρκειών αυτών παρουσιάζονται παραστατικά πιο πάνω, στους πίνακες με τα αποτελέσματα που έδωσε η προκαταρκτική μελέτη για την κάθε στάθμη. Επιπλέον, κάποια από τα δοκάρια παρουσίαζαν στατική ανεπάρκεια η οποία επηρέαζε την συνολική επάρκεια της κατασκευής και έτσι εφαρμόστηκε κατάλληλη ενίσχυση όπου κρίθηκε απαραίτητο. Τέλος, για τις πλάκες του φορέα δεν προέκυψαν ανεπάρκειες που να θεωρούνται κρίσιμες για τη συνολική ευστάθεια του έργου και έτσι δεν εφαρμόστηκε κάποιου είδους ενίσχυσης.

8 Συμπεράσματα

Φτάνοντας στο τέλος, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι υπάρχει μία πληθώρα από αιτίες για τις οποίες μια κατασκευή ενδείκνυται να ενισχυθεί, έχοντας πάντα ως κύριο μέλημα μας την μεγιστοποίηση της αντοχής της. Η διαδικασία ενίσχυσης έχει ένα βαθμό δυσκολίας και περιπλοκότητας, αφού επιβάλλεται να πραγματοποιηθεί κατάλληλος έλεγχος για όλους τους πιθανούς τρόπους αστοχίας με τις κατάλληλες μεθόδους, κατάλληλο εξοπλισμό και κάποιες φορές ειδικά εξειδικευμένο προσωπικό. Επιπλέον, ανάλογα με το βαθμό βλάβης που διαγνώστηκε η κάθε κατασκευή, τοποθετούμε σε αυτή τον κατάλληλο οπλισμό ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των νέων ευρωπαϊκών αντισεισμικών κανονισμών. Σε μια κατασκευή, προτού τοποθετήσουμε τις ενισχύσεις, πρέπει να είμαστε σίγουροι ότι η επιλογή που κάναμε είναι η πιο συμφέρουσα για τον πελάτη, πάντοτε έχοντας πιστό γνώμονα μας την ασφάλεια της κατασκευής, ώστε να πετύχουμε το βέλτιστο αποτέλεσμα. Οι έλεγχοι αυτοί, όπως προανέφερα, επιβάλλεται να γίνονται από άρτια εξειδικευμένο προσωπικό ώστε να αποφεύγονται λάθη που μπορεί να αποβούν μοιραία για την ανθρώπινη ζωή. Είναι αναγκαίο να δίνουμε πάντα ιδιαίτερη έμφαση στα κρίσιμα σημεία της διαδικασίας αφού μια λάθος διάγνωση μπορεί να έχει ως επακόλουθο την τοποθέτηση λάθος ενισχύσεων και κατ' επέκταση την πιθανή πρόκληση αστοχίας της ενισχυμένης κατασκευής. Το πρώτο κρίσιμο σημείο της όλης διαδικασίας που πρέπει να προσέξουμε είναι οι πληροφορίες που αντλούμε από την υφιστάμενη κατασκευή, οι οποίες τις περισσότερες φορές έχουν αρκετές ανακρίβειες και είναι πολύ εύκολο να κάνουμε λάθος διαγνώσεις. Το δεύτερο κρίσιμο σημείο που επιβάλλεται να ελεγχθεί προσεκτικά είναι η απόφαση που θα πάρουμε για το είδος της ενίσχυσης της κατασκευής αφού υπάρχει μια πληθώρα ενισχύσεων με διαφορετικές ιδιότητες η κάθε μια.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε με σκοπό την αποτίμηση και ενίσχυση υφιστάμενης κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα με την βοήθεια της ανάλυσης πλευρικής φόρτισης με προσέγγιση q με τιμές $q(y)=1.25$ και $q(x)=1.28$. Αρχικά, πραγματοποιήθηκαν στατικός έλεγχος της κατασκευής σε φορτία σεισμού χρησιμοποιώντας αντισεισμικό συντελεστή 0.39. Τα αποτελέσματα της πιο πάνω ανάλυσης μας υπέδειξαν πως κάποια από τα στοιχεία της κατασκευής μας είχαν μεγάλο συντελεστή ανεπάρκειας ($\lambda > 2.5$) και άρα χρειαζόνταν την κατάλληλη ενίσχυση. Βάσει των γνώσεων που διδαχθήκαμε, είχα τις απαραίτητες γνώσεις ώστε να τοποθετήσω στην

