

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



Πτυχιακή διατριβή

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Παναγιώτα Κυριάκου

Λεμεσός 2016

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

Πτυχιακή διατριβή

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Παναγιώτα Κυριάκου

Σύμβουλος καθηγητής

Δρ. Ανδρέας Κκολός

Λεμεσός 2016

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Παναγιώτα Κυριάκου, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέπον καθηγητή μου, δρα.Ανδρέα Κκολό για την καθοδήγηση και την υποστήριξη του καθ' όλη την διάρκεια διεκπεραίωσης της παρούσας πτυχιακής διατριβής, για το αμείωτο ενδιαφέρον και την συμπαράσταση του. Επίσης, ιδιαίτερη ευχαρίστηση θα ήθελα να εκφράσω ως προς την εταιρεία AuDeSy και ιδιαίτερα ως προς την κα.Μαρία Χρυσοστόμου για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή της στο πρόγραμμα 3DR.STRAD. Ακόμη, ευχαριστώ όλους τους καθηγητές μου για την βοήθεια τους στην επίτευξη των στόχων μου, καθώς και όλους τους συμφοιτητές και φίλους μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους και για τις πολύτιμες συμβουλές τους. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένεια μου για την στήριξη και την κατανόηση που μου πρόσφεραν όλο αυτό το διάστημα και που μου προσφέρουν σε κάθε μου βήμα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Όπως μπορεί κανείς να διαπιστώσει, τόσο η ενίσχυση, όσο και η αποκατάσταση των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, αποτελούν ένα ιδιαίτερα σημαντικό θέμα για έναν Πολιτικό Μηχανικό, ειδικά στις μέρες μας, όπου ο περισσότερος πληθυσμός καταφεύγει σε επισκευή και ενίσχυση μιας υφιστάμενης κατασκευής, αντί σε ανέγερση νέας.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία και ειδικότερα στο πρώτο μέρος της, καταγράφονται περιληπτικά για το πώς συμβάλλει τόσο η αντισεισμικότητα του νησιού μας στις διαδικασίες για επίτευξη της ενίσχυσης και της επισκευής καθώς, και η υλοποίηση τους στα πλαίσια των Ευρωπαϊκών Προτύπων. Στην συνέχεια, δίνεται έμφαση στην παθολογία των κατασκευών, και συγκεκριμένα, στα αίτια που προκαλούν φθορά στις κατασκευές, στις μορφές αστοχίας, στους παράγοντες που αυξάνουν την τρωτότητα των κατασκευών, στις βλάβες που μπορούν να εμφανιστούν σε κάθε δομικό στοιχείο καθώς και οι βαθμοί των βλαβών αυτών. Επιπρόσθετα, γίνεται αναφορά στις διάφορες διαδικασίες στις οποίες μπορεί να καταφύγει κανείς ώστε να διαγνώσει το είδος της βλάβης. Ακολούθως, γίνεται αναφορά στις βασικές αρχές ενίσχυσης τις οποίες είναι απαραίτητες να γνωρίζει ένας Πολιτικός Μηχανικός πριν από την καταφυγή του στην μέθοδο ή στον τρόπο επισκευής και ενίσχυσης. Συγκεκριμένα, καταγράφονται οι στάθμες επιτελεστικότητας, τα επίπεδα γνώσης και οι συντελεστές εμπιστοσύνης, οι μέθοδοι ανάλυσης, στην διαδικασία αποτίμησης των υφιστάμενων κατασκευών, στις στρατηγικές και τα συστήματα επεμβάσεων, καθώς και τον τρόπο επιλογής του κατάλληλου συστήματος επεμβάσεων. Τέλος, δίνεται έμφαση στα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για την ενίσχυση τόσο και για την αποκατάσταση των κτιρίων, καθώς και στις τεχνικές/μεθόδους που μπορούν να εφαρμοστούν ανάλογα με τον βαθμό βλάβης σε κάθε δομικό στοιχείο ξεχωριστά.

Στο δεύτερο και τελευταίο μέρος της παρούσας πτυχιακής, γίνεται αναφορά στην διαδικασία ελέγχου και ανάλυσης μίας υφιστάμενης κατασκευής μέσω του στατικού προγράμματος 3DR.STRAD, ώστε να γίνει η κατάλληλη ενίσχυση του.

Λέξεις κλειδιά: Αίτια φθοράς, Βλάβες, Οπλισμένο σκυρόδεμα, Αστοχία, Επισκευή, Ενίσχυση, Υλικά ενίσχυσης, Υλικά επισκευής, Τεχνικές ενίσχυσης, Τεχνικές επισκευής

ABSTRACT

Nowadays, the reinforcement and the rehabilitation of reinforced concrete structures constitute a particularly important topic for a Civil Engineer, due to that the population prefer repairing and strengthening of an existing structure, rather than building new construction.

In this thesis, particularly in the first part of the referred to how the earthquake of the island take place in the procedures for achieving the aid or even repair as well, and their implementation in the context of the European Standards. Then, the emphasis is placed in the pathology of structures, especially, in the causes of disasters in construction, failure modes, factors that increase the vulnerability of structures to failures, and the grades of fault. In addition, reference is made to the various procedures in which anyone can resort in order to diagnose the type of failure. Subsequently, reference is made to the basic principles of aid which is necessary to know a Civil Engineer before resorting to the method or the repair and strengthen. More specifically, recorded levels performativity, knowledge levels and confidence factors, methods of analysis, the valuation process of existing structures, the strategies and operations systems, and how to select the appropriate intervention system. Finally, emphasis is placed on materials that can be used both to boost both for the restoration of buildings, as well as the techniques / methods that can be applied depending on the degree of damage to each structural element separately.

In the second and last part of this project, refers to the check and analysis process of an existing construction which based on static 3DR.STRAD program, to arrive at the appropriate payment method.

Keywords: Causes of deterioration, faults, reinforced concrete, misfire, Repair, Reinforcement, support materials, repair materials, Technical Reinforcement, Technical Repair

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
ABSTRACT	v
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	xiii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xx
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	xxi
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	xxii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	xxiv
ΜΕΡΟΣ Α.....	1
1. Αντισεισμικότητα της Κύπρου και ισχύοντες κανονισμοί	1
2. Ευρωκώδικες.....	4
2.1. Ευρωκώδικας 8 (EN 1998).....	5
3. Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.)	6
4. Παθολογία Κατασκευών	7
4.1. Αίτια Φθοράς κτιρίων.....	7
4.1.1. Ρωγμές	7
4.1.1.1. Συστολή ξήρανσης του σκυροδέματος	8
4.1.1.2. Διάβρωση των ράβδων οπλισμού του σκυροδέματος.....	9
4.1.1.3. Θερμοκρασιακές μεταβολές.....	13
4.1.1.4. Αυξημένα εξωτερικά φορτία.....	13
4.1.1.5. Μη επαρκής συνάφεια χάλυβα-σκυροδέματος	14
4.1.1.6. Ανεπαρκής διάρκεια συντήρησης του σκυροδέματος και τελείωμα	15
4.1.1.7. Επιρροή χρόνου και ελλιπής συντήρηση	16
4.1.1.8. Πλαστική συστολή	16
4.1.2. Νερό – Άνεμος.....	17

4.1.3.	Σεισμοί –Δονήσεις.....	17
4.1.4.	Καθίζηση του Σκυροδέματος.....	18
4.1.5.	Περιβαλλοντικοί Παράγοντες.....	19
4.1.6.	Προβλήματα από κατασκευαστικά λάθη.....	20
4.2.	Μορφές αστοχίας.....	22
4.2.1.	Εφελκυστικές ρηγματώσεις	22
4.2.2.	Διατμητική αστοχία	23
4.2.3.	Λιγνισμός.....	23
4.2.4.	Ολίσθηση	23
4.3.	Τρωτότητα	24
4.4.	Βλάβες	24
4.4.1.	Υποστυλώματα	25
4.4.2.	Τοιχώματα.....	28
4.4.3.	Δοκοί.....	29
4.4.4.	Πλάκες	31
4.4.5.	Οργανισμός Πληρώσεως	34
4.5.	Τυπικοί Βαθμοί Βλαβών Δομικών στοιχείων από Ο.Σ.....	34
4.5.1.	Απλή ρηγμάτωση (Βλάβες βαθμού Α και Β)	35
4.5.2.	Μερική αποδιοργάνωση(Βλάβες βαθμού Γ)	35
4.5.3.	Διακοπή συνεχείας από πλήρη αποδιοργάνωση σκυροδέματος ή βλάβη οπλισμών (Βλάβες βαθμού Δ).....	36
4.6.	Διαδικασία Διάγνωσης Βλαβών	37
4.7.	Μέθοδοι και όργανα διάγνωσης βλαβών	38
4.7.1.	Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι.....	39
4.7.1.1.	Οπτικός έλεγχος	40
4.7.1.2.	Κρουσιμέτρηση	40

4.7.1.3.	Χρήση υπερήχων.....	41
4.7.1.4.	Μαγνητικές μέθοδοι.....	42
4.7.1.5.	Μέτρηση του ηλεκτρικού δυναμικού σιδηροπλισμού	43
4.7.1.6.	Ακτινογράφιση με ακτίνες “Χ” και “Γ”	43
4.7.1.7.	Θερμογράφιση με υπέρυθη ακτινοβολία	44
4.7.1.8.	Μέτρηση του ποσοστού υγρασίας με εκπομπή νετρονίων	44
4.7.2.	Ημικαταστροφικοί Έλεγχοι	45
4.7.2.1.	Λήψη πυρήνων.....	45
4.7.2.2.	Χρήση εξολκέα	46
4.7.2.3.	Έλεγχος ράβδων οπλισμού σε εφελκυσμό.....	46
4.7.2.4.	Μέθοδος της πετρογραφικής ανάλυσης.....	47
4.7.3.	Επιτόπου Χημικοί Έλεγχοι.....	47
4.7.3.1.	Έλεγχος του βάθους ενανθράκωσης	47
4.7.3.2.	Έλεγχος χλωριόντων	48
4.7.4.	Έλεγχοι καθολικής φόρτισης.....	48
5.	Βασικές Αρχές Ενίσχυσης.....	49
5.1.	Στάθμες Επιτελεστικότητας	49
5.1.1.	Οριακή κατάσταση περιορισμού βλαβών ή Άμεση Χρήση(A).....	49
5.1.2.	Οριακή κατάσταση σημαντικών βλαβών ή προστασία ζωής (B).....	50
5.1.3.	Οριακή κατάσταση Οιονεί κατάρρευσης (Γ).....	50
5.2.	Επίπεδα γνώσης και συντελεστές εμπιστοσύνης	50
5.3.	Μέθοδοι Ανάλυσης	53
5.3.1.	Ελαστικές μέθοδοι	54
5.3.1.1.	Ελαστική δυναμική μέθοδος (δυναμική φασματική μέθοδος)	54
5.3.1.2.	Ελαστική στατική ανάλυση.....	55
5.3.2.	Ανελαστική μέθοδος.....	55

5.3.2.1.	Ανελαστική στατική ανάλυση (pushover analysis)	55
5.3.2.2.	Ανελαστική δυναμική ανάλυση	57
5.4.	Αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών.....	57
5.5.	Στρατηγικές Επεμβάσεων.....	59
5.6.	Συστήματα Επεμβάσεων	61
5.6.1.	Τοπικές επεμβάσεις στο φορέα για βελτίωσή του	62
5.6.2.	Αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής του κτιρίου.....	63
5.6.3.	Αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης του κτιρίου.....	63
5.6.4.	Μείωση της σεισμικής απαίτησης της κατασκευής.....	64
5.7.	Επιλογή συστήματος επεμβάσεων	65
6.	Υλικά ενίσχυσης και αποκατάστασης κτιρίων	67
6.1.	Ινοπλισμένα πολυμερή(FRP) – Σύνθετα υλικά.....	67
6.1.1.	Κατηγορίες σύνθετων υλικών.....	70
6.1.1.1.	Ίνες.....	70
6.1.1.1.1.	Ίνες άνθρακα	70
6.1.1.1.2.	Ίνες υάλου	71
6.1.1.1.3.	Ίνες αραμιδίου (οργανικές ίνες)	72
6.1.1.2.	Μήτρα	73
6.1.1.2.1.	Εποξειδικές ρητίνες	74
6.1.1.2.1.1.	Ρητινενέσεις (Τεχνική)	75
6.1.1.2.2.	Πολυεστερικές ρητίνες.....	76
6.1.1.2.3.	Βινυλεστερικές ρητίνες	76
6.1.1.3.	Κόλλα.....	76
6.2.	Σκυρόδεμα.....	77
6.2.1.	Οπλισμένο ή Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.....	77
6.2.2.	Έγχυτο σκυρόδεμα.....	79

6.3.	Μεταλλικά στοιχεία – Μεταλλικά ελάσματα.....	80
6.4.	Ριζοπλισμοί (Τεχνική)	81
6.5.	Βλήτρα και αγκύρια.....	82
6.5.1.	Είδη βλήτρων και αγκυρίων	82
6.5.1.1.	Κατακόρυφα βλήτρα προς τα κάτω	82
6.5.1.2.	Οριζόντια βλήτρα.....	83
6.5.1.3.	Κατακόρυφα βλήτρα οροφής.....	83
6.6.	Πηλός.....	84
6.7.	Άσβεστος και ασβεστοκονιάματα	85
6.8.	Ποζολανικά πρόσθετα	86
6.9.	Καολίνης – Μετακαολίνης	86
6.10.	Κονιάματα.....	86
6.11.	Ενέματα.....	87
6.12.	Ξυλεία	88
6.13.	Μορφοσίδερα.....	89
6.14.	Μανδύες (Τεχνική)	89
6.14.1.	Μανδύες από μέταλλο.....	90
6.14.2.	Μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα	90
6.14.2.1.	Μανδύες από έγχυτο σκυρόδεμα	91
6.14.2.2.	Μανδύες από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.....	91
6.14.2.3.	Μανδύες από σκυροτσιμεντόπηγμα.....	92
6.14.2.4.	Μανδύες από ειδικά σκυροδέματα ή τσιμεντοκονιάματα.....	92
6.15.	Μεταλλικοί κλώβοι (Τεχνική)	92
7.	Επισκευές και Ενισχύσεις επιμέρους στοιχείων κατασκευής.....	93
7.1.	Επισκευή και Ενίσχυση Δοκών και Πλακών	93
7.1.1.	Επισκευή Δοκών/Πλακών	93

7.1.2.	Ενίσχυση Δοκών/Πλακών	95
7.1.2.1.	Ενίσχυση σε Κάμψη.....	96
7.1.2.1.1.	Προσθήκη Νέων Μεταλλικών Μελών	96
7.1.2.1.2.	Ενίσχυση με Προσθήκη Κοχλιωμένου Εφελκυσμένου Οπλισμού.....	98
7.1.2.1.3.	Προσθήκη Επικολλητών Χαλύβδινων Ελασμάτων	99
7.1.2.1.4.	Πρόσθετες Στρώσεις Σκυροδέματος	100
7.1.2.2.	Ενίσχυση σε Διάτμηση.....	101
7.1.2.2.1.	Μέθοδοι Ενίσχυσης Δοκών σε Διάτμηση	102
7.1.2.2.2.	Ενίσχυση με εξωτερικά μεταλλικά στοιχεία	103
7.1.2.2.3.	Χρήση συνθέτων υλικών.....	103
7.1.2.3.	Ταυτόχρονη Ενίσχυση σε Διάτμηση και Κάμψη.....	105
7.1.2.3.1.	Μανδύες Οπλισμένου Σκυροδέματος.....	105
7.2.	Επισκευή και Ενίσχυση Κόμβων Δοκών - Υποστυλωμάτων.....	106
7.2.1.	Ρητινενώσεις.....	106
7.2.2.	Μανδύες.....	106
7.2.3.	Χιαστί προεντεταμένα κολάρα	107
7.2.4.	Τεχνική της ‘Καμπούρας’	108
7.2.5.	Επικόλληση Ελασμάτων.....	108
7.2.6.	Τοπική ενίσχυση με καθαίρεση και αποκατάσταση.....	109
7.2.7.	Σύνθετα Υλικά	109
7.3.	Επισκευή και Ενίσχυση Υποστυλωμάτων	110
7.3.1.	Επισκευή Υποστυλωμάτων	110
7.3.1.1.	Επισκευές με ρητινενώσεις ή επισκευαστικά κονιάματα	110
7.3.1.2.	Τοπικές αποκαταστάσεις ίσης διατομής	110
7.3.2.	Ενίσχυση Υποστυλωμάτων	112
7.3.2.1.	Ενίσχυση υποστυλωμάτων με περίσφιγξη.....	112

7.3.2.2.	Ενίσχυση Υποστυλωμάτων με Αύξηση της Διατομής.....	114
7.3.2.3.	Προσθήκη Νέων Υποστυλωμάτων	115
7.4.	Ενίσχυση στοιχείων Θεμελίωσης.....	116
7.5.	Επισκευή και Ενίσχυση Τοιχωμάτων.....	118
7.5.1.	Επισκευές τοιχωμάτων	118
7.5.2.	Ενίσχυση τοιχωμάτων.....	118
7.5.2.1.	Ενίσχυση τοιχωμάτων με περίσφιξη.....	118
7.5.2.2.	Ενίσχυση τοιχωμάτων με Αύξηση της Διατομής τους (Μανδύες ΟΣ).....	119
ΜΕΡΟΣ Β.....		121
1.	Στατική ανάλυση υφιστάμενης κατασκευής ως νέα	125
2.	Στατική στατικό έλεγχο της υφιστάμενης κατασκευής με σεισμό με σεισμό	130
3.	Προσθήκη νέου ορόφου πάνω από τον υφιστάμενο & στατική ανάλυση νέου ορόφου και ενίσχυση υφιστάμενου.....	134
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		139
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		141

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Αρχικός χάρτης σεισμικών ζωνών Κύπρου (Χρυσοστόμου 2009)	2
Εικόνα 2: Χάρτης Σεισμικών Ζωνών Κύπρου (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης - Σεισμοί - Χάρτες Σεισμικότητας -Σεισμικές Ζώνες' χ.χ.)	3
Εικόνα 3: Τυπικές μορφές ρηγμάτωσης.....	7
Εικόνα 4: Πιθανές μορφές ρηγματώσεων συστολής ξήρανσης	9
Εικόνα 5: Εμφάνιση ρωγμών παράλληλων στον κύριο οπλισμό οι οποίες δηλώνουν την διάβρωση του οπλισμού	9
Εικόνα 6:Ενανθράκωση και Χλωρίωση υποστυλώματος σε κτίριο κοντά στην θάλασσα (G.Grantham 2011).....	10
Εικόνα 7: Διάβρωση οπλισμού λόγω μειωμένης κάλυψης οπλισμού (G.Grantham 2011)	11
Εικόνα 8: Αποτίναξη και ρηγμάτωση σκυροδέματος λόγω προϊόντων διάβρωσης χάλυβα (Ένανθράκωση μπετόν και διάβρωση οπλισμών' χ.χ.)	11
Εικόνα 9: Διάβρωση οπλισμού Υποστυλωμάτων (Ένανθράκωση μπετόν και διάβρωση οπλισμών' χ.χ.)	12
Εικόνα 10: Οριζόντια και καθ' ύψος προσθήκη σε υφιστάμενη κατοικία (Έπισκευές – Ενισχύσεις – Προσθήκες Υφιστάμενα Κτίρια' χ.χ.)	14
Εικόνα 11: Συνηθέστερε μέθοδοι αγκύρωσης ράβδων οπλισμού (Ιγνατάκης χ.χ.)	15
Εικόνα 12: Ρηγμάτωση λόγω πλαστικής συστολής (Νικόλαος και Καλλιανώτης 2009)	16
Εικόνα 13: Ρηγματώσεις λόγω συστολής ξήρανσης (Νικόλαος και Καλλιανώτης 2009).....	17
Εικόνα 14: Ρηγμάτωση από καθίζηση σκυροδέματος σε πλαστική κατάσταση.....	18
Εικόνα 15:Ρηγμάτωση από καθίζηση σκυροδέματος σε πλαστική κατάσταση (με παρεμπόδιση από οπλισμό)	19
Εικόνα 16: Αστοχία Λόγω λειτουργίας κοντού υποστυλώματος (Κ.Σπυράκος 2004)	21
Εικόνα 18: Ρωγμές υποστυλώματος λόγω ανεπαρκή οπλισμού (υπερφόρτωση στοιχείου) (G.Grantham 2011).....	21

Εικόνα 17: Αστοχία λόγω λειτουργίας κοντού υποστυλώματος και κατασκευής πιλοτής (Κ.Σπυράκος 2004).....	21
Εικόνα 19: Συνήθεις αστοχίες της τοιχοποιίας.....	22
Εικόνα 20: Εφελκυστικές ρηγματώσεις	22
Εικόνα 21: Διατμητική αστοχία με παραμένουσα παραμόρφωση (‘Διατμητικές Αστοχίες’ χ.χ.)	23
Εικόνα 22: Κατασκευή ΟΚ με σοβαρές βλάβες (Ελευθεριάδου και Καραμπίνης 2010)	25
Εικόνα 23: Καμπτική αστοχία υποστυλώματος (Κ.Σπυράκος 2004)	26
Εικόνα 24: Διατμητική αστοχία υποστυλώματος (Κ.Σπυράκος 2004)	27
Εικόνα 25: Διατμητική αστοχία 'κοντού' υποστυλώματος.....	27
Εικόνα 26: Καμπτοδιατμητική αστοχία με σύνθλιψη (Καϊρης και Χατζηβασιλειάδης 2008)	28
Εικόνα 27: Βλάβη τοιχωμάτων στον αρμό διακοπής εργασίας	28
Εικόνα 28: Διατμητική βλάβη τοιχώματος	29
Εικόνα 29: Καμπτική βλάβη τοιχωμάτων	29
Εικόνα 32: Καμπτική αστοχία στο άνω πέλμα δοκού και ολίσθηση οπλισμών στο κάτω	30
Εικόνα 30: Καμπτικές ρωγμές σε εφελκυσμένο πέλμα δοκού.....	30
Εικόνα 31: Διατμητική αστοχία δοκού	30
Εικόνα 33: Διατμητική αστοχία λόγω συγκεκριμένου φορτίου (πχ. φυτευτά υποστυλώματα και δευτερεύουσες δοκοί).....	31
Εικόνα 34: Χιαστί διατμητικά ρήγματα	31
Εικόνα 35: Ρηγματώσεις με διεύθυνση κάθετη προς τον κύριο οπλισμό	32
Εικόνα 37: Ρωγμές λόγω έναρξης φαινομένου διάτρησης σε πλάκα χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων (G.Grantham 2011).....	33
Εικόνα 36: Βλάβη πλάκας λόγω διάτρησης	33
Εικόνα 38: Μορφές βλαβών οργανισμού πληρώσεως	34
Εικόνα 39: Βαθμός βλάβης Α - Μεμονωμένες οριζόντιες ρωγμές	35

Εικόνα 40: Βαθμός βλάβης Β - Πλατιές καμπτικές ρωγμές (αριστερά) και μεμονωμένες λοξές διατμητικές ρωγμές (δεξιά)	35
Εικόνα 41: Τοπική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος υποστυλώματος (Κ.Σπυράκος 2004)	36
Εικόνα 42: Ρηγματώσεις βαθμού Γ	36
Εικόνα 43: Βλάβη βαθμού Δ	37
Εικόνα 44: Διακοπή συνέχειας υποστυλώματος λόγω πλήρους αποδιοργάνωσης του σκυροδέματος και βλάβης του διαμήκους και του εγκάρσιου οπλισμού (Κ.Σπυράκος 2004).....	37
Εικόνα 45: Μέθοδος κρουσιμέτρησης (Κ.Σπυράκος 2004).....	40
Εικόνα 46: Ηλεκτρονικό κρουσίμετρο με εκτυπωτή αποτελεσμάτων (Κ.Σπυράκος 2004) ...	40
Εικόνα 47: Μέθοδος υπερήχων (Κ.Σπυράκος 2004)	41
Εικόνα 48: Μέθοδος υπερήχων (Σταματούλης 2013).....	42
Εικόνα 49: Μαγνητική μέθοδος (Κ.Σπυράκος 2004).....	42
Εικόνα 50: Όργανο μέτρησης ηλεκτρικού δυναμικού (Κ.Σπυράκος 2004).....	43
Εικόνα 51: Τρόπος χρήσης οργάνου μέτρησης ηλεκτρικού δυναμικού	43
Εικόνα 52: Σύστημα λήψης πυρήνων σκυροδέματος (Κ.Σπυράκος 2004)	45
Εικόνα 53: Όργανο μεθόδου εξολκεία (Κ.Σπυράκος 2004).....	46
Εικόνα 54: Αποτέλεσμα μεθόδου ελέγχου του βάθους ενανθράκωσης (‘Η διάβρωση του χάλυβα στο σκυρόδεμα’ χ.χ.)	47
Εικόνα 55: Ανεπαρκής αγκύρωση πάνω και κάτω ράβδων δοκού (Γιαννόπουλλος 2000)	62
Εικόνα 56: Ενίσχυση κατασκευής με προσθήκη τοιχωμάτων ή δικτυωτών συνδέσμων.....	63
Εικόνα 57: Ενίσχυση υποστυλώματος με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (Κ.Σπυράκος 2004).....	64
Εικόνα 58: Σεισμική μόνωση με εφένδρανα (‘Εφένδρανα-Σεισμική Μόνωση - ΕΛΕΜΚΑ’ χ.χ.)	65
Εικόνα 59: Μηχανική των σύνθετων υλικών (Ι, Λαγίου 2012)	67
Εικόνα 60: Τυπική σύνθεση σύνθετου υλικού (Ινοπλισμένου πολυμερές) (Ι, Λαγίου 2012). ..	68

Εικόνα 61: Εφαρμογή ανθρακονήματος (Κωνσταντίνος χ.χ.)	71
Εικόνα 62: Ίνες υάλου	72
Εικόνα 63: Εφαρμογή ρητινενέσεων (Κωνσταντίνος χ.χ.)	75
Εικόνα 64: Ενίσχυση με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (‘Μαντρογιαννάκης S.A.’ χ.χ.)	77
Εικόνα 65: Εκτόξευση σκυροδέματος με τη ξηρά μέθοδο (Κωνσταντίνος χ.χ.)	78
Εικόνα 66: Εφαρμογή μεταλλικών ελασμάτων (Αγγελή και Σταματοπούλου 2011)	80
Εικόνα 67: Κατασκευή και τοποθέτηση ριζοπλισμών (Κωνσταντίνος χ.χ.)	81
Εικόνα 68: Βλήτρα σε ενεργό ενίσχυση οχετού (Κωνσταντίνος χ.χ.)	82
Εικόνα 69: Δοκιμές εξόλκευσης βλήτρων (Κωνσταντίνος χ.χ.)	83
Εικόνα 70: Επισκευή κτιρίου με πηλό δόμησης (‘Ο «παραδοσιακός» πηλός το μέλλον της δόμησης’ χ.χ.)	84
Εικόνα 71: Παραδοσιακή κατοικία με ασβεστοκονίαμα κυρίως για λόγους συντήρησης (Παπούδος κ.ά. 2011)	85
Εικόνα 72: Πέτρωμα καολίνη	86
Εικόνα 73: Χρήση ενεμάτων (‘«Ασπίδα» από επτά μέτρα χώμα’ 2015)	88
Εικόνα 74: Ξυλεία (‘Μάχη επιβίωσης δίνει η βιομηχανία ξυλείας’ χ.χ.)	88
Εικόνα 75: Μορφοσίδερα (house 2015)	89
Εικόνα 76: Στάδια κατασκευής μανδύα σε υποστύλωμα (Καϊρης και Χατζηβασιλειάδης 2008)	89
Εικόνα 77: Ενίσχυση με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (Καϊρης και Χατζηβασιλειάδης 2008)	91
Εικόνα 78: Επέμβαση με μεταλλικό κλωβό (Καϊρης και Χατζηβασιλειάδης 2008)	92
Εικόνα 79: Ρητινενέσεις για συγκόλληση ρωγμών σε δοκό	93
Εικόνα 80: Επισκευή δοκού με ελαφρύ δομικό πλέγμα	94
Εικόνα 81: Επισκευή δοκού με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος	94
Εικόνα 82: Επισκευή δοκού με καθαίρεση και αποκατάσταση ίσης διατομής. (α) Ρηγματωμένη διατομή. (β) Προσθήκη νέου οπλισμού	95

Εικόνα 83: Προσθήκη μεταλλικών δοκών στο μέσο του ανοίγματος της πλάκας.....	96
Εικόνα 84: Προσθήκη νέων μεταλλικών μελών στις παρειές υφιστάμενης δοκού. (α)Δύσκαμπτες διατομές. (β)Εύκαμπτες διατομές	97
Εικόνα 85: Κοχλιωτή σύνδεση συγκολλητής μεταλλικής διατομής για αύξηση της καμπτικής αντοχής υφιστάμενης δοκού από σκυρόδεμα.....	98
Εικόνα 86: Ενίσχυση καμπτικής αντοχής δοκού με επικολλητά χαλυβδόφυλλα	99
Εικόνα 87: Αστοχία στην περιοχή αγκύρωσης των άκρων ελάσματος	100
Εικόνα 88: Ενίσχυση κάτω πέλματος δοκού με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος	101
Εικόνα 89: Προσθήκη πλευρικών μεταλλικών ελασμάτων για αύξηση της διατμητικής αντοχής δοκού	102
Εικόνα 90: Διατμητική ενίσχυση δοκού με διαγώνιους εξωτερικούς συνδετήρες	102
Εικόνα 91: Αύξηση διατμητικής αντοχής δοκού με σοβαρές διατμητικές βλάβες μέσω συσφιγμένων κοχλίων	102
Εικόνα 92: Διατμητική ενίσχυση πλακοδοκού με σύνθετα υλικά. (α)Τρίπλευρος μανδύας μορφής U. (β)Δίπλευρη ενίσχυση με επικόλληση στις δύο πλευρές του κορμού.....	104
Εικόνα 93: Σχηματική αναπαράσταση πιθανών μορφών διατμητικής ενίσχυσης δοκών Ο.Σ με χρήση ινοπλισμένων πολυμερών.....	104
Εικόνα 94: Δοκός και Υποστύλωμα ενισχυμένα με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (Κοντού και Τετράδη 2013)	105
Εικόνα 95: Εφαρμογή μεθόδου Ρητινενέσεων σε κόμβο	106
Εικόνα 96: Λεπτομέρεια οπλισμού μανδύα	107
Εικόνα 97: Λεπτομέρεια τοποθέτησης κολάρων	107
Εικόνα 98: Λεπτομέρεια της τεχνικής της καμπούρας.....	108
Εικόνα 99: Ενίσχυση κόμβου με επικολλητά ελάσματα.....	109
Εικόνα 100: Αποκατάσταση υποστυλώματος, με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος της βαμμένης περιοχής.....	111
Εικόνα 101: Αποκατάσταση υποστυλώματος με μερική αποδιοργάνωση της βλαμμένης περιοχής.....	112

Εικόνα 102: Περίσφιξη με μεταλλικά επικολλητά ελάσματα.....	113
Εικόνα 103: Περίσφιξη με σπειροειδή οπλισμό.....	113
Εικόνα 104: Περίσφιξη με γενικό μεταλλικό μανδύα. (α)Ορθογωνική (β) Ελλειπτική	114
Εικόνα 105: Περίσφιξη με μεταλλικό κλώβο.....	114
Εικόνα 106: Ενίσχυση Υποστυλωμάτων με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος. (α) Εσωτερικό μεμονωμένο υποστύλωμα. (β) Περιμετρικό υποστύλωμα σε επαφή με τοίχωμα .	115
Εικόνα 107: Σύνδεση νέου υποστυλώματος σε υπάρχουσα θεμελίωση	116
Εικόνα 108: Ενίσχυση πέδινων με μανδύες	117
Εικόνα 109: Ενίσχυση πέδιλου όταν η επέμβαση δεν περιλαμβάνει ενίσχυση του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου.....	117
Εικόνα 110: Επέμβαση με μεταλλικό κλώβο (Δρίτσος 2005)	118
Εικόνα 111: Ενίσχυση τοιχωμάτων με αύξηση της διατομής τους. (α)Διατμητική ενίσχυση (β)Καμπτική Ενίσχυση (γ)Διατμητική και Καμπτική ενίσχυση με κλειστό μανδύα	119
Εικόνα 112: Γενική διάταξη ενίσχυσης τοιχώματος με κλειστό μανδύα.....	120
Εικόνα 113: Α) Μπετόν Οροφής, Β) Κάτοψη θεμελίωσης.....	122
Εικόνα 114: Κατάλογος οπλισμών δοκών και σχετικές σημειώσεις	122
Εικόνα 115: Οπλισμός Δοκών ορόφου	127
Εικόνα 116: Λεπτομέρειες οπλισμών κολώνων ορόφου.....	128
Εικόνα 117: Οπλισμός πλάκας ορόφου.....	129
Εικόνα 118: Λεπτομέρεια κολώνων με ενίσχυση από μανδύες	131
Εικόνα 119: Λεπτομέρεια ενίσχυσης δοκού 31 με ανθρακονήματα	132
Εικόνα 120: Κατηγορίες πέδινων με βάση την πίεση που αρκείται, Α. Έκκεντρο φορτίο με δημιουργία πιέσεων καθ' όλο το μήκος του Β. Έκκεντρο φορτίο με δημιουργία μονόπλευρης τριγωνικής πίεσης.....	133
Εικόνα 121: Μορφή πέδιλου Π.18.1 στην παρούσα μελέτη	133
Εικόνα 122: Σχέδιο οπλισμών πλακών επιπρόσθετου νέο ορόφου.....	134
Εικόνα 123: Σχέδιο οπλισμών δοκών νέου επιπρόσθετου ορόφου.....	135

Εικόνα 124: Λεπτομέρεια οπλισμών κολώνων επιπρόσθετου νέου ορόφου	136
Εικόνα 125: Λεπτομέρεια ενίσχυσης κολώνων υφιστάμενου ορόφου με μανδύες	137
Εικόνα 126: Λεπτομέρεια ενίσχυσης υφιστάμενης δοκού 31 με ανθρακονήματα	138
Εικόνα 127: Μορφή πέδιλου Π.18.1 στην παρούσα μελέτη	138

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Μέγιστο Επιτρεπόμενο Εύρος Ρωγμών (Νικόλαος και Καλλιανώτης 2009).....	8
Πίνακας 2: Στάθμες επιτελεστικότητας (‘3DR.STREN-KANEΠΕ (Εγχειρίδιο Χρήσης)’ 2012))	49
Πίνακας 3: Κατάταξη επιπέδου επιθεώρησης και ελέγχου (Standard 2004)	51
Πίνακας 4: Επίπεδα γνώσης και συντελεστές εμπιστοσύνης (Σπύρου 2011).....	52
Πίνακας 5: Τυπικές Ιδιότητες των ινών (Χιώτης.Δ 2012)	70
Πίνακας 6: Είδη ρητίνων και χαρακτηριστικά τους (Χιώτης.Δ 2012).....	73
Πίνακας 7: Ενδεικτικές ιδιότητες εποξειδικών ρητίνων και σύγκριση με σκυρόδεμα και χάλυβα (Π.Σταυρόπουλος 2007)	74
Πίνακας 8: Ενδεικτικές ιδιότητες εποξειδικών ρητινών και σύγκριση με σκυρόδεμα και χάλυβα (Χαρίτου κ.ά. 2013).....	79
Πίνακας 9: Θλιπτικές αντοχές κονιαμάτων (Δημοσθένους κ.ά. 2009)	87
Πίνακας 10: Κατάλογος Οπλισμών πέδινων	125
Πίνακας 11: Κατάλογος Οπλισμών δοκών στάθμης 1 (πεδילוδοκών)	126

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ανάλυσης 'pushover' (Γεωργία 2013).....	56
Διάγραμμα 2: Στρατηγικές ενίσχυσης (Δρίτσος 2005)	61

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

KEAM: Κυπριακή Επιτροπή Αντισεισμικών Μέτρων

CEB : Comité européen du béton

ETEK: Τεχνικό Επιμελητήριο Κύπρου

CYS : Cyprus Organisation for Standardisation

CEN: European Committee for Standardization

ΟΣ: Οπλισμένο σκυρόδεμα

ΚΑΝ.ΕΠΕ.: Κανονισμός Επεμβάσεων

m_k : Η μάζα που ενεργοποιείται από την ιδιομορφή k

F_{bk} : Τέμνουσα βάσης

$S_d(T_k)$: Επιτάχυνση που προκύπτει από το φάσμα σχεδιασμού για την ιδιοπερίοδο T_k .

T_c : Το τέλος του οροπέδιου σταθερών επιταχύνσεων του φάσματος σχεδιασμού

q : Συντελεστής συμπεριφοράς

FRP: Ινοπλισμένα Πολυμερή

Σ.Ε: Συντελεστής Εμπιστοσύνης

GR: Greece

CY: Cyprus

γ_c : Συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος

γ_s : Συντελεστής ασφαλείας χάλυβα

agR : Επιτάχυνση σεισμού

e : Εκκεντρότητα

N, M : Κατακόρυφη δύναμη και Ροπή αντίστοιχα

λ : συντελεστής επάρκειας

f_{ck}, f_{yk} : Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη και χάλυβα σε εφελκυσμό αντίστοιχα

D : Μήκος (θεμελίου)

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

Comité européen du béton

Cyprus Organisation for Standardisation

European Committee for Standardization

Pushover analysis

Fibre Reinforced Polymers

Greece

Cyprus

Ευρωπαϊκή Επιτροπή Σκυροδέματος

Κυπριακός Οργανισμός Τυποποίησης

Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης

Ανελαστική Στατική ανάλυση

Ινοπλισμένα Πολυμερή

Ελλάδα

Κύπρος

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με το πέρασμα του χρόνου, τα κτίρια παρουσιάζουν είτε φυσικές φθορές, είτε βλάβες λόγω εξωτερικών δυνάμεων. Η φυσική κυρίως φθορά που υφίσταται μια κατασκευή, εφόσον δεν υπάρχει πρόνοια για κατάλληλη συντήρηση και ενδεχομένως ενίσχυση της, μειώνει την αντοχή της κατασκευής. Κατά συνέπεια, ένας προοδευτικά αυξανόμενος αριθμός υφιστάμενων κατασκευών, διαπιστώνεται ότι χρήζουν επεμβάσεων.

Έτσι, όπως μπορεί κανείς να διαπιστώσει, τόσο η ενίσχυση, όσο και η αποκατάσταση οικοδομικών κατασκευών, αποτελούν ένα ιδιαίτερα σημαντικό θέμα για έναν Πολιτικό Μηχανικό ειδικότερα στις μέρες μας όπου ο περισσότερος πληθυσμός καταφεύγει σε επισκευή και ενίσχυση μιας υφιστάμενης κατασκευής, αντί σε ανέγερση νέας. Οι επεμβάσεις και ο ανασχεδιασμός κτιρίων που είτε παρουσιάζουν βλάβες και χρειάζονται επισκευή, είτε χρειάζονται ενίσχυση για κάποιο λόγο, είναι σύνθετο και δύσκολο πρόβλημα, που σπεύδει ιδιαίτερης σημασίας, ενώ η ορθή επιλογή των υλικών και των μεθόδων αποκατάστασης είναι ιδιαίτερα δύσκολη εξ' αιτίας της ταχύτατης εξέλιξης της τεχνολογίας και της πληθώρας νέων υλικών που χρησιμοποιούνται στις επισκευές.

Κύριο θέμα της παρούσας εργασίας είναι η ενίσχυση των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στα πλαίσια της προσπάθειας παρουσίασης ολοκληρωμένου του θέματος, παρουσιάζεται η τόσο η παθολογία των κατασκευών όσο και οι βασικές αρχές ενίσχυσης που πρέπει να γνωρίζουμε πριν από κάθε λήψη απόφασης, ενώ γίνεται έμφαση στα υλικά και στις τεχνικές επισκευής και ενίσχυσης κάθε δομικού στοιχείου.

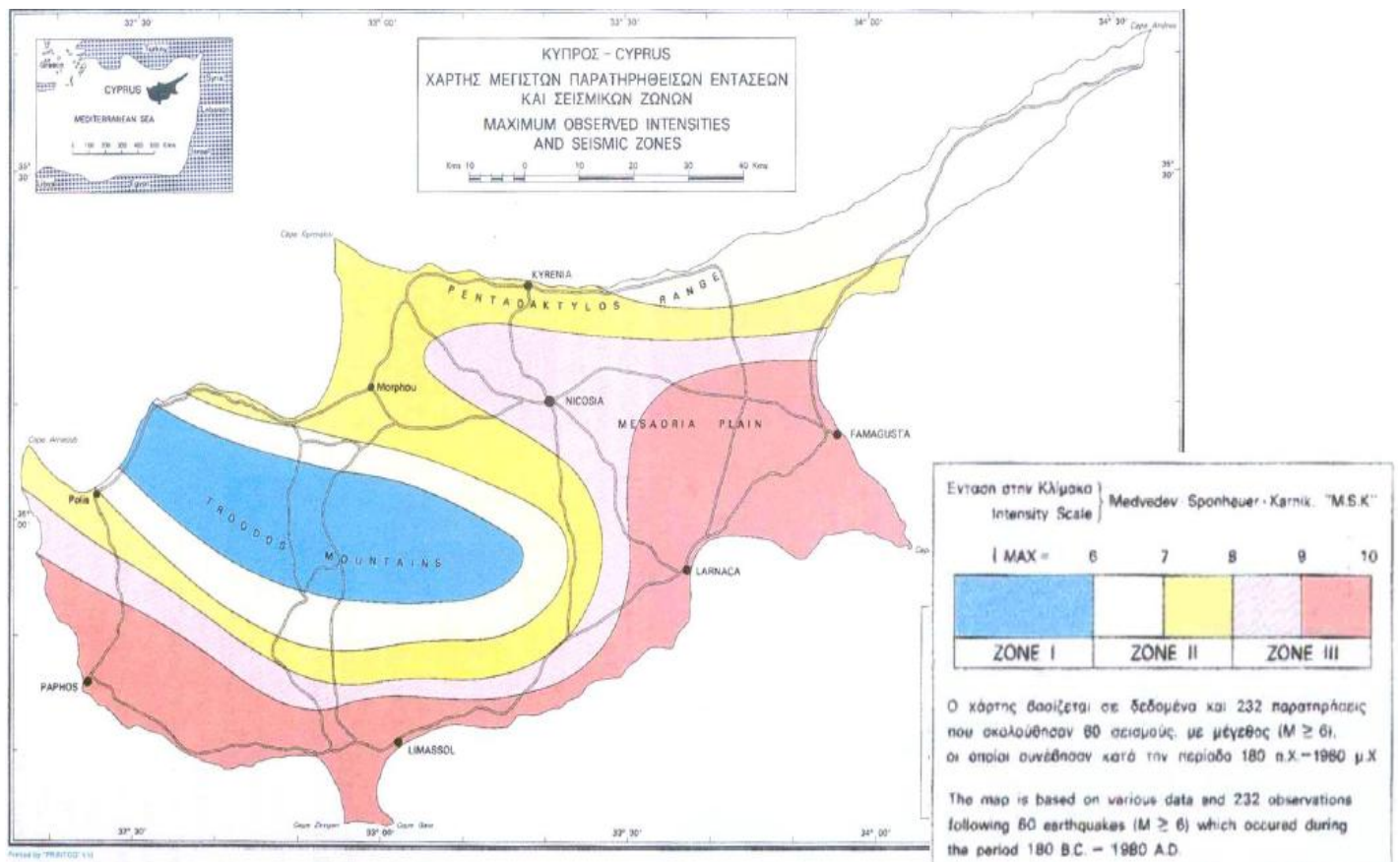
Τέλος, στο δεύτερο μέρος της παρούσας πτυχιακής, γίνεται αναφορά στην διαδικασία ελέγχου και ανάλυσης μίας υφιστάμενης κατασκευής μέσω του στατικού προγράμματος 3DR.STRAD, ώστε να γίνει η κατάλληλη ενίσχυση του.

ΜΕΡΟΣ Α

1. Αντισεισμικότητα της Κύπρου και ισχύοντες κανονισμοί

Η Κύπρος ως γνωστό από αρχαιοτάτων χρόνων, είναι μια σεισμογενείς περιοχή, γι' αυτό και συχνά βρίσκεται αντιμέτωπη με διαφόρων εντάσεων σεισμούς. Πηγή αυτών των σεισμών είναι κατά κύριο λόγο το Κυπριακό Τόξο που βρίσκεται στα νότια της Κύπρου και που αποτελεί το σύνορο μεταξύ της Αφρικανικής και Ευρασιατικής Πλάκας (Χριστοδούλου 2012; Χρυσοστόμου 2009). Το φυσικό φαινόμενο του σεισμού αποτελεί πρόβλημα για το νησί, αφού δεν μπορεί να προβλεφθεί, ούτε να προληφθεί, με αποτέλεσμα πολλές φορές ο σεισμός να γίνεται καταστροφικός. Σε πολλές περιπτώσεις της μακραίωνης ιστορίας της Κύπρου, πόλεις της, όπως η Σαλαμίνα, το Κίτιον και το Κούριο, καταστράφηκαν από σεισμούς. Το αποτέλεσμα αυτών των καταστροφών ήταν το ταρακούνημα του λαού και η ανάγκη ύπαρξης αντισεισμικών κανόνων όπου με την εφαρμογή τους θα έκαναν τα κτίρια πιο «ισχυρά» στο σεισμό, μειώνοντας ταυτόχρονα και τις επιπτώσεις του φαινομένου. Το κύριο μέλημα της προσπάθειας ύπαρξης κανόνων, πρωτίστως ήταν να επιτευχθεί η προστασία της ανθρώπινης ζωής και έπειτα των κατασκευών (Χριστοδούλου 2012; Χρυσοστόμου 2009). Η όλη προσπάθεια για αντισεισμικότητα στην Κύπρο, ξεκίνησε μετά το σεισμό της Θεσσαλονίκης το 1978 από μια ομάδα ανθρώπων οι οποίοι βλέποντας τις επιπτώσεις του σεισμού ενεργοποιήθηκαν για να ευαισθητοποιήσουν την Κυπριακή Πολιτεία και να στρέψουν την προσοχή προς την ανάγκη για αντισεισμική θωράκιση της Κύπρου. Το 1979 ιδρύθηκε η Κυπριακή Επιτροπή Αντισεισμικών Μέτρων (KEAM) με κύριο στόχο της η εισαγωγή των απαραίτητων σύντομων αντισεισμικών μέτρων στην Κύπρο για προστασία του ανθρώπου και του δομημένου περιβάλλοντος από τις συνέπειες των σεισμών. Έτσι, τέθηκαν οι πρώτες βάσεις για την αντισεισμική θωράκιση της Κύπρου, καθορίζοντας και τις πρώτες σεισμικές ζώνες (Εικόνα 1) , βασισμένες στις εντάσεις των σεισμών από ιστορικά δεδομένα. Στην συνέχεια, το 1986 τέθηκαν σε εφαρμογή τα πρώτα αντισεισμικά μέτρα, τα οποία αφορούσαν γενικές οδηγίες που θα έπρεπε να ακολουθούνται στο σχεδιασμό κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα και από φέρουσα τοιχοποιία (Χρυσοστόμου 2009). Μετά την εφαρμογή των Σύντομων Αντισεισμικών Μέτρων, η KEAM ανάθεσε στον Σύνδεσμο Πολικών Μηχανικών και Αρχιτεκτόνων Κύπρου την ετοιμασία του Κυπριακού Σεισμικού Κώδικα. Ο κώδικας αυτός, που βασίστηκε στον Πρότυπο Κώδικα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Σκυροδέματος (CEB), τέθηκε σε προαιρετική εφαρμογή το 1992 και άρχισε να

εφαρμόζεται υποχρεωτικά από την 1η Ιανουαρίου 1994 για κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα ('International Federation for Structural Concrete'; Χρυσοστόμου 2009).



Εικόνα 1: Αρχικός χάρτης σεισμικών ζωνών Κύπρου (Χρυσοστόμου 2009)

Από το 1994 λοιπόν, μέχρι το τέλος του 2011, μπήκε σε εφαρμογή ο Κυπριακός Σεισμικός Κώδικας βάση του οποίου γίνονταν οι στατικές μελέτες των Δημόσιων Κτηρίων. Σύμφωνα με τον Κώδικα αυτό, η αντισεισμική μελέτη βασιζόταν στον σεισμικό συντελεστή (μέγιστη επιτάχυνση εδάφους) η τιμή της οποίας εξαρτάται από τη σεισμική ζώνη κάθε περιοχής ('Βουλή των Αντιπροσώπων' χ.χ.). Παράλληλα, με την εφαρμογή του κώδικα, η Επιτροπή Αναθεώρησης του Κυπριακού Αντισεισμικού Κώδικα, τον Οκτώβριο του 2004 αναθεωρεί τον αρχικό χάρτη αντισεισμικών ζωνών του νησιού προκύπτοντας ο χάρτης σεισμικών ζωνών που φαίνεται στην Εικόνα 2 ('Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης - Σεισμοί - Χάρτες Σεισμικότητας -Σεισμικές Ζώνες' χ.χ.). Το 2004, με την ένταξη της Κύπρου στην Ευρωπαϊκή Ένωση, καλείται να προσαρμόσει στον κατάλογο των κωδίκων της τους ευρωκώδικες. Στόχος ήταν με την χρήση τους, να μετατραπεί ο σχεδιασμός κτιρίων σε ένα κοινό τρόπο δημιουργίας δομημάτων στην κοινωνία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Χριστοδούλου 2012).

Ακολούθως, το Υπουργικό Συμβούλιο ενέκρινε τον Αύγουστο του 2006, πρόταση του Υπουργείου Εσωτερικών για τριετές πρόγραμμα ετοιμασίας εφαρμογής και χρήσης των ευρωκωδίκων στην Κύπρο. Το εν λόγω πρόγραμμα, το οποίο πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με το Επιστημονικό και Τεχνικό Επιμελητήριο Κύπρου (ΕΤΕΚ) και τον Κυπριακό Οργανισμό Τυποποίησης (CYS), ολοκληρώθηκε το 2009 και περιελάμβανε την ετοιμασία των Εθνικών Προσαρτημάτων, και την ενημέρωση και εκπαίδευση των εμπλεκόμενων Μηχανικών (‘Υπουργείο Εσωτερικών - Ευρωκώδικες’ χ.χ.).

Από την 1^η Ιανουαρίου του 2012, όλα τα προηγούμενα πρότυπα αποσύρθηκαν και αντικαταστάθηκαν από τους Ευρωκώδικες και τα προσαρτήματά τους, συμπεριλαμβανομένων και του ευρωκώδικα 8 για το σχεδιασμό των αντισεισμικών κατασκευών. Με την εισαγωγή των ευρωκωδίκων, η Κυπριακή Πολιτεία ενεργώντας πρωτοποριακά αποφάσισε τη σεισμική ενίσχυση όλων των σχολικών κτιρίων, αφού αποτελούν ένα από τις πιο ευαίσθητες κτιριακές υποδομές της κοινωνίας λόγω του γεγονότος ότι στεγάζουν την μελλοντική γενιά. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, από τις αρχές του 2012, περίπου το 90% των σχολικών κτιρίων της Κύπρου να θεωρείται σεισμικά ανθεκτικό. Αναλυτικότερα, από τα 660 σχολεία, 26 είχαν κατεδαφιστεί και αντικατασταθεί από νέες με κόστος περίπου 31 εκατομμύρια Ευρώ, 280 είχαν ενισχυθεί εκ των υστέρων με κόστος 140 εκατομμύρια ευρώ, 20 από αυτά βρίσκονται υπό επιδιόρθωση εκ, 268 κρίθηκαν ικανοποιητικά, ενώ τα υπόλοιπα βρίσκονται ακόμη υπό αξιολόγηση (Chrysostomou κ.ά. 2012).



Εικόνα 2: Χάρτης Σεισμικών Ζωνών Κύπρου (‘Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης - Σεισμοί - Χάρτες Σεισμικότητας -Σεισμικές Ζώνες’ χ.χ.)

2. 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 Ευρωκωδίκων στην Ευρωπαϊκή ένωση, όλοι οι μέχρι τώρα εθνικοί κανονισμοί του κάθε κράτους-μέλους της Ευρωπαϊκής Ένωσης αντικαταστήθηκαν με αυτούς (Ύπουργείο Εσωτερικών - Ευρωκώδικες' χ.χ.; 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 Ευρωκωδίκων (Χριστοδούλου 2012).