κατασκευή τις κατάλληλες ενισχύσεις όπου ήταν αναγκαίο ώστε η κατασκευή να μην αντιμετωπίζει προβλήματα επάρκειας λόγω αντοχής. Με την τοποθέτηση της κατάλληλης ενίσχυσης που θέσαμε εμείς ως Πολιτικοί Μηχανικοί η κατασκευή μας δεν αντιμετώπιζε πλέον προβλήματα αντοχής λόγω διάτμησης και κάμψης.

Τέλειώνοντας, το δυσκολότερο ερώτημα που καλούμαστε να απαντήσουμε ως μηχανικοί σε όλη αυτή την διαδικασία, είναι αν είναι προτιμότερο να ενισχύσουμε μια κατασκευή ή αν είναι ακόμη καλύτερο να την κατεδαφίσουμε και να οικοδομήσουμε μια άλλη νέα στην θέση της. Για να μπορέσουμε να απαντήσουμε σε αυτό το τεράστιο ερώτημα, θα πρέπει για κάθε μελέτη πριν παρθεί η οποιαδήποτε απόφαση, να δημιουργείται μια επιπρόσθετη μελέτη για κατεδάφιση της κατασκευής και ανέγερσης μια νέας, έτσι ώστε να μπορούμε να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα των δύο μελετών και στην συνέχεια με γνώμονα μας όλες τις παραμέτρους, όπως οικονομικό συμφέρον και ασφάλεια, να επιλεγεί η πιο αποτελεσματική λύση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. '3DR.STREN-KANEΠE (Eγχειρίδιο Χρήσης).' (2012)
2. Standard, E. (2004). 'European Standard En 1998-3.' 1–97.
3. Αγγελή, Γ., Σταματοπούλου, Α. (2011). "Μέθοδοι ενίσχυσης και επισκευής υποστυλωμάτων – σύγκριση μεθόδων. " 51–60.
4. Αντωνόπουλος, Α., Ζηνοπούλου. Ε. (2000). "Αιτίες Βλαβών και Τρόποι Ενίσχυσης Κόμβων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα", Πάτρα.
5. Αργυροπούλου, Ε. Μ., Στούρας, Ο. (2014). "Έλεγχος και Ενίσχυση Κόμβων Δοκών – Υποστυλωμάτων σε Υφιστάμενη Κατασκευή κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.", Πάτρα.
6. Δαγαλάκη, Μ. (2013). "Ενίσχυση πετρόχτιστων κατασκευών για αύξηση αντοχής έναντι προοδευτικής κατάρρευσης."
7. Δημοσθένους, Μ. (2009). "Μέθοδοι και υλικά αποκατάστασης και ενίσχυσης διατηρητέων κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία." Θεσσαλονίκη.
8. Δρίτσος, Σ. (2003). "Στρατηγικές και σχεδιασμός αντισεισμικής ενίσχυσης κτιρίων.", [Σημειώσεις Μαθήματος], Πανεπιστήμιο Πάτρας, Πάτρα.
9. Δρίτσος, Σ. (2005). "Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα." Πάτρα.
10. Δρίτσος, Σ. (2015). "Ενισχύσεις και επισκευές κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος." Πάτρα.
11. Καλλιανιώτης Φ., Σταθάς Ν. (2009). "Αίτια και μέθοδοι επισκευής ρωγμών στο οπλισμένο σκυρόδεμα." (15 Φεβρουαρίου, 2011)
12. Καματερή, Δ. (2012). "Αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς υφιστάμενων κτιρίων απο οπλισμένο σκυρόδεμα και τρόποι ενίσχυσής τους. "
13. Κοντού, Α., και Τετράδη, Α. (2013). "Διερεύνηση και ανάπτυξη λογισμικού για τη μη γραμμική συμπεριφορά δοκών Ω.Σ σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 2 και 8. " ,Πάτρα.