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

- EN 1998 Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός Σχεδιασμός (6 Μέρη)
- EN 1999 Ευρωκώδικας 9: Σχεδιασμός Φορέων από Αλουμίνιο (3 Μέρη)

2.1. Ευρωκώδικας 8 (EN 1998)

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 σεισμογενείς 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 είναι υποδιαιρεμένος σε 10 διαφορετικά μέρη, συμπληρώνοντας ουσιαστικά, άλλους κώδικες τους οποίους χρησιμοποιεί ο μηχανικός για το σχεδιασμό μιας κατασκευής (Χριστοδούλου 2012). 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 (ΟΣ) στα πλαίσια του προγράμματος 3DR.STRAD.

3. 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. Σκοπός του κανονισμού αυτού είναι η θεσμοθέτηση κριτηρίων για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υφισταμένων δομημάτων, για την εφαρμογή αντισεισμικού σχεδιασμού, καθώς και για ενδεχόμενες επεμβάσεις, επισκευές ή ενισχύσεις ('3DR.STREN-KANEΠΕ (Εγχειρίδιο Χρήσης)' 2012, 'ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Κανονισμός Επεμβάσεων' χ.χ., 'Κανονισμός επεμβάσεων' χ.χ., 'Κανονισμός Επεμβάσεων(ΚΑΝ.ΕΠΕ) σε κτίρια από ΟΣ, έναντι σεισμού' χ.χ.; Καματερή 2012).

Ο Κανονισμός περιλαμβάνει διατάξεις υποχρεωτικής εφαρμογής, οι οποίες περιέχουν ('Κανονισμός επεμβάσεων' χ.χ.):

- Κριτήρια αποτίμησης της φέρουσας ικανότητας υφιστάμενης κατασκευής
- Ελάχιστες υποχρεωτικές απαιτήσεις φέρουσας ικανότητας ανασχεδιασμένων κατασκευών ή μελών τους.
- Τρόπους με τους οποίους μπορεί να γίνει επέμβαση
- Τη συσχέτιση του κανονισμού αυτού με άλλους κανονισμούς

Επισημαίνεται ότι, οι υποχρεωτικές αυτές εφαρμογές του κανονισμού θα πρέπει να εφαρμόζονται τουλάχιστον στις πιο κάτω περιπτώσεις ('3DR.STREN-KANEΠΕ (Εγχειρίδιο Χρήσης)' 2012):

- Για προσθήκες
- Σε περίπτωση αλλαγής χρήσης του κτιρίου
- Όταν θα γίνει επέμβαση στον οργανισμό πλήρωσης
- Όταν θα γίνει επέμβαση στον φέροντα οργανισμό

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

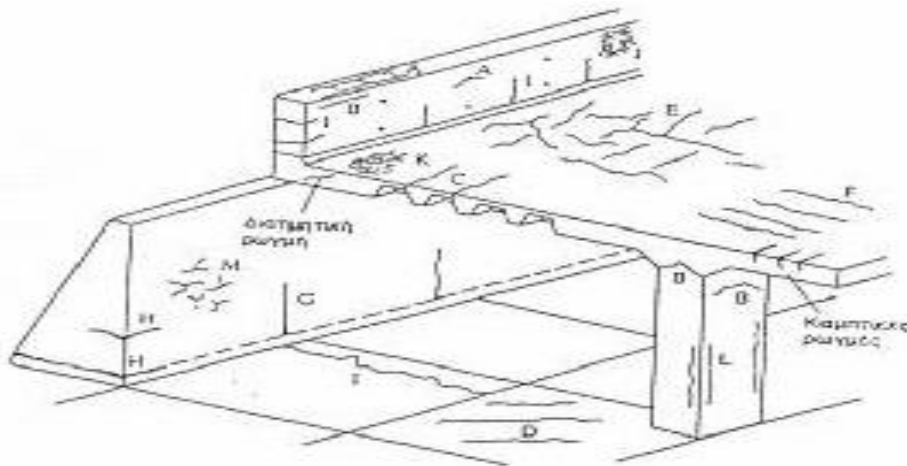
4. Παθολογία Κατασκευών

4.1. Αίτια Φθοράς κτιρίων

Εξωτερικές δράσεις όπως σεισμοί, ελλιπής συντήρηση των κατασκευών καθώς επίσης και η αλληλεπίδραση με ένα ολοένα επιθετικότερο περιβάλλον προκαλούν συχνά την απώλεια της συνάφειας των δομικών στοιχείων μεταξύ τους, ρηγματώσεις και προβλήματα ανθεκτικότητας σε διάρκεια.

4.1.1. Ρωγμές

Η μεγάλη ποικιλία των αιτιών που συνοδεύουν τις ρωγμές (Εικόνα 3) δυσχεραίνουν το έργο διερεύνησης τους, γι' αυτό και η στατική ανάλυση του εκάστοτε φορέα αποτελεί βασικό μέλημα του μηχανικού ώστε να αποκρυπτογραφήσει τον κίνδυνο μικρών ή μεγάλων προβλημάτων που 'κρύβουν' τα αίτια τους.



Εικόνα 3: Τυπικές μορφές ρηγμάτωσης

Η ύπαρξη ρωγμών στο οπλισμένο σκυρόδεμα μπορεί να προβεί καταστρεπτική σε μια κατασκευή για τον λόγο ότι αποτελούν μέσο για να περάσουν, τόσο τα χλωριόντα όσο και το διοξείδιο του άνθρακα στον οπλισμό και να επιταχύνουν την διαδικασία της διάβρωσης. Αυτό μπορεί να προκαλέσει μετέπειτα επιπτώσεις στην κατασκευή με αποτέλεσμα, να μην είναι εφικτή η απλή επιδιόρθωση της με συγκεκριμένες μεθόδους, αλλά αντίθετα, να φτάσει στο σημείο της απώλειας της όλης αντοχής της κατασκευής και να χρειάζεται υψηλού επιπέδου ενίσχυση η οποία αυξάνει ταυτόχρονα και το κόστος πραγματοποίησής της. Δεν

είναι λίγες οι φορές που οι ρωγμές λόγω υπέρβασης αντοχής αποτελούν ένδειξη στατικής ανεπάρκειας του φορέα και πιθανόν η όποια επισκευή, να επεκταθεί και σε περιοχές πέρα των ρωγμών με αποτέλεσμα ο μηχανικός να προβεί σε ενίσχυση ολόκληρου του δομικού φορέα.

Οι ρωγμές διακρίνονται σε ενεργές και μη-ενεργές. Οι ενεργές ρωγμές έχουν μεγαλύτερο βαθμό επικινδυνότητας, με αποτέλεσμα οι μετακινήσεις να προκαλούν την αύξηση του εύρους ή του μήκους τους και ως επακόλουθο την απαραίτητη παρέμβαση του μηχανικού. Αντίθετα, στις μη-ενεργές ρωγμές δεν παρουσιάζονται περαιτέρω μετακινήσεις και δεν προκαλούν ιδιαίτερη ανησυχία παρά μόνο σε περιπτώσεις διείσδυσης της υγρασίας με συνέπεια διάβρωσης των ράβδων οπλισμού. Επιπρόσθετα, οι συγκεκριμένου είδους ρωγμές, δεν αποτελούν πρόβλημα για την ασφάλεια της κατασκευής, εφόσον το άνοιγμά τους περιορίζεται κάτω από ορισμένα όρια, τα οποία καθορίζονται από τις απαιτήσεις για την εμφάνιση της κατασκευής, την προστασία των οπλισμών από διάβρωση και τη στεγανότητα. 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 παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1) παρατίθενται τα μέγιστα αποδεκτά όρια εύρους ρωγμών για διάφορες συνθήκες περιβάλλοντος, τα οποία πρότείνει το ‘American Concrete Institute’, όπου θα καθορίσουν και τη διαδικασία επισκευής τόσο για αισθητικούς όσο και για λειτουργικούς λόγους (Μαρία 2008; Νικόλαος και Καλλιανώτης 2009).

Πίνακας 1: Μέγιστο Επιτρεπόμενο Εύρος Ρωγμών (Νικόλαος και Καλλιανώτης 2009)

Συνθήκες Περιβάλλοντος	Μέγιστο επιτρεπόμενο εύρος ρωγμής
Ξηρό περιβάλλον	0,41 mm
Υγρό περιβάλλον ή έδαφος	0,30 mm
Χημικές προσβολές	0,18 mm
Θαλάσσιες κατασκευές	0,15 mm
Δεξαμενές	0,10 mm

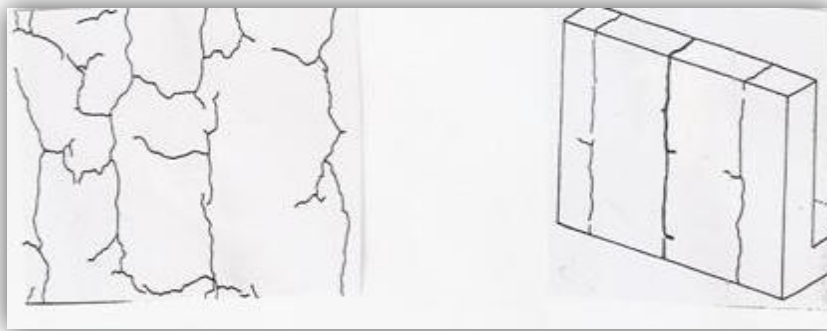
Οι βασικότεροι παράγοντες που συμβάλλουν στην ανάπτυξη ρωγμών αναλύονται ακολούθως.

4.1.1.1. Συστολή ξήρανσης του σκυροδέματος

Ο κορεσμένος με νερό τσιμεντοπολτός σε συνθήκες υγρασίας υφίσταται απώλεια νερού και συστέλλεται με συνέπεια την πρόκληση ρηγματώσεων (Εικόνα 4), οι οποίες

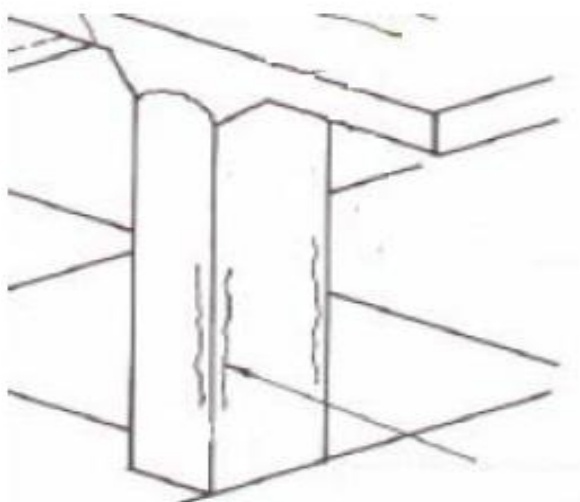
αποτελούν μέσο για να περάσουν τόσο το διοξείδιο του άνθρακα όσο και τα χλωριόντα στον οπλισμό, επιταχύνοντας τη διαδικασία της διάβρωσης (Νικόλαος και Καλλιανώτης 2009).

Ο περιορισμός της πρώιμης συστολής ξήρανσης και κατ' επέκταση της ρηγματώσης 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 χ.χ.; 'Ο ρόλος της συστολής ξηράνσεως του σκυροδέματος στην κατασκευή πλακών επί εδάφους' χ.χ.).



Εικόνα 4: Πιθανές μορφές ρηγματώσεων συστολής ξήρανσης

4.1.1.2. Διάβρωση των ράβδων οπλισμού του σκυροδέματος



Εικόνα 5: Εμφάνιση ρωγμών παράλληλων στον κύριο οπλισμό οι οποίες δηλώνουν την διάβρωση του οπλισμού

Γενικότερα, η διάβρωση είναι κάθε αυθόρμητη ηλεκτροχημική ή χημική αλλοίωση της επιφάνειας των μετάλλων ή κραμάτων, η οποία οδηγεί σε απώλεια υλικού (Εικόνα 8).

Υπάρχουν δύο κύριες αιτίες δημιουργίας της διάβρωσης των ράβδων οπλισμού του σκυροδέματος (Εικόνα 5). Η πρώτη αιτία είναι η ύπαρξη χλωριόντων και η δεύτερη είναι η ύπαρξη διοξειδίου του άνθρακα. Συγκεκριμένα, και στις δύο περιπτώσεις, τα χημικά στοιχεία περνούν μέσω των πόρων του σκυροδέματος, με αποτέλεσμα όταν

εισέλθουν σε αυτό, να καταστρέφουν το στρώμα ένυδρου οξειδίου του σιδήρου που βρίσκεται στις επιφάνειες των ράβδων οπλισμού, το οποίο στρώμα προστατεύει τον οπλισμό από την διάβρωση (παθητικοποίηση χάλυβα). Έτσι, αρχίζει το φαινόμενο της διάβρωσης του οπλισμού (G.Grantham 2011; Μάμαλης και Ξάνθης 2004).

Στην πρώτη περίπτωση, όπου έχουμε δημιουργία διάβρωσης λόγω ύπαρξης χλωριόντων, δημιουργείται η λεγόμενη χλωρίωση του χάλυβα. Τα χλωριόντα αυτά, μπορεί να προέρχονται από συλλεκτά αδρανή από παραλίες και θαλασσινό νερό, από πρόσμικτα βελτιωτικά του σκυροδέματος, περιέχοντα χλωριούχα άλατα, καθώς και από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Επομένως, αυτού του είδους διάβρωσης τόσο στην Κύπρο, όσο και γενικότερα, παρατηρείται στις παράκτιες περιοχές κυρίως λόγω ύπαρξης χλωριόντων στον ατμοσφαιρικό αέρα (άλατα). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι έχει παρατηρηθεί ότι σταγονίδια τα οποία περιέχουν χλωριόντα, μπορούν να επηρεάσουν κατασκευή σε απόσταση μέχρι 10Km μακριά από την θάλασσα (G.Grantham 2011; 'Γενικά περι ανθεκτικότητας σκυροδέματος στο χρόνο' χ.χ.; Μάμαλης και Ξάνθης 2004) (Εικόνα 6).



Εικόνα 6:Ενανθράκωση και Χλωρίωση υποστρώματος σε κτίριο κοντά στην θάλασσα (G.Grantham 2011)

Η δεύτερη περίπτωση διάβρωσης όπως έχει προαναφερθεί, προκύπτει από την ύπαρξη διοξειδίου του άνθρακα. Συγκεκριμένα, στην ατμόσφαιρα υπάρχει διάχυτο οξείδιο του άνθρακα το οποίο όταν έρθει σε επαφή με το υδροξείδιο του ασβεστίου του σκυροδέματος, προκαλούνται χημικές αντιδράσεις έχοντας ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενανθράκωσης. Με την δημιουργία του φαινομένου αυτού, αποδεσμεύονται χλωριόντα, τα οποία

προσβάλλουν τον οπλισμό, με αποτέλεσμα να ξεκινά η οξείδωσή του και δηλαδή η διάβρωση. Η ενανθράκωση παρατηρείται τόσο σε ξηρό όσο και σε υγρό περιβάλλον (G.Grantham 2011; 'Γενικά περι ανθεκτικότητας σκυροδέματος στο χρόνο' χ.χ.; Μάμαλης και Ξάνθης 2004).

Η έντασης ανάπτυξης του ρυθμού της δημιουργίας του φαινομένου της διάβρωσης (Εικόνα 9), οφείλεται κυρίως στη μικρή επικάλυψη με σκυρόδεμα (Εικόνα 7), στην κακή ποιότητα του σκυροδέματος, στο πορώδες της μάζας του σκυροδέματος, δηλαδή από την καλή συμπίκνωση για την αποφυγή κενών, την τιμή του λόγου νερού προς τσιμέντο, η οποία καθορίζει το αν ή όχι ο στερεός ιστός του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού έχει πολλούς πόρους, κλπ (Γκουβάκης χ.χ.; Νικόλαος και Καλλιανώτης 2009).



Εικόνα 7: Διάβρωση οπλισμού λόγω μειωμένης κάλυψης οπλισμού (G.Grantham 2011)



Εικόνα 8: Αποτίναξη και ρηγματώση σκυροδέματος λόγω προϊόντων διάβρωσης χάλυβα ('Ενανθράκωση μπετόν και διάβρωση οπλισμών' χ.χ.)

Για να προστατέψουμε τον οπλισμό μας λόγω διαβρωτικού περιβάλλοντος και ταυτόχρονα να αυξήσουμε την διάρκεια ζωής του έργου μας αλλά και γενικότερα για να λάβουμε προληπτικά μέτρα διάβρωσης, μπορούμε να λάβουμε κατά περίπτωση πρόσθετα μέτρα όπως:

- Αύξηση της περιεκτικότητας του σκυροδέματος σε τσιμέντο ή χρήση ειδικών τσιμεντών για την περίπτωση
- Χρήση σκυροδέματος μειωμένου πορώδους είτε μειωμένης υδατοπερατότητας
- Αύξηση του πάχους της επικάλυψης των οπλισμών
- Χρήση χαλύβων ανθεκτικότερων στη διάβρωση (πχ. Γαλβανισμένοι χάλυβες, χάλυβες καλυμμένοι με εποξικό επίστρωμα, χάλυβες καλυμμένοι με επίστρωμα ανοξειδωτού χαρακτήρα και οι ανοξειδωτοι χάλυβες). Η χρήση των χαλύβων αυτών όμως θα πρέπει να γίνεται πάντα υπό οδηγίες χρήσης λόγω κινδύνου δημιουργίας γαλβανικών στοιχείων ή ακόμη και δημιουργίας ενδεχόμενης τοπικής αποκόλλησης της κάθε είδους επίστρωσης (‘Προστασία των χαλύβων οπλισμού από την διάβρωση’ χ.χ.)

Η επιλογή του κατάλληλου μέτρου προστασίας του οπλισμού από την διάβρωση εξαρτάτε κυρίως από το κόστος, την κάθε περίπτωση έργου, και από την διαφορετική εξασφάλιση διάρκειας προστασίας από τη διάβρωση.



Εικόνα 9: Διάβρωση οπλισμού Υποστυλωμάτων (‘Ενανθράκωση μπετόν και διάβρωση οπλισμών’ χ.χ.)

4.1.1.3. Θερμοκρασιακές μεταβολές

Συνήθως πρόκειται για ακίνδυνες ρωγμές οι οποίες επισκευάζονται για αισθητικούς λόγους. Μπορούν να προκληθούν λίγες μέρες μετά την σκυροδέτηση, αφού η αύξηση της θερμοκρασίας του σκυροδέματος κατά την ενυδάτωση του τσιμεντοπολτού προκαλεί ανάπτυξη εφελκυστικών παραμορφώσεων και κατ' επέκταση ρηγματώση λόγω διαφοράς θερμοκρασίας των εξωτερικών επιφανειών με το εσωτερικό των στοιχείων.

Επιπρόσθετα, ρηγματώσεις μπορούν να προκληθούν και κατά την διάρκεια ζωής ενός κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα, λόγω συστολής-διαστολής (λόγω μεταβολής καιρικών συνθηκών). Γενικότερα, η μεταβολή της θερμοκρασίας προκαλεί χαλάρωση της σύνδεσης των υλικών, δημιουργώντας ρηγματώσεις.

Για να αποφύγουμε τέτοιου είδους ρηγματώσεις όσο αφορά το νεαρό σκυρόδεμα μπορούμε να λάβουμε κάποια προληπτικά μέτρα τα οποία ελαττώνουν κυρίως τις θερμοκρασιακές διαφορές. Τέτοια μέτρα είναι:

- Κάλυψη των επιφανειών του σκυροδέματος για να διατηρήσουμε χαμηλή τη θερμοκρασία και να μην εξατμιστεί το νερό (‘Προσωρινέ εθνικές τεχνικές προδιαγραφές’ 2006)
- Χρήση τσιμέντων με χαμηλή θερμοκρασία ενυδάτωσης είτε ψύξη του σκυροδέματος ώστε η αρχική του θερμοκρασία διάστρωσης να είναι όσο το δυνατόν χαμηλή είτε και μείωση της ποσότητας του τσιμέντου. Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνουμε την μείωση της ανάπτυξης μεγάλης θερμοκρασίας στις εσωτερικές περιοχές της διατομής (‘Προσωρινέ εθνικές τεχνικές προδιαγραφές’ 2006).

4.1.1.4. Αυξημένα εξωτερικά φορτία

Αυξημένα εξωτερικά φορτία έχουμε κυρίως στην περίπτωση όπου επιθυμούμε να επεκτείνουμε το υφιστάμενο κτίριο μας καθ' ύψος (κατασκευή επιπρόσθετων ορόφων) ή και κατά πλάτος (Εικόνα 10) αλλά και γενικότερα να αλλάξουμε τον τρόπο χρήσης του κτιρίου. Σε αυτή την περίπτωση, θα πρέπει να ανατρέξουμε στα αρχικά στατικά σχέδια της κατασκευής μας, ώστε να ελέγξουμε τι οπλισμός έχει χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή της και αν είναι αρκετός και έχει την αναγκαία αντοχή να στηρίζει επιπλέον φορτία. Περαιτέρω

αύξηση της εξωτερικής φόρτισης από τα προβλεπόμενα οδηγεί σε ρηγμάτωση της κατασκευής αλλά και στην εσχάτη περίπτωση αστοχία ολόκληρης της κατασκευής μας.

Σε αυτό το σημείο, ο Πολιτικός Μηχανικός που θα αναλάβει τέτοια εργασία, θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτικός, αφού θα πρέπει να ελέγξει ότι όντως η υφιστάμενη κατασκευή έχει κατασκευαστεί με βάση τα στατικά σχέδια και να κάνει μια στατική μελέτη για την παρούσα κατάσταση της κατασκευής λαμβάνοντας υπόψη την πιθανή μείωση της αντοχής της λόγω ελλιπής συντήρησης, κακοτεχνίας ή ακόμη και από φυσική φθορά. Πιθανό σενάριο, είναι να χρειαστεί να προβεί ο μηχανικός σε επισκευή ή ακόμη και σε ενίσχυση της υφιστάμενης κατασκευής ώστε να δώσει την κατάλληλη αντοχή στην κατασκευή να λάβει τα επιπρόσθετα φορτία με ασφάλεια.



Εικόνα 10: Οριζόντια και καθ' ύψος προσθήκη σε υφιστάμενη κατοικία (‘Επισκευές – Ενισχύσεις – Προσθήκες Υφιστάμενα Κτίρια’ χ.χ.)

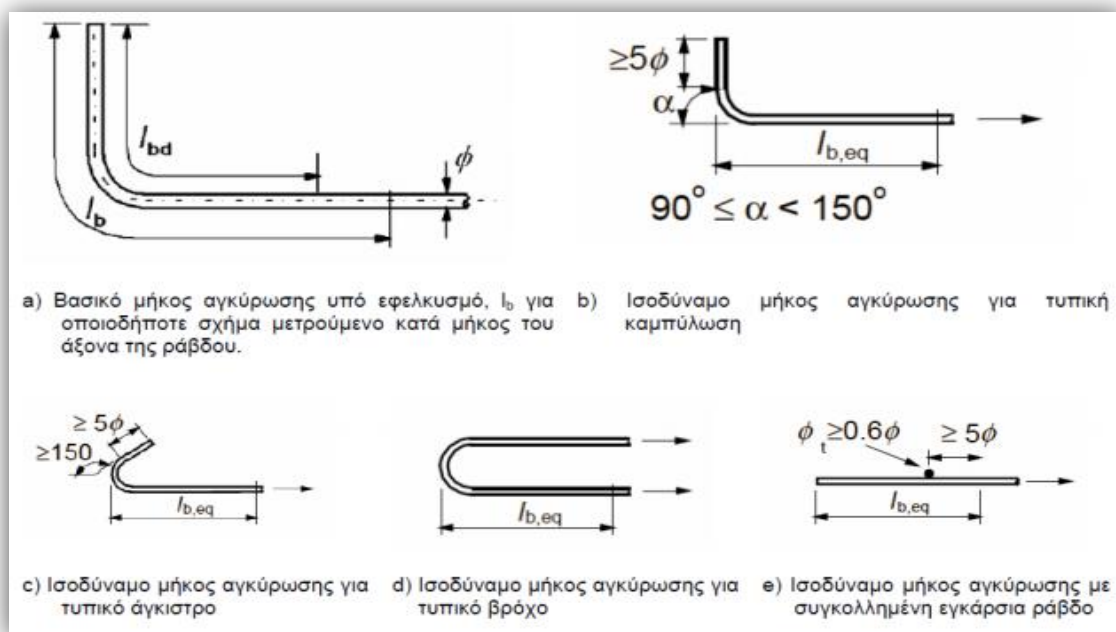
4.1.1.5. Μη επαρκής συνάφεια χάλυβα-σκυροδέματος

Η μη επαρκής συνάφεια των δύο υλικών, μπορεί να παρουσιάσει μικρό αριθμό ρωγμών μεγάλου πλάτους στην περιοχή απώλειας της συνάφειας, όπου και το οποίο φαινόμενο παρουσιάζεται συνήθως στις παρειές (Νικόλαος και Καλλιανώτης 2009).

Μερικοί παράγοντες που επηρεάζουν την συνάφεια είναι (‘Τεχνικά Θέματα’ χ.χ.):

- Η αντοχή του σκυροδέματος, όπου όσο πιο μεγάλη είναι τόσο μεγάλη είναι και η συνάφεια.
- Η μορφή των ράβδων (Οι ράβδοι με νευρώσεις αναπτύσσουν 2-3 φορές μεγαλύτερη αντίσταση συνάφειας από τις λείες).

- Η θέση και η κλίση της ράβδου κατά την σκυροδέτηση (Κατακόρυφες ράβδοι παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερη συνάφεια σε σχέση με τις οριζόντιες ράβδους όσο αφορά την κατακόρυφη σκυροδέτηση). Έτσι, οι οπλισμοί θα πρέπει να αγκυρώνονται σωστά έτσι ώστε η δύναμη να μεταβιβάζεται με ασφάλεια στο σκυρόδεμα μέσω συνάφειας, χωρίς τη δημιουργία διαμήκων ρωγμών ή την εκτίναξη της επικάλυψης. Οι συνηθέστερες μέθοδοι οι οποίοι χρησιμοποιούνται υποδεικνύονται στην Εικόνα 11.



Εικόνα 11: Συνηθέστερες μέθοδοι αγκύρωσης ράβδων οπλισμού (Ιγνατάκης χ.χ.)

4.1.1.6. Ανεπαρκής διάρκεια συντήρησης του σκυροδέματος και τελείωμα

Πρόκειται για τριχοειδείς ρωγμές μικρού μήκους και πολύ μικρού βάθους (περίπου 1 mm) στην επιφανειακή στρώση του σκυροδέματος (Νικόλαος και Καλλιανώτης 2009). 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.

4.1.1.7. Επιρροή χρόνου και ελλιπής συντήρηση

Το σκυρόδεμα κατά το πέρασμα του χρόνου αντιμετωπίζει προβλήματα λόγω του γεγονότος ότι είναι μεταποιημένο υλικό. Συγκεκριμένα, 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. Επομένως, όσο καλά προστατευμένο και να είναι ένα σκυρόδεμα από διαβρωτικούς παράγοντες, αυτό με το πέρασμα του χρόνου και με σχετικά αργούς ρυθμούς θα χάσει τις αντοχές του και θα διαλυθεί ('Ελαττώματα ή βλάβες στο μπετόν' χ.χ.).

Ο μέγιστος χρόνος ζωής ενός σκυροδέματος θεωρείται πως είναι τα 100 περίπου έτη. Πιο αυστηρές θεωρήσεις αναφέρουν πως ο χρόνος αυτός είναι τα 80 και άλλες τα 60 έτη ('Ελαττώματα ή βλάβες στο μπετόν' χ.χ.). Εμείς ως Πολιτικοί Μηχανικοί σχεδιάζουμε ένα κτίριο για 50 χρόνια ζωής, όμως αυτό για να είναι εφικτό πρέπει ο ιδιοκτήτης του κτιρίου να κάνει τις ανάλογες συντηρήσεις. Επομένως, απαραίτητη προϋπόθεση για να διατηρείται υγιές μια κατασκευή θα πρέπει να γίνονται σταδιακά συντηρήσεις, ειδάλλως όχι μόνο το σπίτι θα ρηγματωθεί (αναπόφευκτο κομμάτι) αλλά και θα χάσουμε την αντοχή του σκυροδέματος μας και γενικότερα όλης της κατασκευής μας σύντομα.

4.1.1.8. Πλαστική συστολή

Το φαινόμενο της πλαστικής συστολής (Εικόνα 12) παρουσιάζεται λόγω συνθηκών απότομης αρχικής ξήρανσης. Οι ρηγματώσεις τέτοιου είδους οφείλονται στην παρεμπόδιση των παραμορφώσεων συστολής. Συγκεκριμένα, τα επιφανειακά στρώματα του σκυροδέματος ξηραίνονται και συστέλλονται ενώ τα εσωτερικά στρώματα, των οποίων ο ρυθμός ξήρανσης είναι πολύ πιο μικρός από αυτό των επιφανειακών στρωμάτων δεν συστέλλονται με αποτέλεσμα να παρεμποδίζονται οι παραμορφώσεις συστολής των επιφανειακών στρωμάτων ('Προσωρινές εθνικές τεχνικές προδιαγραφές' 2006).



Εικόνα 12: Ρηγμάτωση λόγω πλαστικής συστολής
(Νικόλαος και Καλλιανώτης 2009)

Η μείωση της συστολής ξήρανσης (Εικόνα 13) επιτυγχάνεται με:

- Μείωση του νερού ανάμιξης
- Αύξηση της ποσότητας των αδρανών
- Χρήση ινών



Εικόνα 13: Ρηγματώσεις λόγω συστολής ξήρανσης (Νικόλαος και Καλλιανώτης 2009)

4.1.2. Νερό – Άνεμος

Τόσο τα διάφορα αέρια της ατμόσφαιρας, τόσο το νερό, όσο και ο άνεμος συμβάλλουν στην φθορά των δομικών μας στοιχείων.

Συγκεκριμένα, το νερό ελέγχει την ενυδάτωση, μεταφορά, κρυστάλλωση και ανακρυστάλλωση των αλάτων τα οποία μπορεί να προκαλέσουν την δημιουργία στεγανών στρωμάτων στην επιφάνεια με δυσμενή αποτελέσματα όσο αφορά την φθορά των δομικών μας υλικών.

Επιπρόσθετα, η συνεχής έκθεση των δομικών μας λίθων στον άνεμο και στην αμμοβολή, φθείρει τις επιφάνειές τους, ενώ το διοξείδιο του άνθρακα και του πυριτίου, τα οποία υπάρχουν στην ατμόσφαιρα, προκαλούν χημικές φθορές των δομικών λίθων.

4.1.3. Σεισμοί – Δονήσεις

Οι βλάβες που προέρχονται είτε από σεισμούς, είτε από δονήσεις του εδάφους μπορεί να είναι καταστρεπτικές για την ευστάθειας του ιστορικού κτιρίου. Κύριο χαρακτηριστικό

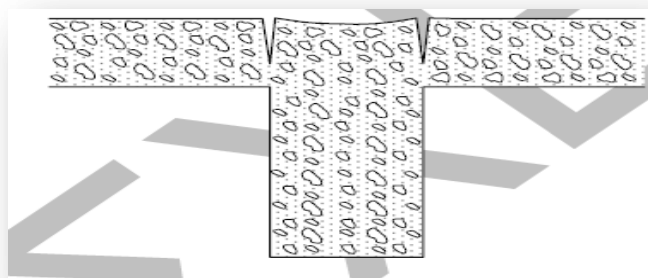
γνώρισμα των βλαβών που εκδηλώνονται υπό τη δράση των σεισμικών φορτίσεων, είναι ότι αναπτύσσονται και διαρκούν για πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Ωστόσο, πολλές φορές η ανάπτυξη βλαβών μετά από ένα σεισμό δεν είναι αποτέλεσμα μόνο της σεισμικής έντασης αλλά συνδυασμού και άλλων φορτιστικών καταστάσεων και καταναγκασμών που υφίστανται στην κατασκευή. Γι' αυτό τον λόγο, απαιτείται λεπτομερής καταγραφή και αξιολόγηση της τυπολογίας και της έκτασης των βλαβών που εμφανίζονται μετά από ένα σεισμό ώστε να γίνει ξεκάθαρο αν αυτές οφείλονται κατά κύριο λόγο στο σεισμό ή σε άλλα αίτια (Δημοσθένους κ.ά. 2009).

Οι βλάβες αυτές εμφανίζονται κυρίως στα υποστυλώματα και τις δοκούς. Τα στοιχεία δηλαδή στα οποία μεταφέρονται όλα τα φορτία. Αν γίνει ισχυρός σεισμός τις πρώτες δύο - τρεις πρώτες εβδομάδες από την παρασκευή σκυροδέματος, συνήθως η βλάβη που προκαλείται είναι πολύ μεγάλη καθώς αυτό δεν έχει καταφέρει να πάρει τις αντοχές του (‘Προσωρινές εθνικές τεχνικές προδιαγραφές’ 2006).

4.1.4. Καθίζηση του Σκυροδέματος

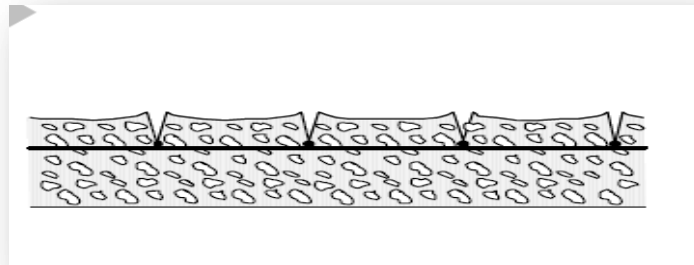
Το σκυρόδεμα ως σύνθετο υλικό, έχει την τάση να καθιζάνει και μετά την συμπίκνωση του αφού παραμένει σε πλαστική κατάσταση. Η μετακίνηση της μάζας του σκυροδέματος κατά την κατακόρυφο διεύθυνση εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από τον βαθμό της συμπίκνωσης, τον χρόνο στον οποίο βρίσκεται σε πλαστική κατάσταση, από την κοκκομετρική σύνθεση του και το βάθος του στοιχείου (‘Προσωρινές εθνικές τεχνικές προδιαγραφές’ 2006).

Στην περίπτωση όπου έχουμε μικτές διατομές με μεγάλες διαφορές σε πάχος, τότε η καθίζηση είναι εντελώς διαφορετική και πολλές φορές, αν δεν λάβουμε τα κατάλληλα μέτρα, η καθίζηση αυτή μπορεί να μετατραπεί σε ρηγμάτωση στις περιοχές που συνδέουν τα τμήματα με διαφορετικό βάθος (Εικόνα 14) (‘Προσωρινές εθνικές τεχνικές προδιαγραφές’ 2006).



Εικόνα 14: Ρηγμάτωση από καθίζηση σκυροδέματος σε πλαστική κατάσταση

Σε άλλες περιπτώσεις, σε ορισμένα σημεία του σκυροδέματος υπάρχει οπλισμός ή κάποιο άλλο στοιχείο, όπως για παράδειγμα τμήμα ξυλότυπου, το οποίο παρεμποδίζει την προς τα κάτω καθίζηση του σκυροδέματος. Η παρεμπόδιση όμως αυτή δεν υφίσταται όσο αφορά τα γειτονικά τμήματα του σκυροδέματος με αποτέλεσμα την ρηγμάτωση του (Εικόνα 15) (‘Προσωρινές εθνικές τεχνικές προδιαγραφές’ 2006).



Εικόνα 15:Ρηγμάτωση από καθίζηση σκυροδέματος σε πλαστική κατάσταση (με παρεμπόδιση από οπλισμό)

Οι ρηγματώσεις αυτές, μπορούν να επιδιορθωθούν πολύ απλά αν εγκαίρως, πριν το σκυρόδεμα χάσει την ικανότητα συμύκνωσής του, εφαρμοστεί τοπικά απλό μύστρισμα (‘Προσωρινές εθνικές τεχνικές προδιαγραφές’ 2006).

Για να αποφύγουμε όμως αυτού του τύπου ρηγματώσεις, θα πρέπει να γίνει κατάλληλο πρόγραμμα διάστρωσης και συμύκνωσης με τα τμήματα που έχουν μεγαλύτερο βάθος να διαστρώνονται και να συμυκνώνονται πρώτα ακολουθώντας βαθμιδωτά και τα υπόλοιπα τμήματα. Επιπρόσθετα, ένας άλλος τρόπος, είναι να βελτιωθεί η μελέτη σύνθεσης έτσι ώστε να μειωθεί η εξίδρωση του σκυροδέματος (‘Προσωρινές εθνικές τεχνικές προδιαγραφές’ 2006).

4.1.5. Περιβαλλοντικοί Παράγοντες

Σε αντίθεση με τις βλάβες που δημιουργούνται υπό τη δράση σεισμικών φορτίσεων, και οι οποίες εκδηλώνονται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, οι βλάβες που εκδηλώνονται υπό τη δράση περιβαλλοντικών παραγόντων, συνήθως συντελούνται με πολύ αργούς ρυθμούς. Τέτοιοι περιβαλλοντικοί παράγοντες είναι:

- Ατμοσφαιρική ρύπανση
- Αιολική διάβρωση
- Διάβρωση λόγω βροχής
- Δράση υγρασίας στο εσωτερικό της τοιχοποιίας

Οι τρεις πρώτοι προαναφερθέντες παράγοντες επιδρούν κατά κύριο λόγο στις εξωτερικές επιφάνειες της τοιχοποιίας. Οι επιδράσεις αυτών των παραγόντων έχουν περισσότερο αισθητικά αποτελέσματα κατά μικρά χρονικά διαστήματα, εκτός της περίπτωσης της διάβρωσης των κονιαμάτων σύνδεσης των λίθων, αφού αλλοιώνονται οι αρμοί με συνεπακόλουθο τη μείωση της αντοχής της τοιχοποιίας.

Η δράση της υγρασίας στο εσωτερικό της τοιχοποιίας, διαφέρει από τους υπόλοιπους παράγοντες λόγω περιοχής επίδρασης. Έχει πολύ αργούς ρυθμούς δράσης και οι συνέπειές της πολλές φορές δεν είναι ορατές. Οι περιοχές που συνήθως είναι έντονο το φαινόμενο, είναι στο κάτω μέρος των τοιχοποιιών λόγω της ανύψωσης της υγρασίας του εδάφους, με διάφορους φυσικούς μηχανισμούς, και της διάδοσής της μέσα στη μάζα της τοιχοποιίας (Δημοσθένους κ.ά. 2009).

4.1.6. Προβλήματα από κατασκευαστικά λάθη

Σε μία κατασκευή μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα λόγω κατασκευαστικών λαθών τα οποία μπορεί να προβούν μοιραία για την ίδια την κατασκευή. Κάποια από τα κατασκευαστικά λάθη που γίνονται είναι:

- Κοντά υποστυλώματα (Εικόνα 16)
- Κατασκευή πιλοτής (Εικόνα 17)
- Ελλιπής μελέτη του υπεδάφους (μπορεί να οδηγήσει σε σφάλματα στατικότητας και να οδηγήσει σε μικρή ή μεγαλύτερη καθίζηση)
- Ανεπαρκής ή λανθασμένη στατική μελέτη
- Προβλήματα μελέτης που προκύπτουν από την έλλειψη πρόβλεψης των συνθηκών της περιοχής ή της μελλοντικής χρήσης του στοιχείου από σκυρόδεμα.
- Προβλήματα από βλητρώσεις σιδηρών κατασκευών στο σκυρόδεμα για το λόγω ότι δεν γίνονται μελέτες για τη μη οξείδωσή τους.
- Από έλλειψη μελέτης ως προς τη σύνθεσή του σκυροδέματος για τα θερμικά φορτία που θα δέχεται τμήμα του
- Ελλιπής οπλισμός (λόγω υπέρβασης της αντοχής του σκυροδέματος) (Εικόνα 18)



Εικόνα 16: Αστοχία Λόγω λειτουργίας κοντού υποστυλώματος (Κ.Σπυράκος 2004)



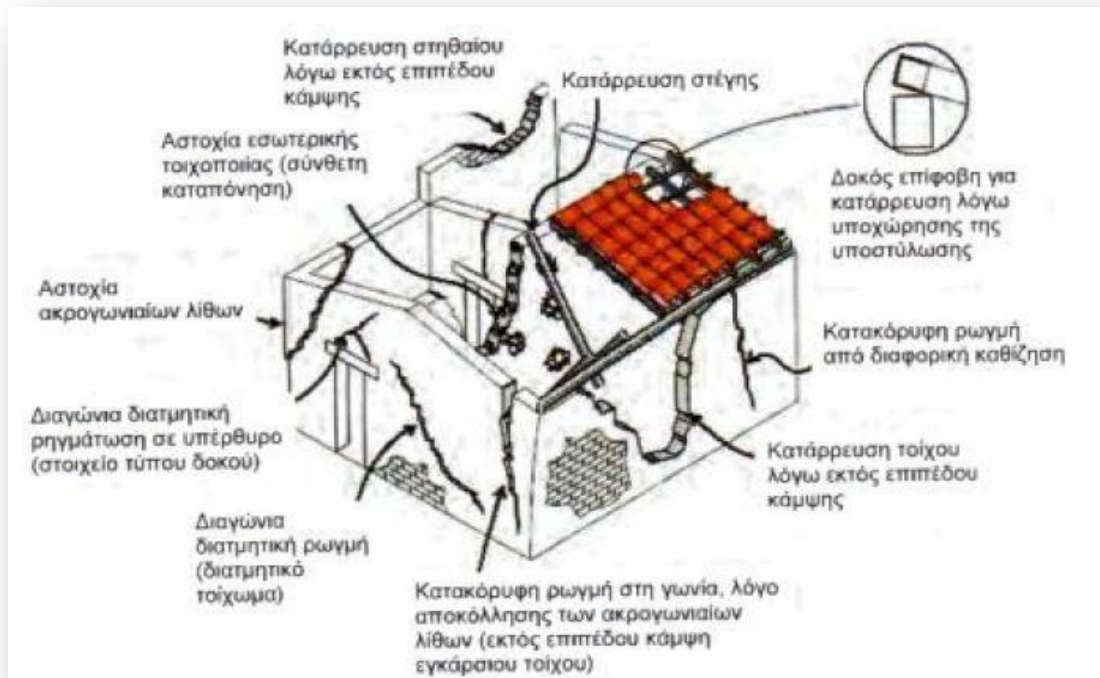
Εικόνα 17: Αστοχία λόγω λειτουργίας κοντού υποστυλώματος και κατασκευής πιλοτής (Κ.Σπυράκος 2004)



Εικόνα 18: Ρωγμές υποστυλώματος λόγω ανεπαρκή οπλισμού (υπερφόρτωση στοιχείου) (G.Grantham 2011)

4.2. Μορφές αστοχίας

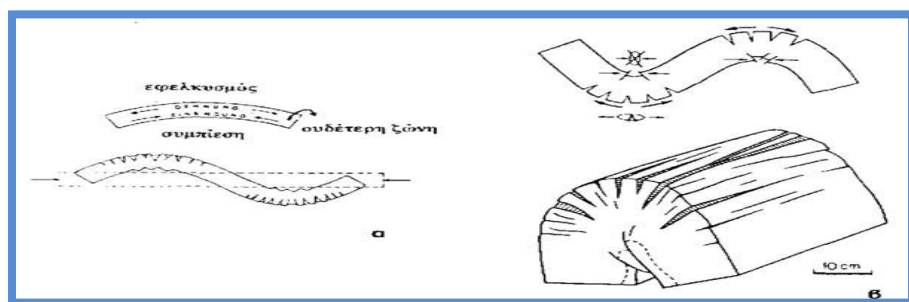
Γενικότερα, οι μορφές αστοχίας (Εικόνα 19), εξαρτώνται από την γεωμετρία της αστοχίας, τον τρόπο στήριξής της, καθώς και από τις αντοχές των κονιαμάτων, οπτόπλινθων και της διεπιφάνειας (Τσώλου 2012). Παρακάτω, αναφέρονται οι τέσσερεις μορφές αστοχίας ενός στοιχείου και αναλύονται περιληπτικά.



Εικόνα 19: Συνήθεις αστοχίες της τοιχοποιίας

4.2.1. Εφελκυστικές ρηγματώσεις

Οι εφελκυστικές ρηγματώσεις (Εικόνα 20) παρατηρούνται συνήθως σε περιοχές ανάπτυξης εφελκυστικών τάσεων λόγω κάμψης στο κάτω μέρος των υψίκορμων πεσσών καθώς και στις γωνιές ανοιγμάτων λόγω έντονης ανάπτυξης τάσεων στις θέσεις αυτές, που εννοείται ότι είναι εφελκυστικές (Τσώλου 2012).



Εικόνα 20: Εφελκυστικές ρηγματώσεις

4.2.2. Διατμητική αστοχία

Διατμητική αστοχία (Εικόνα 21) προκαλείται από το συνδυασμό αυξημένου αξονικού φορτίου και μικρής διατμητικής αντοχής. Αποτέλεσμα λοιπόν μίας τέτοιας μορφής αστοχίας είναι η δημιουργία ρηγματώσεων υπό γωνία 45° . Σε αυτή την περίπτωση, οι κύριες εφελκυστικές τάσεις που δημιουργούνται από τα κατακόρυφα και τα οριζόντια φορτία, υπερβαίνουν την εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας. Σαν αποτέλεσμα, στο μέγιστο οριζόντιο φορτίο σχηματίζονται διαγώνιες ρωγμές, οι οποίες ακολουθούν τους κατακόρυφους και οριζόντιους αρμούς (Τσώλου 2012).



Εικόνα 21: Διατμητική αστοχία με παραμένουσα παραμόρφωση
(‘Διατμητικές Αστοχίες’ χ.χ.)

Αυτής της μορφής αστοχία, πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή, για τον λόγο ότι διατρέχει άμεσο κίνδυνο, αφού καθώς αυξάνεται το μέγεθος του αξονικού φορτίου, υπάρχει το ενδεχόμενο ψαθυρής θραύσης, ενώ συγχρόνως οι ρωγμές μπορεί να επεκταθούν και στα λιθοστρώματα (Τσώλου 2012).

4.2.3. 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).

4.2.4. Ολίσθηση

Η Οριζόντια ρηγμάτωση κατά μήκος των αρμών αποτελεί συχνό φαινόμενο σε ελεύθερους τοίχους, και λαμβάνει χώρα όταν αστοχεί η διεπιφάνεια τσιμεντοκονιάματος και οπτόπλινθου λόγω της υπέρβασης των δυνάμεων συνάφειας. Προκαλείται από ολίσθησης της τοιχοποιίας λόγω διαφορετικών καθιζήσεων, από τη σχετική μετατόπιση δύο τοίχων λόγω

καθίζησης θεμελίου καθώς και συνδυασμό καθίζησης θεμελίου και στρέψης κτιρίου (Τσώλου 2012).

4.3. Τρωτότητα

Ως τρωτότητα, στον τομέα της μηχανικής των κατασκευών, θεωρούμε την «προδιάθεση» της κατασκευής να εμφανίσει βλάβες σε κάποια συγκεκριμένη περιοχή και μέσα σ' ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα υπό τη δράση σεισμικών ή άλλων φορτίων με συνεπακόλουθο την απώλεια μέρους της λειτουργικότητάς της ή ακόμα δε και της ευστάθειάς της (Δημοσθένους κ.ά. 2009; Χρυσοστόμου 2009).

Παράγοντες που προσδίδουν υψηλή τρωτότητα είναι (Δημοσθένους κ.ά. 2009):

- η κακή ποιότητα των υλικών δόμησης της κατασκευής
- η κακή ποιότητα του κτισίματος
- η κακή σύλληψη του συνόλου καθώς και η έλλειψη σχεδιασμού
- η απουσία συντήρησης
- η προσθήκη καθ' ύψος ή οριζοντίως διαφόρων στοιχείων χωρίς στοιχειώδη μελέτη
- η γήρανση των υλικών και η χαλάρωση των δεσμών συνάφειας μεταξύ τους
- η συσσώρευση βλαβών από διάφορες δράσεις κατά το παρελθόν
- η πρόκληση βλαβών από ατελείς και άστοχες επεμβάσεις

4.4. Βλάβες

Οι βλάβες που θα δημιουργηθούν σε μία κατασκευή, είτε είναι μικρού μεγέθους είτε μεγάλου (Εικόνα 22), όπως μπορεί να αντιληφθεί κανείς είναι αναπόφευκτες. Τα αίτια που τις προκαλούν είναι πάρα πολλά και πολλά από αυτά έχουν ήδη προαναφερθεί. Το να αντιληφθεί κανείς ότι το κτίριο του έχει υποστεί βλάβη είναι εύκολο, αφού ως συνήθως εμφανίζονται συμπτώματα τα οποία είναι ορατά. Αντίθετα όμως, το δυσκολότερο σημείο είναι η αντιμετώπιση τους, αφού πρέπει να προσδιοριστεί πρώτα και σε ποιο σημείο του κτιρίου υπάρχει προτεραιότητα στην επισκευή του.

Αρχικά λοιπόν, πρέπει να ορισθεί η κρισιμότητα της κάθε βλάβης αφού βρούμε ποιο δομικό στοιχείο έχει πληγεί. Για παράδειγμα, πιο σοβαρή κρίνεται η ζημιά σε υποστύλωμα παρά σε ένα τοίχο πληρώσεως ή σε μία πλάκα. Επιπρόσθετα, κριτήριο αποτελεί και η έκτασή της, το

πλάτος δηλαδή και το εύρος της. Ακόμα σημαντικό είναι να ξέρουμε, ειδικά σε περίπτωση που έχει πληγεί κολόνα ή δοκάρι, αν έχει υποστεί ζημία ο οπλισμός. Με φθίνουσα κατανομή σπουδαιότητας σοβαρότερες θεωρούνται οι βλάβες στα υποστυλώματα, στα τοιχεία, στις δοκούς, στις πλάκες και τέλος ελάχιστονος σημασία θεωρούνται οι βλάβες στις τοιχοποιίες πληρώσεως (Νικόπουλλος 2013).

Πιο κάτω, αναλύονται οι συνηθέστερες βλάβες ανάλογα με το δομικό στοιχείο. Στόχος, με την κατάταξη αυτή είναι να βοηθηθεί ο Πολιτικός Μηχανικός στην εκτίμηση της σοβαρότητας της υφιστάμενης κατασκευής, ώστε να ληφθούν άμεσα μέτρα με την κατάλληλη επέμβαση αφετέρου.



Εικόνα 22: Κατασκευή OK με σοβαρές βλάβες (Ελευθεριάδου και Καραμπίνης 2010)

4.4.1. Υποστυλώματα

Το σημαντικότερο τμήμα μιας κατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος είναι τα υποστυλώματα, καθώς λόγω του ικανοτικού σχεδιασμού πρέπει να οδηγούμαστε πάντοτε πρώτα σε αστοχία των δοκών. Οι βλάβες στα υποστυλώματα είναι από τις συχνές και ταυτόχρονα οι σοβαρότερες, αφού οδηγούν σε τμηματική ή και ολική κατάρρευση της κατασκευής. Γι' αυτό τον λόγο, ο Πολιτικός Μηχανικός πολλές φορές και ειδικά μετά από έναν ισχυρό σεισμό σε στενά χρονικά περιθώρια κείται να αποφασίσει άμεσα μέτρα προσωρινής υποστύλωσης και απομάκρυνσης των ιδιοκτητών του κτιρίου έως ότου να προβούν στην κατάλληλη ενίσχυση ή επισκευή.

Οι βλάβες στους κόμβους δοκών - υποστυλωμάτων έστω και στην αρχική φάση εκδήλωσης τους θα πρέπει να θεωρούνται ιδιαίτερα ανησυχητικές για την κατασκευή και να αντιμετωπίζονται ανάλογα. Η εκδήλωση βλάβης αυτού του τύπου προέρχεται κυρίως από αξονικό φορτίο των υποστυλωμάτων, το οποίο υποβαθμίζει την ακαμψία του φέροντος οργανισμού και οδηγεί σε μη ελεγχόμενες ανακατανομές της έντασης (Χιώτης,Δ κ.ά. 2012).

Γενικότερα, οι βλάβες των υποστυλωμάτων μπορεί να είναι καμπτικού ή διατμητικού χαρακτήρα. Ο τύπος της βλάβης εξαρτάται από τη συσχέτιση της καμπτικής και διατμητικής καταπόνησης του υποστυλώματος έχοντας ως μέτρο συσχέτισης τον ακόλουθο λόγο:

$$\frac{M}{bd^2} / \frac{V}{bd} = \frac{M}{Vd}$$

Όπου: Μέγιστη καμπτική τάση = M/bd^2 και μέγιστη διατμητική τάση = V/bd (Δρίτσος 2005).

Ωστόσο, είναι φανερό ότι μεγάλου ύψους και μικρών διαστάσεων υποστυλώματα είναι ευάλωτα σε κάμψη, ενώ στην αντίθετη περίπτωση είναι ευάλωτα σε διάτμηση.

Οι καμπτικού χαρακτήρα βλάβες (Εικόνα 23) παρουσιάζονται συνήθως στην κορυφή και τη βάση των υποστυλωμάτων για το λόγο ότι σε αυτά τα σημεία η καμπτική ένταση είναι μεγαλύτερη.

Στην περίπτωση μικρών αξονικών φορτίων η βλάβη έχει την μορφή μιας οριζόντιας καμπτικής ρωγμής από υπέρβαση του ορίου διαρροής του

χάλυβα σε εφελκυσμό. Αυτού του είδους βλάβη, οφείλεται σε ανεπάρκεια των διαμήκων ράβδων οπλισμού, ενώ το εύρος της ρωγμής είναι συνήθως ενδεικτικό του βαθμού βλάβης. Επιπρόσθετα, οι καμπτικού χαρακτήρα βλάβες μπορούν να εκδηλωθούν με αποφλοίωση του σκυροδέματος στην περιοχή επικάλυψης των οπλισμών, λόγο υπέρβασης της θλιπτικής αντοχής (Δρίτσος 2005; Καϊρης και Χατζηβασιλειάδης 2008). Παρ' όλα αυτά οι βλάβες αυτές δεν διατρέχουν σοβαρούς κινδύνους, δια του γεγονότος ότι περιορίζονται στην εκτός του πυρήνα περιοχή.

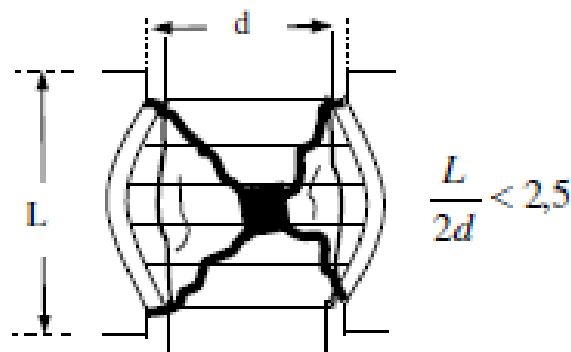


Εικόνα 23: Καμπτική αστοχία υποστυλώματος
(Κ.Σπυράκος 2004)

Οι διατμητικού χαρακτήρα βλάβες (Εικόνα 24) παρατηρούνται σε υποστυλώματα με μικρό λόγο διάτμησης, σε περιοχές όπου υπάρχει υψηλή διατμητική αδυναμία χωρίς απαραίτητα να εννοούνται τα άκρα του υποστυλώματος. Τέτοιου είδους συμπεριφορά παρατηρείται συνήθως σε κατοικίες ή βιομηχανικούς χώρους με παράθυρα ή φεγγίτες τα οποία βρίσκονται εκατέρωθεν του υποστυλώματος. Οι βλάβες διατμητικού χαρακτήρα είναι ψαθυρής μορφής γι' αυτό και είναι σοβαρές, ενώ εκδηλώνονται με λοξές ρωγμές που λόγω της αντιστροφής της σεισμικής δράσης πολλές φορές έχουν χιαστί μορφή (Εικόνα 25) (Δρίτσος 2005; Καϊρης και Χατζηβασιλειάδης 2008).



Εικόνα 24: Διατμητική αστοχία υποστυλώματος (Κ.Σπυράκος 2004)



Εικόνα 25: Διατμητική αστοχία 'κοντού' υποστυλώματος

Συμπληρωματικά, εκτός από τις δύο πιο πάνω προαναφερθέντες βλάβες, υπάρχει και μια τρίτη κατηγορία, η οποία αποτελεί συνδυασμό τους. Επομένως λοιπόν, η τρίτη κατηγορία είναι αυτή των βλαβών με καμπτοδιατμητικό χαρακτήρα (Εικόνα 26). Συγκεκριμένα, είναι η περίπτωση όπου εκδηλώνεται η βλάβη με εγκάρσια διόγκωση του σκυροδέματος, διαρροή ή θραύση των συνδετήρων της περιοχής, και πολλές φορές με λυγισμό των διαμήκων ράβδων (Καϊρης και Χατζηβασιλειάδης 2008). Το φαινόμενο παρουσιάζεται στην περίπτωση μεγάλων αξονικών θλιπτικών φορτίων με ταυτόχρονη δράση κάμψης και διάτμησης. Συνήθως, αυτό συμβαίνει λόγω ανεπάρκειας των διαστάσεων της διατομής, έλλειψη περίσφιξης, χαμηλής ποιότητας σκυροδέματος ή συνδυασμό αυτών. Αυτού του είδους βλάβες, πέραν από το γεγονός ότι η αστοχία είναι ψαθυρή και ότι μειώνεται σημαντικά η ακαμψία του υποστυλώματος, παρουσιάζουν αδυναμία μεταφοράς των κατακόρυφων φορτίων οδηγώντας σε κατάρρευση της κατασκευής (Καϊρης και Χατζηβασιλειάδης 2008).

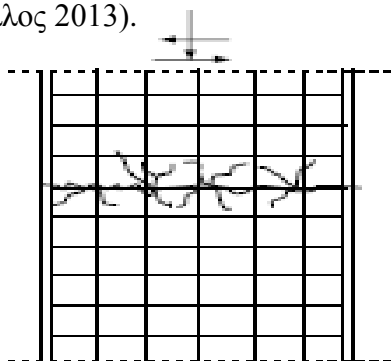


Εικόνα 26: Καμπτοδιατμητική αστοχία με σύνθλιψη (Καϊρης και Χατζηβασιλειάδης 2008)

4.4.2. Τοιχώματα

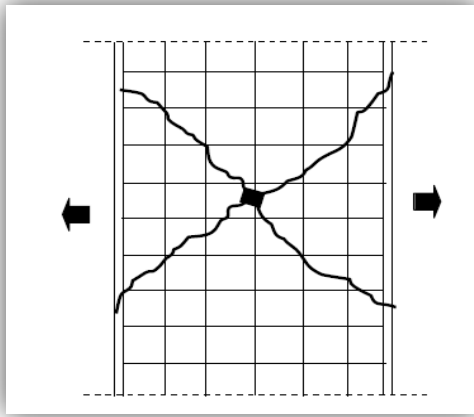
Τα τοιχώματα μια κατασκευής, αποτελούν τα στοιχεία που περιλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της σεισμικής έντασης και συνήθως οι βλάβες που δημιουργούνται στα τοιχώματα μετά από ένα σεισμό φανερώνουν στις περισσότερες περιπτώσεις πιθανά λάθη στη κατασκευή (Νικόπουλλος 2013). Τέτοιες βλάβες που μπορεί να παρουσιαστούν είναι:

- Ολίσθηση του αρμού διακοπής εργασίας (Εικόνα 27), όπου οφείλεται συχνά σε κακότεχνη σύνδεση του παλαιού με το νέο σκυρόδεμα, καθώς δεν έχει γίνει επεξεργασία στον αρμό (Νικόπουλλος 2013).
- Χιαστί ρήγματα διατμήσεως, τα οποία προκαλούνται από ψαθυρού χαρακτήρα αστοχίες (Νικόπουλλος 2013).



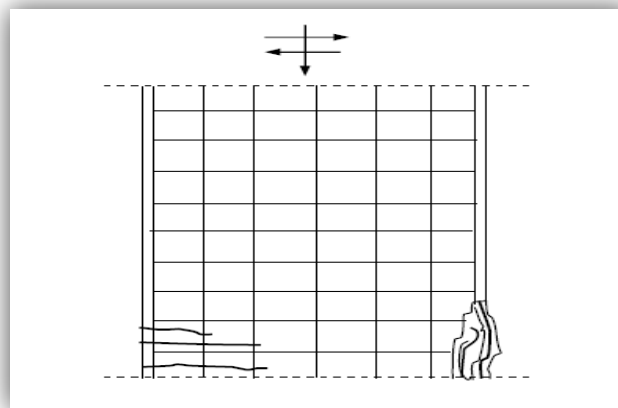
Εικόνα 27: Βλάβη τοιχωμάτων στον αρμό διακοπής εργασίας

Οι βλάβες των τοιχωμάτων, μπορεί να είναι διατμητικής (Εικόνα 28) ή καμπτικής μορφής (Εικόνα 29). Οι διατμητικού τύπου βλάβες, είναι πιο συνηθισμένες και εμφανίζονται με λοξά ρήγματα που λόγω της αντιστροφής της σεισμικής δράσης αποκτούν μία χιαστή μορφή



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

Εικόνα 28: Διατμητική βλάβη τοιχώματος



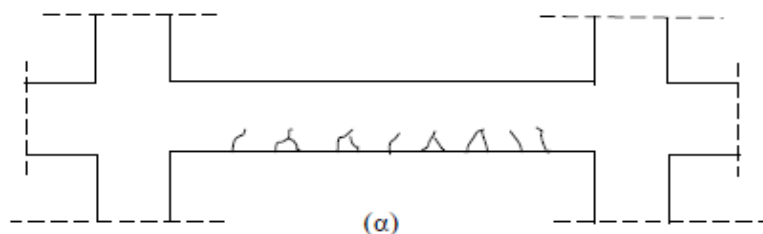
Εικόνα 29: Καμπτική βλάβη τοιχομάτων

4.4.3. Δοκοί

Οι βλάβες των δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι εξ' ίσου συχνές είτε προέρχονται από σεισμούς είτε από κατακόρυφα φορτία. Παρ' όλα αυτά, παρουσιάζουν μια ευπάθεια στους σεισμούς που δεν είναι ορατή στα υποστυλώματα ή στα τοιχώματα. Συνήθως είναι συχνότερες από τις βλάβες στα υποστυλώματα όμως είναι λιγότερο επικίνδυνες σε ότι αφορά την ευστάθεια του φορέα σαν σύνολο (Δρίτσος 2005).

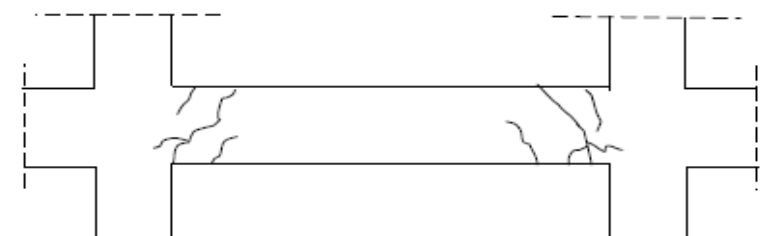
Οι βλάβες που παρουσιάζουν μετά από μία σεισμική δόνηση ποικίλουν και οφείλονται συνήθως σε κακοτεχνίες και στην αδυναμία του στοιχείου να αντεπεξέλθει στη φόρτιση. Οι συχνότερες βλάβες που παρουσιάζονται στις δοκούς είναι:

- Εγκάρσια ρήγματα στο εφελκόμενο πέλμα του ανοίγματος (Εικόνα 30), τα οποία οφείλονται σε σεισμικές ή μακροχρόνιες δράσεις (Δρίτσος 2005; Νικόπουλλος 2013).



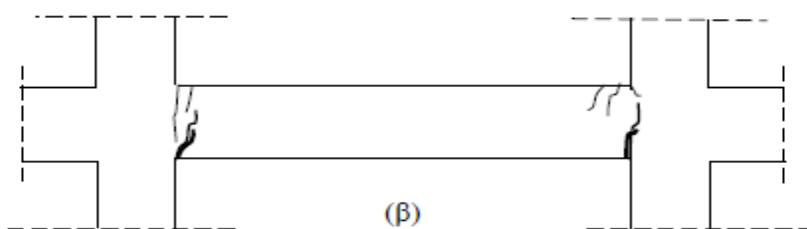
Εικόνα 30: Καμπτικές ρωγμές σε εφελκόμενο πέλμα δοκού

- Διατμητικές αστοχίες κοντά στις στηρίξεις των δοκών (Εικόνα 31) οι οποίες παρουσιάζονται πολύ συχνά μετά από σεισμό. Αυτού του είδους βλάβες είναι οι σοβαρότερες λόγω της ψαθυρής μορφής αστοχίας (Δρίτσος 2005; Νικόπουλλος 2013). Για την αποφυγή αυτού του τύπου βλάβης, οι σύγχρονοι κανονισμοί αναφέρουν ότι πρέπει να προβλέπεται ο ικανοτικός σχεδιασμός σε τέμνουσα με βάση τις μέγιστες ροπές που μπορεί να αναπτυχθούν στα άκρα της δοκού (Δρίτσος 2005).



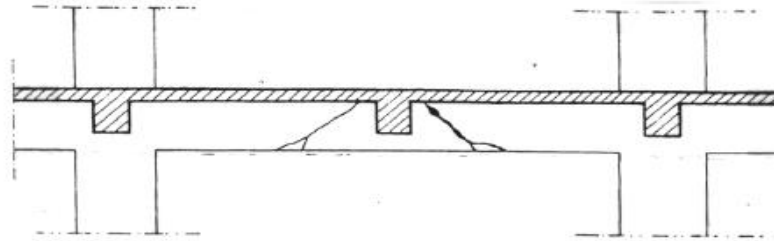
Εικόνα 31: Διατμητική αστοχία δοκού

- Καμπτικά ρήγματα στο κάτω ή στο άνω πέλμα (Εικόνα 32) των στηρίξεων, τα οποία οφείλονται κατά κύριο λόγο σε κακή αγκύρωση του αντίστοιχου διαμήκους οπλισμού στις στηρίξεις (Νικόπουλλος 2013).



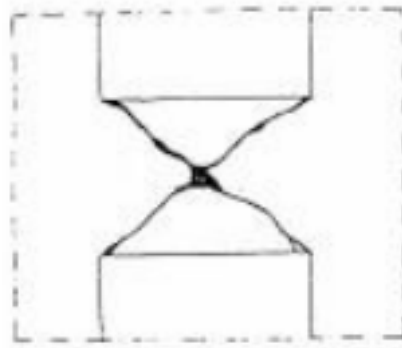
Εικόνα 32: Καμπτική αστοχία στο άνω πέλμα δοκού και ολίσθηση οπλισμών στο κάτω

- Διατμητική αστοχία στις θέσεις εδράσεων δευτερευόντων δοκών ή φυτευτών υποστυλωμάτων (Εικόνα 33) η οποία οφείλεται συχνά σε ανεπαρκή οπλισμό διάτμησης και ανάρτησης (Δρίτσος 2005; Νικόπουλλος 2013).



Εικόνα 33: Διατμητική αστοχία λόγω συγκεκριμένου φορτίου (πχ. φυτευτά υποστυλώματα και δευτερεύουσες δοκοί)

- Χιαστί διατμητικά ρήγματα (Εικόνα 34) κυρίως σε κοντές δοκούς οι οποίες συνδέουν τοιχία (Νικόπουλλος 2013).



Εικόνα 34: Χιαστί διατμητικά ρήγματα

Συμπληρωματικά, ιδιαίτερα προσεκτικοί θα πρέπει να είμαστε όσο αφορά τους κόμβους δοκών – υποστυλωμάτων λόγω της ένωσης των δύο στοιχείων. Οι οποιεσδήποτε βλάβες παρουσιαστούν στους κόμβους κρίνονται ιδιαίτερα ανησυχητικές καθώς, μπορούν να οδηγήσουν σε μη ελεγχόμενες ανακατανομές εντάσεων (Νικόπουλλος 2013).

4.4.4. Πλάκες

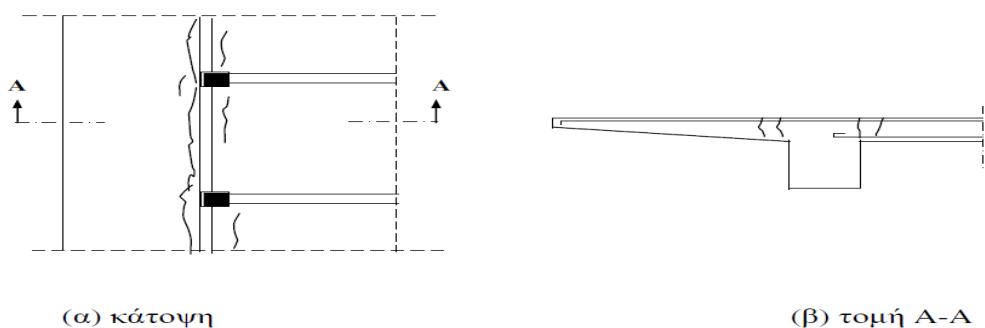
Οι βλάβες οριζόντιων επιφανειακών στοιχείων μια κατασκευής όπως οι πλάκες είναι ήσσονος σημασίας, αφού σχεδόν πάντα δεν επηρεάζουν την ευστάθεια του συνολικού φορέα (Δρίτσος 2005; Νικόπουλλος 2013). Επιπρόσθετα, συνήθως δεν υπάρχει κίνδυνος ούτε για

την ίδια την πλάκα λόγω της μεγάλης υπερστατικότητας της εξαιρούμενων των περιπτώσεων όπου είναι πρόβολος (Δρίτσος 2005). Οι πλάκες είναι στοιχεία ανεπηρέαστα από τους σεισμούς και ως εκ τούτου, τα περισσότερα προβλήματα με τις βλάβες στις πλάκες είναι αισθητικά κυρίως και λειτουργικά (Νικόπουλλος 2013).

Στις περιπτώσεις όμως ενός πολύ ισχυρού σεισμού, μπορεί να παρουσιαστούν εγκάρσιες ρωγμές κατ' επέκταση καμπτικών ρηγματώσεων στην παρειά της στήριξης των δοκών λόγω της συνεργασίας πλάκας - δοκού (Δρίτσος 2005). Παρ' όλα αυτά, η εικόνα που μπορεί να παρουσιαστεί μετά από έναν ισχυρό σεισμό με αρκετό πλήθος ρηγματώσεων σε τυχαίες θέσεις δεν είναι ανησυχητική, ενώ συχνά οφείλεται σε προϋπάρχουσες τριχοειδείς ρηγματώσεις που εμφανίστηκαν στην εξωτερική επιφάνεια αφού διευρύνθηκαν λόγω της κατακόρυφης σεισμικής έντασης (Δρίτσος 2005).

Παρόμοιου τύπου εικόνα βλάβης χρίζεται περισσότερης προσοχής στην περίπτωση όπου οφείλεται σε μακροχρόνιες δράσεις. Συγκεκριμένα, το φαινόμενο αυτό οφείλεται σε μόνιμα και κινητά φορτία, ενώ οι βλάβες εντοπίζονται σε περιοχές μεγίστων ροπών κρίνοντας τις ως πιθανό αποτέλεσμα καμπτικής ανεπάρκειας (Δρίτσος 2005).

Όσο αφορά τις βλάβες τους προβόλους δεν είναι ανησυχητικές, όμως λόγω της έλλειψης του σε υπερστατικότητα αποτελούν κρίσιμα στοιχεία και χρειάζονται μελέτη. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται σε τυχόν ρηγματώσεις με διεύθυνση κάθετη προς τον κύριο οπλισμό, οι οποίες εμφανίζονται στο πάνω πέλμα και συγκεκριμένα στην παρειά στήριξης του προβόλου με την δοκό (Εικόνα 35).

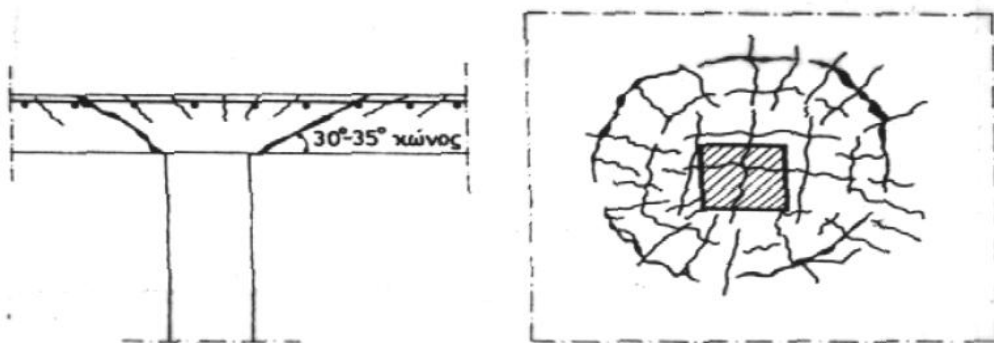


Εικόνα 35: Ρηγματώσεις με διεύθυνση κάθετη προς τον κύριο οπλισμό

Τέτοιου είδους ρηγματώσεις οφείλονται στο μειωμένο στατικό ύψος που δημιουργείται αθέλητα με την τοποθέτηση του οπλισμού πριν την σκυροδέτηση. Συχνά οι ρηγματώσεις αυτές επεκτείνονται μόνο στην επικάλυψη του σκυροδέματος που λόγω του μειωμένου

στατικού ύψους το πάχος τους είναι μεγάλο και έτσι είναι ορατές. Στη φάση αυτή, δεν υπάρχει οποιαδήποτε βλάβη και ο Πολιτικός Μηχανικός θα πρέπει να προσδιορίσει την υφιστάμενη αντοχή του προβόλου βάσει το πραγματικό στατικό του ύψος και να λάβει τα κατάλληλα μέτρα ενίσχυσης στην περίπτωση όπου προκύψει ανεπάρκεια. Στην περίπτωση όπου το βάθος των ρωγμών είναι μεγαλύτερο από το πάχος της επικάλυψης, υπάρχει πιθανότητα να υπάρχει διαρροή του εφελκυσμένου χάλυβα και να απαιτούνται άμεσα μέτρα επέμβασης (Δρίτσος 2005).

Επιπρόσθετα, μια άλλη σοβαρή μορφή βλάβης εμφανίζεται σε πλάκες ενδραζόμενες απ' ευθείας σε υποστυλώματα χωρίς την παρεμβολή δοκών. Σε αυτήν την περίπτωση, η βλάβη οφείλεται σε αστοχία της πλάκας από διάτρηση, ενώ συνιστάται η αποφυγή τέτοιου είδους σχεδιασμός σε αντισεισμικές κατασκευές (Δρίτσος 2005) (Εικόνα 36, Εικόνα 37).



Εικόνα 36: Βλάβη πλάκας λόγω διάτρησης

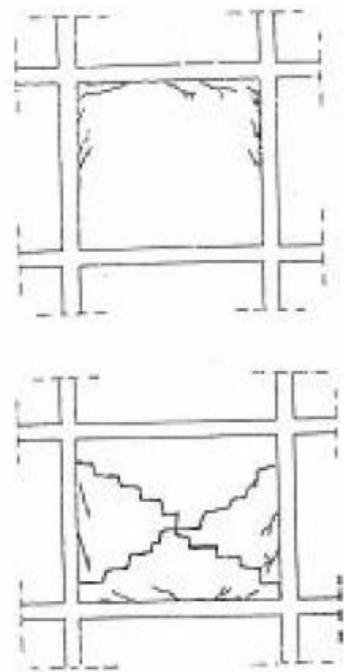


Εικόνα 37: Ρωγμές λόγω έναρξης φαινομένου διάτρησης σε πλάκα χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων (G.Grantham 2011)

4.4.5. Οργανισμός Πληρώσεως

Οι βλάβες στους οργανισμούς πληρώσεως (τοιχοποιίες, πλινθοδομές) (Εικόνα 38) αποτελούν πλέον συνηθισμένες και ακίνδυνες βλάβες. Δεν κρίνονται επικίνδυνες για την ευστάθεια της κατασκευής και δεν επηρεάζουν τη μελλοντική συμπεριφορά του κτιρίου σε ενδεχόμενη μελλοντική σεισμική δόνηση (Νικόπουλλος 2013).

Οι αστοχίες που δημιουργούνται στις τοιχοποιίες πληρώσεως αποτελούν προοδευτική επέκταση της ρηγμάτωσης. Επεξηγηματικά, αυτό σημαίνει πως ξεκινά από απλά ρήγματα στα επιχρίσματα και μπορεί να φτάσει και σε μερική ή ολική αποκόλληση από το περιβάλλον πλαίσιο και τα φέροντα κατακόρυφα στοιχεία. Επιπρόσθετα, μπορεί να προκληθεί τοπική κατάρρευση της τοιχοποιίας, καθώς και να εμφανιστούν ρήγματα χιαστί μεγέθους ανάλογου της έντασης της φόρτισης (Νικόπουλλος 2013).



Εικόνα 38: Μορφές βλαβών οργανισμού πληρώσεως

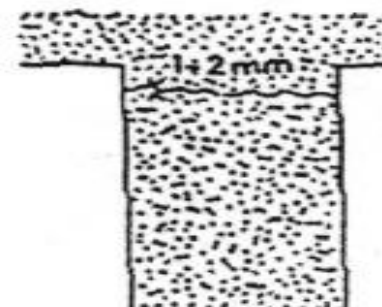
Παρόλο που οι βλάβες των οργανισμών πληρώσεως είναι ακίνδυνες και συχνά αναμενόμενες, εντούτοις, επισκευή τους είναι η πλέον δαπανηρή. Αυτό συμβαίνει διότι εκτός από το κόστος αποκατάστασης της βλάβης, θα πρέπει να επισκευαστούν και οι ζημιές στα επιχρίσματα της τοιχοποιίας καθώς και να αποκατασταθούν οι πιθανές βλάβες που προκλήθηκαν στα υδραυλικά, ηλεκτρολογικά και άλλα δίκτυα του φορέα (Νικόπουλλος 2013).

4.5. Τυπικοί Βαθμοί Βλαβών Δομικών στοιχείων από Ο.Σ

Η μέθοδος που επιλέγεται για την επισκευή ενός στοιχείου που έχει υποστεί απομείωση της αντοχής του, βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με το μέγεθος της βλάβης, αφού αυτό καθορίζει τόσο την απομένουσα φέρουσα ικανότητα όσο και τα διαθέσιμα περιθώρια ασφαλείας του στοιχείου που υπέστη βλάβη. Οι τυπικοί βαθμοί με τους οποίους διαχωρίζονται οι βλάβες είναι:

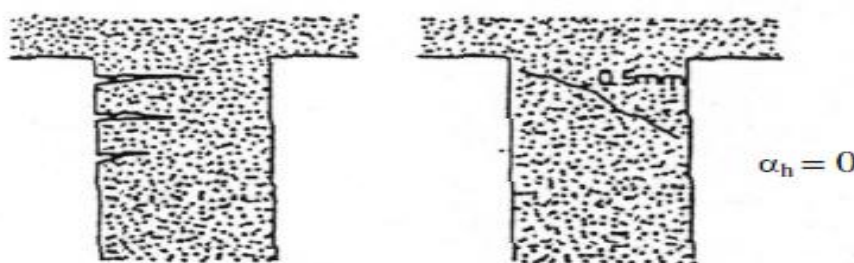
4.5.1. Απλή ρηγμάτωση (Βλάβες βαθμού Α και Β)

Το στοιχείο μπορεί να παρουσιάζει μεμονωμένες οριζόντιες ρωγμές μικρού εύρους. Οι ρωγμές αυτές έχουν πλάτος μικρότερο από 1-2mm και οφείλονται σε δευτερευόντων λόγων και τοπικών αδυναμιών (π.χ. αρμοί διακοπής σκυροδέτησης, ανεπαρκές μήκος αγκύρωσης του οπλισμού, κτλ.) (Εικόνα 39). Επιπρόσθετα, απλού τύπου ρηγματώσεις μπορεί να έχουν την εικόνα πολλών ρωγμών λόγω κάμψης, είτε μεμονωμένων λοξών ρωγμών πλάτους μικρότερου από 0.5mm, οι οποίες δημιουργούνται λόγω



Εικόνα 39: Βαθμός βλάβης Α - Μεμονωμένες οριζόντιες ρωγμές

διάτμησης, υπό την προϋπόθεση ότι δεν παρατηρούνται εμφανείς μετακινήσεις του σκελετού (Εικόνα 40) (Αγγελή και Σταματοπούλου 2011; Δρίτσος 2005; Κ.Σπυράκος 2004; Καϊάφας και Τσαμόπουλος 2006; Καϊρης και Χατζηβασιλειάδης 2008; Μαρία 2008)



Εικόνα 40: Βαθμός βλάβης Β - Πλατιές καμπτικές ρωγμές (αριστερά) και μεμονωμένες λοξές διατμητικές ρωγμές (δεξιά)

Οι βλάβες απλής ρηγμάτωσης αποκαθίστανται κατά κανόνα με χρήση εποξικών ρητινών, με συγκόλληση νέων οπλισμών, χαλύβδινων ελασμάτων, με προσθήκη εξωτερικών συνδετήρων (κολάρων), με μανδύες σκυροδέματος ή με χρήση σύνθετων υλικών (Αγγελή και Σταματοπούλου 2011; Κ.Σπυράκος 2004; Μαρία 2008).

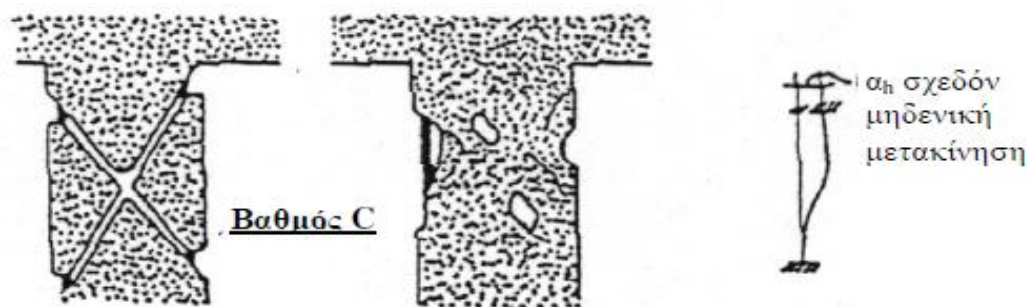
4.5.2. Μερική αποδιοργάνωση (Βλάβες βαθμού Γ)

Παρατηρείται έντονη ρηγμάτωση μεγάλου πλάτους και τοπική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος από θλίψη ή και διάτμηση (Εικόνα 41) (Κ.Σπυράκος 2004). Οι παραμένουσες παραμορφώσεις είναι πολύ μικρές όμως παρ' όλα αυτά οι βλάβες κρίνονται σοβαρές.

Αυτού του βαθμού βλάβες (Εικόνα 42) αποκαθίστανται με μερική καθαίρεση του βλαμμένου σκυροδέματος και εν συνέχεια αντικατάσταση του με νέο εκτοξευόμενο ή έγχυτο σκυρόδεμα. Το σκυρόδεμα αυτό μπορεί να ενισχυθεί με νέους οπλισμούς, με συγκόλληση χαλύβδινων ελασμάτων, με χρήση μανδύα σκυροδέματος ή με χρήση σύνθετων υλικών (Αγγελή και Σταματοπούλου 2011; Κ.Σπυράκος 2004).



Εικόνα 41: Τοπική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος υποστύλωσης (Κ.Σπυράκος 2004)

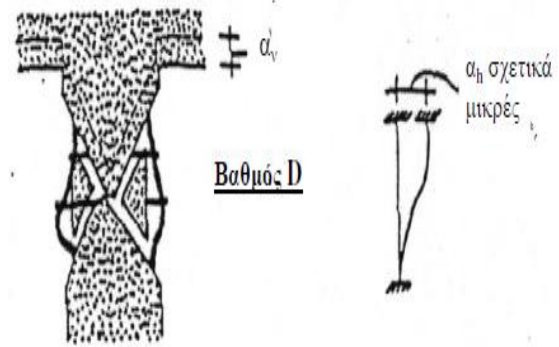


Εικόνα 42: Ρηγματώσεις βαθμού Γ

4.5.3. Διακοπή συνεχείας από πλήρη αποδιοργάνωση σκυροδέματος ή βλάβη οπλισμών (Βλάβες βαθμού Δ)

Χαρακτηρίζονται ως βαριές βλάβες (Εικόνα 43) αφού πρόκειται για τη σοβαρότερη κατηγορία επισκευάσιμων βλαβών. Σε αυτό το βαθμό βλάβης, παρατηρείται θραύση του σκυροδέματος του στοιχείου, βλάβη των κυρίων οπλισμών και διακοπή της συνέχειας του στοιχείου (Εικόνα 44) (Αγγελή και Σταματοπούλου 2011; Κ.Σπυράκος 2004). Παρόλα' αυτά όμως, οι παραμένουσες παραμορφώσεις και ιδιαίτερα οι κατακόρυφες είναι σχετικά μικρές.

Οι βλάβες αυτές αποκαθίστανται με πλήρη επισκευή ή αντικατάσταση ολοκλήρου του στοιχείου με έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και τοποθέτηση νέου οπλισμού. Συμπληρωματικά, για περαιτέρω ενίσχυση των δομικών στοιχείων μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετά την αποκατάστασή τους καθώς και όπου απαιτείται από την μελέτη χαλύβδινα ελάσματα με μορφή κλειστών ή ανοικτών μανδυνών είτε μεταλλικοί κλωβοί που δημιουργούνται με κατακόρυφα γωνιακά ελάσματα. Επίσης, μια άλλη λύση για περαιτέρω ενίσχυση των δομικών στοιχείων είναι η χρήση οριζόντιων μεταλλικών κολάρων ή πλήρη ενίσχυση με χαλύβδινα φύλλα (Κ.Σπυράκος 2004).



Εικόνα 43: Βλάβη βαθμού Δ



Εικόνα 44: Διακοπή συνέχειας υποστρώματος λόγω πλήρους αποδιοργάνωσης του σκυροδέματος και βλάβης του διαμήκους και του εγκάρσιου οπλισμού (Κ.Σπυράκος 2004)

4.6. Διαδικασία Διάγνωσης Βλαβών

Η διαδικασία διάγνωσης βλαβών περιλαμβάνει το συνδυασμό της οπτικής αξιολόγησης της κατασκευής με τις κατάλληλες ενόργανες μεθόδους διάγνωσης βλαβών, έχοντας ως στόχο την απόκτηση επαρκών στοιχείων για την κατάσταση της κατασκευής. Η διάγνωση θα οδηγήσει τον Πολιτικό Μηχανικό στην κατάλληλη απόφαση για το αν χρειάζεται επισκευή ή

ενίσχυση μια κατασκευή, καθώς και στην επιλογή του κατάλληλου υλικού που θα χρησιμοποιηθεί σε μια τέτοια περίπτωση. Γι' αυτό τον λόγο, είναι πολύ σημαντικό η λήψη μιας σωστής διάγνωσης.

Η θέση και η επιλογή των προς εξέταση δειγμάτων είναι σημαντική για την εξαγωγή σωστών συμπερασμάτων που αφορούν στο σύνολο του φορέα. Επιπρόσθετα, ο αριθμός των ελέγχων πρέπει να επαρκεί για την επιλογή της σωστής στρατηγικής επεμβάσεων και την καλή εκτίμηση του συνολικού τμήματος της κατασκευής που χρήζει επισκευών.

Αρχικά, μια εξειδικευμένη διάγνωση ξεκινά πάντα με έναν επιτόπου οπτικό έλεγχο, που σκοπό έχει την απόκτηση μιας εποπτικής εικόνας του κτιρίου και των βλαβών που έχει υποστεί. Οι οπτικές αυτές παρατηρήσεις, καταγράφονται σε πρόχειρα σχέδια κατόψεων και όψεων, τα οποία σχέδια πρέπει να περιλαμβάνουν την ταυτότητα και τον προσανατολισμό των ελεγχόμενων στοιχείων. Στην συνέχεια, αφού ολοκληρωθεί ο οπτικός έλεγχος, γίνεται μία 'υπόθεση εργασίας' σχετικά με την αιτία των βλαβών. Με βάση την υπόθεση αυτή, επιλέγονται οι κατάλληλοι μέθοδοι διάγνωσης βλαβών που θα εφαρμοσθούν καθώς και οι θέσεις των προς εξέταση περιοχών. Όταν προσδιοριστούν οι θέσεις, μετρούνται κατακόρυφες αποστάσεις, συνήθως από το επίπεδο του εδάφους. Επίσης, θα πρέπει να μετρηθούν οριζόντιες αποστάσεις ως προς μία καλώς ορισμένη θέση αναφοράς (π.χ. γωνία κάποιου συγκεκριμένου υποστυλώματος). Τέλος, όταν όλοι οι προγραμματισμένοι έλεγχοι έχουν ολοκληρωθεί, οι οπτικές παρατηρήσεις και τα αποτελέσματα των ελέγχων πρέπει να συνεκτιμηθούν έτσι ώστε να καθορισθεί επακριβώς η αιτία, η έκταση και η πιθανή περαιτέρω ανάπτυξη των βλαβών. Εάν ο επακριβής καθορισμός δεν είναι δυνατός, θα πρέπει να επιλεγούν και να εκτελεστούν συμπληρωματικοί έλεγχοι. Εφόσον τα αποτελέσματα των ελέγχων δεν επαληθεύουν την αρχική υπόθεση για την αιτία των βλαβών, αυτή πρέπει να αναθεωρηθεί, ενώ ενδέχεται και η εκτέλεση συμπληρωματικών ελέγχων για την επιβεβαίωση της αναθεωρημένης υπόθεσης (Κ.Σπυράκος 2004).

4.7. Μέθοδοι και όργανα διάγνωσης βλαβών

Υπάρχει μια αρκετά μεγάλη ποικιλία ελέγχων διάγνωσης βλαβών που χρησιμοποιούνται τόσο για τη διερεύνηση των μηχανικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος, όσο και για τη διερεύνηση της διαβρωτικής δράσης των ουσιών στο σκυρόδεμα και στον οπλισμό. Οι έλεγχοι αυτοί αποσκοπούν κυρίως στην εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος, καθώς και

στον προσδιορισμό περιοχών που χαρακτηρίζονται από μεγάλη διαπερατότητα, ρηγματώσεις, αποφλοιώσεις, μειωμένη πυκνότητα, κλπ.

Οι έλεγχοι διάγνωσης βλαβών διακρίνονται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες (Κ.Σπυράκος 2004; Σταθόπουλος χ.χ.):

- Μη καταστροφικοί
- Ημικαταστροφικοί
- Επιτόπου χημικοί
- Καθολική φόρτιση

Εκτός από τις παραπάνω κατηγορίες ελέγχων διάγνωσης βλαβών, μία κατασκευή μπορεί να υποβληθεί και σε άλλους συμπληρωματικούς ελέγχους για την διεξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά στην εμφάνιση βλαβών, όπως (Κ.Σπυράκος 2004):

α) Έλεγχοι της γεωμετρίας των δομικών στοιχείων του φορέα. Τέτοιου είδους έλεγχοι είναι:

- Μετρήσεις των διαστάσεων των διατομών, καθώς και του μήκους των μελών και των τελειωμάτων, όπως κατασκευάστηκαν
- Μετρήσεις του εύρους των ρωγμών που υπάρχουν
- Μετρήσεις των παραμενουσών παραμορφώσεων (συνιστάται συνήθως η χρήση τοπογραφικών οργάνων)

β) Έλεγχοι της θεμελίωσης και του εδάφους έδρασης

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

Στις υποενότητες που ακολουθούν, αναλύονται ξεχωριστά οι κύριες κατηγορίες των ελέγχων διάγνωσης βλαβών.

4.7.1. Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι

Οι κυριότεροι μη καταστροφικοί έλεγχοι για τον έλεγχο του μίας υφιστάμενης κατασκευής είναι οι ακόλουθοι:

4.7.1.1. Οπτικός έλεγχος

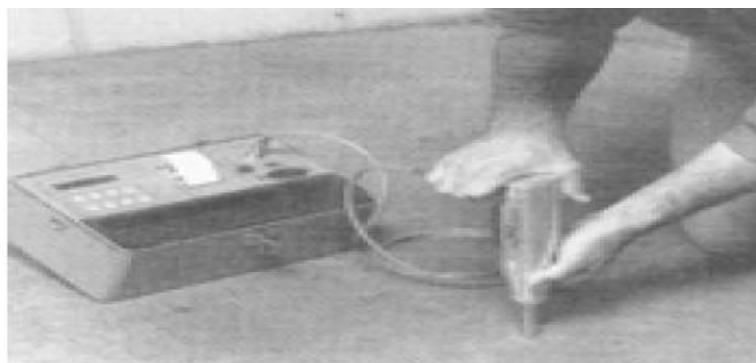
Πολλές φορές, μία γρήγορη και άμεση εκτίμηση της επιφανειακής κατάστασης του σκυροδέματος μπορεί να γίνει οπτικά. Οπτικό έλεγχο κάνουμε κατά κανόνα για τον προσδιορισμό ρηγματώσεων, αποφλοιώσεων και άλλων επιφανειακών ατελειών τα οποία είναι διακριτά με το μάτι. Για την αναγνώριση του είδους ρωγμών συνήθως είναι απαραίτητη η παρουσία εξαιρετικά πεπειραμένου συνεργείου. Για τον έλεγχο αυτό, πολλές φορές αυτός που διενεργεί τον έλεγχο χρησιμοποιεί μεγεθυντικό φακό, ηλεκτρικό φακό ή ρωγμοσκόπιο. Το ρωγμοσκόπιο είναι ένα εξαιρετικά αποδοτικό όργανο, αφού είναι μικροσκόπιο με ενσωματωμένη κλίμακα. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ποσοτικοποιεί το εύρος ορατών επιφανειακών ρωγμών και σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους ελέγχου να υπάρχει ένας πολύ καλός έλεγχος της κατάστασης της κατασκευής μας (Κ.Σπυράκος 2004).

4.7.1.2. Κρουσιμέτρηση

Η κρουσιμέτρηση είναι η συνηθέστερη μη καταστρεπτική μέθοδος ελέγχου, η οποία βασίζεται στο συσχετισμό της σκληρότητας της επιφάνειας του σκυροδέματος με τη θλιπτική αντοχή του. Συγκεκριμένα, με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται η σκληρότητα της επιφάνειας του σκυροδέματος ανάλογα με το ύψος αναπήδησης του κρουσίμετρου. Τα κρουσίμετρα (Εικόνα 45, Εικόνα 46) είναι εύκολα στη χρήση και η μέθοδος αυτή είναι σχετικά εύκολη, απλή αλλά και αξιόπιστη.



Εικόνα 45: Μέθοδος κρουσιμέτρησης (Κ.Σπυράκος 2004)



Εικόνα 46: Ηλεκτρονικό κρουσίμετρο με εκτυπωτή αποτελεσμάτων (Κ.Σπυράκος 2004)

Μειονέκτημα της μεθόδου, είναι ότι απαιτούνται συχνές βαθμονομήσεις του οργάνου ανάλογα με τον τύπο τσιμέντου και την ποιότητα των αδρανών που πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε. Επιπρόσθετα, τα αποτελέσματα μπορούν να επηρεαστούν από τις επιφανειακές συνθήκες καθώς και από τις διαστάσεις του σκυροδέματος. Συνήθως η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων είναι επαρκής μέχρι βάθος 30 mm και αυξημένη στις λείες επιφάνειες (ακατάλληλες θεωρούνται οι ανώμαλες ή μετά από κοπή επιφάνειες). Συμπληρωματικά, για την αύξηση της αξιοπιστίας του οργάνου, συνιστάται οι μετρήσεις να γίνονται σε ξηρά στοιχεία για τον λόγο ότι η παρουσία υψηλού ποσοστού υγρασίας στο σκυρόδεμα του δοκιμίου έχει σαν αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της. Ένας πρόσθετος παράγοντας που μπορεί να επιφέρει μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ της πραγματικής αντοχής του σκυροδέματος και αυτής που υπολογίζεται, είναι το βάθος ενανθράκωσης. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, συνιστάται η αφαίρεση μίας επιφανειακής στρώσης πάχους έως 5mm από την επιφάνεια του δοκιμίου. Απλούστερης μορφής κρουσίμετρα χρησιμοποιούνται επίσης για τον προσδιορισμό περιοχών του σκυροδέματος που έχουν μεγάλα εσωτερικά κενά. Οι περιοχές αυτές εντοπίζονται βάσει τις αλλαγές στον ήχο που παράγει η αναπήδηση του οργάνου πάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Οι έλεγχοι αυτού του είδους κατά κανόνα συνοδεύουν τους οπτικούς ελέγχους, αλλά τα αποτελέσματά τους δεν είναι ιδιαίτερα ακριβή, γι' αυτό και δεν χρησιμοποιούνται αφού υπάρχουν πιο αξιόπιστες μέθοδοι (Κ.Σπυράκος 2004; Σταματούλης 2013).

4.7.1.3. Χρήση υπερήχων

Η ομοιομορφία και η ποιότητα του σκυροδέματος της κατασκευής μπορεί να εκτιμηθεί με την εκπομπή υπερήχων διαμέσου του σκυροδέματος και τη μέτρηση της ταχύτητάς τους (Εικόνα 47, Εικόνα 48). Οι μετρούμενες τιμές εξαρτώνται από την υφή της επιφάνειας, την υγρασία, τη θερμοκρασία, το μήκος της διαδρομής, αλλά κυρίως είναι συνάρτηση του σπλισμού, των ενδεχόμενων εσωτερικών ατελειών και ρωγμών του σκυροδέματος, καθώς και της πυκνότητάς του. Επίσης, η μέθοδος των υπερήχων είναι εξαιρετικά δημοφιλής όχι μόνο για τον εντοπισμό ατελειών, όπως είναι οι ρωγμές και οι ύπαρξη πόρων στη δομή του σκυροδέματος, αλλά και για την εκτίμηση της



Εικόνα 47: Μέθοδος υπερήχων
(Κ.Σπυράκος 2004)

θλιπτικής αντοχής, του μέτρου ελαστικότητας, της σταθεράς του Poisson και της ποιότητας του σκυροδέματος. Επιπρόσθετα, με τη μέθοδο των υπερήχων μπορούν να μετρηθούν αλλαγές που παρατηρούνται με την πάροδο του χρόνου στις ιδιότητες του σκυροδέματος των κατασκευών (Κ.Σπυράκος 2004; Σταματούλης 2013).



Εικόνα 48: Μέθοδος υπερήχων (Σταματούλης 2013)

4.7.1.4. Μαγνητικές μέθοδοι

Ένας άλλος μη καταστροφικός έλεγχος είναι αυτός με την χρήση μαγνητικών πεδίων. Συγκεκριμένα, η μέθοδος αυτή και η δημιουργία μαγνητικού πεδίου πραγματοποιείται με κατάλληλα βαθμονομημένες συσκευές με στόχο τον προσδιορισμό της θέσης και της διαμέτρου του οπλισμού με σημείο αναφοράς την επιφάνεια του σκυροδέματος, καθώς επίσης και του πάχους της επικάλυψης του σκυροδέματος (Εικόνα 49).



Εικόνα 49: Μαγνητική μέθοδος (Κ.Σπυράκος 2004)

Ανάλογα με τον τύπο τους, τα όργανα αυτά μπορούν να μετρήσουν την επικάλυψη με ένα σφάλμα της τάξης του $\pm 0,01$ για βάθος έως 180mm. Παρ' όλα αυτά, οι συσκευές αυτές είναι πολύ δημοφιλή στον τομέα τους, κυρίως γιατί είναι φορητά όργανα, ανιχνεύουν με ακρίβεια τη θέση της εξωτερικής στρώσης οπλισμού μόνο και κατά συνέπεια, είναι περισσότερο αποδοτικά για τον εντοπισμό του οπλισμού πλακών με μία στρώση οπλισμού. Η αξιοπιστία τους όμως μειώνεται στην περίπτωση πλακών οπλισμένων με πλέγμα ή δοκών και

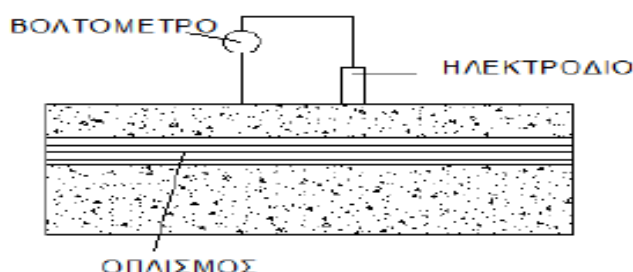
υποστρωμάτων με περισσότερες από μία στρώσεις οπλισμού, καθώς και με την αύξηση του πάχους της επικάλυψης (Κ.Σπυράκος 2004; Σταματούλης 2013).

4.7.1.5. Μέτρηση του ηλεκτρικού δυναμικού σιδηροπλισμού

Με την μέθοδο αυτή υποδεικνύεται κατά πόσο ο οπλισμός έχει διαβρωθεί και αν υπάρχουν οποιεσδήποτε ηλεκτροχημικές αντιδράσεις στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Η πλέον συνήθης τακτική που γίνεται είναι η μέτρηση του ηλεκτρικού δυναμικού (Εικόνα 50) των ράβδων οπλισμού του σκυροδέματος με χρήση ηλεκτροδίου χαλκού ή αργίλου, το ένα άκρο του οποίου συνδέεται με βολτόμετρο και το άλλο με τη ράβδο του οπλισμού όπως φαίνεται στην Εικόνα 51.



Εικόνα 50: Όργανο μέτρησης ηλεκτρικού δυναμικού (Κ.Σπυράκος 2004)



Εικόνα 51: Τρόπος χρήσης οργάνου μέτρησης ηλεκτρικού δυναμικού

Παρόλο που η συγκεκριμένη μέθοδος είναι σχετικά απλή και οι μετρήσεις πραγματοποιούνται εύκολα στο πεδίο εντούτοις, δεν μπορεί να δώσει πληροφορίες για το βαθμό της διάβρωσης, όπως για παράδειγμα το ποσοστό απομείωσης της διατομής, ενώ ταυτόχρονα παρέχει ενδείξεις και όχι αποδείξεις διαβρωτικής δράσης (Κ.Σπυράκος 2004; Σταματούλης 2013).

4.7.1.6. Ακτινογράφιση με ακτίνες “X” και “Γ”

Οι ακτίνες “X” χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης των ράβδων οπλισμού και για την εξέταση της πυκνότητας και της σύστασης του σκυροδέματος. Με τη

χρήση ακτίνων “Γ” μπορούν επίσης να εντοπιστούν κενά, καθώς και να υπολογιστεί η διάμετρος των ράβδων. Ο εξοπλισμός της μεθόδου αυτής μεταφέρεται εύκολα και τα αποτελέσματα είναι αξιόπιστα, όμως το μειονέκτημα της μεθόδου είναι το αυξημένο κόστος της. Ο έλεγχος αυτός, δεν είναι ακριβής στην περίπτωση όπου τα πάχη του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερα από 30cm. Επιπλέον, η αξιοπιστία των μετρήσεων μειώνεται με την παρουσία περισσότερων της μίας στρώσεων οπλισμού, ενώ παράλληλα απαιτείται πρόσβαση και στις δύο πλευρές του στοιχείου που πρόκειται να ελεγχθεί (Κ.Σπυράκος 2004; Σταματούλης 2013).

4.7.1.7. Θερμογράφηση με υπέρυθρη ακτινοβολία

Σε αυτή την μέθοδο, τοποθετείται στη μία πλευρά του υπό έλεγχο στοιχείου μια υπέρυθρη ακτινοβολία έχοντας ως αποτέλεσμα η ροή της υπέρυθρης ενέργειας να καταγράφεται και να αναλύεται. Σε αυτή τη μέθοδο, τυχόν κενά ή ασυνέχειες στο σώμα του σκυροδέματος διαταράσσουν τη ροή της ακτινοβολίας και έτσι μπορούν να εντοπιστούν. Η θερμογράφηση με υπέρυθρη ακτινοβολία χρησιμοποιείται κυρίως για την ανίχνευση διάβρωσης, εσωτερικών ρωγμών, κενών, αυξημένου πορώδους και αλλαγών στη σύσταση του σκυροδέματος. Επιπρόσθετα, αποτελεί συνήθη πρακτική για τη διερεύνηση του καταστρώματος γεφυρών μέσω μετρήσεων της ομοιόμορφης αύξησης ή μείωσης της επιφανειακής θερμοκρασίας (Κ.Σπυράκος 2004; Σταματούλης 2013). Πλεονέκτημα της παρούσας μεθόδου είναι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων που δίνει, ενώ μειονέκτημα της είναι το σχετικά υψηλό κόστος του ειδικού εξοπλισμού που απαιτείται για τη διενέργειά της (Κ.Σπυράκος 2004; Σταματούλης 2013).

4.7.1.8. Μέτρηση του ποσοστού υγρασίας με εκπομπή νετρονίων

Στην 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. Αποτελεί την πιο αξιόπιστη μέθοδο για προσδιορισμό του ποσοστού υγρασίας του σκυροδέματος, όμως το κόστος του φορητού οργάνου που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση είναι ιδιαίτερα υψηλό (Κ.Σπυράκος 2004; Σταματούλης 2013).

4.7.2. Ημικαταστροφικοί Έλεγχοι

4.7.2.1. Λήψη πυρήνων

Με την λήψη πυρήνων, εκτός από τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, μπορούμε να εξετάσουμε και τη γενική κατάσταση του σκυροδέματος της κατασκευής, τη θέση και το μέγεθος των ράβδων οπλισμού, την ύπαρξη ρωγμών ή άλλων αστοχιών στη μάζα του σκυροδέματος, την αποτελεσματικότητα προγενέστερων επεμβάσεων, κτλ. Επίσης, μπορούν να αντληθούν πληροφορίες για το είδος των αδρανών, την ύπαρξη χλωριόντων και την πιθανή διάβρωση του οπλισμού (Κ.Σπυράκος 2004).

Η λήψη πυρήνων (καρότα) επιβάλλεται από όλους τους διεθνείς κανονισμούς και λαμβάνονται από την κατασκευή με χρήση ειδικού διατρητικού μηχανήματος (Εικόνα 52). Η διάμετρος των αποκοπόμενων πυρήνων πρέπει να είναι 10 έως 15cm, όμως σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να είναι τριπλάσια του μεγέθους του μεγίστου αδρανούς που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή του εξεταζόμενου σκυροδέματος (Κ.Σπυράκος 2004).



Εικόνα 52: Σύστημα λήψης πυρήνων σκυροδέματος (Κ.Σπυράκος 2004)

Όσον αφορά στην τιμή του λόγου του ύψους προς τη διάμετρο του πυρήνα, μπορεί να κυμαίνεται από 0.95 έως 2.0, με τις μικρότερες τιμές της να αντιστοιχούν στην περίπτωση λήψης πυρήνων από πλάκες. Συμπληρωματικά, η ελάχιστη απόσταση των πυρήνων από τις ακμές του εξεταζόμενου στοιχείου πρέπει να είναι 8cm. Μετά τη λήψη τους, οι κυλινδρικοί πυρήνες 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 συνήθως απαιτούνται για έλεγχο της θλιπτικής αντοχής είναι τρεις, ενώ μπορεί να φθάσει και τους δώδεκα σε περίπτωση όπου χρειαστεί επανέλεγχος. Για τον λόγο ότι ορισμένοι πυρήνες συχνά αστοχούν, συνιστάται να λαμβάνονται δύο επιπλέον εφεδρικοί πυρήνες. Η λήψη πυρήνων κατά κανόνα, συνοδεύεται από αποκάλυψη του οπλισμού, μέρος του οποίου μπορεί στη συνέχεια να απομακρυνθεί για μέτρηση των ιδιοτήτων του. Στην περίπτωση όπου ο πυρήνας περιέχει ράβδο οπλισμού συνιστάται να μην ελέγχεται σε θλίψη, δια το λόγο ότι η ράβδος προκαλεί μείωση της αντοχής του σκυροδέματος (Κ.Σπυράκος 2004).

Η μέθοδος λήψης πυρήνων είναι η πιο αξιόπιστη και διαδεδομένη μέθοδος για τον έλεγχο των ιδιοτήτων του σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών. Τα κυριότερα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι το σχετικά υψηλό κόστος του εξοπλισμού, καθώς και η δυσκολία λήψης δοκιμών από κατακόρυφα στοιχεία (Κ.Σπυράκος 2004).

4.7.2.2. Χρήση εξολκέα

Η μέθοδος με χρήση εξολκέα, χρησιμοποιείται για την επιτόπου μέτρηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος και βασίζεται στο συσχετισμό της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος με τη δύναμη που απαιτείται για την εξαγωγή ενός ειδικού μπουλονιού από την επιφάνειά του. Η υλοποίηση της μεθόδου, γίνεται με χρήση μπουλονιού ή κυκλικής μεταλλικής πλάκας, η



Εικόνα 53: Όργανο μεθόδου εξολκέα (Κ.Σπυράκος 2004)

οποία συγκολλάτε στην επιφάνεια του σκυροδέματος και στη συνέχεια εφελκύεται από ειδικό όργανο έως ότου προκληθεί θραύση του σκυροδέματος (Εικόνα 53) (Κ.Σπυράκος 2004).

Η μέθοδος αυτή, εκτός από τον υπολογισμό της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, η οποία προκύπτει με χρήση ειδικών διαγραμμάτων, χρησιμοποιείται και για τον προσδιορισμό της αντοχής της συγκόλλησης διαφόρων επικαλύψεων στο σκυρόδεμα. Πλεονέκτημα της τακτικής αυτής για επιδιόρθωση των βλαβών σε σχέση με αυτή της τη λήψης και εξέτασης πυρήνων είναι ότι μπορεί να εκτελεστεί πολύ πιο γρήγορα δίνοντας στις περισσότερες περιπτώσεις ικανοποιητικής ακρίβειας αποτελέσματα (Κ.Σπυράκος 2004).

4.7.2.3. Έλεγχος ράβδων οπλισμού σε εφελκυσμό

Αρχικά, για την υλοποίηση του ελέγχου αυτού, απομακρύνεται το υπάρχον σκυρόδεμα, αποκόπτεται τμήμα ράβδου μήκους 30 cm. Στην συνέχεια, το δοκίμιο υποβάλλεται σε έλεγχο αξονικού εφελκυσμού, προσδιορίζοντας έτσι την αντοχή, την επιμήκυνση, κτλ. Η μέθοδος αυτή λοιπόν, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ορίου διαρροής και της εφελκυστικής αντοχής των ράβδων του οπλισμού. Αποτελεί την πλέον πιο αξιόπιστη μέθοδο προσδιορισμού των μηχανικών ιδιοτήτων του χάλυβα. Μειονέκτημα όμως

της μεθόδου, είναι το μεγάλο σχετικά κόστος και ο σημαντικός χρόνος που απαιτείται για την εκτέλεση του ελέγχου (Κ.Σπυράκος 2004).

4.7.2.4. Μέθοδος της πετρογραφικής ανάλυσης

Η μέθοδος αυτή εκτελείται αφού ληφθούν πυρήνες σκυροδέματος. Στην συνέχεια, τμήματά των πυρήνων αποκόπτονται, καθαρίζονται και εξετάζονται κάτω από μικροσκόπιο μεγάλης ανάλυσης για τον προσδιορισμό των χημικών και φυσικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος. 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. Η μέθοδος της πετρογραφικής ανάλυσης, είναι εξαιρετικά αξιόπιστη αλλά απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και εκπαιδευμένο συνεργείο (Κ.Σπυράκος 2004).

4.7.3. Επιτόπου Χημικοί Έλεγχοι

Οι επιτόπου χημικοί έλεγχοι αφορούν κυρίως τη διάρκεια ζωής του σκυροδέματος. Ενδεικτικά αναφέρονται πιο κάτω κάποιοι από αυτούς του ελέγχους.

4.7.3.1. 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 ψεκάσμένου 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 (‘Μέθοδος μέτρησης ενανθράκωσης και pH’ χ.χ.). Το χρώμα του σκυροδέματος με την φαινολοφθαλείνη μεταβάλλεται σε βιολετί όταν η τιμή του pH είναι μεγαλύτερη από



Εικόνα 54: Αποτέλεσμα μεθόδου ελέγχου του βάθους ενανθράκωσης (‘Η διάβρωση του χάλυβα στο σκυρόδεμα’ χ.χ.)

9,5. Επομένως, όταν το σκυρόδεμα είναι υγιές, δηλαδή με PH μεγαλύτερο από 9,5 το δοκίμιο αποκτά χρώμα βιολετί. Σε αντίθετη περίπτωση, όπου δηλαδή το σκυρόδεμα είναι ενανθρακωμένο ($\text{PH} < 9,5$), το δοκίμιο δεν επιφέρει κανένα χρωματισμό (‘Η διάβρωση του χάλυβα στο σκυρόδεμα’ χ.χ.). Γενικότερα, τα αποτελέσματα από το χρώμα της επιφάνειας του σκυροδέματος μετά τον ψεκασμό με το διάλυμα συγκρίνεται με κατηγοριοποιημένα αποτελέσματα ελέγχων που υποδεικνύουν τις περιοχές σοβαρής ενανθράκωσης (Εικόνα 54) (Κ.Σπυράκος 2004).

4.7.3.2. Έλεγχος χλωριόντων

Ο έλεγχος αυτός περιλαμβάνει ανάλυση δείγματος σκυροδέματος για τον προσδιορισμό της ποσότητας των χλωριόντων. Η παρουσία υδατοδιαλυτών χλωριόντων στο σκυρόδεμα πέρα από ένα συγκεκριμένο όριο (0.20% ανά μονάδα βάρους χλωριόντος σε μείγμα σκυροδέματος) θεωρείται σοβαρή ένδειξη διάβρωσης για κατασκευές από σκυρόδεμα. Η μέθοδος αυτή είναι γρήγορη και χαμηλού κόστους, όμως η εφαρμογή της σε κατασκευές είναι σχετικά πρόσφατη (Κ.Σπυράκος 2004).

4.7.4. Έλεγχοι καθολικής φόρτισης

Η καθολική φόρτιση είναι συχνά το έσχατο μέσο για τον έλεγχο και την αξιολόγηση κατασκευών των οποίων τα αρχικά σχέδια δεν είναι διαθέσιμα και η φέρουσα ικανότητα είναι ασαφής. Εφαρμόζεται συνήθως σε πλαισιακούς φορείς με εμφανή ίχνη φθοράς, αλλά και σε κατασκευές που η ανάλυση υποδεικνύει ότι υπάρχει υπέρβαση επιτρεπόμενων τάσεων υπό δεδομένη φόρτιση. Η φόρτιση γίνεται με μικροδονήσεις ή άλλες αποδεκτές μεθόδους διέγερσης, καθώς επίσης και αρμονικές δονήσεις. Στη συνέχεια, υπολογίζονται τα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής (ιδιοπερίοδος και απόσβεση) ή κάποιου επιμέρους τμήματός της, τα οποία μπορούν να δώσουν σημαντικές πληροφορίες όσο αφορά το επίπεδο των βλαβών. Επιπρόσθετα, η κατακόρυφη στατική φόρτιση μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμη σε ορισμένες περιπτώσεις, κυρίως για τη μέτρηση μετακινήσεων και παραμορφώσεων των μελών της κατασκευής (Κ.Σπυράκος 2004).

5. Βασικές Αρχές Ενίσχυσης

5.1. Στάθμες Επιτελεστικότητας

Ανάλογα με τις ζημιές που έχει υποστεί μια κατασκευή, ο ευρωκώδικας 8 και συγκεκριμένα στο μέρος 3, διαχωρίζει τις κατασκευές αυτές σε τρεις κατηγορίες (Πίνακας 2). Οι κατηγορίες αυτές ονομάζονται στάθμες επιτελεστικότητας και είναι βασισμένες στην οριακή κατάσταση. Επομένως, για το φέροντα οργανισμό μιας κατασκευής, οι στάθμες επιτελεστικότητας ορίζονται ως εξής:

Πίνακας 2: Στάθμες επιτελεστικότητας ('3DR.STREN-KANEΠΕ (Εγχειρίδιο Χρήσης)')

<i>Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών</i>		<i>Στάθμη επιτελεστικότητας φέροντος οργανισμού</i>		
		Άμεση χρήση μετά τον σεισμό	Προστασία ζωής	Αποφυγή οιονεί κατάρρευσης
1.	10%	A1	B1	Γ1
2.	50%	A2	B2	Γ2

5.1.1. Οριακή κατάσταση περιορισμού βλαβών ή Άμεση Χρήση(A)

Οριακή κατάσταση περιορισμού βλαβών ορίζεται η κατάσταση κατά την οποία αναμένεται ότι καμιά λειτουργία του κτιρίου δεν διακόπτεται κατά τη διάρκεια και μετά τον σεισμό σχεδιασμού, εκτός ενδεχομένως από δευτερεύουσας σημασίας λειτουργίες. Σε αυτήν την κατάσταση είναι ενδεχόμενο να παρουσιαστούν μερικές τριχοειδείς ρωγμές στον φέροντα οργανισμό. Παρ' όλα αυτά, το κτίριο διατηρεί τη δυσκαμψία και αντοχή που είχε, αλλά χρειάζεται ορισμένες επισκευές που δεν είναι απαραίτητο να γίνουν (Γεωργία 2013; Ζωιτάκης χ.χ.; Καματερή 2012).

5.1.2. Οριακή κατάσταση σημαντικών βλαβών ή προστασία ζωής (B)

Είναι η οριακή κατάσταση κατά την οποία κατά τον σεισμό σχεδιασμού αναμένεται να παρουσιασθούν επισκευάσιμες βλάβες στον φέροντα οργανισμό του κτιρίου, χωρίς όμως να υπάρξει οποιαδήποτε απώλεια ζωής ή σοβαρός τραυματισμός ατόμων εξαιτίας των βλαβών αυτών. Επιπρόσθετα, αναμένεται πως δεν θα συμβούν ουσιώδεις βλάβες στην οικοσκευή ή τα αποθηκευόμενα στο κτίριο υλικά (Γεωργία 2013; Ζωιτάκης χ.χ.; Καματερή 2012).

5.1.3. Οριακή κατάσταση Οιονεί κατάρρευσης (Γ)

Οιονεί κατάρρευση είναι η κατάσταση κατά την οποία κατά τον σεισμό σχεδιασμού αναμένεται να παρουσιασθούν εκτεταμένες και σοβαρές ή βαριές (συνήθως μη-επισκευάσιμες) βλάβες στον φέροντα οργανισμό, ο οποίος όμως έχει ακόμη την ικανότητα να φέρει τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία (κατά, και για ένα διάστημα μετά, τον σεισμό), χωρίς όμως να διαθέτει άλλο ουσιαστικό περιθώριο ασφαλείας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης. Σε αυτή τη κατάσταση, δεν αποκλείονται τραυματισμοί ορισμένων ατόμων λόγω βλαβών ή πτώσης στοιχείων του μη-φέροντος οργανισμού ή αντικειμένων. Ο όρος μη-επισκευάσιμες βλάβες, αναφέρεται σε σοβαρές βλάβες, έναντι των οποίων απαιτείται ενίσχυση και όχι απλή επισκευή, με αντικατάσταση ή υποκατάσταση του δομικού στοιχείου ή του δομήματος στο σύνολό του (Γεωργία 2013; Ζωιτάκης χ.χ.; Καματερή 2012).

5.2. 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 λοιπών αυτά είναι:

- ΕΓ1: Περιορισμένη γνώση
- ΕΓ2: Κανονική γνώση
- ΕΓ3: Πλήρης γνώση

Ο προσδιορισμός του κατάλληλου επιπέδου γνώσης εξαρτάται από το επίπεδο επιθεώρησης, και είναι απαραίτητος ο έλεγχος των τριών καθοριστικών παραγόντων (Standard 2004; Αθανασοπούλου κ.ά. 2013; Σπύρου 2011):

- ❖ Την γεωμετρία του δομικού συστήματος καθώς και των μη-φερόντων στοιχείων, που επηρεάζουν την απόκριση του φορέα (συλλογή στοιχείων από γενικά κατασκευαστικά σχέδια, σχέδια λεπτομερειών, καθώς και από οπτική ή πλήρη έρευνα)
- ❖ Τις λεπτομέρειες που αφορούν την ποσότητα και την διάταξη του οπλισμού σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, τις συνδέσεις μεταξύ χαλύβδινων μελών, τη σύνδεση διαφραγμάτων του δαπέδου με τους κατακόρυφους φορείς αντίστασης, τη συνάφεια στις ενώσεις κονιάματος στην τοιχοποιία αλλά και την φύση οποιουδήποτε στοιχείου οπλισμού σε αυτή (προσομοίωση του φορέα με βάση τον ισχύοντα κανονισμό κατά το χρόνο κατασκευής και επιτόπου επιθεώρηση ποικίλης έκτασης)
- ❖ Τις μηχανικές ιδιότητες των συστατικών υλικών της κατασκευής (συλλογή στοιχείων μέσω επιτόπου καταστρεπτικών και μη δοκιμών, όπως κρουσιμετρήσεις, πυρηνοληψίες, κτλ). Ανάλογα με τον αριθμό των δομικών στοιχείων, που θα πρέπει να ελεγχθούν για λεπτομέρειες, καθώς και τον αριθμό των δειγμάτων υλικών ανά όροφο, που θα πρέπει να ληφθούν για τη διεξαγωγή δοκιμών, γίνεται κατηγοριοποίηση των επιπέδων επιθεώρησης και δοκιμών σύμφωνα με τον πιο κάτω πίνακα (Πίνακας 3):

Πίνακας 3: Κατάταξη επιπέδου επιθεώρησης και ελέγχου (Standard 2004)

	Επιθεώρηση (λεπτομερειών)	Δοκιμή (υλικών)
	Για κάθε τύπο πρωτεύοντων στοιχείων (δοκό, υποσύλωμα, τοίχο)	
Επίπεδο επιθεώρησης και ελέγχου	Ποσοστό στοιχείων τα οποία ελέγχονται για λεπτομέρειες	Δείγματα υλικών ανά όροφο
Περιορισμένο	20	1
Εκτεταμένο	50	2
Διεξοδικό	80	3

Οι συντελεστές εμπιστοσύνης χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των υπαρχόντων υλικών, τα οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της ικανότητας και έχουν ως στόχο να καλύψουν τις αβεβαιότητες, που προκύπτουν από την συλλογή πληροφοριών. Κατά τον Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3, δίνεται στα κράτη μέλη η ελευθερία επιλογής των τιμών των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας ανάλογα με την τιμή του επιπέδου εμπιστοσύνης. Στον Πίνακα 4, παρουσιάζονται οι τιμές τόσο των συντελεστών εμπιστοσύνης, όσο και των συντελεστών ασφαλείας.

Πίνακας 4: Επίπεδα γνώσης και συντελεστές εμπιστοσύνης (Σπύρου 2011)

Επίπεδο γνώσης	Λεπτομέρειες	Υλικά	Ανάλυση	Σ.Ε. (CF) γ_c, γ_s
KL 1: Περιορισμένη γνώση	Προσομοίωση σχεδιασμού με βάση την πρακτική κατά τον χρόνο κατασκευής και από περιορισμένη επί τόπου επιθεώρηση	Καταχρηστικές τιμές σύμφωνα με τα πρότυπα που ίσχυαν κατά τον χρόνο κατασκευής και από περιορισμένες επί τόπου δοκιμές	Μόνο γραμμική ανάλυση Στατική ή δυναμική	GR: CF=1.30 $\gamma_c=1.65$ $\gamma_s=1.265$ CY: CF=1.35 $\gamma_c=1.50$ $\gamma_s=1.15$
KL 2: Κανονική γνώση	Από μη πλήρη αρχικά λεπτομερή κατασκευαστικά σχέδια και περιορισμένη επί τόπου επιθεώρηση ή από εκτεταμένη επί τόπου επιθεώρηση	Από τις αρχικές προδιαγραφές σχεδιασμού και περιορισμένες επί τόπου δοκιμές ή από εκτεταμένες επί τόπου δοκιμές	Γραμμική & μη γραμμική ανάλυση Στατική ή δυναμική	GR: CF=1.20 $\gamma_c=1.50$ $\gamma_s=1.15$ CY: CF=1.20 $\gamma_c=1.50$ $\gamma_s=1.15$
KL 3: Πλήρης γνώση	Από τα αρχικά λεπτομερή κατασκευαστικά σχέδια και περιορισμένη επί τόπου επιθεώρηση ή από διεξοδική επί τόπου επιθεώρηση	Από τις αρχικές αναφορές δοκιμών και περιορισμένες επί τόπου δοκιμές ή από διεξοδικές επί τόπου δοκιμές	Γραμμική & μη γραμμική ανάλυση	GR: CF=1.10 $\gamma_c=1.35$ $\gamma_s=1.035$ CY: CF=1.00 $\gamma_c=1.50$ $\gamma_s=1.15$

5.3. Μέθοδοι Ανάλυσης

Οι μέθοδοι ανάλυσης που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι οι ακόλουθες:

- Ελαστική δυναμική
- Ελαστική στατική
- Ανελαστική στατική (pushover analysis)
- Ανελαστική δυναμική

Οι ελαστικές μέθοδοι υιοθετούν την παραδοσιακή γραμμική σχέση έντασης– παραμόρφωσης για τα δομικά στοιχεία της κατασκευής με κατάλληλες τροποποιήσεις των μετακινήσεων και των κριτηρίων επιτελεσματικότητας, έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη η πιθανότητα εκδήλωσης μη γραμμικής συμπεριφοράς για το σεισμό σχεδιασμού. Οι μέθοδοι αυτοί, μπορούν να δώσουν μία καλή ένδειξη της ελαστικής συμπεριφοράς της κατασκευής μέχρι το σημείο της πρώτης διαρροής, όμως δεν μπορούν να προβλέψουν την ανακατανομή των εντάσεων που θα συμβεί κατά τη διάρκεια της προοδευτικής διαρροής των δομικών στοιχείων του φορέα (Κ.Σπυράκος 2004).

Οι ανελαστικές μέθοδοι ανάλυσης όπως μπορεί να αντιληφθεί κανείς, χωρίζονται σε στατικές και δυναμικές μεθόδους. Η ανελαστική στατική ανάλυση, η οποία συχνά καλείται και ως μέθοδος ελέγχου των μετακινήσεων, χρησιμοποιεί απλοποιημένες τεχνικές προσέγγισης της μη γραμμικής συμπεριφοράς του φορέα για την εκτίμηση των ανελαστικών παραμορφώσεων που θα αναπτυχθούν στα δομικά στοιχεία όταν η κατασκευή υπόκειται στη σεισμική δράση σχεδιασμού. Εν αντιθέτως, η ανελαστική δυναμική ανάλυση ή αλλιώς ανάλυση χρονοϊστορίας, αποτελεί την πιο πλήρη και ρεαλιστική μέθοδο ανάλυσης, αλλά ταυτόχρονα απαιτεί σημαντική κριτική ικανότητα και εμπειρία του πολιτικού μηχανικού που διενεργεί τον έλεγχο αποτίμησης και ανασχεδιασμού της υφιστάμενης κατασκευής, καθώς και αξιόπιστη γνώση των μηχανικών ιδιοτήτων των δομικών υλικών. Για αυτούς τους λόγους, σε συνδυασμό με την αυξημένη πολυπλοκότητα της, δεν κρίνεται πρακτική για γενική χρήση. Οι ανελαστικές μέθοδοι ανάλυσης βοηθούν στην κατανόηση της πραγματικής συμπεριφοράς των κατασκευών καταδεικνύοντας τόσο τους μηχανισμούς αστοχίας όσο και το ενδεχόμενο κατάρρευσης. Η χρήση αυτών των μεθόδων ανάλυσης για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό υφιστάμενων κατασκευών επιτρέπει καλύτερη αντίληψη και κατανόηση της συμπεριφοράς μίας κατασκευής όταν υποβληθεί σε ισχυρούς σεισμούς, για τους οποίους

είναι δεδομένο ότι θα συμπεριφερθεί ανελαστικά. Έτσι, με τον τρόπο αυτό αντιμετωπίζονται πολλές από τις αβεβαιότητες που σχετίζονται με τις ελαστικές μεθόδους ανάλυσης που υιοθετούνται από τους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς (Κ.Σπυράκος 2004).

Επομένως, όπως μπορεί κανείς να συμπεράνει, ελαστικές αναλύσεις αν και απλούστερες στην εφαρμογή τους, μπορεί να οδηγήσουν σε λιγότερο ακριβή αποτελέσματα σε σχέση με τις ανελαστικές μεθόδους. Επιπρόσθετα, για την αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών εφαρμόζεται κυρίως η στατική ανελαστική ανάλυση, λόγω του ότι είναι πιο απλή και πιο ακριβής από την ανάλυση χρονοϊστορίας (Γεωργία 2013; Καματερή 2012).

5.3.1. Ελαστικές μέθοδοι

Η γραμμική ελαστική ανάλυση εφαρμόζεται για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κτιρίων και είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος για την ανάλυση και διαστασιολόγηση κτιρίων. Όπως έχει προαναφερθεί, οι δύο κυριότερες επιμέρους μέθοδοι ελαστικής ανάλυσης είναι η δυναμική φασματική (ελαστική δυναμική) και η ελαστική στατική. Και στις δύο αυτές μεθόδους η κατασκευή προσομοιώνεται με ελαστικά στοιχεία, όπως είναι η δοκός και τα υποστύλωμα, καθώς επίσης και από το έδαφος.

5.3.1.1. Ελαστική δυναμική μέθοδος (δυναμική φασματική μέθοδος)

Η συγκεκριμένη μέθοδος, 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. Εκτελείται συνήθως 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):

- 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 , να προκαλεί στη διεύθυνση του σεισμού τέμνουσα βάση 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 .

5.3.1.2. Ελαστική στατική ανάλυση

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 (Α.Καβουρά 2010).

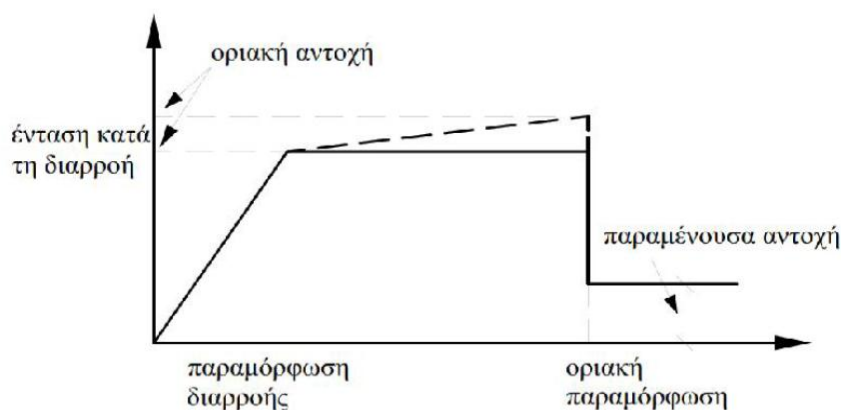
5.3.2. Ανελαστική μέθοδος

Οι μη γραμμικές ανελαστικές μέθοδοι ανάλυσης παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4.3.3.4 του Ευρωκώδικα 8, και όπως προαναφέρθηκε, χωρίζονται στη στατική ανελαστική ανάλυση (pushover analysis) και τη δυναμική ανελαστική ανάλυση (ανάλυση χρονοϊστορίας). Σύμφωνα με τον ευρωκώδικα, η κύρια χρήση των ανελαστικών μεθόδων είναι να εκτιμηθεί η σεισμική απόδοση των νέων κτιρίων αλλά και να γίνεται αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς των υφιστάμενων κατασκευών. Σε αυτές τις μεθόδους, απαιτούνται πιο σύνθετα μοντέλα προσομοίωσης από αυτά που χρησιμοποιούνται στις ελαστικές μεθόδους, έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη και η κατανομή της αντοχής εκτός από την κατανομή της μάζας και της δυσκαμψίας (Α.Καβουρά 2010; Γεωργία 2013; Καματερή 2012).

5.3.2.1. Ανελαστική στατική ανάλυση (pushover analysis)

Η ανελαστική στατική ανάλυση, παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 4.3.3.4.2 του Ευρωκώδικα 8 και λαμβάνει υπόψη την ανελαστική συμπεριφορά των δομικών στοιχείων (Α.Καβουρά 2010). 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 (Διάγραμμα 1). Βασίζεται στο γεγονός ότι, μπορεί να δείξει τις πιθανές ασθενείς περιοχές της κατασκευής, καθώς 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).



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ανάλυσης 'pushover' (Γεωργία 2013)

Η ανάλυση αυτή, όπως έχει προαναφερθεί, μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στην μελέτη νέων, όσο και στην μελέτη υφιστάμενων κτιρίων για τους πιο κάτω σκοπούς (Α.Καβουρά 2010):

- ❖ Για υπολογισμό των συντελεστών υπεραντοχής
- ❖ Για εκτίμηση των αναμενόμενων πλαστικών αρθρώσεων και των θέσεων όπου δημιουργούνται βλάβες
- ❖ Για αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς υφιστάμενων κατασκευών (εκτίμησης της σεισμικής επικινδυνότητας για σκοπούς πρόληψης και προετοιμασίας αντιμετώπισης τυχόν ζημιών από μελλοντικούς σεισμούς)

- ❖ Σαν μια εναλλακτική λύση αντί της στατικής ελαστικής ανάλυσης, για τον σχεδιασμό νέων κατασκευών, με χρήση του συντελεστή συμπεριφοράς q
- ❖ Καθορισμό της στοχευόμενης μετατόπισης με βάση την οποία γίνεται ο σχεδιασμός του κτιρίου

Τέλος, σε οποιαδήποτε περίπτωση η στατική ανελαστική ανάλυση, σε σχέση με τις ελαστικές μεθόδους, οδηγεί σε πιο ακριβή εκτίμηση της ικανότητας της κατασκευής, αρκεί η εφαρμογή των πολύπλοκων προσομοιωμάτων και η εκτίμηση των αποτελεσμάτων να γίνονται προσεκτικά (Γεωργία 2013; Καματερή 2012).

5.3.2.2. Ανελαστική δυναμική ανάλυση

Η ανελαστική δυναμική ανάλυση αναγράφεται στο κεφάλαιο 4.3.3.4.3 του Ευρωκώδικα 8, και εξετάζει την ανελαστική απόκριση μίας κατασκευής σε σεισμό με απευθείας ολοκλήρωση των διαφορικών εξισώσεων κίνησης στον χρόνο. Συγκεκριμένα, στην μέθοδο αυτή, ισχύουν όσα αναφέρθηκαν για τη στατική ανελαστική, με τη μόνη διαφορά ότι για την περιγραφή της συμπεριφοράς των μελών πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η πλήρης απόκρισή τους υπό ανακυκλιζόμενες εντάσεις, ενώ η σεισμική δράση εκφράζεται με επιταχυνσιογραφήματα του εδάφους που εισάγονται στην βάση του κτιρίου, και που μπορεί να προέρχονται από καταγραφές πραγματικών σεισμών ή να είναι τεχνητά.

Η μέθοδος αυτή είναι πολύ πιο πολύπλοκη ακόμα και από τη στατική ανελαστική ανάλυση, γι' αυτό και είναι απαραίτητο ο μελετητής να έχει εμπειρία στην εφαρμογή τέτοιων διαδικασιών ώστε να αποφευχθούν εσφαλμένα αποτελέσματα (Γεωργία 2013; Καματερή 2012). Τέλος, σημαντική προϋπόθεση για την πιο αξιόπιστη εφαρμογή της μεθόδου αυτής είναι ο μελετητής να χρησιμοποιήσει τουλάχιστον τρία διαφορετικά επιταχυνσιογραφήματα (Α.Καβουρά 2010).

5.4. Αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών

Η συνολική διαδικασία η οποία απαιτείτε για τον ανασχεδιασμό μιας υφιστάμενης κατασκευής αποτελείται από τρία κύρια στάδια.

Το πρώτο είναι η αποτίμηση της αντοχής της υφιστάμενης κατασκευής, δηλαδή η εξέταση της υπάρχουσας κατάστασης, η τεκμηρίωση του υφιστάμενου φορέα και τελικά η αποτίμηση

της σεισμικής ικανότητας της κατασκευής. Συγκεκριμένα, στο στάδιο αυτό 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, θα πρέπει να ακολουθήσει της εκτίμησης της πιθανής παθολογικής εικόνας του συνόλου της κατασκευής, η οποία εικόνα θα πρέπει να επιβεβαιωθεί από τα αποτελέσματα μιας ανάλυσης που θα αποτιμά τη σεισμική της ικανότητα. Ανεξάρτητα από την ειδικότερη μέθοδο που θα επιλεγεί για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής, είτε επιλεγεί μια προσεγγιστική μέθοδος είτε χρησιμοποιηθούν προχωρημένες μέθοδοι ανελαστικών αναλύσεων, στις οποίες θα εκτιμηθεί η παραμορφωσιακή ικανότητα των μελών του φορέα, στο τέλος αυτού του σταδίου αποφασίζεται αν υπάρχει ανάγκη για ενίσχυση της κατασκευής ή όχι. Προφανώς για την απόφαση αυτή όπως έχει προαναφερθεί, προαπαιτείται η επιλογή της “στάθμης επιτελεστικότητας”, δηλαδή της επιθυμητής συμπεριφοράς της κατασκευής, σε συνάρτηση με τον σεισμό σχεδιασμού, που μπορεί να εκφραστεί μέσω της πιθανότητας υπέρβασης της σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής της κατασκευής που θεωρείται 50 έτη (Ζωιτάκης χ.χ.).

Το δεύτερο στάδιο, αφορά τη διαδικασία για τη λήψη της απόφασης και περιλαμβάνει την εξέταση πιθανών σχημάτων επέμβασης και την επιλογή λύσης, συμπεριλαμβανόμενης και της κατεδάφισης. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει την λήψη απόφασης για την επέμβαση, η οποία απόφαση αποτελεί το δυσκολότερο ίσως τμήμα της όλης διαδικασίας, επειδή σ’ αυτό το στάδιο εμπλέκεται ένα πλήθος παραγόντων που δεν είναι εύκολο να ποσοτικοποιηθούν. Αρχικά δηλαδή, θα πρέπει να έχουν αξιολογηθεί όλες οι παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν την απόφαση προς κάθε μία από τις παρακάτω τρεις κρίσιμες δυνατές επιλογές (Ζωιτάκης χ.χ.):

- ❖ επισκευή της κατασκευής (αν υπάρχουν βλάβες) ή καμία επέμβαση στην όλη κατασκευή
- ❖ ενίσχυση της κατασκευής
- ❖ κατεδάφιση της υφιστάμενης κατασκευής και ανέγερση νέας

Η κρίσιμη αυτή απόφαση, είναι αποτέλεσμα μιας διαδικασίας επαναληπτικής εξέτασης εναλλακτικών σχημάτων επέμβασης, με στόχο την αποδεκτή σεισμική συμπεριφορά της κατασκευής ως σύνολο.

Αν επιλεγεί η λύση της ενίσχυσης της κατασκευής, η αναζήτηση της τεχνικής επέμβασης μπορεί να γίνει σε δύο κατευθύνσεις. Στην πρώτη κατεύθυνση, θα αναζητηθεί η λύση με την οποία η κατασκευή ενισχύεται στο σύνολο της έτσι ώστε να μειωθεί η ένταση στα αδύναμα στοιχεία της κατασκευής σε επίπεδα χαμηλότερα από τα ανεκτά όρια ικανότητας τους. Η κατεύθυνση αυτή επιλέγεται συνήθως όταν τα αδύναμα στοιχεία της κατασκευής είναι πολλά και επομένως χρειάζεται μία συνολική αντιμετώπιση του θέματος. Στη δεύτερη κατεύθυνση, θα αναζητηθεί η λύση με την οποία θα ενισχυθούν τα αδύναμα στοιχεία της κατασκευής προσδίδοντας πρόσθετη ικανότητα (αντοχή, πλαστιμότητα) ή άλλα ελλείποντα χαρακτηριστικά σε μεμονωμένα στοιχεία. Επομένως, αυτή η κατεύθυνση ακολουθείται όταν αξιολογείται ότι πρέπει να εξαλειφθούν μόνο κάποιες τοπικές αδυναμίες της κατασκευής (Ζωιτάκης χ.χ.).

Το τρίτο στάδιο της διαδικασίας ανασχεδιασμού μιας υφιστάμενης κατασκευής αφορά τον σχεδιασμό της λύσης που έχει επιλεγεί και περιλαμβάνει την διαστασιολόγηση των μελών του επισκευασμένου/ενισχυμένου φορέα, την τεχνική περιγραφή των προβλεπόμενων εργασιών και το κόστος της λύσης. Η χρήση νέων στοιχείων σε συνδυασμό με τα παλαιά δημιουργεί νέα πολυφασικά, σύνθετα στοιχεία, και έτσι συνήθως ξεφεύγουμε σε διαδικασίες διαστασιολόγησης μονολιθικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα (Ζωιτάκης χ.χ.).

Η αναδιαστασιολόγηση του φορέα καταλήγει πάντοτε σε σχέδια λεπτομερειών της οριστικής μελέτης επέμβασης και κοστολόγηση των εργασιών. Η επιλογή για του τρόπου επέμβασης στην υφιστάμενη κατασκευή θα πρέπει να γίνεται πάντοτε και με βάση τα οικονομικά ωφέλιμα του ιδιοκτήτη της.

5.5. Στρατηγικές Επεμβάσεων

Η στρατηγική των επεμβάσεων είναι η βασική προσέγγιση που υιοθετείται για τη μείωση της διακινδύνευσης μιας κατασκευής σε αποδεκτά όρια, με ταυτόχρονη βελτίωση της σεισμικής της συμπεριφορά. Για τη μείωση της διακινδύνευσης, μπορούν να εφαρμοστούν στρατηγικές είτε καθαρά τεχνικής φύσης είτε διαχειριστικής φύσης. Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται στρατηγικές, όπως η αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας του κτιρίου, η αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης και η μείωση της σεισμικής απαίτησης. Αντίστοιχα, στη δεύτερη κατηγορία συμπεριλαμβάνεται η πιθανή αλλαγή χρήσης μιας

κατασκευής, η προοδευτική εφαρμογή των επεμβάσεων και η λήψη προσωρινών μέτρων ενίσχυσης.

Το εύρος των στρατηγικών που μπορούν να εφαρμοστούν σε μία υφιστάμενη κατασκευή είναι εξαιρετικά μεγάλο. Οι τεχνικές στρατηγικές στοχεύουν στη μεταβολή των βασικών παραμέτρων τόσο της σεισμικής απαίτησης όσο και της συμπεριφοράς της κατασκευής για το σεισμό σχεδιασμού. Οι στρατηγικές αυτές περιλαμβάνουν επεμβάσεις στο φέροντα οργανισμό για τη διόρθωση ενδεχόμενων ατελειών, στην αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας της κατασκευής, στην αύξηση της ικανότητας ανάληψης παραμορφώσεων, στην αύξηση της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας και στη μείωση της σεισμικής απαίτησης. Πέρα από τις τεχνικές στρατηγικές, υπάρχει και ένας μεγάλος αριθμός εναλλακτικών διαχειριστικών στρατηγικών που πρέπει να ληφθούν υπόψη και αυτές κατά το σχεδιασμό των επεμβάσεων. Μερικά από τα θέματα που περιλαμβάνουν οι διαχειριστικές στρατηγικές είναι (Ζωιτάκης χ.χ.; Κ.Σπυράκος 2004; Σταθόπουλος χ.χ.):

- την απόφαση να υλοποιηθούν οι επεμβάσεις ενώ το κτίριο παραμένει σε χρήση ή να εκκενωθεί το κτίριο μέχρι ότου πραγματοποιηθούν οι εργασίες ενίσχυσης
- την αποδοχή της υπάρχουσας σεισμικής διακινδύνευσης της κατασκευής και να μην γίνουν επεμβάσεις ή να αλλαχτεί η χρήση της κατασκευής, έτσι ώστε να γίνει αποδεκτή η διακινδύνευση
- η κατεδάφιση του υπάρχοντος κτιρίου και η αντικατάστασή του με άλλο
- η υλοποίηση των προτεινόμενων επεμβάσεων προοδευτικά μέσα σε ένα μεγάλο χρονικό διάστημα ή η λήψη προσωρινών μέτρων ενίσχυσης έως ότου αντικατασταθεί η κατασκευή
- απόφαση εάν οι επεμβάσεις θα γίνουν στο εξωτερικό του κτιρίου, έτσι ώστε να μειωθούν οι αρνητικές επιπτώσεις στους ενοίκους, ή εάν οι εργασίες θα γίνουν στο εσωτερικό του κτιρίου προκειμένου να μην αλλοιωθούν τα χαρακτηριστικά της εξωτερικής του όψης

Το βασικότερο κριτήριο επιλογής των επεμβάσεων είναι ο περιορισμός των βλαβών που υφίστανται τα πρωτεύοντα καθώς και τα δευτερεύοντα στοιχεία της κατασκευής σε ανεκτά επίπεδα για τη δεδομένη στάθμη επιτελεστικότητας. Συμπληρωματικά, τόσο οι τεχνικές στρατηγικές όσο και οι διαχειριστικές, ενδέχεται να έχουν πολύ σημαντική επίδραση τόσο στην εφαρμοσιμότητα όσο και στο κόστος της προτεινόμενης τεχνικής στρατηγικής των

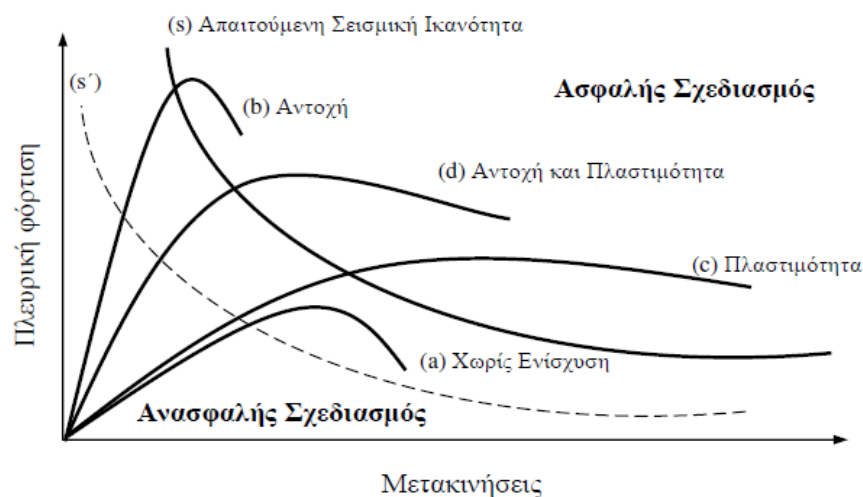
επεμβάσεων. Γι' αυτό τον λόγο, θα πρέπει όλες οι στρατηγικές επεμβάσεων να συνεκτιμώνται από το Πολιτικό Μηχανικό και να επισημαίνονται στον Κύριο του Έργου προκειμένου να επιλεγεί η κατάλληλη στρατηγική.

5.6. Συστήματα Επεμβάσεων

Μία κατασκευή θεωρείται ασφαλής όταν η καμπύλη που αναπαριστά τη συμπεριφορά της επεκτείνεται στην περιοχή πάνω από την καμπύλη (s') η οποία απεικονίζεται στο πιο κάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 2), υποδεικνύοντας τον ασφαλή σχεδιασμό. Σε περίπτωση όπου η καμπύλη αυτή εκτείνεται κάτω από την καμπύλη (s') , τότε απαιτείται ενίσχυση της κατασκευής μας.

Αναλύοντας τις καμπύλες του Διαγράμματος 2, ισχύει ότι (Δρίτσος 2005; Ζωιτάκης χ.χ.):

- Η καμπύλη (a) αναπαριστά τη συμπεριφορά μιας κατασκευής πριν την ενίσχυση
- Η καμπύλη (b) αναπαριστά τη συμπεριφορά μιας κατασκευής μετά την ενίσχυση της, εφόσον έχει επιτυγχάνεται η αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής του φορέα.
- Η καμπύλη (c) αναπαριστά τη συμπεριφορά μιας κατασκευής μετά την ενίσχυση της, όταν αναιρούνται πρώιμοι τρόποι αστοχίας και αυξάνεται η πλαστιμότητα του φορέα.
- Η καμπύλη (d) αναπαριστά τη συμπεριφορά μιας κατασκευής μετά την ενίσχυση της, όταν συγχρόνως επιτυγχάνεται η αύξηση της αντοχής, της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητας του φορέα.



Διάγραμμα 2: Στρατηγικές ενίσχυσης (Δρίτσος 2005)

Διακρίνουμε λοιπόν τέσσερις στρατηγικές όσο αφορά αντισεισμική ενίσχυση ανάλογα με την επιδιωκόμενη σεισμική συμπεριφορά της κατασκευής (Δρίτσος 2005; Ζωιτάκης χ.χ.; Κ.Σπυράκος 2004; Σταθόπουλος χ.χ.):

- Τοπικές επεμβάσεις στο φορέα για βελτίωσή του
- Αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής του κτιρίου
- Αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης του κτιρίου
- Μείωση της σεισμικής απαίτησης της κατασκευής

5.6.1. Τοπικές επεμβάσεις στο φορέα για βελτίωσή του

Η στρατηγική βελτίωσης ενός φορέα με τοπικές επεμβάσεις εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου ενώ η κατασκευή διαθέτει τα βασικά στοιχεία ενός επαρκούς συστήματος ανάληψης σεισμικών φορτίων, εντούτοις, στερείται ορισμένων κατασκευαστικών λεπτομερειών που είναι απαραίτητες για τη βελτιστοποίηση του συστήματος και την εξασφάλιση της επιθυμητής λειτουργίας της. Η ικανότητα μετακίνησης μίας τέτοιας κατασκευής μπορεί να είναι επαρκής σε σχέση με τη δεδομένη σεισμική απαίτηση, όμως ενδέχεται ότι πριν επιτευχθεί αυτή η μετακίνηση θα συμβούν τοπικές αστοχίες σε διάφορα σημεία της κατασκευής. Τα αίτια μιας τέτοιου είδους τοπικής αστοχίας είναι το ανεπαρκές μήκος έδρασης στις θέσεις των στηρίξεων προκατασκευασμένων στοιχείων, καθώς και η ανεπαρκής αγκύρωση (Εικόνα 55) ή σύνδεση των στοιχείων του φέροντος οργανισμού τόσο μεταξύ τους όσο και με τα στοιχεία του μη φέροντος οργανισμού. Επομένως, μια τοπική επέμβαση για την διόρθωση αυτών των ατελειών, θα επέτρεπε στην κατασκευή να συμπεριφερθεί με τον επιθυμητό τρόπο (Ζωιτάκης χ.χ.; Κ.Σπυράκος 2004).

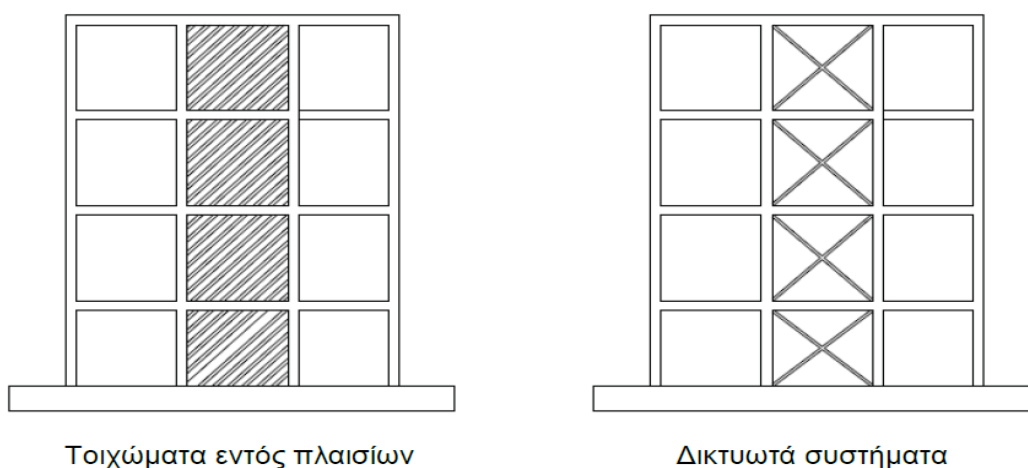


Εικόνα 55: Ανεπαρκής αγκύρωση πάνω και κάτω ράβδων δοκού (Γιαννόπουλος 2000)

5.6.2. Αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής του κτιρίου

Αυτού του είδους στρατηγική είναι η πιο διαδεδομένη σε θέματα βελτίωσης της σεισμικής συμπεριφοράς σε κατασκευές με ανεπαρκές σύστημα ανάληψης σεισμικών φορτίων. Αν και οι δύο στρατηγικές σχετίζονται μεταξύ τους, η κύρια διαφορά τους έγκειται στο γεγονός, ότι μέσω της αύξησης της δυσκαμψίας επιτυγχάνεται μείωση της απαίτησης σε μετακίνηση, ενώ με την αύξηση της αντοχής επιτυγχάνεται επιπλέον αύξηση της σεισμικής δύναμης που απαιτείται ώστε να προκληθούν βλάβες στην κατασκευή μας. Επομένως, εάν η αύξηση της αντοχής γίνει χωρίς ταυτόχρονη αύξηση της δυσκαμψίας, τότε η ενισχυμένη κατασκευή μπορεί για μεγαλύτερα σεισμικά φορτία να μην υποστεί βλάβες.

Η αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής του φορέα αποτελούν στρατηγικές που εφαρμόζονται κατά κανόνα παράλληλα, αφού τα περισσότερα συστήματα που αυξάνουν την αντοχή μίας κατασκευής, όπως είναι η προσθήκη τοιχωμάτων ή πλαισίων, αυξάνουν και τη δυσκαμψία της (Εικόνα 56). Εξαίρεση του κανόνα αυτού αποτελούν τα τοπικά μέτρα ενίσχυσης τα οποία αυξάνουν την αντοχή συγκεκριμένων στοιχείων χωρίς να μεταβάλουν σημαντικά τη δυσκαμψία τους (Ζωιτάκης χ.χ.; Κ.Σπυράκος 2004).



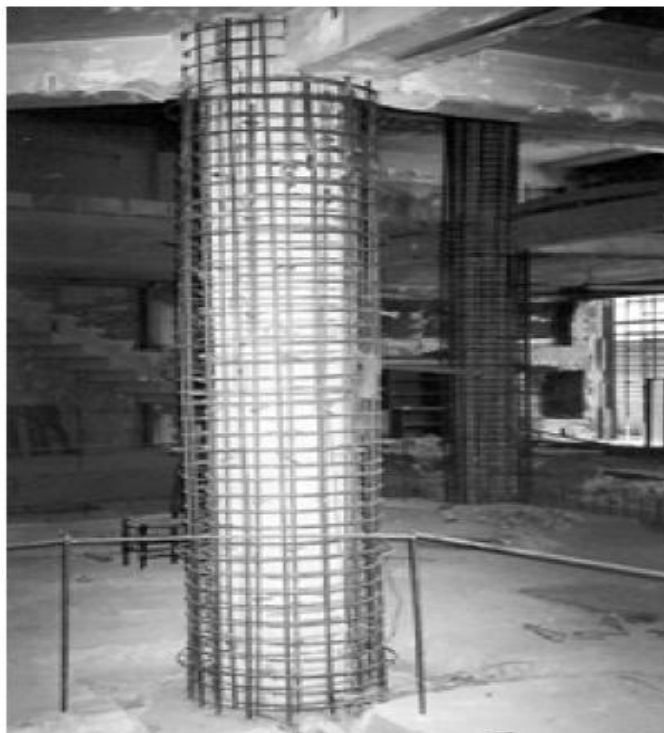
Εικόνα 56: Ενίσχυση κατασκευής με προσθήκη τοιχωμάτων ή δικτυωτών συνδέσμων

5.6.3. Αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης του κτιρίου

Η αύξησης της ικανότητας των στοιχείων του φέροντος οργανισμού να διατηρούν την αντοχή τους για μεγάλες παραμορφώσεις, είναι μία σχετικά νέα μέθοδος σεισμικής ενίσχυσης κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι κυριότερες μέθοδοι για την επίτευξη αυτής

της ικανότητας της κατασκευής οι οποίες απαιτούν πολύ μικρότερη αρχιτεκτονική παρέμβαση στο κτίριο, σε σχέση με αυτές που αφορούν σε αύξηση της αντοχής ή της δυσκαμψίας είναι (Ζωιτάκης χ.χ.; Κ.Σπυράκος 2004):

- Επιβολή εξωτερικής περίσφιγξης σε υφιστάμενα στοιχεία της κατασκευής (Εικόνα 57)
- Τοπική απομείωση της δυσκαμψίας της κατασκευής
- Τροποποίηση στοιχείων (κυρίως κατακόρυφων) του φέροντος οργανισμού ώστε να μεταβληθούν οι προβλεπόμενοι μηχανισμοί αστοχίας
- Παροχή επιπλέον στήριξης σε περιοχές που αστοχούν λόγω υπερβολικών μετακινήσεων



Εικόνα 57: Ενίσχυση υποστυλώματος με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (Κ.Σπυράκος 2004)

5.6.4. Μείωση της σεισμικής απαίτησης της κατασκευής

Η στρατηγική αυτή, έχει ως στόχο την επιβολή μεταβολών στην υφιστάμενη κατασκευή έτσι ώστε να μειωθούν οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις και παραμορφώσεις λόγω σεισμού. Μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή αυτής της στρατηγικής είναι (Ζωιτάκης χ.χ.; Κ.Σπυράκος 2004):

- Η μείωση της μάζας της κατασκευής η οποία οδηγεί σε μείωση των αδρανειακών δυνάμεων και της συνολικής απαίτησης σε μετακίνηση της κατασκευής
- Η εγκατάσταση συστημάτων σεισμικής μόνωσης (απαιτείται συνήθως εισαγωγή εύκαμπτων εφεδράνων κοντά στη θεμελίωση της κατασκευής) (Εικόνα 58) ή/και απορρόφησης ενέργειας, τα οποία συστήματα μπορούν να παρέχουν προστασία όχι μόνο στο φέροντα οργανισμό του κτιρίου αλλά και στα περιεχόμενά του.



Εικόνα 58: Σεισμική μόνωση με εφεδράνα (‘Εφεδράνα-Σεισμική Μόνωση - ΕΛΕΜΚΑ’ χ.χ.)

5.7. Επιλογή συστήματος επεμβάσεων

Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος εξαρτάται όπως έχει προαναφερθεί τόσο από την εφαρμοσιμότητα της κάθε επέμβασης, όσο και από το οικονομικό κόστος που θα αποκομιστεί ο ιδιοκτήτης της κατασκευής. Παρόλα αυτά, κύριο μέλημα του μηχανικού είναι, με την επιλογή και εφαρμογή του οποιουδήποτε συστήματος επεμβάσεων να επιτύχει τον επιδιωκόμενο στόχο του. Επομένως, οι μέθοδοι επεμβάσεων βάση τον επιδιωκόμενο στόχο ταξινομείται ως εξής (Κ.Σπυράκος 2004; Σταθόπουλος χ.χ.):

- Εάν ο στόχος είναι η αύξηση της δυσκαμψίας καθώς και της αντοχής της κατασκευής, τότε η πλέον αποτελεσματική μέθοδος είναι η προσθήκη

τοιχωμάτων εντός των πλαισίων του φορέα. Ακολουθεί η μέθοδος της προσθήκης δικτυωτών συνδέσμων, η μέθοδος της προσθήκης τοιχωμάτων κατ' επέκταση υφιστάμενων υποστυλωμάτων και η χρήση σύνθετων υλικών

- Εάν ο στόχος είναι η αύξηση της πλαστιμότητας, τότε η μέθοδος που εφαρμόζεται ως συνήθως, είναι η κατασκευή μανδυνών σε ένα πλήθος επιλεγμένων υποστυλωμάτων, καθώς και η χρήση σύνθετων υλικών
- Εάν ο στόχος είναι η ταυτόχρονη αύξηση αντοχής, της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητας της κατασκευής τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε από τις μεθόδους ενίσχυσης λαμβάνοντας υπόψη τον επιθυμητό βαθμό αύξησης του μεγέθους καθενός από τα παρακάτω χαρακτηριστικά

Πρέπει να επισημανθεί ότι συχνά είναι σκόπιμο να εφαρμόζεται ένας συνδυασμός μεθόδων ή επιμέρους τεχνικών ώστε να προκύψει η καλύτερη οικονομοτεχνικά λύση. Επίσης πρέπει να γίνει κατανοητό ότι πολλές φορές η μέθοδος επέμβασης που επιλέγεται ως καταλληλότερη δεν είναι τεχνικά εφικτή, καθώς και σε κάθε περίπτωση κτιρίου η επιλογή του συστήματος επεμβάσεων μπορεί να διαφέρει από τις προαναφερθέντες διαδικασίες.

Περισσότερες λεπτομέρειες περί τεχνικών επισκευής και ενισχύσεις των κτηρίων αναλύονται με περισσότερη λεπτομέρεια στις επόμενες ενότητες.

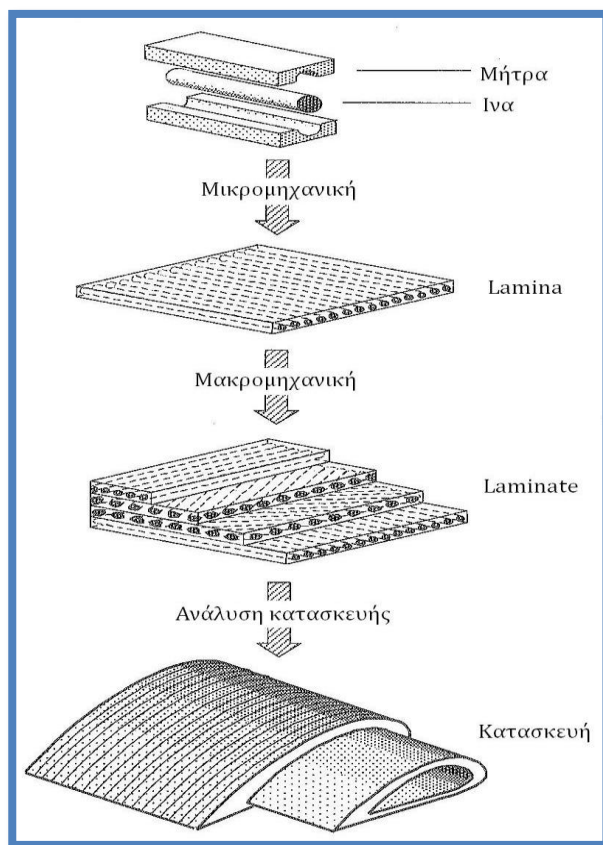
6. Υλικά ενίσχυσης και αποκατάστασης κτιρίων

6.1. Ινοπλισμένα πολυμερή(FRP) – Σύνθετα υλικά

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί μία νέα τεχνική ενίσχυσης, η οποία βασίζεται στη χρήση προηγμένων υλικών που αποτελούνται από το συνδυασμό ινών (π.χ. άνθρακα, γυαλιού) σε μήτρα εποξειδικής ρητίνης. Τα υλικά της ενίσχυσης αυτής, είναι γνωστά ως ινοπλισμένα πολυμερή ή απλά σύνθετα υλικά (Εικόνα 59) (Χιώτης.Δ 2012).

Τα χαρακτηριστικά των ινοπλισμένων πολυμερών (Εικόνα 60), εξαρτώνται από την περιεκτικότητα τους σε ίνες, ενώ οι πιο σημαντικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών είναι η δυσκαμψία, η αντοχή, η ανθεκτικότητα, η πυκνότητα και οι θερμικές ιδιότητες (διαστολή και αγωγιμότητα) (‘Ενίσχυση υποστυλωμάτων:Περίσφιξη με χρήση ινοπλισμένων πολυμερών (FRP)’ χ.χ.).

Η εφαρμογή τους ως μόνιμος οπλισμός ενίσχυσης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος, συνίσταται σε εξωτερικές επιφάνειες δομικών στοιχείων, με προσανατολισμό ινών τέτοιο ώστε να παραλαμβάνουν σημαντικές εφελκυστικές δυνάμεις, επικολλώμενες με εποξειδικές ρητίνες. Οι ρητίνες αυτές, διατίθενται σε μορφή δύσκαμπτων λωρίδων ή εύκαμπτων υφασμάτων (Χιώτης.Δ 2012). Συμπληρωματικά, τα σύνθετα υλικά, χρησιμοποιούνται για ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής, για έλεγχο ρηγματώσεων και συρραφή ρωγμών, ενίσχυση υποστυλωμάτων με επιβολή εξωτερικής περίσφιξης και αύξηση της πλαστιμότητας τους, για αύξηση της αντοχής σε τέμνουσα. Επίσης, εφαρμόζονται για αύξηση της αντοχής σε κάμψη κυρίως πλακών και δοκών οπλισμένου σκυροδέματος, για ενίσχυση σε κρούση με εφαρμογές κυρίως σε υποστυλώματα



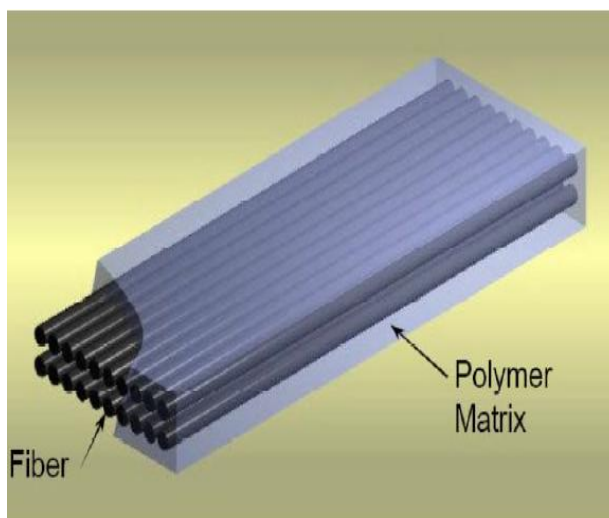
Εικόνα 59: Μηχανική των σύνθετων υλικών (Ι, Λαγίου 2012)

και βάθρα γεφυρών, καθώς και για βελτιστοποίηση της ικανότητας ανάληψης σεισμικών φορτίων (Κωνσταντίνος χ.χ.).

Τα σύνθετα υλικά χωρίζονται στους ακόλουθους δύο τύπους (Ζώσιμα και Στρατήγη 2007; Π.Σταυρόπουλος 2007; Τσώλου 2012):

A. Συστήματα υγρής εφαρμογής:

- Φύλλα ή υφάσματα αποτελούμενα από συνεχείς ίνες μιας διεύθυνσης, χωρίς μήτρα
- Υφάσματα αποτελούμενα από συνέχεις ίνες σε δύο τουλάχιστον διευθύνσεις, χωρίς μήτρα
- Φύλλα ή υφάσματα αποτελούμενα από συνεχείς ίνες μίας διεύθυνσης προεμποτισμένα με ρητίνη σε μη σκληρυμένη μορφή
- Φύλλα ή υφάσματα αποτελούμενα από συνεχείς ίνες σε τουλάχιστον δύο διευθύνσεις, προεμποτισμένα με ρητίνη σε μη σκληρυμένη μορφή
- Συνεχείς ίνες χωρίς μήτρα, συγκεντρωμένες σε μορφή νήματος, το οποίο εμποτίζεται με ρητίνη καθώς τυλίγεται στο υπό ενίσχυση δομικό μέλος
- Προεμποτισμένες συνεχείς ίνες, συγκεντρωμένες σε μορφή νήματος, το οποίο ενώ τυλίγεται στο υπό ενίσχυση δομικό μέλος, υφίσταται ενδεχομένως και πρόσθετο οπλισμό



Εικόνα 60: Τυπική σύνθεση σύνθετου υλικού (Ινοπλισμένου πολυμερές) (Ι, Λαγίου 2012)

B. Προκατασκευασμένα Υλικά:

- Προκατασκευασμένα ευθύγραμμα ελάσματα, τα οποία επικολλούνται μέσω ρητίνης. Διατίθενται συνήθως σε μορφή ρολών, και παράγονται με τη μέθοδο εξέλασης ή σπανιότερα της στρωμάτωσης
- Προκατασκευασμένες ράβδοι κυκλικής ή ορθογωνικής διατομής, οι οποίες τοποθετούνται σε επιφανειακές εγχοπές γεμισμένες με ρητίνη ή πολυμερή κονίαμα
- Προκατασκευασμένα κελύφη, μανδύες ή γωνίες, τα οποία επικολλούνται μέσω ρητίνης

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των σύνθετων υλικών είναι (Χιώτης.Δ 2012):

- Χαμηλό ειδικό βάρος και επομένως ελάχιστο προστιθέμενο βάρος στην κατασκευή ($1/4 - 1/5$ του βάρους του χάλυβα) (Ζώσιμα και Στρατήγη 2007; Χιώτης.Δ 2012)
- Αύξηση αντοχής και παραμορφωσιμότητας της κατασκευής, χωρίς οποιαδήποτε μεταβολή της γεωμετρίας της ή της δυσκαμψίας της (Ζώσιμα και Στρατήγη 2007)
- Εξαιρετικά μικρό πάχος της τάξεως του 1mm
- Εξαιρετικά υψηλή εφελκυστική αντοχή (πολλαπλάσια του χάλυβα)
- Διαθεσιμότητα υλικού σε πολλά, διαφορετικά και μεγάλα μήκη (χωρίς ανάγκη ματίσεων και άλλων συναφών ατελειών)
- Έχουν μεγάλη «ευκαμψία» και επομένως και εργασιμότητα
- Απλή και γρήγορη εφαρμογή, εύκολη εγκατάσταση
- Αυξημένη ανθεκτικότητα σε διάβρωση
- Μικρός χρόνος εκτέλεσης εργασίας
- Όσο αφορά την ρητίνη, υπάρχει συμβατότητα με το υπόστρωμα
- Αναστρεψιμότητα της επέμβασης

Αντίθετα, τα βασικότερα μειονεκτήματα των σύνθετων υλικών είναι (Ζώσιμα και Στρατήγη 2007; Χιώτης.Δ 2012):

- Χαμηλή αντίσταση σε υψηλές θερμοκρασίες
- Έλλειψη πλαστιμότητας (όμως όχι παραμορφωσιμότητας)
- Σχετικά υψηλό κόστος
- Περιορισμένα ειδικευμένα συνεργεία

6.1.1. Κατηγορίες σύνθετων υλικών

6.1.1.1. Ίνες

Οι ίνες, είναι συνήθως διαμέτρου 5-25μm και αναλαμβάνουν δυνάμεις (κατά κανόνα εφελκυστικές) παράλληλα στη διεύθυνση τους. Βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η εξαιρετικά υψηλή εφελκυστική αντοχή και η γραμμικά ελαστική συμπεριφορά μέχρι τη θραύση τους (Καϊάφας και Τσαμόπουλος 2006; Π.Σταυρόπουλος 2007; Χιώτης,Δ 2012). Οι συνηθέστεροι τύποι ινών που χρησιμοποιούνται στις ενισχύσεις είναι οι ίνες άνθρακα (ανθρακονήματα), οι ίνες γυαλιού (υαλονήματα) και οι ίνες αραμιδίου. Τυπικές ιδιότητες των ινών ανάλογα με το υλικό παρασκευής τους αναφέρονται στον Πίνακα 5:

Πίνακας 5: Τυπικές Ιδιότητες των ινών (Χιώτης,Δ 2012)

Υλικό	Μέτρο Ελαστικότητας(GPa)	Εφελκυστική αντοχή (MPa)	Οριακή παραμόρφωση εφελκυστικής αστοχίας(%)
Άνθρακας			
Υψηλής αντοχής	215-235	3500-4800	1.4-2
Υπέρ-υψηλής αντοχής	215-235	3500-6000	1.5-2.3
Υψηλού μέτρου ελαστικότητας	350-500	2500-3100	0.5-0.9
Υπέρ-υψηλού μέτρου ελαστικότητας	500-700	2100-2400	0.2-0.4
Γυαλί			
E	70-75	1900-3000	3-4.5
Z	70-75	1900-3000	3-4.5
S	85-90	3500-4800	4.5-5.5
Αραμίδιο			
Χαμηλού μέτρου ελαστικότητας	70-80	3500-4100	4.3-5
Υψηλού μέτρου ελαστικότητας	115-130	3500-4000	2.5-3.5

6.1.1.1.1. Ίνες άνθρακα

Οι ίνες άνθρακα (Εικόνα 61) έχουν πυκνότητα περίπου 1800-1900 Kg/m³ και παρασκευάζονται είτε από θερμική κατεργασία του πολυακρυλονιτριλίου είτε μέσω απόσταξης κάρβουνου (Ζώσιμα και Στρατήγη 2007). Αυτές που παρασκευάζονται με βάση

την πρώτη διαδικασία, είναι πιο μεγάλης αντοχής από της δεύτερης διαδικασίας. Οι ίνες αυτές, έχουν υψηλό μέτρο ελαστικότητας (200-700GPa) και οριακή παραμόρφωση εφελκυστικής αστοχίας 0.2-2.5% (ανάλογα το είδος του νήματος), όπου η μικρότερη παραμόρφωση αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας και αντίστροφα (Καλαντζής και Χριστόπουλος 2006; Χιώτης.Δ 2012). Επιπρόσθετα, δεν απορροφούν νερό και είναι χημικά αδρανείς στους περισσότερους διαλύτες. Παρουσιάζουν εξαιρετική ανθεκτικότητα σε ερπυσμό, κόπωση και διάβρωση, καθώς έχουν μεγάλη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες (Χιώτης.Δ 2012).

Πλεονεκτήματα ινών άνθρακα (ΛΕΥΤΕΡΗΣ χ.χ.):

- Έχουν μικρό βάρος
- Η τοποθέτηση τους είναι εύκολη και η εφαρμογή τους γρήγορη
- Έχουν μεγάλη εφελκυστική αντοχή
- Αντέχουν στο χρόνο, τη κόπωση, την υγρασία, και τη διάβρωση
- Μηδαμινή αλλοίωση της αρχιτεκτονικής της κατασκευής κατά την διάρκεια της εφαρμογής τους
- Δεν επηρεάζουν την στατική ακαμψία του φέροντος οργανισμού



Εικόνα 61: Εφαρμογή ανθρακονήματος (Κωνσταντίνος χ.χ.)

6.1.1.1.2. Ίνες υάλου

Οι ίνες υάλου παράγονται από λειωμένο γυαλί το οποίο δε παρουσιάζει ούτε πλήρως κρυσταλλική δομή αλλά ούτε και ιδιότητες ρευστού. Έχουν πυκνότητα 2300-2500Kg/m³ (Ζώσιμα και Στρατήγη 2007; Παπαθανασίου 2005), μέτρο ελαστικότητας 70-90GPa, καθώς

η οριακή παραμόρφωση εφελκυστικής αστοχίας τους είναι 3-5.5%. Οι ίνες αυτές, χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: στις ίνες τύπου E, τύπου Z και τύπου S (Χιώτης.Δ 2012).



Εικόνα 62: Ίνες υάλου

Αναλυτικότερα, οι ίνες τύπου E αποτελεί τον πιο κοινό και συνηθισμένο τύπο γυαλιού. Κύριο μειονέκτημα τους είναι η μείωση της αντοχής τους σε αλκαλικό περιβάλλον, όπως αυτό του σκυροδέματος (Παπαθανασίου 2005; Χιώτης.Δ 2012). Οι ίνες τύπου Z παρουσιάζουν υψηλή αντοχή σε αλκαλικό περιβάλλον ενώ οι ίνες τύπου S έχουν υψηλή αντοχή και μέτρο ελαστικότητας. Οι ίνες τύπου S παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή και μέτρο ελαστικότητας απ' ότι οι τύπου E, αλλά είναι πολύ ακριβότερες, γεγονός που περιορίζει τις εφαρμογές τους (Καϊάφας και Τσαμόπουλος 2006; Χιώτης.Δ 2012).

Γενικότερα, οι ίνες από γυαλί είναι ευαίσθητες στην υγρασία, όμως μπορούν να προστατευθούν με τη κατάλληλη επιλογή μήτρας. Είναι ευπαθείς στη διάβρωση, χωρίς όμως να παρουσιάζουν ερπυστικές παραμορφώσεις (Κ.Σπυράκος 2004; Χιώτης.Δ 2012). Τέλος, η αντοχή τους σε κόπωση είναι μικρότερη από τα φύλλα άνθρακα ή αραμιδίου (Χιώτης.Δ 2012).

6.1.1.1.3. Ίνες αραμιδίου (οργανικές ίνες)

Οι ίνες αραμιδίου που διατίθενται στη διεθνή αγορά διακρίνονται σε αυτές οι οποίες προέρχονται από αρωματικό πολυαμίδιο και σε εκείνες οι οποίες προέρχονται από αρωματικό πολυαιθεραμίδιο. Έχουν πυκνότητα 1450kg/m^3 , μέτρο ελαστικότητας 70-13GPa και οριακή παραμόρφωση εφελκυστικής αστοχίας 2.5-5% (Χιώτης.Δ 2012).

Βασικό πλεονέκτημα των ινών αυτών, είναι η εξαιρετική συμπεριφορά σε κρουστικά φορτία, γι' αυτό και τα τελευταία χρόνια προτιμούνται για τη κατασκευή μανδυνών σε υποστυλώματα γεφυρών, όπου υπάρχει κίνδυνος πρόσκρουσης οχημάτων. Είναι πολύ ευαίσθητες σε θερμό περιβάλλον με υψηλό ποσοστό υγρασίας και ταυτόχρονα, παρουσιάζουν ερπυστικές παραμορφώσεις υπό δεδομένη τάση. Επιπρόσθετα, χαρακτηρίζονται από υψηλή εφελκυστική αντοχή και ελαστικότητα, καθώς και χαμηλό βάρος ('Ενίσχυση υποστυλωμάτων:Περίσφιξη με χρήση ινοπλισμένων πολυμερών (FRP)' χ.χ.; Χιώτης.Δ 2012). Οι ίνες αραμιδίου

χρησιμοποιούνται λιγότερο συχνά από τον άνθρακα ή το γυαλί, στο χώρο των επισκευών και ενισχύσεων.

6.1.1.2. Μήτρα

Η μήτρα στα σύνθετα υλικά αποτελεί τη συγκολλητική ύλη μεταξύ των ινών και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, αυτές από θερμοσκληρυνόμενα και θερμοπλαστικά πολυμερή (Ζώσιμα και Στρατήγη 2007). Τα θερμοσκληρυνόμενα χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι οι εποξειδικές ρητίνες και σπανιότερα ο πολυεστέρας ή βινυλεστέρας. Επομένως, ο συνηθέστερος τύπος μήτρας είναι οι ρητίνες. Οι ρητίνες είναι ευπαθείς στη θερμότητα και την πυρκαγιά και εμφανίζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στους χημικούς διαλύτες, τα οξέα, τις βάσεις και το νερό σε σχέση με τις ίνες. Όλα τα είδη των ρητινών παρουσιάζουν επίσης σημαντικές ερπυστικές παραμορφώσεις σε σχέση με τα παραδοσιακά δομικά υλικά. Παρόλο αυτά, ο ρόλος της μήτρας είναι πολύ σημαντικός στα σύνθετα υλικά για τους ακόλουθους λόγους (Ένισχυση υποστρωμάτων: Περίσφιξη με χρήση ινοπλισμένων πολυμερών (FRP) χ.χ.; Π. Σταυρόπουλος 2007; Σταθόπουλος χ.χ.):

- Συγκρατεί τις ίνες στην επιθυμητή θέση και διεύθυνση
- Εξασφαλίζει την μεταφορά των φορτίων στις δύσκαμπτες ίνες
- Προστατεύει τις ίνες από εξωτερικούς παράγοντες που μπορεί να τις καταστρέψουν
- Καθορίζει αρκετές από τις μηχανικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών όπως είναι η διατμητική και θλιπτική αντοχή κάθετα στην διεύθυνση των ινών.

Τα κυριότερα είδη ρητινών που χρησιμοποιούνται στην επισκευή και ενίσχυση των κατασκευών παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6: Είδη ρητινών και χαρακτηριστικά τους (Χιώτης, Δ 2012)

Είδος ρητίνης	Μέτρο ελαστικότητας E (GPa)	Εφελκυστική αντοχή (MPa)	Οριακή παραμόρφωση εφελκυστικής αστοχίας (%)	Πυκνότητα (gr/cm ³)
Εποξειδική	2-4.5	55-130	4-14	1.1-1.3
Πολυεστερική	2.1-4.1	20-105	1-6.5	1-1.45
Βινυλεστερική	3-3.6	73-81	3.5-5.5	1.12-1.32

6.1.1.2.1. Εποξειδικές ρητίνες

Οι εποξειδικές ρητίνες είναι θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή και αποτελούν το πιο κοινό υλικό τόσο ως μήτρες, όσο και για τη συγκόλληση του παραχθέντος σύνθετου υλικού (Παπαθανασίου 2005). Υπερέχουν των άλλων τύπων μήτρας λόγω της μεγάλης αντοχής, της μεγάλης συγκολλητικής τους ικανότητας, της ανθεκτικότητας τους σε κόπωση και χημική διάβρωση, της μεγάλης ανθεκτικότητας τους σε δυσμενείς περιβαλλοντικές επιδράσεις, και του γεγονότος ότι είναι περισσότερο ευπαθείς στη θερμότητα και την πυρκαγιά και περισσότερο ευαίσθητες στο νερό απ' ότι οι ίνες (Ζώσιμα και Στρατήγη 2007; Καϊάφας και Τσαμόπουλος 2006; Καλαντζής και Χριστόπουλος 2006; Σταθόπουλος χ.χ.). Οι ιδιότητες τους εξαρτώνται σημαντικά από τη ρητίνη βάσης και τις χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται για τη παραγωγή τους (Χιώτης.Δ 2012). Στον Πίνακα 7 αναφέρονται τυπικές ιδιότητες εποξειδικών ρητινών που χρησιμοποιούνται σε κατασκευαστικά έργα, συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες του σκυροδέματος και του χάλυβα.

Πίνακας 7: Ενδεικτικές ιδιότητες εποξειδικών ρητίνων και σύγκριση με σκυρόδεμα και χάλυβα (Π.Σταυρόπουλος 2007)

<i>Ιδιότητα (σε 20 °C)</i>	Εποξειδική ρητίνη	Σκυρόδεμα	Χάλυβας
Πυκνότητα	1100-1700	2350	7800
Μέτρο Ελαστικότητας	0.5-20	20-50	205
Μέτρο διάτμησης	0.2-8	8-21	80
Λόγος Poisson	0.3-0.4	0.2	0.3
Εφελκυστική αντοχή	9-30	1-4	200-600
Διατμητική αντοχή	10-30	2-5	150-400
Θλιπτική αντοχή	55-110	25-150	200-600
Οριακή παραμόρφωση σε εφελκυσμό (%)	0.5-5	0.015	20-25
Ενέργεια θραύσης	200-1000	100	10 ⁵ -10 ⁶
Συντελεστής θερμικής διαστολής	25-100	11-13	10-15
Υδατοαπορροφητικότητα 7 ημ – 25 °C (% κ.β)	0.1-3	5	0
Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (°C)	50-80	-----	-----

6.1.1.2.1.1. Ρητινενέσεις (Τεχνική)

Η χρήση των ρητινενέσεων είναι ιδιαίτερα αυξημένη στις επεμβάσεις κυρίως για την αποκατάσταση ρωγμών αλλά και για άλλες εφαρμογές. Οι ρητινενέσεις θεωρούνται μέθοδοι χρήσης των εποξειδικών ρητινών. Η τεχνική της ρητινένεσης γίνεται κυρίως στον φέροντα οργανισμό κατασκευών από σκυρόδεμα και στις τοιχοποιίες. Στοχεύει στην επανάκτηση της αρχικής φέρουσας ικανότητας ρηγματωμένων φορέων καθώς και της ακαμψίας τους. Συμπληρωματικά, συνιστάται για την προστασία κατά της διάβρωσης του οπλισμού, τη δημιουργία ανθεκτικής σύνδεσης τμημάτων σκυροδέματος και για τη στεγανοποίηση (Κωνσταντίνος χ.χ.).



Εικόνα 63: Εφαρμογή ρητινενέσεων (Κωνσταντίνος χ.χ.)

Τα βασικά πλεονεκτήματα των ρητινενέσεων είναι (Αγγελή και Σταματοπούλου 2011; Κωνσταντίνος χ.χ.):

- Υψηλή πρόσφυση με το σκυρόδεμα και το χάλυβα
- Μικρή συστολή ξήρανσης και μικρός βαθμός ερπυσμού
- Επιτρέπουν την εισχώρηση σε όλο το βάθος της ρωγμής λόγω του χαμηλού ιξώδους τους
- Έχουν εξαιρετική ανθεκτικότητα σε περιβαλλοντικές προσβολές
- Διατηρούν τη συνάφεια με την πάροδο του χρόνου
- Δεν επηρεάζουν τις διαστάσεις των στοιχείων προς εφαρμογή
- Ως υλικό οι εποξειδικές ρητίνες έχουν αντοχή 5-10 φορές μεγαλύτερη από το σκυρόδεμα σε θλίψη και περίπου 2-6 φορές σε εφελκυσμό
- Έχουν αρκετά μεγάλη συγκολλητική ικανότητα
- Δεν παρουσιάζουν οποιαδήποτε γήρανση

Βασικό τους μειονέκτημα είναι τα προβλήματα που παρουσιάζει η ρητίνη όπως η κακή συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες και το υψηλό της κόστος (Αγγελή και Σταματοπούλου 2011).

6.1.1.2.2. Πολυεστερικές ρητίνες

Οι πολυεστερικές ρητίνες αποτελούν τον κύριο όγκο των πολυμερών που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία παραγωγής σύνθετων υλικών. Εξαιτίας της μεγάλης ποικιλίας των συστατικών στοιχείων τους, οι ιδιότητες των ρητινών διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Μειονέκτημα τους είναι ότι οι πολυεστέρες είναι ευπαθείς στο νερό μεγάλης θερμοκρασίας και τις βάσεις, ενώ παρουσιάζουν μέτρια ανθεκτικότητα στους διαλύτες και τα οξέα. Είναι λιγότερο ανθεκτικοί στην κόπωση από τα άλλα δύο είδη ρητινών, αλλά το μεγαλύτερο μειονέκτημα για χρήση σε κατασκευές που δεν έχουν εκκενωθεί είναι η δυσάρεστη οσμή λόγω της χημικής τους σύστασης (Σταθόπουλος χ.χ.; Χιώτης.Δ 2012).

6.1.1.2.3. Βινυλεστερικές ρητίνες

Οι βινυλεστερικές ρητίνες είναι υβριδικές ρητίνες που παράγονται με αλυσιδωτές αντιδράσεις ενός εποξικού πολυμερούς με ακρυλικές ή μεθακρυλικές ενώσεις. Έτσι, λόγω της παρουσίας του εποξικού πολυμερούς στην σύστασή τους είναι περισσότερο εύκαμπτες, σκληρότερες, πιο ανθεκτικές σε κόπωση και λιγότερο χημικά ενεργές σε σχέση με τις πολυεστερικές (Σταθόπουλος χ.χ.).

Οι ρητίνες αυτές είναι λιγότερο συγκολλησιμες και παρουσιάζουν μικρότερη αντοχή σε κόπωση σε σχέση με τις εποξειδικές. Επιπρόσθετα, λόγω της χημικής τους σύστασης, παρουσιάζουν το ίδιο πρόβλημα δυσοσμίας με τις πολυεστερικές ρητίνες (Κ.Σπυράκος 2004).

6.1.1.3. Κόλλα

Η κόλλα χρησιμοποιείται ως εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών και εφαρμόζεται μεταξύ του σκυροδέματος (υποστρώματος) και του σύνθετου υλικού εξασφαλίζοντας έτσι τη συνεργασία τους και τη μεταφορά τάσεων από το πρώτο στο δεύτερο (Ζώσιμα και Στρατήγη 2007; Καϊάφας και Τσαμόπουλος 2006; Π.Σταυρόπουλος 2007).

Η κόλλα πρέπει να εφαρμόζεται γρήγορα έτσι ώστε, να μην αρχίσει να μειώνεται το ιξώδες της και να σκληρύνεται στο δοχείο όπου έγινε η ανάμιξη. Ενδεικτικοί χρόνοι για ποσότητα (τυπικής) κόλλας 5Kg είναι 90min σε 15 °C και 30min σε 35°C (Χιώτης.Δ 2012).

6.2. Σκυρόδεμα

6.2.1. Οπλισμένο ή Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Εικόνα 64) που χρησιμοποιείται σε έργα ενισχύσεων είναι σκυρόδεμα λεπτής διαβάθμισης αδρανών το οποίο σκυροδετείται με εκτόξευση από ακροφύσιο ειδικής συσκευής, μαζί με πεπιεσμένο αέρα. Η εφαρμογή του απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό (Κωνσταντίνος χ.χ.).

Το οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται κατά την κατασκευή διαζωμάτων, υπερθύρων και στις αβαθείς θεμελιώσεις. Αντίθετα, το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται στην κατασκευή των μανδυνών, για το οποίο απαιτείται ειδικός εξοπλισμός. Συνιστάται, σε κάθε περίπτωση οι προδιαγραφές του σκυροδέματος να προκύπτουν μετά από σχετική μελέτη αλλά κυρίως να λαμβάνονται ειδικές πρόνοιες για τη σύνδεση των στοιχείων σκυροδέματος με τη φέρουσα τοιχοποιία (Δημοσθένους κ.ά. 2009). Η χρήση του εκτοξευμένου σκυροδέματος συνδυάζεται συνήθως με την ενίσχυση με νέους οπλισμούς και με τη στερέωση λεπτού δομικού πλέγματος εξωτερικώς για τη συγκράτηση του, ιδίως όσο αφορά στρώσεις μεγάλου πάχους (Αλεξανδρή και Στάμου χ.χ.).



Εικόνα 64: Ενίσχυση με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (‘Mavrogiannakis S.A.’ χ.χ.)

Τα χαρακτηριστικά του εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι (Πίνακας 8) (Κωνσταντίνος χ.χ.; Χαρίτου κ.ά. 2013):

- Έχει υψηλή θλιπτική αντοχή σε σύντομο εξαιτίας της μεγάλης ταχύτητας εκτόξευσης η οποία επιφέρει ιδιαίτερα υψηλή συμπίκνωση
- Έχει υψηλή πυκνότητα και κατ’ επέκταση χαμηλή διαπερατότητα

- Η πρόσφυση του με το υφιστάμενο στοιχείο είναι ιδιαίτερα υψηλή λόγω της μεγάλης ταχύτητας εκτόξευσης
- Έχει καλή αντίσταση στη διάβρωση και τις χημικές ουσίες
- Μπορεί να πάρει εύκολα οποιοδήποτε σχήμα και περίγραμμα και να εφαρμοστεί χωρίς ξυλότυπο, καθώς το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αυτοστηρίζεται
- Η σκυροδέτηση μπορεί να υλοποιηθεί σε δυσπρόσιτες θέσεις αφού η εγκατάσταση είναι κινητή

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα εφαρμόζεται κυρίως σε (Χαρίτου κ.ά. 2013):

- Σταθεροποίηση πρανών και εκσκαφών
- Επισκευές σε μεγάλα έργα όπως σήραγγες, φράγματα από σκυρόδεμα, λιμενικά έργα, γέφυρες
- Υψηλής απόδοσης επενδύσεις
- Αποκατάσταση βλαβών λόγω πυρκαγιάς
- Εργασίες επισκευών και ανακατασκευών

Όλα τα παραπάνω ισχύουν για κατασκευές οπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος ακόμα και σε περιοχές με σεισμό, αρκεί η έκταση των βλαβών να είναι μέτρια. Οι συνήθεις μέθοδοι παραγωγής είναι η ξηρά και η υγρή μέθοδος (Εικόνα 65). Σε επεμβάσεις ενισχύσεων εφαρμόζεται κυρίως η ξηρά μέθοδος εφόσον αυτή πλεονεκτεί έναντι της υγρής σε κλειστούς χώρους (Νταμπαμπάς και Μακρίδου 2012).



Εικόνα 65: Εκτόξευση σκυροδέματος με τη ξηρά μέθοδο (Κωνσταντίνος χ.χ.)

Πίνακας 8: Ενδεικτικές ιδιότητες εποξειδικών ρητινών και σύγκριση με σκυρόδεμα και χάλυβα (Χαρίτου κ.ά. 2013)

Ιδιότητα (σε 20°C)	Εποξειδική ρητίνη	Σκυρόδεμα	Χάλυβας
Πυκνότητα (kg/m ³)	1100-1700	2350	7800
Μέτρο ελαστικότητας (KN/mm ²)	0.5-20	20-50	205
Μέτρο διάτμησης (KN/mm ²)	0.2-8.0	8-21	80
Λόγος Poisson	0.3-0.4	0.2	0.3
Εφελκυστική αντοχή (N/mm ²)	9-30	1-4	200-600
Διατμητική αντοχή (N/mm ²)	10-30	2-5	150-400
Θλιπτική αντοχή (N/mm ²)	55-110	25-150	200-600
Οριακή παραμόρφωση σε εφελκυσμό(%)	0.5-5	0.015	20-25
Ενέργεια θραύσης (Jm ⁻²)-κατά προσέγγιση	200-1000	100	10 ⁵ -10 ⁶
Συντελεστής θερμικής διαστολής (10 ⁻⁶ /°C)	25-100	11-13	10-15
Υδατοαπορροφητικότητα: 7ημ.-25°C (%κ.β.)	0.1-3	5	0
Θερμοκρασία ναλώδους μετάπτωσης(°C)	50-80	/	/

6.2.2. Έγχυτο σκυρόδεμα

Το έγχυτο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται κυρίως στις περιπτώσεις που μπορούν να χωρέσουν σχετικός χονδρά αδρανή και σε επιφάνειες όπου μπορεί να σταθεί το επί τόπου χυνόμενο σκυρόδεμα. Για παράδειγμά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο επάνω πέλμα πλακών ή δοκών (όχι όμως σε κάτω πλέγματα), μέσα σε τύπους για να αποτελέσει μανδύα υποστυλωμάτων ή παρειών δοκών ή ακόμη και για να καλύψει τον τυχόν πρόσθετο οπλισμό ενισχύσεως. Η μέγιστη διάσταση κόκκου των αδρανών του έγχυτου σκυροδέματος δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1/5 της μικρότερης ελεύθερης διαστάσεως του χώρου που σκυροδετείτε, και θα πρέπει η ρευστότητα του κατά την διάστρωση του να είναι ικανοποιητική για τον καλό εγκιβωτισμό και την καλή πρόσφυση του με το παλαιό σκυρόδεμα και τους οπλισμούς. Συμπληρωματικά, για την διάστρωση του θα πρέπει να χρησιμοποιείται δονητής και κατά την πρώτη εβδομάδα της σκληρύνσεως του θα πρέπει η επιφάνεια του να διατηρείται συνεχώς υγρή (Αλεξανδρή και Στάμου χ.χ.; Νταμπαμπάς και Μακρίδου 2012).

6.3. Μεταλλικά στοιχεία – Μεταλλικά ελάσματα

Τα μεταλλικά ελάσματα (Εικόνα 66), είναι λεπτά χαλύβδινα ελάσματα από ανοξείδωτο χάλυβα με σύννηθες πάχος 1-1.5mm, τα οποία επικολλούνται στην εξωτερική επιφάνεια του προς ενίσχυση δομικού στοιχείου. Το πάχος τους δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να ξεπερνά κατά κύριο λόγο τα 4mm, για το λόγο ότι μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρη αστοχία στη διεπιφάνεια επικόλλησης του ενισχυόμενου στοιχείου, και ιδιαίτερα στην ακραία περιοχή αγκύρωσης τους (Κωτσοβίνος και Παναγιωτάτου 2013; Νταμπαμπάς και Μακρίδου 2012). Χρησιμοποιούνται για την αύξηση αντοχής σε κάμψη και τέμνουσα, με περίσφιγξη, για την μείωση των παραμορφώσεων και της αναμενόμενης ρηγμάτωσης (Αγγελή και Σταματοπούλου 2011). Η μέθοδος των μετάλλων γενικά, απαιτείται για τη συρραφή αποκολλημένων τοίχων, για ριζοπλισμούς, για ελκυστήρες και τένοντες και σε ορισμένες περιπτώσεις για την κατασκευή διαζωμάτων ή την ενίσχυση πατωμάτων. Σε αρκετές περιπτώσεις επιβάλλεται η χρήση ανοξείδωτων μετάλλων για αποφυγή διογκώσεων και πρόκλησης ρωγμών στην τοιχοποιία. Οι ελκυστήρες και οι τένοντες υπόκεινται σε χαλάρωση με την πάροδο του χρόνου λόγω ερπυσμού, γι' αυτό και επιβάλλεται συστηματικός έλεγχος, καθώς και επιλογή μετάλλων ειδικών προδιαγραφών για το σκοπό αυτό (Δημοσθένους κ.ά. 2009).

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



Εικόνα 66: Εφαρμογή μεταλλικών ελασμάτων (Αγγελή και Σταματοπούλου 2011)

Για τα ελάσματα όπως έχει προαναφερθεί, προτιμάται ο ανοξείδωτος χάλυβας, ενώ θα πρέπει να είναι λεπτά για να μην έχουν τάση αποκολλήσεως και επίσης, να είναι εύκαμπτα ώστε να κολλήσουν καλά και να συνεργασθούν με την παλαιά δοκό. Τα ελάσματα πρέπει να συγκολλούνται στο εφελκυσμένο πέλμα των δοκών, ώστε να αναλάβουν ροπές κάμψης ή στις κατακόρυφες παρειές των δοκών, ώστε να παραλάβουν διατμητικές δυνάμεις, είτε στο πέλμα και στις παρειές συγχρόνως (Κρητικού και Λογοθέτη χ.χ.).

Γενικά, η μέθοδος των μετάλλων, αποτελεί μια οικονομική και ιδιαίτερα αποδοτική μέθοδο ενίσχυσης δοκών και πλακών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το προφανές πλεονέκτημα είναι η μείωση των ανοιγμάτων, η δημιουργία νέων σύμμικτων διατομών μεγαλύτερης αντοχής από τις υφιστάμενες, και η επιλογή ενεργητικής ή παθητικής προσέγγισης της ενίσχυσης (Κωνσταντίνος χ.χ.).

6.4. Ριζοπλισμοί (Τεχνική)

Η μέθοδος ριζοπλισμών (Εικόνα 67) έγκειται στην κατασκευή ενός δικτύου οπών στο σώμα της τοιχοποιίας, στις οποίες τοποθετούνται ράβδοι οπλισμού, οι οποίες οπές στην συνέχεια πληρώνονται με ένεμα. Η μέθοδος αυτή, εφαρμόζεται στις περιπτώσεις παλαιών λιθοδομών μεγάλου πάχους για επεμβάσεις τοπικού ή καθολικού χαρακτήρα. Το αποτέλεσμα της είναι η αύξηση της θλιπτικής και διατμητικής αντοχής της τοιχοποιίας ανάλογα με την πυκνότητα τοποθέτησης και τη διάμετρο των ριζοπλισμών. Βασικό μειονέκτημα όμως της μεθόδου είναι η αλλοίωση της δομής της τοιχοποιίας κατά τρόπο μη αναστρέψιμο, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις εφαρμογής σε μνημεία, γι' αυτό και στην συνέχεια θα πρέπει να γίνουν επιπρόσθετες ενέργειες επισκευής της (Κωνσταντίνος χ.χ.).



Εικόνα 67: Κατασκευή και τοποθέτηση ριζοπλισμών (Κωνσταντίνος χ.χ.)

Γενικότερα, η μέθοδος των ριζοπλισμών εφαρμόζεται στις ακόλουθες περιπτώσεις (Κωνσταντίνος χ.χ.):

- Για ενίσχυση πεσσών σε γέφυρες που έχουν ρηγματωθεί λόγω διαφορικών καθιζήσεων
- Για ενίσχυση πεσσών σε παλαιές γέφυρες επειδή έχουν αυξηθεί τα κινητά φορτία για τα οποία έχουν μελετηθεί και κατασκευασθεί
- Σταθεροποίηση παραμορφωμένων αψίδων
- Για ενίσχυση υπογείων στοών, όπου το έδαφος έχει υποστεί καθίζηση ή μετακίνηση
- Για ενίσχυση ασθενούς τοιχοποιίας σε περιοχές που εφαρμόζονται πλάκες αγκύρωσης τενόντων
- Σύνδεση τμημάτων κατασκευών, όπως για παράδειγμα αψίδες με τα ανώτερα τμήματα του τοίχου
- Ενδυνάμωση του σώματος του φέροντα οργανισμού και σύνδεση των σαθρών με τα δυνατά τμήματα της τοιχοποιίας

6.5. Βλήτρα και αγκύρια

Ως βλήτρα (Εικόνα 68) χαρακτηρίζονται οι μεταλλικοί σύνδεσμοι, οι οποίοι καταπονούνται με διατμητικό φορτίο, ενώ ως αγκύρια όταν η εξωτερική φόρτιση είναι αξονική. Επομένως, όταν ένας μεταλλικός σύνδεσμος καταπονείται αξονικά και διατμητικά τότε θεωρείται ότι δρα ως αγκύριο και βλήτρο ταυτόχρονα (Κωνσταντίνος χ.χ.).



Εικόνα 68: Βλήτρα σε ενεργό ενίσχυση οχετού (Κωνσταντίνος χ.χ.)

6.5.1. Είδη βλήτρων και αγκυρίων

6.5.1.1. Κατακόρυφα βλήτρα προς τα κάτω

Χρησιμοποιούνται κυρίως σε πέδιλα ή σε υποστυλώματα για συγκόλληση της αναμονής. Για την πλήρωση του κενού που δημιουργούμε, χρησιμοποιείται λεπτόρρευστη ρητίνη χαμηλού ιξώδους. Σε ορισμένες περιπτώσεις εφαρμογής τους σε πέδιλα κυρίως

παλαιών οικοδομών μπορεί να υπάρχει λόγω κακής συμπίκνωσης διαρροή στα κενά γι' αυτό και θα πρέπει να είμαστε ιδιαίτερα προσεκτικοί (Κωνσταντίνος χ.χ.).

6.5.1.2. Οριζόντια βλήτρα

Χρησιμοποιούνται κυρίως σε υποστυλώματα , δοκούς και τοιχία. Για την μέθοδο αυτή όπως και στην προηγούμενη, χρησιμοποιείται ρητίνη με αρκετά μεγάλο ιξώδες και γεμίζεται η οπή με πιστόλι χειρός, πριν τοποθετηθεί το βλήτρο. Έπειτα, σε ορισμένες περιπτώσεις, ακολουθεί επάλειψη του τμήματος του βλήτρου που θα εισέλθει στο σκυρόδεμα και αργότερα η τοποθέτησή του. Σε ειδικές περιπτώσεις, μπορεί να σφραγιστεί με ρητινόστοκο και να πρεσαριστεί ενέσιμη ρητίνη με δύο στόμια κάτω και πάνω, έτσι ώστε να επιτευχθεί πλήρης (100%) πλήρωση του κενού βλήτρου και της οπής. Αυτή η περίπτωση αν και αποτελεί πρόταση με μεγάλο κόστος, εντούτοις τα αποτελέσματα είναι σίγουρα (Εικόνα 69) (Κωνσταντίνος χ.χ.).



Εικόνα 69: Δοκιμές εξόλκευσης βλήτρων (Κωνσταντίνος χ.χ.)

6.5.1.3. Κατακόρυφα βλήτρα οροφής

Συνήθως τα κατακόρυφα βλήτρα χρησιμοποιούνται για ενισχύσεις πλακών. Επειδή στα σημεία εκείνα συνήθως γίνεται διαμπερής διάτρηση, σφραγίζουμε από κάτω με ρητινόστοκο και ρίχνουμε από το πάνω μέρος της πλάκας ρητίνη μικρού ιξώδους. Σε περιπτώσεις, όπου δεν μπορούμε να διαπεράσουμε από κάτω, όπως π.χ. σε δοκούς, χρησιμοποιούμε ρητίνη μεγάλου ιξώδους και εφαρμόζουμε τη μέθοδο των οριζόντιων βλήτρων. Είναι απαραίτητο να γίνεται πάντα σχολαστικός καθαρισμός των οπών με αέρα

υπό πίεση και μεταλλικό βουρτσάκι ανάλογης διαμέτρου ώστε να απομακρυνθεί η σκόνη που δημιουργήθηκε κατά τη διάτρηση. Επίσης, θα πρέπει να καταβληθεί αρκετή προσπάθεια ώστε πληρωθεί όσο το δυνατόν καλύτερα το κενό οπής και βλήτρου (Κωνσταντίνος χ.χ.).

Οι τρόποι αστοχίας του βλήτρου είναι (Κωνσταντίνος χ.χ.):

- Αστοχία βλήτρου στην περιοχή της διεπιφάνειας
- Αστοχία σκυροδέματος από διάτμηση στο περιβάλλον του βλήτρου
- Αστοχία με τη μορφή απόσχισης πλευρικού κώνου

Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το βλήτρο είναι οι εξής (Κωνσταντίνος χ.χ.):

- Η διάμετρος του ίδιου του βλήτρου
- Η επικάλυψη του σκυροδέματος στη διεύθυνση του διατμητικού φορτίου
- Η αντοχή του σκυροδέματος
- Το όριο διαρροής του χάλυβα
- Το μήκος αγκύρωσης του βλήτρου
- Η ρηγμάτωση του σκυροδέματος και η ύπαρξη οπλισμού σε αυτό
- Η ανακύκλωση της φόρτισης
- Η γωνία κλίσης του βλήτρου ως προς τη διεπιφάνεια

6.6. Πηλός

Ο πηλός είναι ένα παραδοσιακό υλικό αποκατάστασης που χρησιμοποιείτο πριν από αρκετά χρόνια (Εικόνα 70). Στις μέρες μας δεν χρησιμοποιείται πλέον λόγω εφεύρεσης νέων και πιο ανθεκτικών υλικών, όμως εξακολουθεί να αποτελεί ένα μέσο επισκευής ειδικά σε περιπτώσεις όπου θέλουμε να κάνουμε αναπαλαίωση ενός κτιρίου (Θεωδωρίδης 2006).



Εικόνα 70: Επισκευή κτιρίου με πηλό δόμησης (‘Ο «παραδοσιακός» πηλός το μέλλον της δόμησης’ χ.χ.)

Γενικά, θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι όλων των ειδών πηλοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην δόμηση αρκεί να μην περιέχουν οργανικές προσμίξεις. Ο πηλός δόμησης πρέπει να έχει σχετικά υψηλή αντοχή σε θλίψη και κάμψη, χαμηλό ποσοστό συστολή ξήρανσης κατά την διάρκεια της διαδικασίας ξήρανσης, καθώς και σχετικά ικανοποιητική ταχύτητα σκλήρυνσης (Θεωδωρίδης 2006).

Στην περίπτωση χρήσης του πηλού ως επίχρισμα, θα πρέπει να έχει σχετικά υψηλή ταχύτητα σκλήρυνσης, ικανοποιητική υδατοστεγανότητα, χαμηλό ποσοστό μικρορηγματώσεων κατά την διάρκεια της σκλήρυνσης και ιδιαίτερη καλή συνάφεια με το υπόστρωμα (Θεωδωρίδης 2006).

6.7. Άσβεστος και ασβεστοκονιάματα

Τα ασβεστοκονιάματα (Εικόνα 71) εφαρμόζονται σε μεγάλο ποσοστό σε ιστορικά κτίρια. Είναι ένα φυσικό και οικολογικό υλικό όπου τα κύρια χαρακτηριστικά του και οι ιδιότητες τους είναι οι ακόλουθες (Θεωδωρίδης 2006; ‘Οικολογική δόμηση με ασβεστοκονιάματα’ χ.χ.):

- Είναι ανόργανα προϊόντα χωρίς τσιμέντο
- Επαναφέρουν την παλαιά παράδοση των επιχρισμάτων με ασβεστοκονίαμα
- Η διαπνοή τους είναι άριστη
- Διατίθενται σε διάφορες κοκκομετρίες
- Είναι ινοπλισμένα
- Παρέχουν άριστη πρόσφυση
- Είναι κατάλληλα για παραδοσιακές τοιχοποιίες



Εικόνα 71: Παραδοσιακή κατοικία με ασβεστοκονίαμα κυρίως για λόγους συντήρησης (Παπούδος κ.ά. 2011)

6.8. Ποζολανικά πρόσθετα

Τα ποζολανικά πρόσθετα, είναι ιστορικά ορυκτά που προέρχονται από υδροθερμικές μεταβολές σε ηφαιστειακά πετρώματα. Διακρίνονται για την αδιαλυτότητά τους και την σταθερότητά τους. Η προσθήκη ποζολανικό υλικού, όπως η θηραϊκή ή σκυδραϊκή γη και γενικά υλικά ηφαιστειογενής προέλευσης, στα κονιάματα αποκατάστασης βελτιώνει τις ιδιότητές τους και επηρεάζεται η τελική θλιπτική αντοχή λόγω της υδραυλικότητας των ποζολανών. Η αύξηση της περιεχόμενης ποζολάνης αυξάνει αναλογικά την τελική εφελκυστική και θλιπτική αντοχή του υλικού. Επιπρόσθετα, αυξάνεται και η αντίσταση στην αποσάθρωση του κονιάματος (Θεωδωρίδης 2006).

6.9. Καολίνης – Μετακαολίνης

Ο καολίνης (Εικόνα 72) είναι είδος αργίλου ο οποίος έχει σχηματιστεί από υδροθερμικές κυρίως μεταβολές σε αστριούχα πετρώματα και περιέχει, λόγω του σχηματισμού του, τις λιγότερες προσμίξεις από όλους τους αργίλους, ενώ η ανάμιξη του με άσβεστο και νερό δημιουργεί νέα σύνθετα ένυδρα άλατα (Θεωδωρίδης 2006).



Εικόνα 72: Πέτρωμα καολίνη

Ο μετακαολίνης προέρχεται από θερμική επεξεργασία καολίνη και παρουσιάζει έντονες ποζολανικές ιδιότητες ενώ με ανάμιξη σε κονιάματα δίνει μεγάλες φυσικομηχανικές αντοχές, υψηλή ανθεκτικότητα και επιτρέπει την σκλήρυνση του κονιάματος εντός του νερού. Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό ενίσχυσης υφιστάμενων κατασκευών από κονιάματα (Θεωδωρίδης 2006).

Στις μέρες μας ο Καολίνης δεν αποτελεί πλέον υλικό ενίσχυσης, όμως αυτό δεν τον βγάζει εκτός της κατηγορίας των υλικών ενίσχυσης.

6.10. Κονιάματα

Σχεδόν σε κάθε τεχνική επισκευής και ενίσχυσης η χρήση των κονιαμάτων είναι επιβεβλημένη, ιδιαίτερα όταν προβλέπεται βαθύ αρμολόγημα, συρραφή μεγάλων ρωγμών,

καθαίρεση και τοπική ανακατασκευή, συρραφή αποκολλημένων τοίχων (Δημοσθένους κ.ά. 2009).

Η επιλογή της σύνθεσης του κονιάματος γίνεται με βάση τα χαρακτηριστικά του ήδη υπάρχοντος κονιάματος, της κατηγορίας του κτιρίου και της απαιτούμενης αντοχής που θα πρέπει να προσδοθεί στην επισκευασμένη τοιχοποιία (Δημοσθένους κ.ά. 2009). Οι θλιπτικές αντοχές των κονιαμάτων υποδεικνύονται στον Πίνακα 9 που ακολουθεί.

Γενικότερα, τα συνήθη συνδετικά κονιάματα που χρησιμοποιούνται σήμερα διακρίνονται σε τρεις βασικούς τύπους (Δημοσθένους κ.ά. 2009):

- Ασβεστοκονιάματα: ασβέστης και άμμος (το οποίο έχει προαναφερθεί αναλυτικότερα)
- Ασβεστοτσιμεντοκονιάματα: ασβέστης, τσιμέντο και άμμος
- Τσιμεντοκονιάματα: τσιμέντο και άμμος

Πίνακας 9: Θλιπτικές αντοχές κονιαμάτων (Δημοσθένους κ.ά. 2009)

Θλιπτική Αντοχή Κονιαμάτων	
Ασβεστοκονιάματα	0.5 – 2.0 MPa
Ασβεστοτσιμεντοκονιάματα	2.0 – 8.0 MPa
Τσιμεντοκονιάματα	>8.0 MPa

6.11. Ενέματα

Τα τελευταία χρόνια, και κυρίως για την πλήρωση κενού ή μεγάλου εύρους ρωγμών σε τοιχοποιίες ή σκυρόδεμα, χρησιμοποιούνται τα ενέματα (Εικόνα 73). Τα συνήθη τσιμεντενέματα συντίθενται από τσιμέντο, νερό, άμμο, κάποιο υπερπλαστικοποιητή και ένα διογκωτικό υλικό προς διασφάλιση υψηλής αντοχής και χαμηλής συρρικνώσεως κατά τη σκλήρυνση (Δημοσθένους κ.ά. 2009).

Ως επί το πλείστον τα ενέματα χρησιμοποιούνται για την επισκευή και ενίσχυση φέρουσων τοιχοποιιών. Σε περίπτωση παραδοσιακών ή μνημειακών κτισμάτων παρασκευάζονται ενέματα συμβιβαστά από πλευράς αντοχής και παραμορφωσιμότητας προς τα υλικά

δομήσεως, οπότε μεγάλο ποσοστό του τσιμέντου υποκαθίσταται από ποζολανικά υλικά και υδράσβεστο (Δημοσθένους κ.ά. 2009).

Επιπρόσθετα, για την επιτυχή εφαρμογή του το ένεμα πρέπει να είναι σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας και να αποφεύγεται η απόμιξη. Πολλές φορές πραγματοποιούνται δοκιμαστικές ενέσεις και η τελική σύνθεση του ενέματος αποφασίζεται βάσει των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις δοκιμαστικές εφαρμογές. Επίσης, τα ενέματα χρησιμοποιούνται και για τη σφράγιση ρωγμών ή ανοιγμάτων κατά την εφαρμογή ριζοπλισμών, ελκυστήρων και μικροπασσάλων. Τέλος, ειδικά ενέματα χρησιμοποιούνται και για την ενίσχυση του εδάφους. Η σύνθεσή τους, κυρίως ως προς το ιξώδες, απαιτεί γνώση του επιπέδου των ρωγμών του εδάφους εντός των οποίων θα διεισδύσει το ένεμα (Δημοσθένους κ.ά. 2009).



Εικόνα 73: Χρήση ενεμάτων (‘«Ασπίδα» από επτά μέτρα χώμα’ 2015)

6.12. Ξυλεία

Η ξυλεία (Εικόνα 74) χρησιμοποιείται συνήθως για την επισκευή της υφιστάμενης ξυλείας σε στέγες και πατώματα. Η τοποθέτησή τους θα πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να εξασφαλίζεται αφενός στατική επάρκεια αυτών των στοιχείων αλλά και η διαφραγματική τους λειτουργία. Η ποιότητα, οι διατομές και ο τύπος της ξυλείας θα πρέπει να επιλέγεται μετά από σχετική μελέτη (Δημοσθένους κ.ά. 2009).



Εικόνα 74: Ξυλεία (‘Μάχη επιβίωσης δίνει η βιομηχανία ξυλείας’ χ.χ.)

Επιπρόσθετα, ξύλινοι δοκοί μεγάλων διατομών χρησιμοποιούνται στην κατασκευή υπερθύρων και διαζωμάτων όπου θα πρέπει να λαμβάνονται ειδικές πρόνοιες για τη σύνδεσή τους με την τοιχοποιία (Δημοσθένους κ.ά. 2009).

6.13. Μορφοσίδερα

Η ενίσχυση με μορφοσίδερα (Εικόνα 75) οδηγεί σε αύξηση της ακαμψίας του υποστυλώματος, οπότε πρέπει να ληφθεί υπόψη η επίπτωση της στην αντισεισμική συμπεριφορά της κατασκευής. Η διαδικασία προβλέπει την τοποθέτηση δύο διατομών μορφής I εκατέρωθεν του υποστυλώματος οι οποίες θα πρέπει να σφηνωθούν στο δάπεδο και στην οροφή (Αγγελή και Σταματοπούλου 2011).

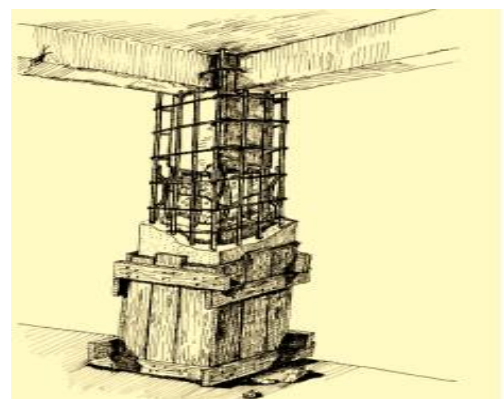


Εικόνα 75: Μορφοσίδερα (house 2015)

Τα μορφοσίδερα θα πρέπει να έχουν μεγαλύτερο ύψος από την πλευρά της διατομής του υποστυλώματος με την οποία έρχεται σε επαφή, έτσι ώστε να υπάρχει αρκετός χώρος για την τοποθέτηση μπουλονιών. Σκοπός της τοποθέτησης των μπουλονιών είναι η δημιουργία ισχυρής τριβής μεταξύ των σιδηρών ελασμάτων και του σκυροδέματος, ώστε να μην μπορούν σε καμιά περίπτωση να υπάρξει οποιαδήποτε περίπτωση ξεσφίγματος. Τέλος, το σύνολο μπορεί να σκυροδετηθεί ώστε να δημιουργηθεί μια σύμμικτη διατομή (Αγγελή και Σταματοπούλου 2011).

6.14. Μανδύες (Τεχνική)

Η τεχνική ενίσχυσης των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με μανδύες, αποτελεί πλέον την πιο αποτελεσματική μέθοδο για αύξηση της αντοχής, δυσκαμψίας και πλαστιμότητας του επισκευαζόμενου στοιχείου (Εικόνα 76). Συνήθως, η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε περιπτώσεις υποστυλωμάτων με σοβαρές βλάβες ή γενικότερα όταν διαπιστώνεται ανεπάρκεια της αντοχής τους ή άλλων



Εικόνα 76: Στάδια κατασκευής μανδύα σε υποστύλωμα (Καϊρης και Χατζηβασιλειάδης 2008)

χαρακτηριστικών τους. Επιπρόσθετα, η μέθοδος περιλαμβάνει την αύξηση της διατομής του επισκευαζόμενου στοιχείου με νέο σκυρόδεμα και νέους διαμήκεις και εγκάρσιους οπλισμούς περιμετρικά. Μπορεί οι μανδύες να εκτείνονται σε ένα μέρος του στοιχείου είτε σε ολόκληρο το μήκος του (Καϊρης και Χατζηβασιλειάδης 2008). Τα είδη μανδυνών αναφέρονται πιο κάτω.

6.14.1. Μανδύες από μέταλλο

Η μέθοδος των μεταλλικών μανδυνών περιλαμβάνει τη συγκόλληση μεταλλικών πλακών γύρω από την υπάρχουσα κολώνα, με εποξειδική ρητίνη. Ουσιαστικά, η μέθοδος επιτυγχάνεται με εγκιβωτισμό της κολώνας. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου, είναι η αποτροπή αποφλοιώσης της επικάλυψης του σκυροδέματος, η ανάπτυξη πλευρικής στήριξης στον διαμήκη οπλισμό, η αύξηση της αντοχής και της πλαστιμότητας του σκυροδέματος. Αντίθετα, μειονέκτημα της είναι η ευπάθεια του χάλυβα σε διαβρωτικό περιβάλλον, και η δυσκολία στη σωστή πλήρωση του κενού μεταξύ σκυροδέματος και μεταλλικών πλακών με ρητίνη ή τσιμεντοκονίαμα (Αγγελή και Σταματοπούλου 2011).

6.14.2. Μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα

Η τεχνική της αύξησης των διαστάσεων της διατομής με κατασκευή μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα (Εικόνα 77) αποτελεί συνηθέστερη τεχνική ενίσχυσης υφιστάμενων υποστυλωμάτων που εμφανίζουν ανεπάρκεια όσον αφορά την αντοχή, τη δυσκαμψία και την πλαστιμότητα τους.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι η εφαρμογή τους δεν μεταβάλλεται η αρχιτεκτονική όψη της ενισχυμένης κατασκευής με την προσθήκη νέων υλικών και αφετέρου αυξάνεται ο βαθμός πυροπροστασίας. Συμπληρωματικά, η κατασκευή μανδύα που περικλείει το υφιστάμενο στοιχείο έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της λυγηρότητας καθώς και την αύξηση της δυσκαμψίας της διατομής (Αθανασοπούλου κ.ά. 2013).



Εικόνα 77: Ενίσχυση με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (Καϊρης και Χατζηβασιλειάδης 2008)

Ανάλογα με το είδος του σκυροδέματος που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του μανδύα, τα πλέον πιο διαδεδομένα είδη μανδυνών οπλισμένου σκυροδέματος που κατασκευάζονται είναι τα ακόλουθα.

6.14.2.1. Μανδύες από έγχυτο σκυρόδεμα

Το έγχυτο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου ο μανδύας που πρόκειται να κατασκευαστεί έχει πάχος μεγαλύτερο από 8 cm. Για την σκυροδέτηση του μανδύα βασική προϋπόθεση είναι η χρήση ξυλότυπου (Αθανασοπούλου κ.ά. 2013; Καϊρης και Χατζηβασιλειάδης 2008).

6.14.2.2. Μανδύες από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

Η κατασκευή μανδύα από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αποτελεί πλέον τη συνηθέστερη πρακτική ενίσχυσης σε περιπτώσεις όπου το συνολικό πάχος του μανδύα δεν υπερβαίνει τα 10cm. Αν και δεν απαιτείται ξυλότυπος όπως στους έγχυτους μανδύες, εντούτοις πρέπει να εξασφαλίζεται η κατακόρυφη επιφάνεια του μανδύα. Το πιο σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει η περίπτωση αυτή είναι ότι η συστολή ξήρανσης του σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη έναντι των άλλων κατηγοριών μανδυνών (Αθανασοπούλου κ.ά. 2013; Καϊρης και Χατζηβασιλειάδης 2008).

6.14.2.3. Μανδύες από σκυροτσιμεντόπηγμα

Αποτελεί μια εύκολη σκυροδέτηση με την παρουσία πυκνού διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τοποθέτηση αδρανών σε καλούπια και στην συνέχεια πλήρωση των κενών μεταξύ τους με υγροποιημένο τσιμέντο υπό πίεση. Τέλος, η συστολή ξήρανσης της μεθόδου μειώνεται στο ελάχιστο (Καϊρης και Χατζηβασιλειάδης 2008).

6.14.2.4. Μανδύες από ειδικά σκυροδέματα ή τσιμεντοκονιάματα

Στην μέθοδο αυτή είναι δυνατόν υλοποιούνται μανδύες εξαιρετικά μικρού πάχους, έχοντας όμως το μειονέκτημα του αυξημένου κόστους κατασκευής τους (Καϊρης και Χατζηβασιλειάδης 2008).

6.15. Μεταλλικοί κλώβοι (Τεχνική)

Ο μεταλλικός κλωβός είναι ένας προσωρινός τρόπος επιβολής της περίσφιγξης για άμεση ανάληψη κατακόρυφων φορτίων σε περιπτώσεις βλαβών υποστυλωμάτων που αδυνατούν να μεταφέρουν τα αξονικά τους φορτία (Εικόνα 78). Συνίσταται από τέσσερα κατακόρυφα γωνιακά στις γωνίες του βλαμμένου υποστυλώματος και οριζόντιες μεταλλικές λάμες, οι οποίες συγκολλούνται πάνω στα γωνιακά για την περίσφιγξη τους. Τα κενά μεταξύ των γωνιακών και του σκυροδέματος καλύπτονται με ένα μη συρρικνούμενο κονίαμα ή εποξειδική κόλλα (Αγγελή και Σταματοπούλου 2011).



Εικόνα 78: Επέμβαση με μεταλλικό κλωβό (Καϊρης και Χατζηβασιλειάδης 2008)

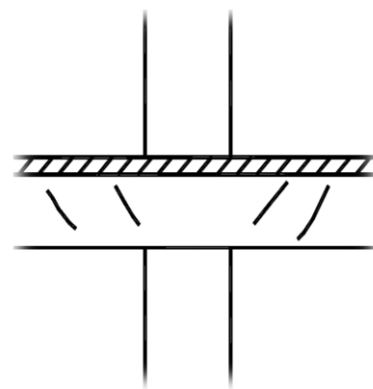
7. Επισκευές και Ενισχύσεις επιμέρους στοιχείων κατασκευής

7.1. Επισκευή και Ενίσχυση Δοκών και Πλακών

Οι δοκοί είναι τα δομικά στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα που αποτελούν συνηθισμένο αντικείμενο επέμβασης, είτε λόγω βλαβών που έχουν υποστεί είτε λόγω πρόσθετων φορτίων που καλούνται να παραλάβουν. Η επέμβαση είναι δυνατό να περιλαμβάνει μόνο την επισκευή των υφιστάμενων βλαβών, ή επιπλέον την ενίσχυση της δοκού, δηλαδή την περαιτέρω βελτίωση των ιδιοτήτων της. Σε περίπτωση σεισμικής καταπόνησης, οι βλάβες επικεντρώνονται κατά κανόνα στην περιοχή του κόμβου δοκού και υποστυλώματος (Κ.Σπυράκος 2004). Η επισκευή των πλακών είναι οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιούνται σε δοκούς (Δρίτσος 2005).

7.1.1. Επισκευή Δοκών/Πλακών

Η διαδικασία επισκευής μίας δοκού έχει ως στόχο την αποκατάσταση των χαρακτηριστικών που είχε πριν υποστεί τις βλάβες όσον αφορά τόσο στην αντοχή όσο και στη δυσκαμψία της. Όπως προαναφέρθηκε, η επιλογή της μεθόδου επισκευής εξαρτάται από το βαθμό της βλάβης που έχει υποστεί η δοκός. Στην περίπτωση ελαφρών βλαβών, η επισκευή της δοκού γίνεται με συγκόλληση των ρωγμών με εποξική ρητίνη όπως φαίνεται στην Εικόνα 79. Εάν επιπλέον της ρηγμάτωσης παρατηρείται επιφανειακή αποφλοιώση του σκυροδέματος χωρίς όμως αποδιοργάνωση του σκυροδέματος της διατομής του πυρήνα, ο φλοιός αποκαθίσταται με χρήση επισκευαστικού κονιάματος. Το κονίαμα που επιλέγεται έχει συνήθως ως βάση κάποιο είδος ρητίνης, εκτός εάν το βάθος της αποφλοιώσης είναι μεγαλύτερο, οπότε προτιμώνται μη συρρικνούμενα κονιάματα με βάση το τσιμέντο (Κ.Σπυράκος 2004).

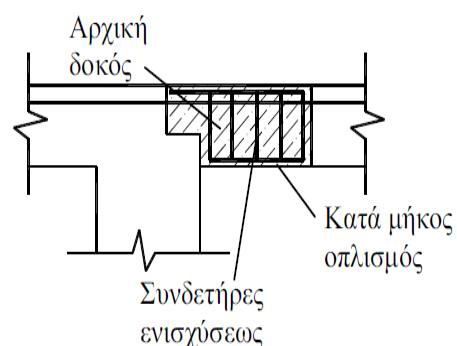


Εικόνα 79: Ρητινενέσεις για συγκόλληση ρωγμών σε δοκό

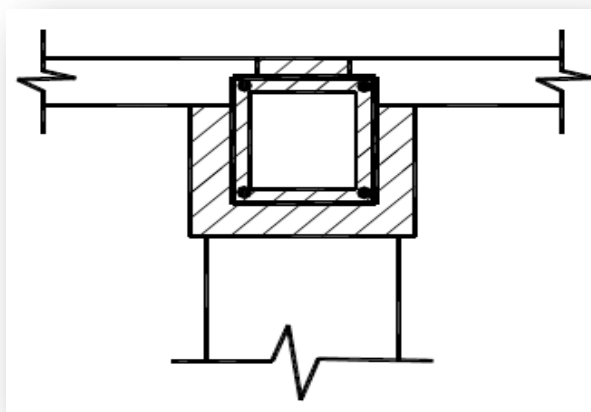
Εάν η δοκός έχει υποστεί τοπική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος σε περιορισμένη έκταση, η διαδικασία που υιοθετείται για την επισκευή της περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα (Κ.Σπυράκος 2004):

- Υποστύλωση της δοκού
- Καθαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος
- Τοποθέτηση στην εξωτερική παρειά της δοκού ελαφρού δομικού πλέγματος
- Διάστρωση εκτοξευόμενου ή έγχυτου σκυροδέματος

Εναλλακτικά, αντί για την επισκευή του βλαμμένου στοιχείου με τοποθέτηση πλέγματος (Εικόνα 80), συχνά επιλέγεται η ταυτόχρονη ενίσχυση της δοκού με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος. Πριν την κατασκευή του μανδύα, απαιτείται θραύση της πλάκας στην περιοχή που θα τοποθετηθεί ο μανδύας και εκτράχυνση της εξωτερικής επιφάνειας της δοκού που θα συνδεθεί με αυτόν. Στη συνέχεια τοποθετούνται κατά μήκος οπλισμοί και συνδετήρες (Εικόνα 81). Για την κατασκευή του μανδύα χρησιμοποιείται έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Κ.Σπυράκος 2004).



Εικόνα 80: Επισκευή δοκού με ελαφρύ δομικό πλέγμα



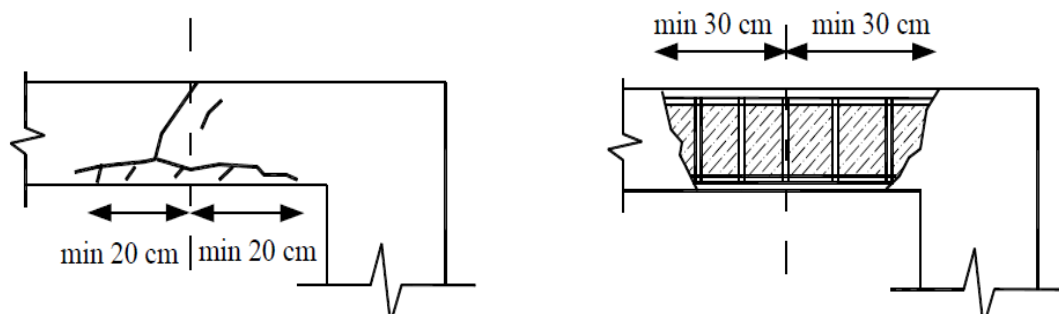
Εικόνα 81: Επισκευή δοκού με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος

Εάν οι βλάβες της δοκού οφείλονται σε κάμψη, πριν τη διάστρωση του σκυροδέματος για τη δημιουργία του μανδύα, γίνεται αποκάλυψη του υπάρχοντος οπλισμού της δοκού σε ορισμένες θέσεις και συγκόλληση νέου οπλισμού κάμψης πάνω στον παλιό μέσω παρεμβλημάτων. Η σύνδεση του μανδύα με την υφιστάμενη διατομή από σκυρόδεμα γίνεται είτε με συνδετήρες, οι οποίοι αγκυρώνονται σε οριζόντιες οπές που διανοίγονται στον κορμό της δοκού που ενισχύεται, είτε με χημικώς πακτωμένα βλήτρα. Όταν η ενίσχυση της δοκού

συνοδεύεται από αύξηση του πάχους της υπερκείμενης πλάκας, οι συνδετήρες για τη σύνδεση παλαιού και νέου στοιχείου περικλείουν ολόκληρη την ενισχυόμενη δοκό (Κ.Σπυράκος 2004).

Όταν εμφανίζεται πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος τμήματος της δοκού που συνοδεύεται από βλάβες τόσο του διαμήκους, όσο και του εγκάρσιου οπλισμού, η τεχνική που εφαρμόζεται είναι η εξής (Κ.Σπυράκος 2004):

- Υποσύλωση της δοκού
- Καθαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος σε ολόκληρο το βλαμμένο τμήμα της δοκού (Εικόνα 82,α) και προσεκτικός καθαρισμός της εναπομένουσας διατομής
- Έλεγχος του υπάρχοντος διαμήκους οπλισμού και ενίσχυση αυτού εάν απαιτείται με ηλεκτροσυγκόλληση νέων ράβδων
- Απομάκρυνση των διαρρηγμένων και τοποθέτηση νέων πυκνών συνδετήρων (Εικόνα 82,β)
- Διαμόρφωση των παρειών του παλαιού σκυροδέματος
- Τοποθέτηση ξυλότυπου
- Σκυροδέτηση του καθαιρεθέντος τμήματος με έγχυτο σκυρόδεμα ή διάστρωση εγκιβωτισμένου σκυροδέματος



Εικόνα 82: Επισκευή δοκού με καθαίρεση και αποκατάσταση ίσης διατομής. (α) Ρηγματωμένη διατομή. (β) Προσθήκη νέου οπλισμού

7.1.2. Ενίσχυση Δοκών/Πλακών

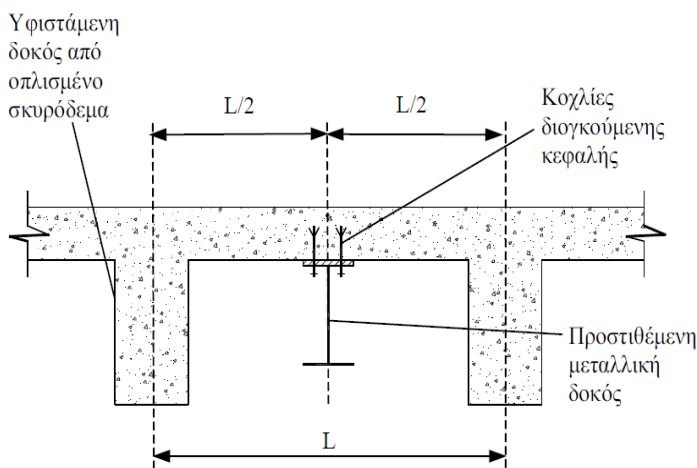
Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ενίσχυσης μίας δοκού εξαρτάται άμεσα από τον επιδιωκόμενο στόχο. Κατά κανόνα, μεταξύ του συνόλου των δοκών της κατασκευής που ανασχεδιάζεται, ενισχύονται αυτές που εμφανίζουν ανεπαρκή καμπτική ή/και διατμητική αντοχή με βάση τις απαιτήσεις και τα κριτήρια σχεδιασμού της επιλεγείσας στάθμης

επιτελεστικότητας, όπως αναπτύσσονται στην αρχή του Κεφαλαίου 3. Επίσης, ένας άλλος συνήθης λόγος ενίσχυσης, είναι η αύξηση των φορτίων που καλείται να παραλάβει η υπόψη δοκός λόγω αλλαγής χρήσης του κτιρίου (Κ.Σπυράκος 2004).

7.1.2.1. Ενίσχυση σε Κάμψη

7.1.2.1.1. Προσθήκη Νέων Μεταλλικών Μελών

Η προσθήκη νέων μελών αποτελεί μία οικονομική αλλά και αποδοτική μέθοδο ενίσχυσης δοκών οπλισμένου σκυροδέματος. Ανάλογα με την αντοχή της υπερκείμενης πλάκας, τα πρόσθετα μέλη μπορούν να τοποθετηθούν είτε μεταξύ των υφιστάμενων δοκών (Εικόνα 83) είτε σε επαφή με τις πλευρικές παρειές τους. Τα νέα υποστυλώματα που θα κατασκευαστούν απαιτούν θεμέλια, η κατασκευή των οποίων καθιστά αναγκαία την απομάκρυνση τμήματος της πλάκας του δαπέδου. Το πλεονέκτημα της τοποθέτησης των μελών στο μεσοδιάστημα μεταξύ των δοκών είναι η μείωση του

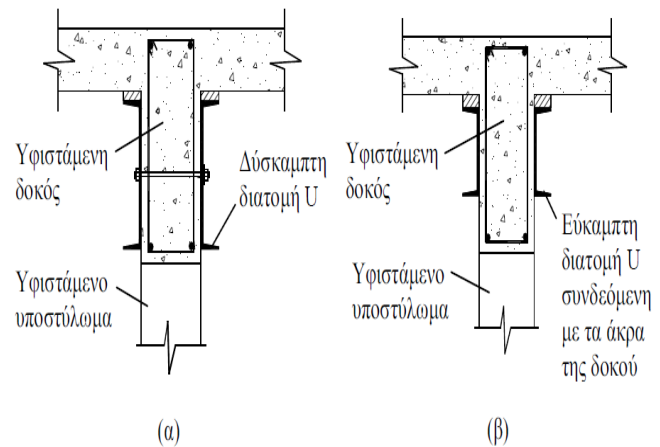


Εικόνα 83: Προσθήκη μεταλλικών δοκών στο μέσο του ανοίγματος της πλάκας

ανοίγματος της πλάκας στο μισό, οπότε αυτόματα αυξάνεται σημαντικά η φέρουσα ικανότητα τόσο της πλάκας όσο και του συστήματος. Στην περίπτωση τοποθέτησης των νέων δοκών στις παρειές των υφιστάμενων και εξασφαλίζοντας ότι θα λειτουργήσουν μαζί για την παραλαβή των φορτίων, δημιουργείται μία νέα σύνθετη διατομή με αυξημένη αντοχή σε σχέση με την αρχική. Με την μέθοδο αυτή, οι νέες δοκοί παραλαμβάνουν μόνο τα πρόσθετα φορτία ενώ η υφιστάμενη πλάκα και οι δοκοί της, εξακολουθούν να φέρουν το ίδιο βάρος τους. Ωστόσο, απαιτείται ανύψωση με γρύλους της πλάκας και των δοκών έτσι ώστε να αναιρεθούν οι παραμορφώσεις που οφείλονται στα φορτία βαρύτητας πριν την τοποθέτηση των νέων μελών, ενώ συνήθως προτιμάτε πρόσθετα μέλη να είναι από δομικό χάλυβα αντί για σκυρόδεμα λόγω ευκολότερης και ταχύτερης εργασίας (Κ.Σπυράκος 2004; Σταθόπουλος χ.χ.). Επίσης, με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η κατασκευή των πρόσθετων θεμελίων, ενώ το

κυριότερο μειονέκτημα των δύο παραπάνω μεθόδων είναι ότι θυσιάζουν μέρος του ωφέλιμου χώρου κάτω από τις ενισχυόμενες δοκούς (Κοντού και Τετράδη 2013).

Επιπρόσθετα, η προσθήκη μεταλλικών διατομών U σε κάθε πλευρά μιας υπάρχουσας δοκού αποτελεί μία ακόμα πρακτική για την ενίσχυση δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 84,α, για να συμμετέχουν εξίσου στην παραλαβή των φορτίων, οι τρεις δοκοί συνιστάται να συνδέονται μεταξύ τους με αγκύρια, τα οποία διαπερνούν το σώμα της δοκού από σκυρόδεμα και κοχλιώνονται στις ακραίες μεταλλικές δοκούς (Κ.Σπυράκος 2004).



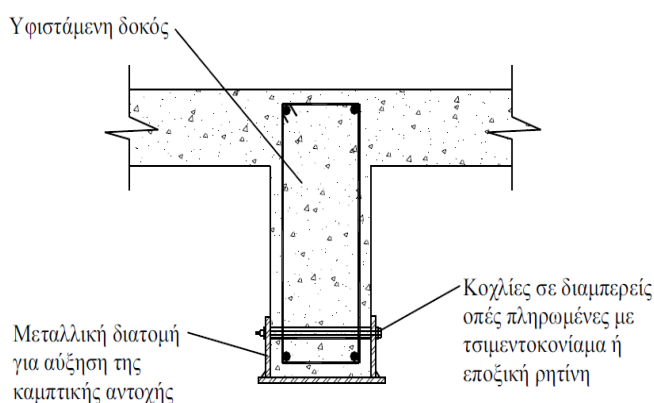
Εικόνα 84: Προσθήκη νέων μεταλλικών μελών στις παρειές υφιστάμενης δοκού. (α) Δύσκαμπτες διατομές. (β) Εύκαμπτες διατομές.

Συμπληρωματικά, μία άλλη παρόμοια τεχνική φαίνεται στην Εικόνα 84,β. Σύμφωνα με αυτή, εύκαμπτες μεταλλικές διατομές U τοποθετούνται στις δύο παρειές της υπό ενίσχυση δοκού, αλλά συνδέονται με αυτή μόνο στα άκρα τους. Ο σκοπός της τεχνικής αυτής, είναι η ανακούφιση της υφιστάμενης δοκού από μέρος των φορτίων που της ασκούνται μέσω της επιβολής σε αυτή δυνάμεων. Αυτό επιτυγχάνεται είτε επιβάλλοντας προκαθορισμένη τιμή θετικής παραμόρφωσης στις δοκούς είτε τοποθετώντας σφήνες στο κενό μεταξύ της κάτω παρειάς της πλάκας και τις μεταλλικές διατομές (Κ.Σπυράκος 2004).

Τέλος, η χρήση νέων μεταλλικών μελών ενδέχεται να παρουσιάσει δυσκολίες στις θέσεις των συνδέσεων με τα υφιστάμενα υποστυλώματα, ενώ σε περίπτωση όπου η ενισχυμένη δοκός έχει αυξημένες απαιτήσεις πυροπροστασίας, το κόστος της μεταφοράς των μελών από χάλυβα είναι μεγάλο σε σχέση με το κόστος της παραγωγής σκυροδέματος στη θέση του έργου, και σε περίπτωση όπου η αισθητική του κτιρίου επιβάλλει την παρουσία σκυροδέματος επιλέγεται συνήθως η αύξηση της διατομής με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος (Κ.Σπυράκος 2004).

7.1.2.1.2. Ενίσχυση με Προσθήκη Κοχλιωμένου Εφελκυόμενου Οπλισμού

Μία άλλη τεχνική ενίσχυσης έναντι κάμψης, είναι αυτή με την προσθήκη χαλύβδινων ελασμάτων ή ακόμα και συγκολλητών μεταλλικών διατομών που κοχλιώνονται στη δοκό. Η συγκολλητή διατομή σχήματος ανεστραμμένου Π που φαίνεται στην Εικόνα 85 χρησιμοποιείται στην περίπτωση που το εμβαδό του απαιτούμενου πρόσθετου οπλισμού είναι σημαντικό (Κ.Σπυράκος 2004; Σταθόπουλος χ.χ.).



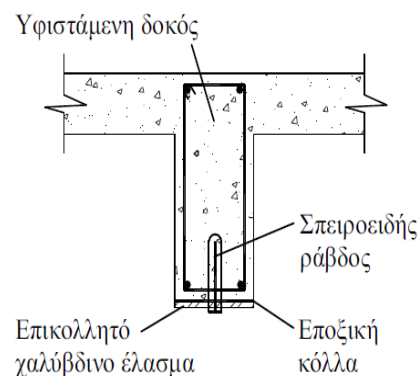
Εικόνα 85: Κοχλιωτή σύνδεση συγκολλητής μεταλλικής διατομής για αύξηση της καμπτικής αντοχής υφιστάμενης δοκού από σκυρόδεμα

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

Εναλλακτικά, μπορούν να προστεθούν δύο ελάσματα, ένα στην πάνω και ένα στην κάτω παρειά της δοκού. Τα ελάσματα αυτά, μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους μέσω κοχλιών που διαπερνούν κάθετα όλο το ύψος της δοκού. Η μέθοδος αυτή, χρησιμοποιείται συνήθως όταν η δοκός παρουσιάζει μεγάλη ανεπάρκεια όσον αφορά στην αντοχή της, ενώ το κυριότερο μειονέκτημά της είναι ότι η διαδικασία διάνοιξης των οπών καθ' ύψος της δοκού είναι εξαιρετικά δύσκολη, αλλά και το γεγονός ότι απαιτείται ειδική επικάλυψη της επιφάνειας της πλάκας πάνω από την δοκό ώστε να καλυφθεί το άνω έλασμα και τα αγκύρια του (Κ.Σπυράκος 2004).

7.1.2.1.3. Προσθήκη Επικολλητών Χαλύβδινων Ελασμάτων

Τα χαλύβδινα ελάσματα μπορούν να επικολληθούν στην επιφάνεια του σκυροδέματος με χρήση εποξικής κόλλας προκειμένου να αυξήσουμε την καμπτική αντοχή της δοκού και την καμπτική δυσκαμψία της δοκού. Επιπρόσθετα, η εποξική κόλλα μπορεί να τοποθετηθεί είτε με ρητινένωση είτε με επάλειψη της κόλλας και στις δύο επιφάνειες που πρόκειται να συγκολληθούν. Για την ανάρτηση του ελάσματος αλλά και την παροχή πρόσθετης διατμητικής αντοχής στη διεπιφάνεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σπειροειδείς ράβδοι που αγκυρώνονται σε κατακόρυφες οπές πληρωμένες με τσιμεντένεμα (Εικόνα 86). Οι εργασίες για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής, μπορούν να γίνουν γρήγορα και με μικρή επιβάρυνση της υφιστάμενης κατασκευής (Κ.Σπυράκος 2004; Σταθόπουλος χ.χ.).



Εικόνα 86: Ενίσχυση καμπτικής αντοχής δοκού με επικολητά χαλυβδόφυλλα

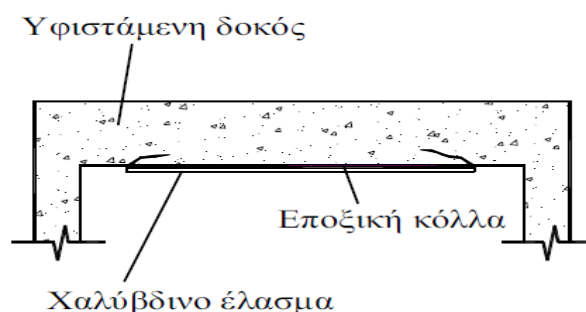
Οι τρεις καθοριστικότεροι παράγοντες για επιτυχή εφαρμογή της μεθόδου είναι οι ακόλουθοι (Κ.Σπυράκος 2004; Κοντού και Τετράδη 2013):

- Προετοιμασία της επιφάνειας του σκυροδέματος στην οποία θα επικολληθεί το χαλύβδινο έλασμα (εκτράχυνση και απομάκρυνση της επιφανειακής ασθενούς στρώσης σκυροδέματος ιδιαίτερα σε περίπτωση ύπαρξης ενανθράκωσης)
- Η εποξική κόλλα να είναι κατάλληλη για τις επιτόπιες περιβαλλοντικές συνθήκες του έργου, και η αντοχή συνάφειας της να είναι τουλάχιστον ίση με αυτή του σκυροδέματος
- Το χαλύβδινο έλασμα πρέπει να έχει επαρκές μήκος και πλάτος ώστε να αποφευχθεί η ψαθυρή αστοχία του συστήματος (αποκόλληση του ελάσματος από τη δοκό)

Η κυριότερη αδυναμία της συγκεκριμένης τεχνικής εντοπίζεται στις υψηλές συγκεντρωμένες τάσεις που αναπτύσσονται στην περιοχή αγκύρωσης των άκρων των ελασμάτων, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε απόσχιση στη γειτονική προς το έλασμα περιοχή σκυροδέματος (Εικόνα 87) και τοπικό λυγισμό (Κ.Σπυράκος 2004; ΛΑΜΠΡΟΥ 2010). Για το λόγο αυτό πρέπει να εξασφαλίζεται επαρκές μήκος αγκύρωσης του ελάσματος, εκτός της περιοχής που απαιτείται καμπτική ενίσχυση, και να επιδιώκεται η μείωση του πάχους τους. Επιπλέον, θα

πρέπει να γίνεται έλεγχος της συγκέντρωσης καμπτικών και διατμητικών τάσεων στην περιοχή των άκρων, λόγω της ασυνέχειας του επικολλητού ελάσματος. Συμπληρωματικά, ένα άλλο μειονέκτημα, είναι ο κίνδυνος διάβρωσης του χάλυβα στην περιοχή της διεπιφάνειας με το σκυρόδεμα, γι' αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι σε περίπτωση που επιδιώξουμε την επικάλυψη του ελάσματος με ειδική αντιδιαβρωτική βαφή για την επίλυση του προβλήματος, δεν θα μας δώσει το επιθυμητό αποτέλεσμα, λόγω της πιθανής αλληλεπίδρασής της με την εποξική κόλλα (Κ.Σπυράκος 2004).

Τέλος, όσον αφορά στις κατασκευαστικές λεπτομέρειες, το πάχος των ελασμάτων δεν πρέπει να ξεπερνά είτε τα 4mm είτε το 2% του πλάτους του. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των ελασμάτων μικρού πάχους, είναι ότι μπορούν να παρακολουθήσουν τις παραμορφώσεις του πέλματος της δοκού χωρίς την επιβολή πρόσθετων τάσεων στο έλασμα (Κ.Σπυράκος 2004). Επίσης, για την αποφυγή θερμοκρασιακών συστολοδιαστολών στο μεταλλικό έλασμα συνίσταται η προϋπάρχουσα επιφάνεια σκυροδέματος να αποκατασταθεί με ένα ισχυρό κονίαμα πάχους τουλάχιστον 2cm ενισχυμένο με την ρητίνη (Κρητικού και Λογοθέτη χ.χ.).



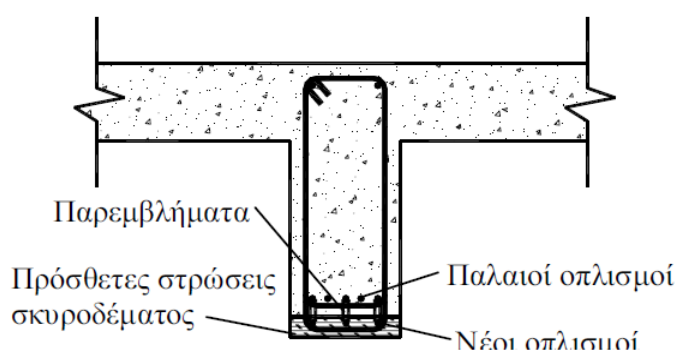
Εικόνα 87: Αστοχία στην περιοχή αγκύρωσης των άκρων ελάσματος

7.1.2.1.4. Πρόσθετες Στρώσεις Σκυροδέματος

Μία άλλη τεχνική ενίσχυσης σε κάμψη, είναι η ενίσχυση του εφελκυόμενου πέλματος με νέους διαμήκεις οπλισμούς που καλύπτονται από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε όλο το πλάτος της δοκού, σε ένα πάχος της τάξης των 7 - 10cm (Εικόνα 88). Σε κάποιες σπάνιες περιπτώσεις, δεν είναι απαραίτητη η χρήση νέου οπλισμού, ενώ αντί για εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί έγχυτο. Πριν την εφαρμογή της μεθόδου, πρέπει να γίνεται αποφόρτιση της ενισχυόμενης δοκού στο μέγιστο δυνατό βαθμό, και στην περίπτωση της κατασκευής μανδύα, η σύνδεση του υπάρχοντος με το νέο οπλισμό θα πρέπει να γίνεται μέσω παρεμβλημάτων. Επιπρόσθετα, σε περιπτώσεις όπου το πάχος της νέας στρώσης

σκυροδέματος είναι μεγάλο, η σύνδεση παλαιού και νέου στοιχείου μπορεί να γίνει με βλήτρα, αποφεύγοντας τις αρνητικές συνέπειες της ηλεκτροσυγκόλλησης στις ιδιότητες του χάλυβα (Κ.Σπυράκος 2004).

Παρ' όλο που η μέθοδος αυτή, έχει εξαιρετικά ευρεία εφαρμογή, εξακολουθεί να παρουσιάζει μειονεκτήματα. Το σημαντικότερο από αυτά είναι ότι το νέο σκυρόδεμα, είτε έγχυτο είτε εκτοξευόμενο, υπόκειται σε συστολή ξηράνσεως μέχρι να αναλάβει πλήρως την αντοχή του, ενώ αντίθετα οι διαστάσεις του αρχικού στοιχείου παραμένουν πρακτικά αμετάβλητες. Επειδή όμως, τα δύο στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους και συμπεριφέρονται ως ενιαία διατομή, η συστολή ξηράνσεως του νέου σκυροδέματος παρεμποδίζεται, με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις, οι οποίες εάν είναι σημαντικές μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα τη ρηγμάτωση του προστιθέμενου στοιχείου ή την αποκόλλησή του από την υφιστάμενη διατομή. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος, συνιστάται να χρησιμοποιείται σκυρόδεμα με κατάλληλα χημικά πρόσθετα ή να αντικαθίσταται το τσιμέντο από μη συρρικνούμενη κονία. Επιπρόσθετα, ένα άλλο πιθανό πρόβλημα είναι η διάβρωση του νέου οπλισμού και των βλήτρων που βρίσκονται σε επαφή με το παλαιό σκυρόδεμα λόγω ηλεκτροχημικής διάβρωσης του σκυροδέματος αυτού (Κ.Σπυράκος 2004; Κοντού και Τετράδη 2013; Σταθόπουλος).

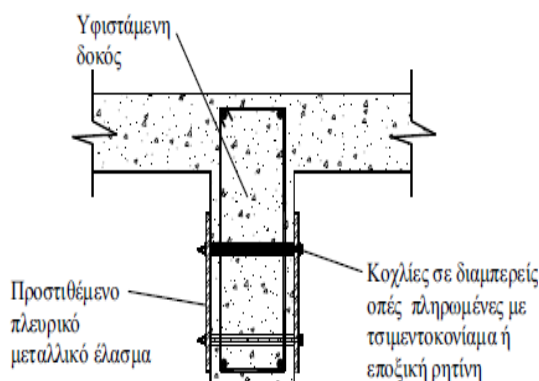


Εικόνα 88: Ενίσχυση κάτω πέλματος δοκού με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος

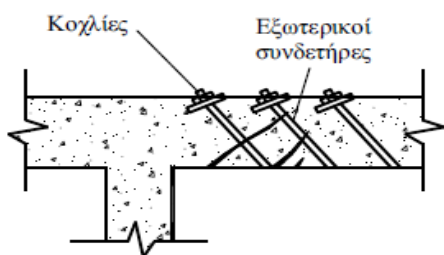
7.1.2.2. Ενίσχυση σε Διάτμηση

7.1.2.2.1. Μέθοδοι Ενίσχυσης Δοκών σε Διάτμηση

Στις προηγούμενες υποενότητες παρουσιάστηκαν οι κυριότερες μέθοδοι για την αύξηση της καμπτικής αντοχής μίας δοκού. Παρόμοιες τεχνικές με εκείνες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την ενίσχυση των δοκών σε διάτμηση. Συγκεκριμένα, η χρήση δύο μεταλλικών ελασμάτων μπορεί να αυξήσει τη διατμητική αντοχή της δοκού, εφόσον τα δύο ελάσματα τοποθετηθούν στις πλευρικές παρειές της και συνδεθούν με αυτή μέσω κοχλιών που διαπερνούν εγκάρσια το σώμα της δοκού σε δύο τουλάχιστον θέσεις όπως φαίνεται στην Εικόνα 89. Τα ελάσματα αυτά, ανάλογα με τις απαιτήσεις της μελέτης ενίσχυσης, μπορούν να τοποθετηθούν σε διαφορετικές θέσεις κατά μήκος της δοκού (Κ.Σπυράκος 2004).



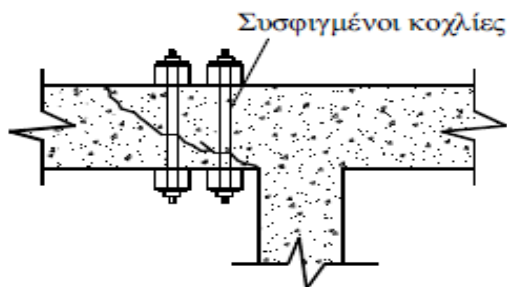
Εικόνα 89: Προσθήκη πλευρικών μεταλλικών ελασμάτων για αύξηση της διατμητικής αντοχής δοκού



Εικόνα 90: Διατμητική ενίσχυση δοκού με διαγώνιους εξωτερικούς συνδετήρες

Επιπρόσθετα, μία άλλη μέθοδος για την αύξηση της διατμητικής αντοχής της, είναι η προσθήκη νέων χαλύβδινων συνδετήρων που περισφίγγουν εξωτερικά τη δοκό. Οι συνδετήρες μπορούν να είναι είτε κατακόρυφοι, είτε υπό γωνία 45° όπως υποδεικνύεται στην Εικόνα 90 (Κ.Σπυράκος 2004; Σταθόπουλος χ.χ.).

Επίσης, δοκοί από σκυρόδεμα με ανεπαρκή διατμητική αντοχή ενδέχεται να παρουσιάζουν διαγώνιες ρωγμές οι οποίες ξεκινούν από την εσωτερική παρειά των στηρίξεων με κατεύθυνση προς το μέσον της δοκού. Σε αυτή την περίπτωση, εάν οι ρωγμές είναι μεγάλου εύρους ($> 0.5\text{mm}$), η προσθήκη πλευρικών ελασμάτων είτε εξωτερικών συνδετήρων δεν επαρκεί για την



Εικόνα 91: Αύξηση διατμητικής αντοχής δοκού με σοβαρές διατμητικές βλάβες μέσω συσφιγμένων κοχλιών

επισκευή και ενίσχυση της δοκού, αλλά επιπλέον απαιτείται η σύσφιγξη των στοιχείων ενίσχυσης μέχρι αρνήσεως. Έτσι, όπως φαίνεται στην Εικόνα 91, ζεύγη κοχλίων τοποθετούνται σε κάθε πλευρά της ρηγματωμένης δοκού και εντείνονται αποτρέποντας τη διάρρηξη του σκυροδέματος κατά μήκος της ρωγμής. Η λειτουργία του μηχανισμού αλληλεμπλοκής αδρανών μπορεί να αποκατασταθεί σημαντικά και με ρητινενέσεις μέσα στις ρωγμές (Κ.Σπυράκος 2004).

7.1.2.2.2. Ενίσχυση με εξωτερικά μεταλλικά στοιχεία

Η τεχνική αυτή συνίσταται στην εφαρμογή μεταλλικών ράβδων ανά αποστάσεις, εκατέρωθεν του άξονα συμμετρίας της διατομής, οι οποίες περισφίγγουν το διατμητικό άνοιγμα. Οι ράβδοι αυτές δε βρίσκονται σε επαφή με τις πλευρές του κορμού, αλλά σε κάποια απόσταση, η οποία δημιουργείται με τη τοποθέτηση χαλύβδινων ελασμάτων στις δύο κάτω γωνίες του κορμού, στις οποίες και συγκολλούνται τα μεταλλικά στοιχεία. Η εν λόγω ενίσχυση αποτελεί μια μορφή κλειστής ενίσχυσης, για τον λόγο ότι οι μεταλλικές ράβδοι διαπερνούν την πλάκα, μέσω οπών που δημιουργούνται σε αυτή, και κοχλιώνονται στο άνω μέρος της πλάκας. Παρ' όλη την αποδοτικότητα της τεχνικής αυτής, παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα, όπως η μειωμένη ανθεκτικότητα σε διάρκεια λόγω διάβρωσης του χάλυβα καθώς και η μειωμένη αισθητική χώρου για τον λόγο ότι τα στοιχεία ενίσχυσης παραμένουν εκτεθειμένα (ΛΑΜΠΡΟΥ 2010; Σταθόπουλος χ.χ.).

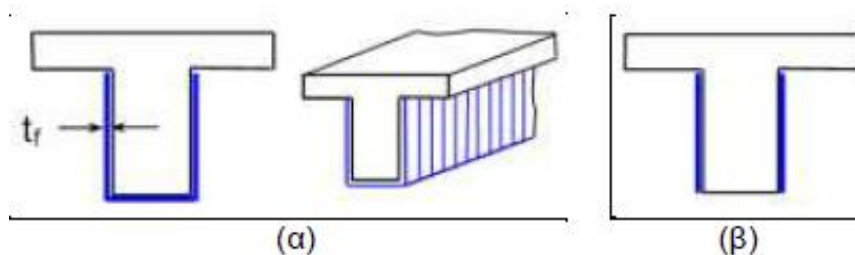
7.1.2.2.3. Χρήση συνθέτων υλικών

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στο πεδίο των ενισχύσεων κατασκευών, για τη διατμητική ενίσχυση δοκών με χρήση συνθέτων υλικών είναι κυρίως τρεις και είναι οι ακόλουθες:

- Τρίπλευρη ενίσχυση με μανδύα μορφής U, από υφάσματα ινών, άνθρακα ή υάλου εμποτισμένων σε ρητίνη. Ο μανδύας εφαρμόζεται περιμετρικά της κρέμασης της δοκού, με τις ίνες της κύριας διεύθυνσης να σχηματίζουν γωνία 90° ως προς τον άξονα της δοκού (Εικόνα 92.α, Εικόνα 93).
- Τρίπλευρη ενίσχυση με λωρίδες μορφής U, συγκεκριμένου πλάτους, τοποθετημένες ανά ίσες αποστάσεις. Οι λωρίδες αυτές, σχηματίζονται είτε από υφάσματα ινών κομμένα στο κατάλληλο πλάτος, είτε από προκατασκευασμένα

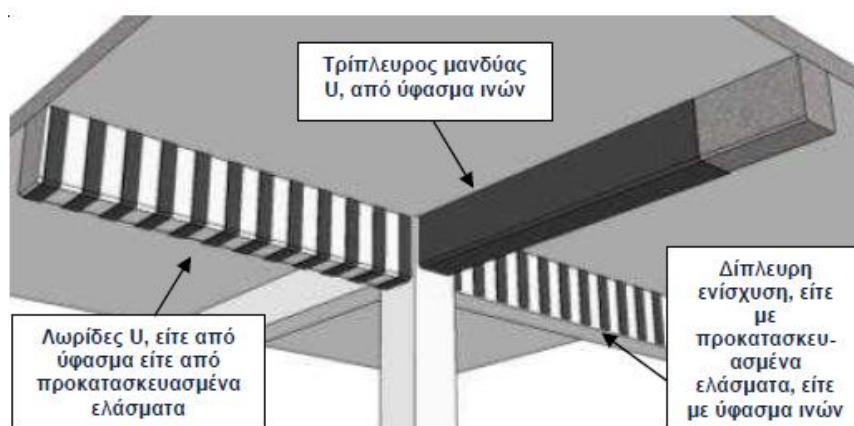
ελάσματα διατομής L , που τοποθετούνται στις δύο πλευρές του κορμού και συνθέτουν έτσι την τρίπλευρη ενίσχυση (Εικόνα 93).

- Δίπλευρη ενίσχυση με λωρίδες, συγκεκριμένου πλάτους τοποθετημένες ανά ίσες αποστάσεις. Οι λωρίδες που εφαρμόζονται εκατέρωθεν του άξονα συμμετρίας της διατομής, σχηματίζονται είτε από υφάσματα ινών κομμένα στο κατάλληλο πλάτος, είτε από προκατασκευασμένα ελάσματα τα οποία δεν απαιτείται να είναι διαμορφωμένα όπως συμβαίνει στην προηγούμενη περίπτωση (Εικόνα 92.β, Εικόνα 93).



Εικόνα 92: Διατημητική ενίσχυση πλακοδοκού με σύνθετα υλικά. (α) Τρίπλευρος μανδύας μορφής U. (β) Δίπλευρη ενίσχυση με επικόλληση στις δύο πλευρές του κορμού

Οι μέθοδοι που περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο ανήκουν στην κατηγορία των ανοικτών ενισχύσεων, καθώς δε σχηματίζουν μια κλειστή περίμετρο ενίσχυσης περιμετρικά του κορμού. Ως εκ τούτου, η τεχνική αυτή είναι εύκολη και ταχεία, με το μειονέκτημα όμως της μειωμένης αποδοτικότητας, σε σύγκριση τουλάχιστον με μια κλειστού τύπου ενίσχυση, λόγω πρόωρης αποκόλλησης των άκρων του συνεχούς μανδύα ή των λωρίδων U. Η αστοχία αυτή, οδηγεί επιπλέον σε ψαθυρού τύπου αστοχία, κάτι που είναι ανεπιθύμητο στην περίπτωση που επιδιώκεται η επίτευξη πλαστιμότητας (Κρητικού και Λογοθέτη χ.χ.; ΛΑΜΠΡΟΥ 2010).



Εικόνα 93: Σχηματική αναπαράσταση πιθανών μορφών διατημητικής ενίσχυσης δοκών Ο.Σ με χρήση ινοπλισμένων πολυμερών

7.1.2.3. Ταυτόχρονη Ενίσχυση σε Διάτμηση και Κάμψη

7.1.2.3.1. Μανδύες Οπλισμένου Σκυροδέματος

Η τεχνική της κατασκευής μανδυνών από οπλισμένο σκυρόδεμα, αποτελεί τη συνηθέστερη και αποτελεσματικότερη μέθοδο ενίσχυσης δοκών όταν απαιτείται αύξηση τόσο της καμπτικής όσο και της διατμητικής τους αντοχής (Κ.Σπυράκος 2004; Κοντού και Τετράδη 2013). Για την υλοποίηση της τεχνικής αυτής, τοποθετούνται νέοι διαμήκεις οπλισμοί στην εφελκυσόμενη παρειά και νέοι συνδετήρες περιμετρικά του στοιχείου, ενώ για τη δημιουργία του μανδύα μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε έγχυτο είτε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αν και συνήθως προτιμάται η χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος για λόγους κατασκευαστικής ευκολίας. Στις περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατή η θραύση της πλάκας στην περιοχή πάνω από τη θλιβόμενη παρειά της δοκού και κατ' επέκταση η κατασκευή έτσι κλειστού μανδύα, επιλέγεται η λιγότερο αποτελεσματική τεχνική της τοποθέτησης ανοικτού μανδύα (Κ.Σπυράκος 2004; ΛΑΜΠΡΟΥ 2010).

Τέλος, όπως μπορεί κανείς να αντιληφθεί, τεχνική των μανδυνών περιλαμβάνει την αύξηση της διατομής της, ενώ ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται για την εξασφάλιση της επαρκούς αγκύρωσης των συνδετήρων (Κ.Σπυράκος 2004).



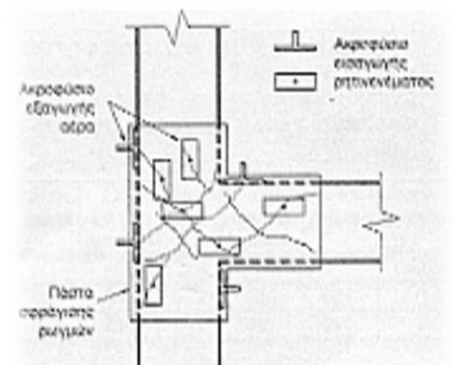
Εικόνα 94: Δοκός και Υποστύλωμα ενισχυμένα με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος
(Κοντού και Τετράδη 2013)

7.2. Επισκευή και Ενίσχυση Κόμβων Δοκών - Υποστυλωμάτων

Οι κόμβοι Δοκών – Υποστυλωμάτων αποτελούν τα πλέον ευπαθή στοιχεία των υφιστάμενων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, αφού μπορούν να οδηγήσουν ακόμα και σε καταρρεύσεις. Ως εκ τούτου, οι επισκευές και οι ενισχύσεις στην περιοχή των κόμβων αποτελούν ίσος και τη δυσκολότερη κατασκευαστική διαδικασία στο τομέα των επεμβάσεων για τον λόγο ότι συντρέχουν πολλά στοιχεία των φορέων. Επομένως, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή.

7.2.1. Ρητινενέσεις

Η τεχνική της επισκευής με τη χρήση ρητινών έχει ήδη προαναφερθεί στην Ενότητα 7.2.1. Αναφέροντας όμως περιληπτικά, τίθεται μια στρώση από παχύρρευστη εποξειδική ρητίνη γύρω από όλη την περιοχή του συστήματος ρωγμών τοποθετώντας και ειδικά ακροφύσια για να είναι δυνατή η εισαγωγή του ενέματος και η εξαγωγή του εγκλωβισμένου αέρα κατά τις ρητινενέσεις (Εικόνα 95) (Χιώτης.Δ κ.ά. 2012).

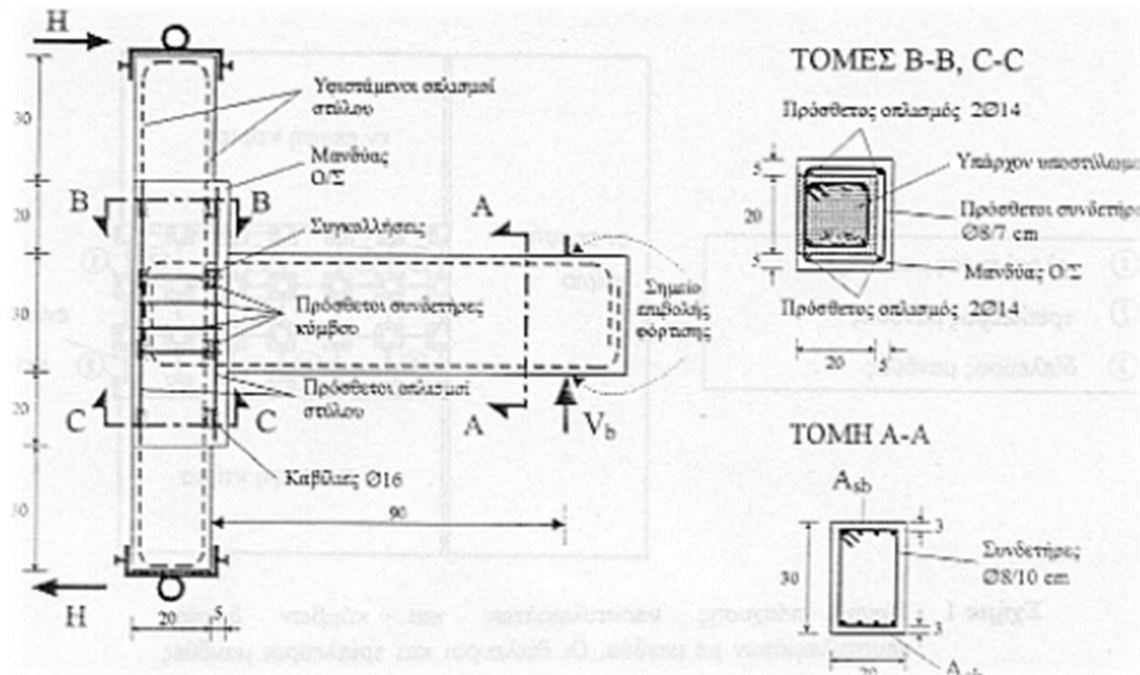


Εικόνα 95: Εφαρμογή μεθόδου Ρητινενέσεων σε κόμβο

7.2.2. Μανδύες

Στην περίπτωση αυτή οι μανδύες, από οπλισμένο σκυρόδεμα, δεν είναι δυνατό να είναι ολόπλευροι αλλά θα είναι τρίπλευροι ή αντίστοιχα στους γωνιακούς κόμβους δίπλευροι. Ενδεικτικά, φαίνεται στο παρακάτω σχήμα οι διαστάσεις και οι λεπτομέρειες οπλισμού μανδύα στη διατομή ενός εξωτερικού γωνιακού κόμβου.

Περαιτέρω λεπτομέρειες για την τεχνική, καθώς και οι διάφορες τεχνικές μανδυνών και οι εφαρμογές τους έχουν προαναφερθεί στην Ενότητα 6.14 (Δρίτσος 2005; Ζησοπούλου και Αντωνόπουλος 2000).

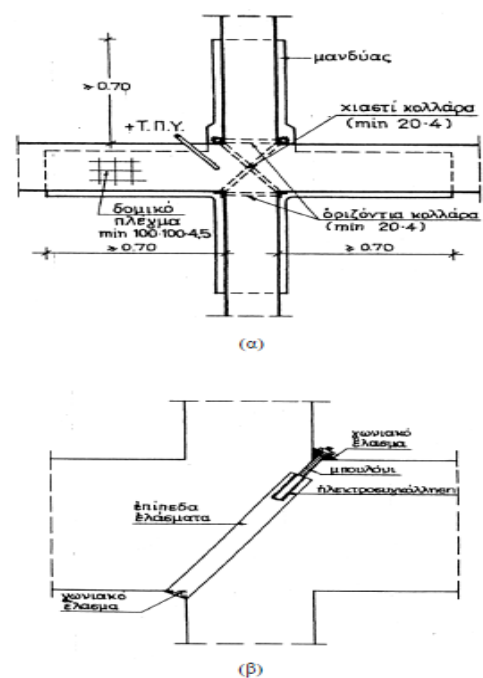


Εικόνα 96: Λεπτομέρεια οπλισμού μανδύα

7.2.3. Χιαστί προεντεταμένα κολάρα

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου προηγήθηκε πλήρωση των ρωγμών με ρητινενέσεις ή αφού αφαιρέθηκε το αποδιοργανωμένο σκυρόδεμα και συμπληρώθηκε με εποξειδικό ή μη συρρικνούμενο κονίαμα. Στην συνέχεια, ο κόμβος ενισχύεται με εξωτερικούς χιαστί συνδετήρες (κόλλαρα) οι οποίοι προεντείνονται όπως φαίνεται στην Εικόνα 97 (Δρίτσος 2005; Χιώτης, Δ κ.ά. 2012).

Ακολουθεί επένδυση του κόμβου με πλέγμα και μανδύας από εκτοξευμένο σκυρόδεμα. Σε περίπτωση όπου στον κόμβο συντρέχουν τέσσερις δοκοί τότε είναι

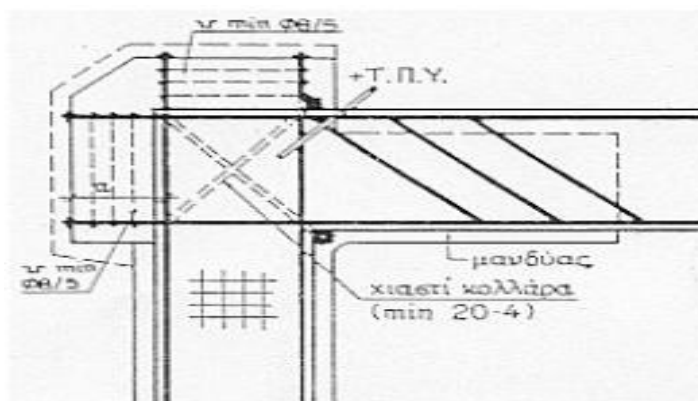


Εικόνα 97: Λεπτομέρεια τοποθέτησης κολάρων

προφανές ότι η παραπάνω διαδικασία δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί λόγω αδυναμίας διελεύσεως των χιαστί κολάρων (Δρίτσος 2005; Ζησοπούλου και Αντωνόπουλος 2000).

7.2.4. Τεχνική της ‘Καμπούρας’

Στην περίπτωση ακραίων κόμβων, επειδή δεν είναι εύκολη και σίγουρη η διαπίστωση της ακριβούς αιτίας βλάβης συνίσταται η χρήση τεχνικής της "καμπούρας", η οποία τεχνική περιλαμβάνει την ενίσχυση των κόμβων με επεκτάσεις της δοκού ή του υποστυλώματος ή και των δύο (Εικόνα 98). Τέλος, οι συσφίξεις των νέων ράβδων ακυρώσεως μένουν ακάλυπτες εφόσον ελαιοβαφούν ή καλυφτούν με τον μανδύα του κόμβου (Ζησοπούλου και Αντωνόπουλος 2000).

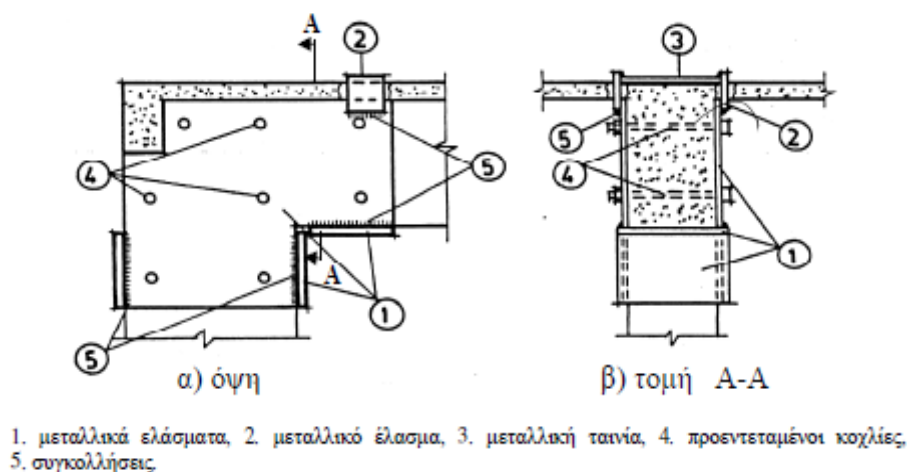


Εικόνα 98: Λεπτομέρεια της τεχνικής της καμπούρας

7.2.5. Επικόλληση Ελασμάτων

Όπως και στη περίπτωση των χιαστί προεντεταμένων κολάρων, τα επικολλώμενα ελάσματα μπορούν να εφαρμοστούν μόνο σε επίπεδους κόμβους. Στην μέθοδο όμως αυτή, επιτρέπεται η ενίσχυση χωρίς αλλοίωση στις διαστάσεις του. Στην τεχνική αυτή, προηγείται τοπική ενίσχυση και ακολουθεί η επικόλληση των ελασμάτων και στη συνέχεια η σύσφιγξή τους με προεντεταμένους κοχλίες (Εικόνα 99) (Δρίτσος 2005; Ζησοπούλου και Αντωνόπουλος 2000).

Περισσότερες λεπτομέρειες για την τεχνική αυτή αναγράφονται στην Ενότητα 6.3.



Εικόνα 99: Ενίσχυση κόμβου με επικολλητά ελάσματα

7.2.6. Τοπική ενίσχυση με καθαίρεση και αποκατάσταση

Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε κόμβους με υψηλό βαθμό βλάβης, δηλαδή όταν έχουν υποστεί συντριβή του σκυροδέματος, διάρρηξη των συνδετήρων και λυρισμό των διαμηκών ράβδων. Στην περίπτωση αυτή, καθαιρείται τοπικά το αποδιοργανωμένο σκυρόδεμα στον κόμβο και σε τμήματα των κρίσιμων περιοχών των στύλων των δοκών. Στην συνέχεια, τοποθετούνται με συγκόλληση νέοι διαμήκεις ράβδοι οπλισμού σε σημεία, όπου έχει διαπιστωθεί λυγισμός, τοποθετούνται νέοι προσθετοί συνδετήρες και ακολούθως, αποκαθίσταται το καθαιρούμενο σκυρόδεμα με νέο (Ζησοπούλου και Αντωνόπουλος 2000).

Βασικό πλεονέκτημα της τεχνικής, είναι ότι παραμένουν σταθερές και μετά την ενίσχυση οι αρχικές διατομές των στοιχείων (Ζησοπούλου και Αντωνόπουλος 2000).

7.2.7. Σύνθετα Υλικά

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί μια νέα τεχνική ενίσχυσης των κατασκευών η οποία βασίζεται στην επικόλληση λωρίδων από ινοπλισμένα (σύνθετα) υλικά με τη βοήθεια εποξειδικών ρητινών, σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος. Τα υλικά αυτά αποτελούνται από ίνες άνθρακα, γυαλιού ή αραμιδίου σε πολυμερή μήτρα, χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλή εφελκυστική αντοχή, μικρό βάρος και εξαιρετική ανθεκτικότητα σε διάρκεια (Ζησοπούλου και Αντωνόπουλος 2000).

Περισσότερες λεπτομέρειες για την χρήση των σύνθετων υλικών ως υλικά ενίσχυσης έχουν προαναφερθεί στην Ενότητα 6.1.

7.3. Επισκευή και Ενίσχυση Υποστυλωμάτων

Όπως έχει προαναφερθεί, τα υποστυλώματα είναι τα κρίσιμότερα στοιχεία μιας κατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος, αφού ακόμα και όλη η κατασκευή να έχει υποστεί βλάβες, αυτά θα πρέπει να συνεχίσουν να μεταφέρουν τα κατακόρυφα φορτία ώστε να μην καταρρεύσει. Επομένως, τόσο η κατασκευή τους, όσο και η επισκευή και ενίσχυση τους χρίζουν πάσης προσοχής.

7.3.1. Επισκευή Υποστυλωμάτων

Ανάλογα με τον βαθμό βλάβης που έχει υποστεί το υποστύλωμα, η επισκευή μπορεί να γίνει είτε με χρήση ρητινενέσεων ή επισκευαστικών κονιαμάτων, είτε με καθαίρεση και αποκατάσταση των βλαμμένων περιοχών. Οι δύο αυτοί τρόποι επισκευής επεξηγούνται ακολούθως.

7.3.1.1. Επισκευές με ρητινενέσεις ή επισκευαστικά κονιάματα

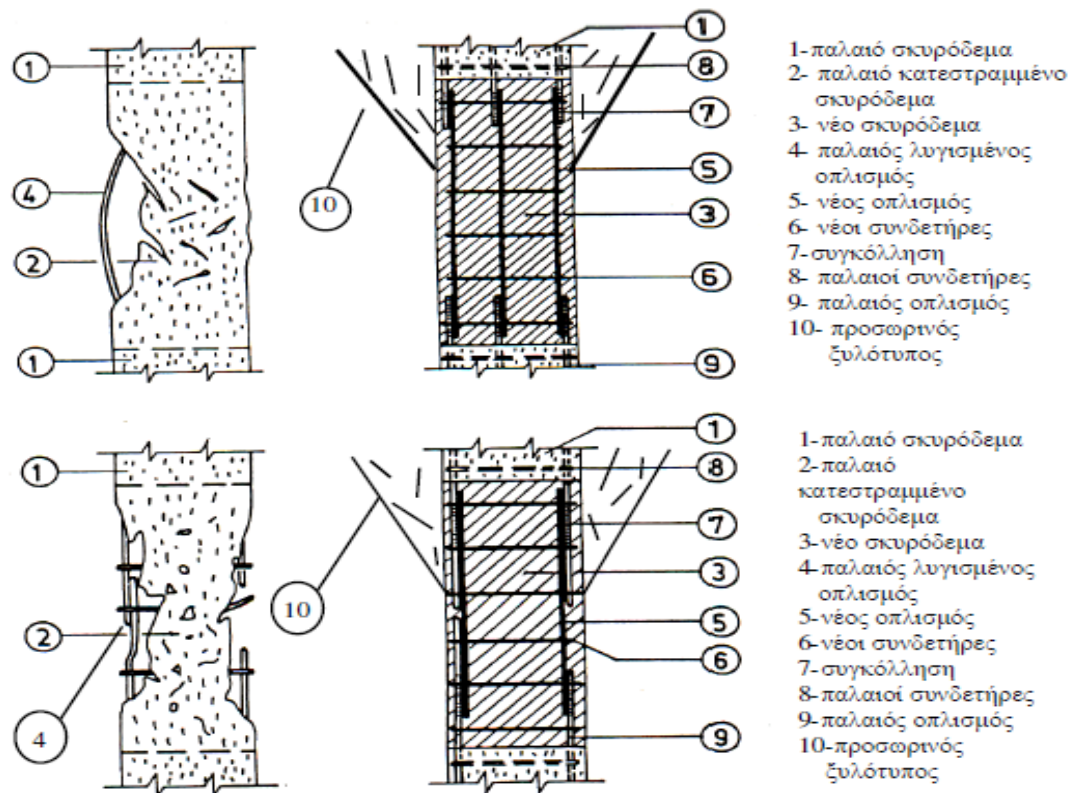
Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου οι βλάβες του υποστυλώματος είναι ελαφρές. Συγκεκριμένα, εφαρμόζεται όταν οι ρηγματώσεις ή οι αποφλοιώσεις του σκυροδέματος που εμφανίζονται δεν έχουν προκαλέσει αποδιοργάνωση του περισφιγμένου τμήματος του υποστυλώματος καθώς και λυγισμό των ράβδων οπλισμού. Ειδικότερα, οι ρητινενέσεις χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις ρηγματώσεων, ενώ τα επισκευαστικά κονιάματα χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις όπου παρουσιάζονται επιφανειακές αποφλοιώσεις στο σκυρόδεμα (Δρίτσος 2005). Περισσότερες λεπτομέρειες περί των τεχνικών αυτών έχουν αναφερθεί στην Ενότητα 6.

7.3.1.2. Τοπικές αποκαταστάσεις ίσης διατομής

Οι επεμβάσεις με καθαίρεση και αποκατάσταση ίσης διατομής εφαρμόζονται στις περιπτώσεις όπου οι βλάβες των υποστυλωμάτων είναι σοβαρές. Συγκεκριμένα, εφαρμόζονται όταν εμφανίζεται στο υποστύλωμα αποδιοργάνωση του σκυροδέματος ή διάρρηξη, η οποία μπορεί να ακολουθείται από άνοιγμα ή διάρρηξη των συνδετήρων, καθώς

και λυγισμό των διαμήκων ράβδων (Δρίτσος 2005). Συνηθίζεται μετά την τεχνική επισκευής αυτή, να ακολουθεί ενίσχυση με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος.

Στην Εικόνα 100 απεικονίζονται δύο διαφορετικές περιπτώσεις αποκατάστασης, στις οποίες παρουσιάζεται πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος της βλαμμένης περιοχής, λυγισμός των διαμήκων ράβδων οπλισμού καθώς και διάρρηξη των συνδετήρων.

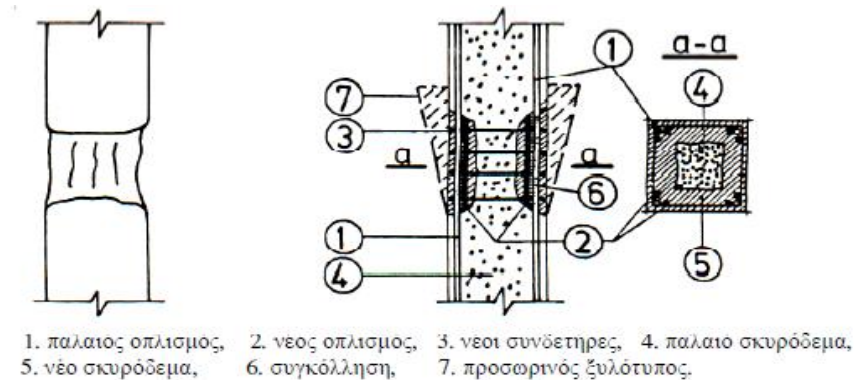


Εικόνα 100: Αποκατάσταση υποστυλώματος, με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος της βλαμμένης περιοχής

Οι ενέργειες που απαιτούνται για την αποκατάσταση της περιοχής του υποστυλώματος που έχει υποστεί βλάβη είναι (Δρίτσος 2005; Κ.Σπυράκος 2004):

- Καθαίρεση, απομάκρυνση υλικού σκυροδέματος και καθαρισμός της περιοχής της βλάβης
- Απομάκρυνση των συνδετήρων της περιοχής
- Κόψιμο των τμημάτων των διαμήκων οπλισμών που έχουν λυγίσει
- Ηλεκτροσυγκόλληση νέων διαμήκων οπλισμών και τοποθέτηση νέων πυκνών συνδετήρων
- Σκυροδέτηση του τμήματος αποκατάστασης

Στην Εικόνα 101 απεικονίζεται η περίπτωση που το κεντρικό τμήμα του υποστυλώματος παρέμεινε αβλαβές και ως εκ τούτου δεν προβαίνουμε σε απομάκρυνση του. Ο διαμήκης οπλισμός σε αυτή την περίπτωση δεν αντικαθίσταται εφόσον δεν έχει λυγίσει, αλλά υπάρχει η πιθανότητα να απαιτηθεί η τοποθέτηση νέων συνδετήρων έτσι ώστε να πληρούνται οι κατασκευαστικές διατάξεις του ισχύοντος κανονισμού (Δρίτσος 2005).



Εικόνα 101: Αποκατάσταση υποστυλώματος με μερική αποδιοργάνωση της βλαμμένης περιοχής

7.3.2. Ενίσχυση Υποστυλωμάτων

Οι τεχνικές ενίσχυσης των υποστυλωμάτων μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με την αύξηση ή όχι της διατομής του υποστυλώματος. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι τεχνικές στις οποίες δεν αυξάνεται η διατομή του υποστυλώματος και η ενίσχυση επιτυγχάνεται με ενεργή περίσφιγξη του στοιχείου. Στη δεύτερη κατηγορία η ενίσχυση επιτυγχάνεται με αύξηση της διατομής του υποστυλώματος με νέες στρώσεις σκυροδέματος και νέους οπλισμούς, κατασκευάζοντας ένα μανδύα γύρω από το αρχικό στοιχείο. Στη συνέχεια θα αναπτυχθούν οι παραπάνω δύο μορφές ενίσχυσης υποστυλωμάτων.

7.3.2.1. Ενίσχυση υποστυλωμάτων με περίσφιγξη

Η ενίσχυση με εξωτερική περίσφιγξη των υποστυλωμάτων προσφέρεται όταν (Δρίτσος 2005):

- Απαιτείται αύξηση της πλαστιμότητας τους ή αύξηση της διατμητικής αντοχής υποστυλώματος
- Απαιτείται αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος

- Υπάρχει ο κίνδυνος αστοχίας της συνάφειας των κατακόρυφων οπλισμών του υποστυλώματος στην περιοχή υπερκάλυψής τους

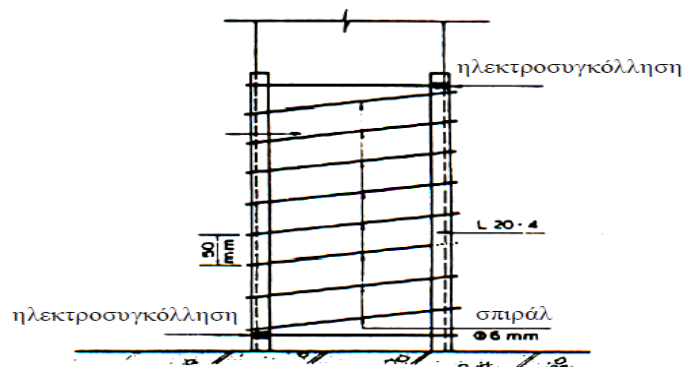
Η επιβολή εξωτερικής περίσφιξης σε υποστυλώματα μπορεί να γίνει με τους παρακάτω τρόπους (Αγγελή και Σταματοπούλου 2011; Δρίτσος 2005; ‘Ενίσχυση υποστυλωμάτων:Περίσφιξη με χρήση ινοπλισμένων πολυμερών (FRP)’ χ.χ.; Κ.Σπυράκος 2004):

- Με χρήση επικολητών κολάρων που μπορεί να είναι μεταλλικά ελάσματα ή λωρίδες από ινοπλισμένα πολυμερή (Εικόνα 102).



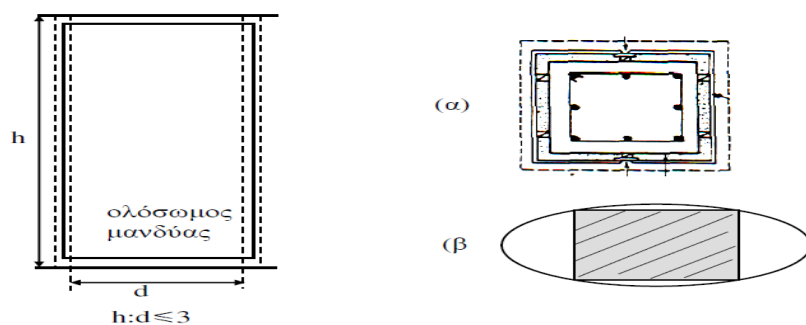
Εικόνα 102: Περίσφιξη με μεταλλικά επικολητά ελάσματα

- Με χρήση προεντεταμένων κολάρων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή
- Με χρήση σπειροειδούς οπλισμού (Εικόνα 103) που μπορεί να είναι από μεταλλικό έλασμα ή από ινοπλισμένο πολυμερές



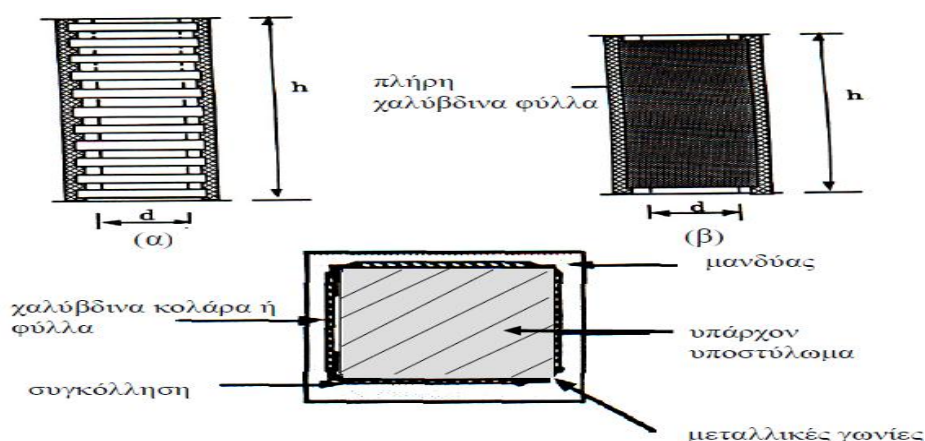
Εικόνα 103: Περίσφιξη με σπειροειδή οπλισμό

- Με χρήση ολόσωμου μανδύα από φύλλα χάλυβα ή ινοπλισμένο πολυμερές, επικολητού επί των πλευρών του υποστυλώματος (Εικόνα 104).



Εικόνα 104: Περίσφιξη με γενικό μεταλλικό μανδύα. (α) Ορθογωνική (β) Ελλειπτική

- Με χρήση μεταλλικού κλωβού που δημιουργείται με κατακόρυφα γωνιακά ελάσματα και είτε οριζόντια μεταλλικά κολάρα (Εικόνα 105.α) είτε πλήρη χαλύβδινα φύλλα (Εικόνα 105.β)



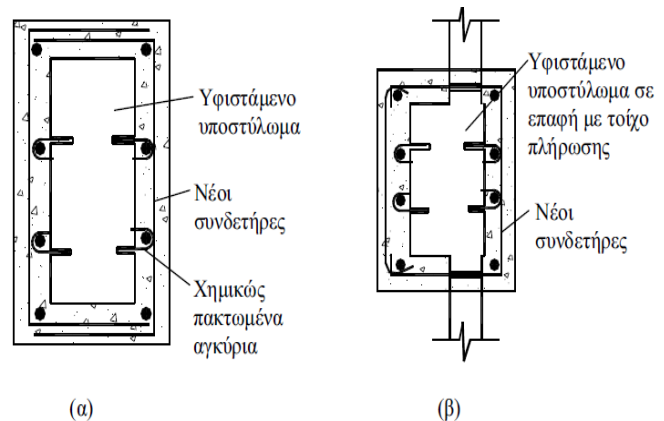
Εικόνα 105: Περίσφιξη με μεταλλικό κλώβο

Περισσότερες λεπτομέρειες έχουν προαναφερθεί σε γενικότερο βαθμό στην Ενότητα 6.

7.3.2.2. Ενίσχυση Υποστυλωμάτων με Αύξηση της Διατομής

Η τεχνική της ενίσχυσης των υποστυλωμάτων με αύξηση των διαστάσεων της διατομής με κατασκευή μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα αποτελεί την πλέον συνηθέστερη μέθοδο ενίσχυσης υφιστάμενων υποστυλωμάτων (Εικόνα 106). Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου τα υποστυλώματα εμφανίζουν ανεπάρκεια στην αντοχή τους, τη δυσκαμψία και την πλαστιμότητά τους (Δρίτσος 2005; Κ.Σπυράκος 2004).

Το κυριότερο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής, είναι το γεγονός ότι δεν μεταβάλλεται η αρχιτεκτονική όψη της ενισχυμένης κατασκευής με την προσθήκη νέων υλικών ενώ επιτυγχάνεται ταυτόχρονη αύξηση της πυροπροστασίας. Επιπρόσθετα, επιτυγχάνεται η μείωση της λυγηρότητας και η αύξηση της δυσκαμψίας της διατομής. Για τον λόγο ότι η ενισχυμένη παραλαμβάνει μόνο τα πρόσθετα φορτία που θα ασκηθούν σε αυτή, δεν αποτελεί λύση στην περίπτωση όπου το υποστύλωμα έχει ήδη υπερβεί τη φέρουσα ικανότητά του λόγω των υφιστάμενων φορτίων, εκτός αν προηγηθεί της κατασκευής του μανδύα αποφόρτιση του στοιχείου που πρόκειται να ενισχυθεί (Δρίτσος 2005; Κ.Σπυράκος 2004).



Εικόνα 106: Ενίσχυση Υποστυλωμάτων με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος. (α) Εσωτερικό μεμονωμένο υποστύλωμα. (β) Περιμετρικό υποστύλωμα σε επαφή με τοίχωμα

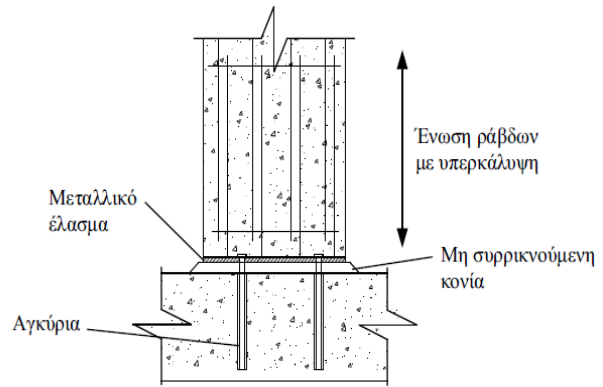
Περισσότερες λεπτομέρειες και ανάλυση των διαφόρων ειδών μανδυνών έχουν προαναφερθεί στην Ενότητα 6.14.

7.3.2.3. Προσθήκη Νέων Υποστυλωμάτων

Ένας άλλος τρόπος ενίσχυσης υφιστάμενων υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι αυτός με την κατασκευή ενός νέου υποστυλώματος. Τα δύο υποστυλώματα μπορούν είτε να είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, είτε να συνδέονται μέσω βλήτρων ή άλλων μηχανικών μέσων. Σε αυτή την μέθοδο, όπως και σε αυτή της κατασκευής μανδύα, το νέο υποστύλωμα θα παραλάβει μόνο τα μελλοντικά φορτία εκτός εάν έχει προηγηθεί αποφόρτιση του υφιστάμενου στοιχείου (Δρίτσος 2005; Κ.Σπυράκος 2004).

Το νέο υποστύλωμα μπορεί να κατασκευαστεί είτε από δομικό χάλυβα είτε από οπλισμένο σκυρόδεμα. Συγκεκριμένα, το σκυρόδεμα αποτελεί ίσως την βέλτιστη επιλογή όταν υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις πυροπροστασίας, αν και το μεταλλικό υποστύλωμα καταλαμβάνει λιγότερο χώρο. Μία ενδιαμέση λύση θα ήταν η κατασκευή ενός σύμμικτου υποστυλώματος, στο οποίο η μεταλλική διατομή εγκιβωτίζεται στο σκυρόδεμα (Δρίτσος 2005; Κ.Σπυράκος 2004).

Το κυριότερο μειονέκτημα της προσθήκης νέου υποστυλώματος κοντά σε υπάρχον, είναι ο τρόπος θεμελίωσης του νέου στοιχείου, αφού συνήθως οι διαστάσεις του υπάρχοντος θεμελίου δεν επαρκούν για να θεμελιωθεί σε αυτό και το νέο υποστύλωμα, καθώς μπορεί να μην υπάρχει ούτε επαρκής χώρος για την κατασκευή νέου θεμελίου. Για αυτό τον λόγο, πριν την κατασκευή του πρόσθετου στοιχείου, απαιτείται η προσεκτική



Εικόνα 107: Σύνδεση νέου υποστυλώματος σε υπάρχουσα θεμελίωση

διερεύνηση των συνθηκών στο επίπεδο της θεμελίωσης. Προκειμένου να συνδεθεί το πρόσθετο υποστύλωμα με το θεμέλιο του υφιστάμενου υποστυλώματος, οι διαμήκεις ράβδοι του ματίζονται σε βλήτρα, τα οποία αγκυρώνονται μέσα στο θεμέλιο. Σε περίπτωση όπου ο αριθμός των διαμήκων ράβδων είναι μεγάλος, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται μία πλάκα έδρασης στην οποία θα συγκολληθούν τα βλήτρα (Δρίτσος 2005; Κ.Σπυράκος 2004). Ακολούθως, η πλάκα έδρασης συνδέεται με το θεμέλιο μέσω αγκυρίων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 107.

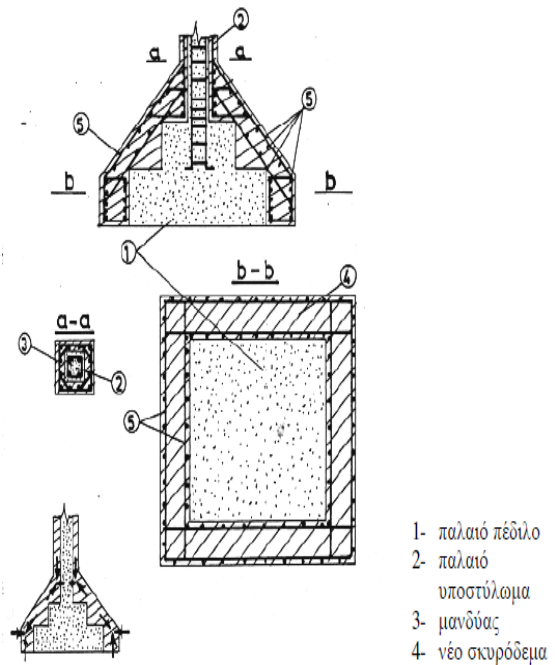
Για την ασφαλή μεταβίβαση φορτίων από την υπερκείμενη δοκό στο νέο προστιθέμενο υποστύλωμα, το νέο στοιχείο κατασκευάζεται ελαφρώς πιο κοντό, ενώ το κενό μεταξύ της κάτω παρειάς της δοκού και της κεφαλής του υποστυλώματος πληρώνεται εκ των υστέρων με μη συρρικνούμενη κονία. Στην περίπτωση κατασκευής υποστυλώματος από σκυρόδεμα, συνιστάται η πλήρωση του κενού να γίνεται όσο πιο γρήγορα γίνεται έτσι ώστε να έχει ολοκληρωθεί το μεγαλύτερο μέρος της διαδικασίας της συστολής ξηράνσεως (Δρίτσος 2005; Κ.Σπυράκος 2004).

7.4. Ενίσχυση στοιχείων Θεμελίωσης

Η ενίσχυση των στοιχείων θεμελίωσης αποτελεί κυρίως αντικείμενο της Εδαφομηχανικής, όμως αξίζει να γίνει αναφορά στον τρόπο ενίσχυσης των στοιχείων θεμελίωσης και ειδικότερα στον τρόπο αντιμετώπισης ενός συνήθους προβλήματος που αφορά την ανάγκη για αύξηση της επιφάνειας της βάσης των πεδίων ή των πεδילוδοκών μιας κατασκευής.

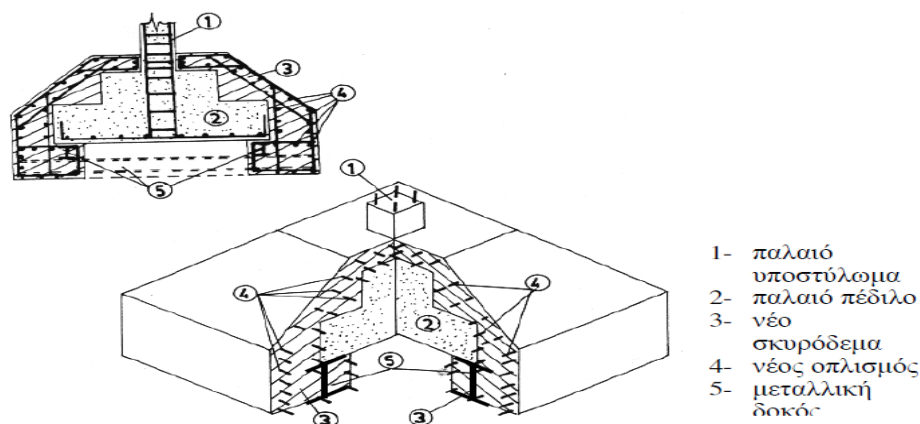
Υπάρχουν δύο διατάξεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θεμελίωση. Συγκεκριμένα, η πρώτη διάταξη (Εικόνα 108) προτείνεται στην περίπτωση θεμελίωσης με πέδιλα όταν εκτός από την αύξηση της βάσης του πεδίλου, χρειάζεται και ενίσχυση του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου (τοιχώματος ή υποστυλώματος) με την τεχνική των μανδυνών (Δρίτσος 2005; Νικόπουλλος 2013).

Ενδεικτικά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 108, με αυτή την τεχνική η επέκταση του πεδίλου υλοποιείται στη βάση του πεδίλου με τη μορφή ενός περιμετρικού δακτυλίου με κλειστούς συνδετήρες.



Εικόνα 108: Ενίσχυση πέδινων με μανδύες

Η δεύτερη διάταξη (Εικόνα 109) προτείνεται, στην περίπτωση θεμελίωσης με πέδιλα όταν η επέμβαση δεν συμπεριλαμβάνει ενίσχυση με μανδύες του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου, καθώς και στην περίπτωση θεμελίωσης με πεδילוδοκούς, ανεξάρτητα της κατασκευής ή όχι μανδυνών στα κατακόρυφα στοιχεία. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 109, το νέο τμήμα του πεδίλου σε αυτή την περίπτωση επεκτείνεται και κάτω από το παλαιό πέδιλο/πεδילוδοκό, έτσι ώστε οι εδαφικές πιέσεις να μεταφερθούν απ' ευθείας στο παλαιό πέδιλο/πεδילוδοκό. Για την εφαρμογή της τεχνικής αυτή, απαιτείται η περιμετρική εκσκαφή κάτω από το παλαιό πέδιλο και επιπλέον χρειάζεται προσωρινή στήριξη σ' αυτήν την περιοχή με μεταλλικές διατομές Ι οι οποίες τελικά ενσωματώνονται στο νέο στοιχείο (Δρίτσος 2005; Νικόπουλλος 2013).



Εικόνα 109: Ενίσχυση πέδινου όταν η επέμβαση δεν περιλαμβάνει ενίσχυση του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου

7.5. Επισκευή και Ενίσχυση Τοιχωμάτων

7.5.1. Επισκευές τοιχωμάτων

Για τις επισκευές τοιχωμάτων σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, ισχύουν οι ίδιες ακριβώς τεχνικές που αναπτύχθηκαν για τα υποστυλώματα στην Ενότητα 7.3, χωρίς καμία διαφοροποίηση, είτε πρόκειται για περιπτώσεις τοιχωμάτων με ελαφριές βλάβες, χρησιμοποιώντας την μέθοδο των ρητινενέσεων ή των επισκευαστικών κονιαμάτων, είτε πρόκειται για βαριές βλάβες, όπου χρησιμοποιείται η τεχνική της τοπικής αποκατάστασης ίσης διατομής (χρήση μανδυνών).

7.5.2. Ενίσχυση τοιχωμάτων

Όπως και στην περίπτωση των υποστυλωμάτων έτσι και τα τοιχώματα μπορούν να ενισχυθούν είτε με αύξηση της διατομής τους με κατασκευή μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος είτε με επιβολή εξωτερικής περίσφιξης. Σε κάθε περίπτωση η μέθοδος που επιλέγεται πρέπει να τροποποιείται κατάλληλα έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη τόσο η ιδιαίτερη συμπεριφορά των τοιχωμάτων έναντι σεισμικής δράσης όσο και οι περιορισμοί που επιβάλλονται λόγω της γεωμετρίας τους.

7.5.2.1. Ενίσχυση τοιχωμάτων με περίσφιξη

Η μέθοδος της εξωτερικής περίσφιξης σε τοιχώματα δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες κατασκευαστικές δυσκολίες, όμως εντούτοις η χρήση της είναι πολύ λιγότερο διαδεδομένη σε σύγκριση με την περίπτωση των υποστυλωμάτων. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η αποδοτικότητα της περίσφιξης μειώνεται σημαντικά λόγω του έντονα ορθογωνικού σχήματος των τοιχωμάτων, γι' αυτό και ούτε συνιστάτε. Απ' όλες τις εφικτές τεχνικές περίσφιξης θα μπορούσαμε να ξεχωρίσουμε την τεχνική των μανδυνών με ινοπλισμένα πολυμερή και την τεχνική του μεταλλικού κλωβού. Συγκεκριμένα, όσο αφορά την τεχνική των μανδυνών από



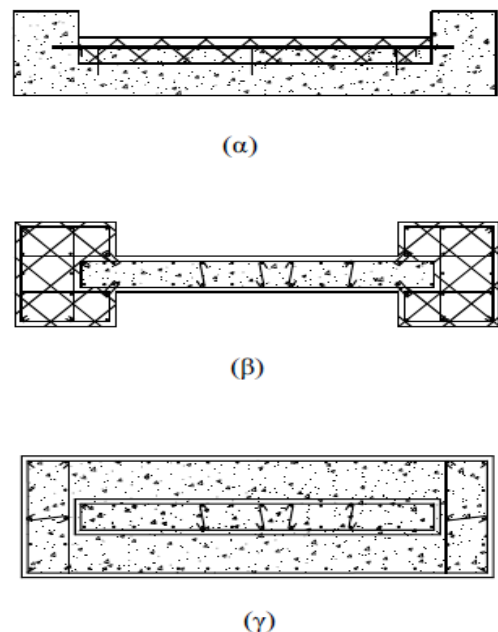
Εικόνα 110: Επέμβαση με μεταλλικό κλωβό (Δρίτσος 2005)

ινοπλισμένα πολυμερή, έχει το πλεονέκτημα της ευκολίας εφαρμογής και της δυνατότητας ανάληψης διατμητικής και καμπτικής έντασης (Δρίτσος 2005; Κ.Σπυράκος 2004). Όσο αφορά την τεχνική των μεταλλικών κλωβών, τα κυριότερα πλεονεκτήματα της είναι η ικανότητα παραλαβής της τέμνουσας, αλλά και η χρησιμότητά της ως προσωρινής λύσης για την ανάληψη των κατακόρυφων φορτίων σε περίπτωση τοιχωμάτων που έχουν υποστεί σημαντικές βλάβες και ως εκ τούτου αδυνατούν να μεταφέρουν με ασφάλεια τα αξονικά τους φορτία (Εικόνα 110) (Δρίτσος 2005; Κ.Σπυράκος 2004).

7.5.2.2. Ενίσχυση τοιχωμάτων με Αύξηση της Διατομής τους (Μανδύες ΟΣ)

Η μέθοδος ενίσχυσης των τοιχωμάτων με αύξηση της διατομής του, γνωστή και ως μέθοδος των μανδυνών, αποτελεί την πλέον συνηθέστερη και αποδοτικότερη μέθοδο ενίσχυσης τοιχωμάτων. Στην μέθοδο αυτή, λόγω του μεγάλου μήκους της μιας διάστασης του τοιχώματος, συχνά ο μανδύας δεν έχει κλειστή μορφή. Επομένως, η ενίσχυση του τοιχώματος αφορά στην αύξηση του πάχους του με κατασκευή μανδύα ανοικτού τύπου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 111.α, που αποβλέπει κυρίως στην αύξηση της διατμητικής αντοχής του τοιχώματος. Επιπρόσθετα, μία άλλη συνήθης πρακτική που εφαρμόζεται κυρίως για την καμπτική ενίσχυση των τοιχωμάτων είναι η κατασκευή δύο κρυφών υποστυλωμάτων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 111.β, καθώς και η πρακτική που υποδεικνύεται στην Εικόνα 111.γ, δηλαδή η κατασκευή κλειστού μανδύα που περιβάλλει ολόκληρο το υπάρχον τοίχωμα. Η γενική διάταξη ενίσχυσης τοιχωμάτων με κλειστό μανδύα φαίνεται ενδεικτικά στην Εικόνα 112 (Δρίτσος 2005) .

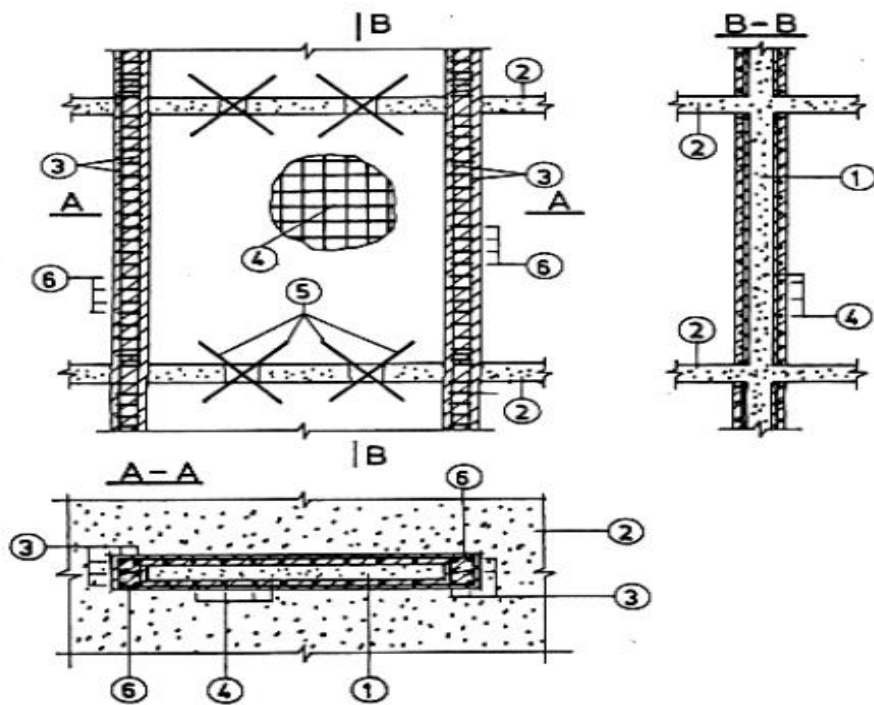
Σε όλες τις περιπτώσεις, η εφαρμογή της τεχνικής για την προετοιμασία της επιφάνειας και την τοποθέτηση των νέων οπλισμών είναι ακριβώς ίδια



Εικόνα 111: Ενίσχυση τοιχωμάτων με αύξηση της διατομής τους. (α) Διατμητική ενίσχυση (β) Καμπτική Ενίσχυση (γ) Διατμητική και Καμπτική ενίσχυση με κλειστό μανδύα

με αυτή των υποστυλωμάτων, και το νέο σκυρόδεμα που θα χρησιμοποιηθεί μπορεί να είναι είτε έγχυτο επί τόπου είτε εκτοξευόμενο.

Στην περίπτωση όπου θα χρησιμοποιηθεί εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για την κατασκευή του μανδύα, το πάχος του δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 5cm, ενώ στην περίπτωση χρήσης μανδύα από έγχυτο σκυρόδεμα, το αντίστοιχο ελάχιστο πάχος είναι 8cm. Τέλος, για τη σύνδεση του μανδύα με το υπάρχον τοίχωμα συνήθως χρησιμοποιούνται βλήτρα (Κ.Σπυράκος 2004).



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

Εικόνα 112: Γενική διάταξη ενίσχυσης τοιχώματος με κλειστό μανδύα

ΜΕΡΟΣ Β

Το δεύτερο μέρος της παρούσας πτυχιακής αποτελεί την εφαρμογή του προγράμματος 3DR.STRAD και την εξέταση μίας υφιστάμενης μονοκατοικίας. Συγκεκριμένα, το μέρος αυτό χωρίζεται σε τρία τμήματα. Το πρώτο τμήμα αφορά την απλή στατική ανάλυση της κατοικίας σαν καινούργια, απλά για λόγους σύγκρισης των οπλισμών με τους υφιστάμενους. Το δεύτερο τμήμα, αφορά τον στατικό έλεγχο της υφιστάμενης κατασκευής με σεισμό και στην συνέχεια ανάλογα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης προχώρηση στις κατάλληλες ενισχύσεις. Τέλος, το τρίτο μέρος, αφορά την προσθήκη νέου ορόφου πάνω από τον υφιστάμενο, στατική ανάλυση αυτού και αντίστοιχος έλεγχος και ενίσχυση του υφιστάμενου όπου χρειάζεται.

Τα στοιχεία της υφιστάμενης κατασκευής που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια της υλοποίησης των όλων θεμάτων σχετικά με το πρόγραμμα είναι τα εξής:

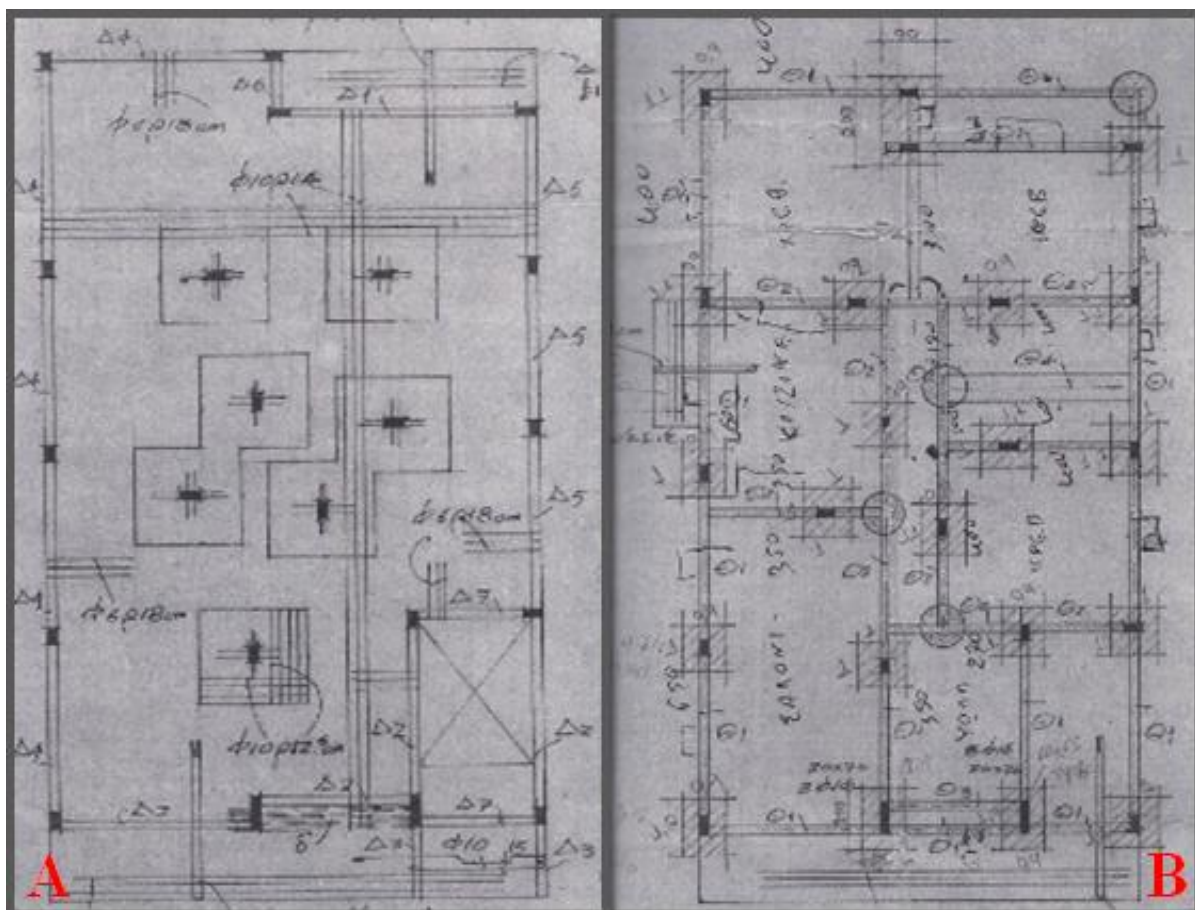
- Περιοχή υφιστάμενης κατασκευής: Λευκωσία
- Τύπος εδάφους : B Type 1
- Σπουδαιότητα κτιρίου II
- Στάθμη Επιτελεστικότητας: B1 – Οριακή κατάσταση σημαντικών βλαβών/
Προστασία ζωής (SD)
- Επίπεδο γνώσης: Κανονική Γνώση (EG2)
- Μόνιμα φορτία πλακών = 3500 N/m^2
- Μεταβλητά φορτία πλακών = 2000 N/m^2
- Μπετόν: $f_{ck} = 16 \text{ Mpa}$
- Χάλυβας: $f_{yk} = 250 \text{ Mpa}$

Τα στατικά σχέδια της υφιστάμενης κατοικίας φαίνονται πιο κάτω. Συγκεκριμένα, στην Εικόνα 114 υποδεικνύονται οι οπλισμοί των δοκών του κτιρίου καθώς και κάποιες σημειώσεις. Σημαντικό στοιχείο των σημειώσεων αυτών όπως μπορεί να δει κανείς, είναι ότι όλες οι κολώνες μας με διαστάσεις $20 \times 40 \text{ εκ}$ έχουν οπλισμό 4Y16. Ακολούθως, στην Εικόνα 113-A υποδεικνύεται το σχέδιο ‘μπετόν οροφής’, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την αναγνώριση των ονομασιών των δοκών μας ώστε να τους συνδέσουμε με τους οπλισμούς τους (Εικόνα 114). Τέλος, στην Εικόνα 113-B υποδεικνύεται η κάτοψη της θεμελίωσης της κατοικίας. Όσο αφορά τις πλάκες, ο υφιστάμενος οπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι Y10/12 διαμήκης και εγκάρσιος σε όλες.

Σημειώσεις
 1 ΛΑΚΚΟΙ ΓΕΝΙΚΩΣ 90x90cm. ΒΑΘΟΣ ΜΕΧΡΙ ΣΤΕΡΣΙΟΝ
 2 ΛΑΚΚΟΝΣ ΤΡΑΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΥΜΕΙΟΝΤΑΙ
 3 ΕΟΛΩΝΕΣ 20x40 ΜΕ 4Φ16 ΤΡΑΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΦΕΙΤΑΙ
 4 ΑΝΑΦΕΙΤΑΙ
 5 ΣΤΡΟΦΗΛΟΙ ΛΑΚΚΟΙ 90x90cm. ΒΑΘΟΣ 90cm

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΟΚΩΝ					
ΔΟΚΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΚΕΚΑΜΜΕΝΑ ΣΙΔΕΡΑ	ΚΑΤΩ ΪΣΙΑ ΣΙΔΕΡΑ	ΑΝΩ ΪΣΙΑ ΣΙΔΕΡΑ	ΕΥΝΑΣΤΥΡΙΣΕ
Δ1	20x50	3 Φ20	2 Φ18	2 Φ12	Φ6 @15cm
2	"	2 Φ16	2 Φ16	2 Φ10	"
3	"	ΕΥΝΕΚ. +Α	ΕΙΔΕΡΑ 4Φ12	Δ2 12Φ16	"
4	"	2 Φ14	2 Φ14	2 Φ10	"
5	"	"	2 Φ12	"	"
6	"	1 Φ12	"	"	"
7	"	"	2 Φ10	"	"
8	60x15	-	2 Φ14	2 Φ12	"
Θ1	20x55	2 Φ14	2 Φ14	2 Φ12	"
2	"	2 Φ12	2 Φ12	2 Φ10	"
3	"	1 Φ12	"	"	"
4	60x15	-	2 Φ12	2 Φ10	"

Εικόνα 114: Κατάλογος οπλισμών δοκών και σχετικές σημειώσεις



Εικόνα 113: Α) Μπετόν Οροφής, Β) Κάτοψη θεμελίωσης

Περισσότερες λεπτομέρειες για τις 3 περιπτώσεις που εξετάστηκαν, αναφέρονται στις παρακάτω υποενότητες.

Όσο αφορά το πρόγραμμα το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο και για τις ενισχύσεις του κτιρίου μας, όπως προαναφέρθηκε είναι το πρόγραμμα 3DR.STRAD το οποίο είναι

πρόγραμμα ανάλυσης και σχεδιασμού κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Για την υλοποίηση μιας ολοκληρωμένης ανάλυσης μιας υφιστάμενης κατασκευής συμπεριλαμβανομένου και της ενίσχυσης της θα πρέπει να ακολουθηθούν τα ακόλουθα βήματα:

1. Εισαγωγή της κάτοψης της υφιστάμενης κατασκευής από το αρχείο AutoCAD στο πρόγραμμα 3DR.STRAD
2. Προσομοίωση και περιγραφή φορέα (ορισμός δοκαριών, κολώνων, πλακών)
3. Ενημέρωση όλων & Λογικός έλεγχος (ενημέρωση του συστήματος για τα στοιχεία που έχουν οριστεί και έλεγχος των στοιχείων αυτών – έλεγχος αν όλα τα στοιχεία έχουν τοποθετηθεί σύμφωνα με το αρχιτεκτονικό σχέδιο)
4. Καθορισμός των υπαρχόντων οπλισμών
5. Ενημέρωση όλων & Λογικός έλεγχος
6. Ορισμός στοιχείων αντισεισμικού κανονισμού (Σπουδαιότητα κατασκευής, τύπος εδάφους, σεισμική ζώνη κατασκευής κτλ.)
7. Καθορισμός γενικών παραμέτρων (συντελεστές ασφαλείας, χαρακτηριστικές τιμές αντοχής σκυροδέματος σε θλίψη και χάλυβα σε εφελκυσμό, κατασκευαστικά στοιχεία κτλ)
8. Ενημέρωση όλων & Λογικός έλεγχος
9. Χωρικό μοντέλο (ώστε να υπολογιστούν τα αδρανειακά χαρακτηριστικά, τα φορτία και η συνδεσμολογία των στοιχείων του φορέα)
10. Επίλυση (για επίλυση του χωρικού μοντέλου)
11. Προκαταρκτική ανάλυση (Δεδομένου ότι ενημερώθηκαν τα στοιχεία του αντισεισμικού κανονισμού καθώς και οι συντελεστές ασφαλείας για προκαταρκτική ανάλυση), ώστε να ελεγχθεί η επάρκεια των στοιχείων μας και να αποφασιστεί η ανάλυση που θα χρησιμοποιηθεί στην συνέχεια
12. Ανάλογα με τα αποτελέσματα της προκαταρκτικής ανάλυσης γίνεται εφαρμογή της ανάλυσης που αποφασίστηκε, δεδομένου ότι ενημερώσαμε τα στοιχεία του αντισεισμικού κανονισμού καθώς και οι συντελεστές ασφαλείας για την συγκεκριμένη ανάλυση. Οι επιλύσεις που είναι εφικτό να εφαρμοστούν είναι η ελαστική δυναμική και στατική ανάλυση καθώς και η ανελαστική στατική και δυναμική ανάλυση (περισσότερες λεπτομέρειες για τις προαναφερθέντες αναλύσεις βλέπε υποενότητα 5.3). Με την εφαρμογή της ανάλυσης, το πρόγραμμα θα σου υποδείξει ποια στοιχεία παρουσιάζουν ανεπάρκεια και χρειάζονται ενίσχυση.

13. Εφαρμογή της εντολής ‘Σχεδιασμός’ ώστε να ελέγξουμε ξανά σε περισσότερη λεπτομέρεια αυτή την φορά την επάρκεια της κατασκευής μας.
14. Ανάλογα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης, αποφασίζουμε τι ενισχύσεις θα εφαρμόσουμε και σε ποιά μέλη.
15. Εφαρμογή των ενισχύσεων στα στοιχεία
16. Επανάληψη των βημάτων 5-14 ώστε να δούμε αν οι ενισχύσεις που εφαρμόσαμε είναι ικανοποιητικές ή χρειάζονται κάποιες αλλαγές/διορθώσεις ή επιπρόσθετες ενισχύσεις.
17. Δεδομένου ότι οι ενισχύσεις μας είναι ικανοποιητικές, μπορούμε να προχωρήσουμε με την δημιουργία σχεδίων ενίσχυσης μέσω των εντολών ‘STRADPLOT’, ‘Σχέδιο ενίσχυσης υποστλωμάτων’, ‘Σχέδιο ενίσχυσης δοκών’. Σε περίπτωση όπου οι προτεινόμενες ενισχύσεις μας δεν είναι ικανοποιητικές θα πρέπει να κάνουμε τις ανάλογες τροποποιήσεις στα στοιχεία ενίσχυσης και ακολούθως να ξανά επαναλάβουμε τα βήματα 5 έως 13 και ούτω καθεξής.

Στην περίπτωση όπου θα γίνει επέκταση του κτιρίου μας καθ’ ύψος, θα πρέπει πρώτα να γίνει κανονική ανάλυση των επιπρόσθετων ορόφων ως νέο με την ίδια διαδικασία που γίνεται για ένα νέο κτίριο. Στην συνέχεια θα πρέπει να γίνει ανάλυση του υφιστάμενου κτιρίου ως έχει με την επιπρόσθετη καταπόνηση από τους νέους ορόφους ακολουθώντας ακριβώς την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε πιο πάνω. Όσο αφορά την ανάλυση των νέων ορόφων η διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί είναι η ακόλουθη (ίδια με ανάλυση νέου κτιρίου):

1. Εισαγωγή της κάτοψης των νέων ορόφων στο πρόγραμμα 3DR.STRAD (ή αντιγραφή προηγούμενης στάθμης)
2. Προσομοίωση και περιγραφή φορέα
3. Ενημέρωση όλων & Λογικός έλεγχος
4. Επίλυση πλακών
5. Σχεδιασμός πλακών & εμφάνιση οπλισμών
6. Ενημέρωση όλων & Λογικός έλεγχος
7. Χωρικό μοντέλο
8. Επίλυση
9. Σχεδιασμός για εμφάνιση των μηνυμάτων των ελέγχων επάρκειας
10. Αφού τα αποτελέσματα θεωρούμε ότι είναι ικανοποιητικά μπορούμε να προχωρήσουμε σε εμφάνιση κατασκευαστικών σχεδίων μέσω της εντολής ‘STRADPLOT’

1. Στατική ανάλυση υφιστάμενης κατασκευής ως νέα

Το πρώτο κομμάτι του προγράμματος όπως προαναφέρθηκε, αφορά την στατική ανάλυση της υφιστάμενης κατασκευής με σεισμό της Λευκωσίας, δηλαδή ζώνης II, με επιτάχυνση σεισμού $agR=2 \text{ m/s}^2$. Για σκοπούς σύγκρισης με τους υφιστάμενους οπλισμούς, η επίλυση έγινε με $f_{ck}=16 \text{ Mpa}$ και $f_{yk}= 250 \text{ Mpa}$ όπως είναι και για το υφιστάμενο κτίριο.

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση είναι τα ακόλουθα (Πίνακας 10-Πίνακας 11, Εικόνα 115, Εικόνα 116, Εικόνα 117):

Πίνακας 10: Κατάλογος Οπλισμών πέδων

Εργο: 414.BLD

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

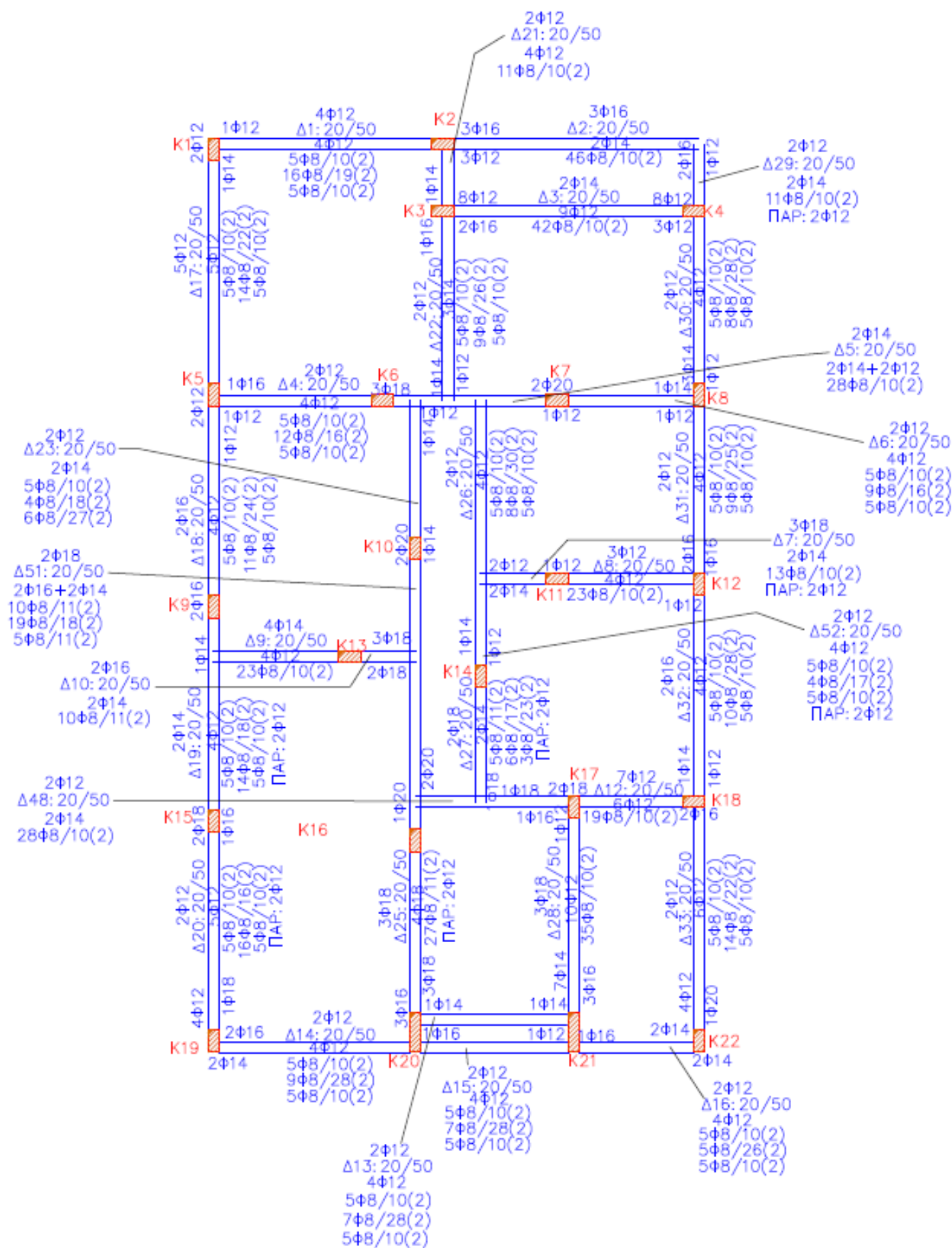
A/A	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ BxD (cm)	ΥΨΟΣ (cm)	ΟΠΛΙΣΜΟΣ B-B D-D		ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Π1.1	110x90	50	6Y12	8Y12	
Π2.1	114x95	50	7Y12	8Y12	
Π3.1	120x90	70	6Y12	8Y12	
Π4.1	100x100	50	7Y12	7Y12	
Π5.1	110x90	50	6Y12	8Y12	
Π6.1	100x90	65	6Y12	7Y12	
Π7.1	100x90	65	6Y12	7Y12	
Π8.1	110x100	50	7Y12	8Y12	
Π9.1	110x90	50	6Y12	8Y12	
Π10.1	100x90	50	6Y12	7Y12	
Π11.1	100x110	60	8Y12	7Y12	
Π12.1	110x100	50	7Y12	8Y12	
Π13.1	100x100	55	7Y12	7Y12	
Π14.1	110x90	50	6Y12	8Y12	
Π15.1	100x90	50	6Y12	7Y12	
Π16.1	100x100	95	7Y12	7Y12	
Π17.1	100x90	50	6Y12	7Y12	
Π18.1	100x100	50	7Y12	7Y12	
Π19.1	120x90	50	6Y12	8Y12	
Π20.1	140x90	50	6Y12	10Y12	
Π21.1	140x90	50	6Y12	10Y12	
Π22.1	110x100	50	7Y12	8Y12	

Πίνακας 11: Κατάλογος Οπλισμών δοκών στάθμης 1 (πεδιλοδοκών)

Έργο: 414.BLD

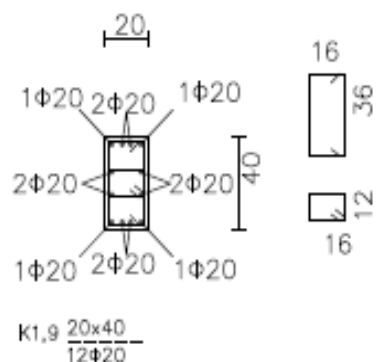
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΔΟΚΩΝ ΣΤΑΘΜΗΣ 1

A/A Δοκ	B x D εκ	ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ Κατω	Ανω	ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ Ανω Κατω	Ανω Κατω	ΔΙΑΔΙ. ΠΑΕΥΡ.	ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ αρχ.—μεσο—τελ.
1	20x55	3Y12 + 2Y12 καμπυλο	4Y12 γαμμα	1Y12 1Y12 γαμμα γαμμα K1		4Y12	6Y 8/10(2) 11Y 8/30(2) 6Y 8/10(2)
2	20x55	2Y14 γαμμα	3Y12 γαμμα	2Y12 2Y18 K2	K1001	4Y12	16Y 8/30(2)
3	20x55	3Y12 + 2Y12 ευθυγρ. ευθυγρ.	3Y18 γαμμα γαμμα	4Y12 2Y20 ευθ.+ ευθ.+ αγκ.K3 αγκ.	3Y12 3Y18 ευθ.+ ευθ.+ αγκ.K4 αγκ.	4Y12	6Y 8/10(2) 13Y 8/28(2) 6Y 8/10(2)
4	20x55	2Y12 + 2Y12 καμπυλο	3Y12 γαμμα	1Y12 1Y12 γαμμα γαμμα K5		4Y12	6Y 8/10(2) 7Y 8/30(2) 6Y 8/10(2)
5	20x55	2Y12 + 2Y12	3Y12	2Y14 3Y12 K6		4Y12	6Y 8/10(2) 9Y 8/24(2) 6Y 8/10(2)
6	20x55	2Y12 + 2Y12 καμπυλο	3Y12 γαμμα	2Y14 1Y18 K7	1Y12 1Y12 γαμμα γαμμα K8	4Y12	6Y 8/10(2) 6Y 8/27(2) 6Y 8/10(2)
8	20x55	2Y12 + 2Y12 καμπυλο	3Y12 γαμμα	1Y12 1Y12 γαμμα γαμμα K12		4Y12	6Y 8/10(2) 6Y 8/30(2) 6Y 8/10(2)
7	20x55	2Y14 γαμμα	3Y12 γαμμα	1Y18 1Y16 K11	K1004	4Y12	7Y 8/21(2)
9	20x55	2Y14 + 2Y12 καμπυλο	3Y14 γαμμα	K1002		4Y12	6Y 8/10(2) 6Y 8/25(2) 6Y 8/10(2)
10	20x55	2Y14 γαμμα	3Y12 γαμμα	1Y16 2Y20 K13	K1003	4Y12	7Y 8/19(2)
12	20x55	3Y12 + 2Y12 ευθυγρ.	3Y16 γαμμα	6Y12 3Y20 ευθ.+ ευθ.+ αγκ.K18αγκ.		4Y12	23Y 8/10(2)
48	20x55	4Y12	3Y12	K17		4Y12	6Y 8/10(2) 3Y 8/30(2) 6Y 8/10(2)
11	20x55	2Y14 γαμμα	3Y12 γαμμα	K1009	K1005	4Y12	4Y 8/30(2)
13	20x55	2Y12 + 2Y12 καμπυλο καμπυλο	3Y12 γαμμα γαμμα	1Y12 1Y14 γαμμα καμπ. K20	1Y12 1Y12 γαμμα γαμμα K21	4Y12	6Y 8/10(2) 7Y 8/30(2) 6Y 8/10(2)
14	20x55	2Y12 + 2Y12 καμπυλο	4Y12 γαμμα	2Y12 2Y14 γαμμα καμπ. K19		4Y12	6Y 8/10(2) 9Y 8/30(2) 6Y 8/10(2)
15	20x55	2Y12 + 2Y12	3Y12	1Y16 K20		4Y12	6Y 8/10(2) 7Y 8/28(2) 6Y 8/10(2)
16	20x55	2Y12 + 2Y12 καμπυλο	3Y12 γαμμα	1Y12 1Y12 K21	1Y20 2Y14 γαμμα καμπ. K22	4Y12	6Y 8/10(2) 6Y 8/24(2) 6Y 8/10(2)
17	20x55	2Y12 + 2Y12 ευθυγρ.	3Y14 ε—αγκ	3Y12 2Y14 ευθ.+ ευθ. αγκ.K1		4Y12	6Y 8/10(2) 12Y 8/30(2) 6Y 8/10(2)
18	20x55	2Y12 + 2Y12	3Y12	1Y12 K5		4Y12	6Y 8/10(2) 10Y 8/30(2) 6Y 8/10(2)
19	20x55	2Y12 + 2Y12	3Y16	1Y14 K9		4Y12	6Y 8/10(2) 10Y 8/28(2) 6Y 8/10(2)
20	20x55	2Y12 + 2Y12 ευθυγρ.	3Y14 ε—αγκ	1Y12 K15	3Y12 1Y20 ευθ.+ ευθ.+ αγκ.K19αγκ.	4Y12	6Y 8/10(2) 10Y 8/30(2) 6Y 8/10(2)
21	20x55	4Y12 καμπυλο	3Y12 γαμμα	1Y12 γαμμα K2		4Y12	13Y 8/10(2)
22	20x55	2Y14 γαμμα	3Y12 γαμμα	K3	K1006	4Y12	12Y 8/30(2)
25	20x55	2Y16 + 2Y14 ευθυγρ.	3Y18 ευθυγ	3Y12 2Y20 ευθ.+ ευθ. K20		4Y12	6Y 8/10(2) 9Y 8/28(2) 6Y 8/10(2)
51	20x55	2Y12 + 2Y12	3Y12	1Y14 K16		4Y12	6Y 8/10(2) 8Y 8/30(2) 6Y 8/10(2)
24	20x55	4Y12	3Y12	1Y12 K1003		4Y12	6Y 8/10(2) 4Y 8/27(2) 6Y 8/10(2)
23	20x55	2Y14 γαμμα	3Y12 γαμμα	1Y12 K10	K1007	4Y12	9Y 8/30(2)
26	20x55	2Y14 γαμμα	3Y12 γαμμα	K1008		4Y12	11Y 8/30(2)
52	20x55	4Y12	3Y12	K1004		4Y12	6Y 8/10(2) 3Y 8/25(2) 6Y 8/10(2)
27	20x55	2Y14 γαμμα	3Y12 γαμμα	1Y18 K14	K1009	4Y12	8Y 8/29(2)
28	20x55	3Y12 + 3Y12 ευθυγρ. ευθυγρ.	3Y18 γαμμα ευθυγ	1Y12 4Y12 ευθ.+ ευθ. αγκ.K17	3Y14 3Y20 ευθ.+ ευθ. K21	4Y12	6Y 8/10(2) 12Y 8/25(2) 6Y 8/10(2)
33	20x55	2Y12 + 2Y12 ευθυγρ.	3Y14 ε—αγκ	2Y12 1Y18 ευθ.+ ευθ.+ αγκ.K22αγκ.		4Y12	6Y 8/10(2) 11Y 8/30(2) 6Y 8/10(2)
32	20x55	2Y12 + 2Y12	3Y12	K18		4Y12	6Y 8/10(2) 10Y 8/30(2) 6Y 8/10(2)
31	20x55	2Y12 + 2Y12	3Y12	1Y16 1Y12 K12		4Y12	6Y 8/10(2) 9Y 8/28(2) 6Y 8/10(2)
30	20x55	2Y12 + 2Y12	3Y12	1Y18 1Y12 K8		4Y12	6Y 8/10(2) 8Y 8/30(2) 6Y 8/10(2)
29	20x55	4Y12 ευθ—αγκ	3Y12 γαμμα	K4	1Y12 γαμμα K1001	4Y12	13Y 8/10(2)

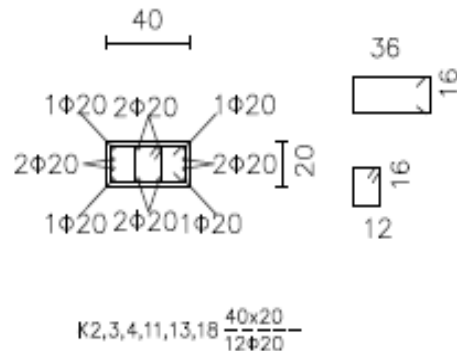


Εικόνα 115: Οπλισμός δοκών ορόφου

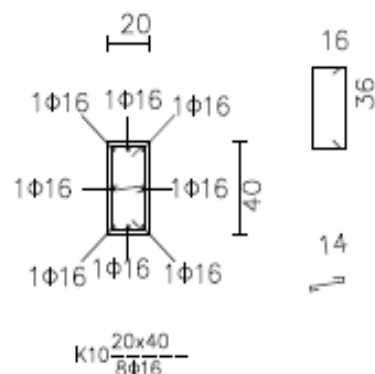
ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/10(300\text{cm})$



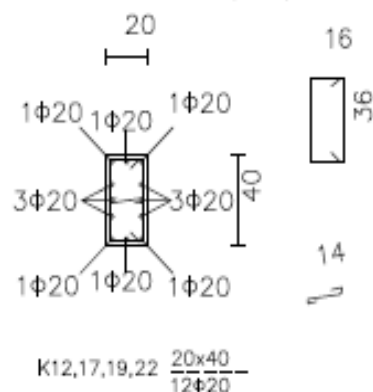
ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/10(300\text{cm})$



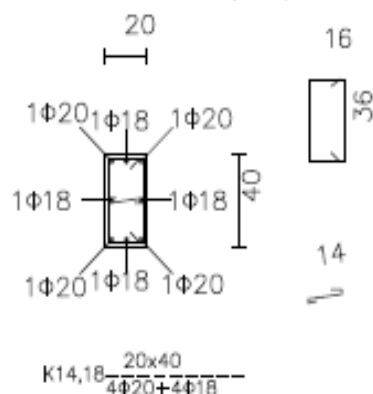
ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/10(300\text{cm})$



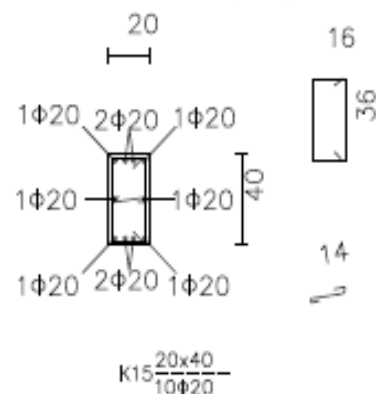
ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/10(300\text{cm})$



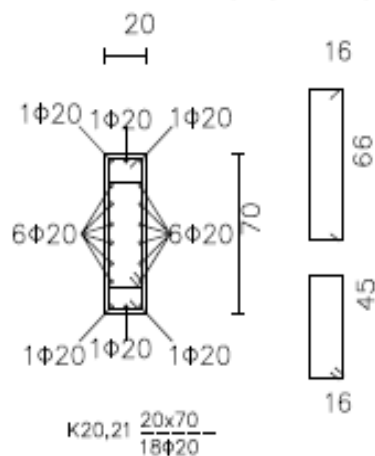
ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/10(300\text{cm})$



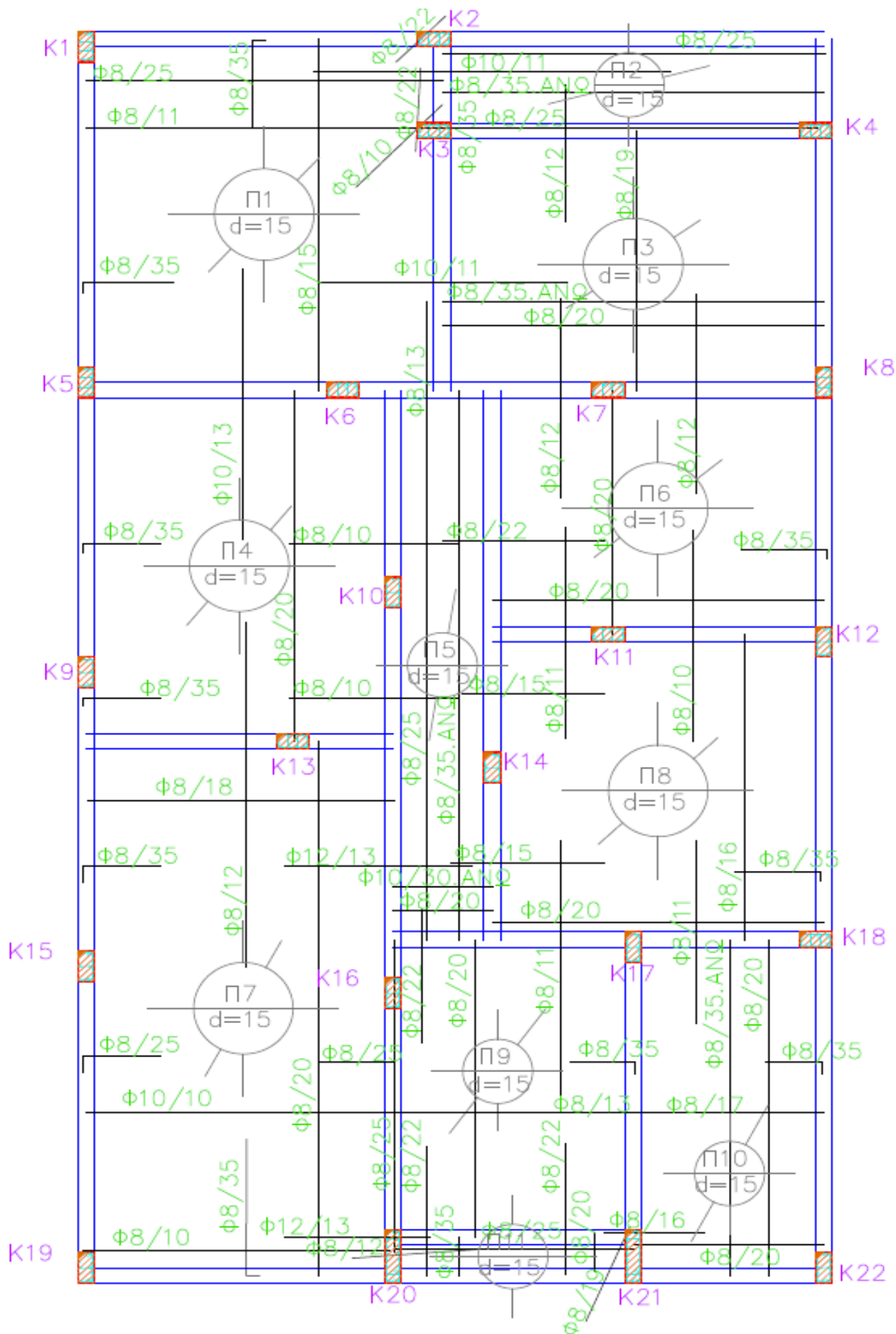
ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/10(300\text{cm})$



ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: $\Phi 8/7(300\text{cm})$



Εικόνα 116: Λεπτομέρειες οπλισμών κολόνων ορόφου



Εικόνα 117: Οπλισμός πλάκας ορόφου

2. Στατική στατικό έλεγχο της υφιστάμενης κατασκευής με σεισμό με σεισμό

Σε αρχικό στάδιο, έγινε στατικός έλεγχος της υφιστάμενης κατασκευής χωρίς σεισμό απλά για να λόγους μελέτης, όπου αποδείχτηκε ότι ακόμη και χωρίς σεισμό το κτίριο χρειαζόταν ενίσχυση.

Επομένως, ξαναέγινε στατικός έλεγχος του κτιρίου με σεισμό Λευκωσίας όπου ήταν πλέον αναμενόμενο ότι το κτίριο μας χρειαζόταν ενίσχυση. Αρχικά, το πρόγραμμα μας μετά από την διεξαγωγή της προκαταρκτικής ανάλυσης, μας παρουσίασε ότι οι συντελεστές επάρκειας των στοιχείων μας ήταν μεγαλύτεροι από το επιτρεπτό όριο που είναι το 2.5 γι' αυτό και θα έπρεπε να γίνει ανελαστική ανάλυση, όπως και έγινε. Από την ανάλυση προέκυψε ότι τα όλα τα στοιχεία του κτιρίου μας, υποστυλώματα, δοκοί και πλάκες παρουσίαζαν ανεπάρκεια χρειάζονταν ενίσχυση (κυρίως λόγω δημιουργίας ή αστοχίας πλαστικής άρθρωσης, λόγω διάτμησης και κάμψης). Έτσι, επιλέχθηκε η περιμετρική ενίσχυση των υποστυλωμάτων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος 8cm με συνδετήρες Y8/10εκ., η ενίσχυση των δοκαριών με ελάσματα και των πλακών με ανθρακονήματα (όπου κρίθηκε αναγκαίο).

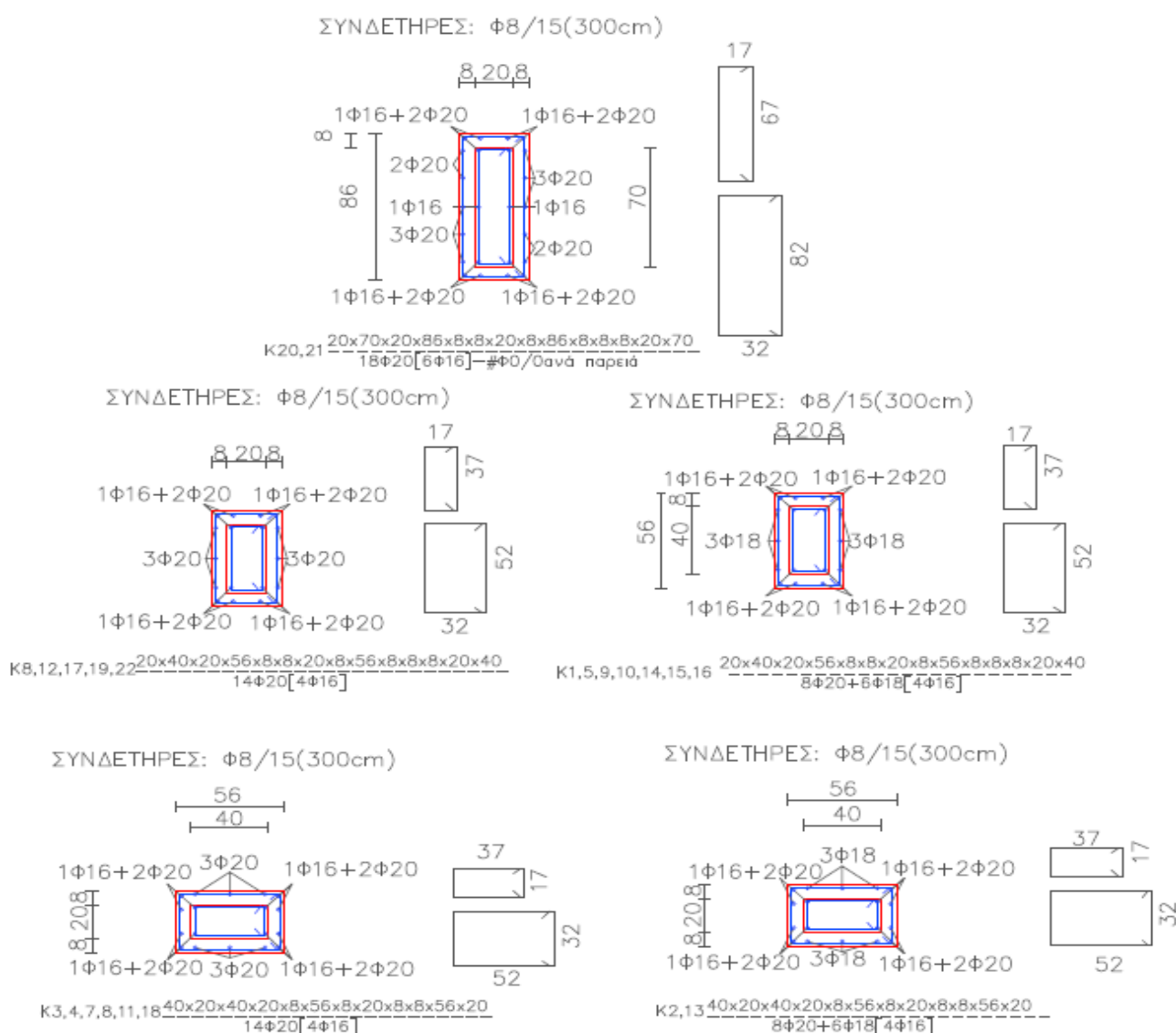
Η επιλογή των ενισχύσεων αυτών έγινε για τους εξής λόγους:

- Αρχικά για της πλάκες τα ανθρακονήματα ήταν η μοναδική επιλογή, όμως παρ' όλα αυτά η ενίσχυση αυτή είναι μια πολύ καλή επιλογή, αφού μπορούμε να πετύχουμε τον σκοπό μας χωρίς επιπλέον σημαντική επιβάρυνση της κατασκευής μας (μικρό βάρος). Η τοποθέτηση τους είναι εύκολη και γρήγορη και το αποτέλεσμα τους δεν επιφέρει οποιαδήποτε σημαντική αλλαγή της αρχιτεκτονικής του κτιρίου. Επιπρόσθετα, τα ανθρακονήματα αντέχουν στον χρόνο, την κόπωση, της υγρασία και την διάβρωση που είναι πολύ σημαντικό πλεονέκτημα (χρήση μόνο στην πλάκα Π7).
- Για τους δοκούς, οι επιλογές ενίσχυσης μας από το πρόγραμμα ήταν μανδύες, ανθρακονήματα και ελάσματα. Επομένως, αποφασίστηκε η επιλογή των ανθρακονημάτων για τους ίδιους λόγους με τις πλάκες. Οι μανδύες θα αύξαναν πολύ τις διαστάσεις των δοκών, πράγμα που δεν επιθυμούσαμε γι' αυτό και δεν επιλέχθηκαν. Τέλος, τα ελάσματα σε αυτήν την περίπτωση απορρίφθηκαν για τον λόγο ότι υπάρχει αυξημένη πιθανότητα διάβρωσης, καθώς και γιατί έχουν την τάση να αναπτύσσουν αυξημένες τάσεις στην περιοχή αγκύρωσης τους και τοπικό λυγισμό, πράγμα που δεν επιθυμούσαμε.

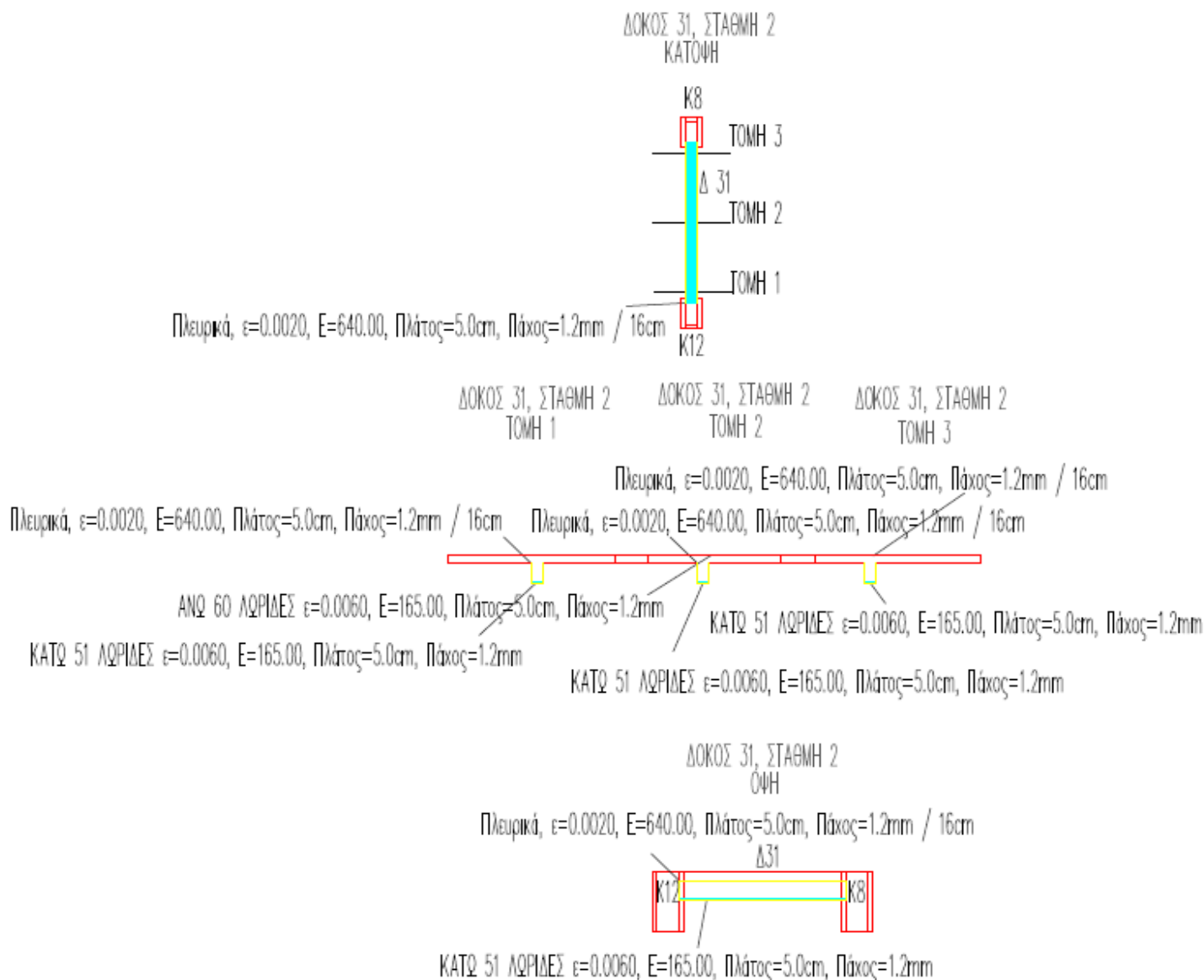
- Για τα υποστυλώματα, οι επιλογές ενίσχυσης μας από το πρόγραμμα ήταν μανδύες. Έτσι επιλέχθηκε η ενίσχυση τους με μανδύες από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και από τις τέσσερις πλευρές με μανδύες πάχους 8εκ και συνδετήρες Y8/10εκ. Αυτή η μέθοδος ενίσχυσης όπως έχει προαναφερθεί στην Υποενότητα 6.14.2.2, αποτελούν πλέον την συνηθέστερη μέθοδο ενίσχυσης των υποστυλωμάτων.

Αμέσως μετά τις επιλογές ενίσχυσης, έγινε ξανά προκαταρκτική ανάλυση όπου υποδείχτηκε ότι οι συντελεστές επάρκειας ήταν μικρότεροι από το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο και επομένως ήταν εφικτή η ελαστική ανάλυση, η οποία και έγινε. Η ελαστική ανάλυση υπόδειξε ότι οι ενισχύσεις μας ήταν ικανοποιητικές και γι' αυτό προχωρήσαμε σε εμφάνιση των σχεδίων ενίσχυσης και των λεπτομερειών τους.

Τα αποτελέσματα της ενίσχυσης είναι τα ακόλουθα (Εικόνα 118, Εικόνα 119):



Εικόνα 118: Λεπτομέρεια κολώνων με ενίσχυση από μανδύες



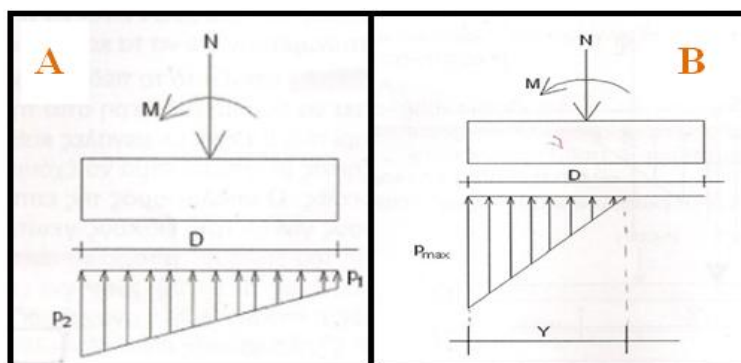
Εικόνα 119: Λεπτομέρεια ενίσχυσης δοκού 31 με ανθρακονήματα

Όσο αφορά τα θεμέλια μας, έγινε ο έλεγχος τους σε ανατροπή με το χέρι ώστε να δούμε κατά πόσο θα χρειάζονται ενίσχυση. Για να ελεγχτούν, ακολουθήθηκε συγκεκριμένη διαδικασία. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται παρακάτω μέσω ελέγχου ενός τυχαίο πέδιλου του κτιρίου μας.

Έλεγχος πέδιλου Π.18.1:

Αρχικά, βρέθηκε η συνολική κατακόρυφη δύναμη που ασκείται σε κάθε πέδιλο καθώς και η συνολική ροπή. Με βάση αυτές, βρέθηκε η εκκεντρότητα των δυνάμεων η οποία ισούται με $e=N/M$ (όπου: e = εκκεντρότητα, N = κατακόρυφη δύναμη υποστυλωμάτων, M = συνολική ροπή υποστυλωμάτων). Συγκεκριμένα, βρήκαμε ότι ασκείται σε αυτό συνολική δύναμη $F=-68,203$ KN και ροπή $M=3,043$ KNm. Σε αυτήν την περίπτωση η εκκεντρότητα είναι $e=M/N = 3,043 / (-68,203) \rightarrow e = -0.0446m$.

Η εκκεντρότητα αυτή συγκρίθηκε με τον $D/6$, ώστε να δούμε κατά πόσο υπάρχει ανατροπή στο πέδιλο μας. Ανάλογα λοιπόν με το αποτέλεσμα τις σύγκρισης μας, τα πέδιλα χωρίζονται στις δύο πιο κάτω κατηγορίες (Εικόνα 120).



Εικόνα 120: Κατηγορίες πέδινων με βάση την πίεση που αρκείται, **A.** Έκκεντρο φορτίο με δημιουργία πιέσεων καθ' όλο το μήκος του **B.** Έκκεντρο φορτίο με δημιουργία μονόπλευρης τριγωνικής πίεσης