14. Κουρνέτας, Δ. (2010). “Διάβρωση οπλισμένου σκυροδέματος- μέτρα επέμβασης.” 2006, Πάτρα.
15. Κκολός, Α. (2018). “Οικοδομική ΙΙ”[Σημειώσεις μαθήματος], Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, Λεμεσός.
16. Μαυρουλέας, Γ. (2012). “Ελαττώματα ή βλάβες στο μπετόν.” Μονώσεις και επισκευή.
17. Μάμαλης, Π., Ξάνθης, Δ. (2004). “Διάβρωση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος και τρόποι επισκευής.”, Πάτρα.
18. Μήτρολιου, Σ. (2015). “Αποτίμηση και ενίσχυση υφιστάμενου κτιρίου βάσει κανεπέ” .
19. Μοσχοβού, Π. (2019). “Αποτίμηση και ενίσχυση πενταώροφης οικοδομής με ΚΑΝ.ΕΠΕ.”, Θεσσαλία.
20. Μπάρκας Χ. Ι. (2000). “Βλάβες από σεισμό: Παράγοντες που επηρεάζουν την έκταση τους στα κτίρια.”, Πάτρα.
21. Μπασαγιάννης, Χ. (2009). “Ενίσχυση κοντών υποστυλωμάτων.”, Πάτρα.
22. Μυστακίδης, Ε. (2008). “Συμπεριφορά κατασκευών υπό ακραίες σεισμικές δράσεις *Structural behaviour under exceptional seismic conditions.*” 1–13.
23. Νικόπουλλος, Δ. (2013). “Τεχνολογία Επεμβάσεων Ενίσχυσης κτιρίων Ωπλισμένου Σκυροδέματος για σεισμικά φορτία.” 1–123.
24. Ντζέρος, Γ. (2013). “Αποτίμηση υφιστάμενης πλαισιακής κατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος κατασκευασμένης προ του 1980 & ενίσχυσή της.” Αθήνα.
25. Παππάς, Χ. (2018). “Συγκριτική μελέτη της επίδρασης των διαφορετικών νανο-εγκλεισμάτων στις ηλεκτρικές και θερμικές ιδιότητες τροποποιημένων κονιαμάτων.” Ιωάννινα.
26. Παυλίδου Κ. & Αδαμίδης Α. (2015). “Αποτίμηση Υφιστάμενης Κατασκευής με Ανελαστική Γραμμική Ανάλυση κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. – Προσθήκη Ορόφου και Έλεγχος Επάρκειας για Διάφορες Σεισμικές Φορτίσεις.”, 21ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών 2015, Πάτρα.

27. Περβολάρης, Π. (2017). “ Έλεγχος και Ενίσχυση Κόμβου Δοκού Υποστυλώματος με Ανάπτυξη Εφαρμογής για Windows”, Πάτρα.
28. Σιδέρης, Α. Κ. (χ.χ.). “ Μη καταστροφικοί και ημι-καταστροφικοί έλεγχοι δομικών στοιχείων. ”
29. Σιώμος, Ε. (χ.χ.). “Ένανθράκωση σκυροδέματος προβλήματα και λύσεις. ”
30. Σπυράκος Κ. (2004). “Ενίσχυση Κατασκευών για Σεισμικά Φορτία”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα
31. Σταματούλης, Σ.-Γ. (2013). “Μη καταστροφικοί Έλεγχοι σε Υφιστάμενες Κατασκευές. ”
32. Στυλιανίδης Κ. (2009). “Οι βασικές αρχές και οι καινοτομίες του Κανονισμού Επεμβάσεων.” 16^ο Συνέδριο Σκυροδέματος. ΤΕΕ. ΕΤΕΚ, Πάφος, Κύπρος
33. Τουλιάτος, Π. (2005). “Αρχιτεκτονική και σεισμός.” Αθήνα.
34. Χασάπης, Ε., Χριστάκη, Α. (2000). “ Βλάβες από Σεισμό και Τρόποι Επέμβασης σε Κατασκευές από Οπλισμένο Σκυρόδεμα”, Πάτρα.
35. Χρυσοστόμου Κ. (2009). “Αντισεισμική Θωράκιση της Κύπρου.” 16^ο Συνέδριο Σκυροδέματος. ΤΕΕ. ΕΤΕΚ, Πάφος, Κύπρος
36. Ψυχάρης Γ. (2015).”Αντισεισμικός Σχεδιασμός με Στάθμες Επιτελεστικότητας” [Σημειώσεις Μαθήματος], Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο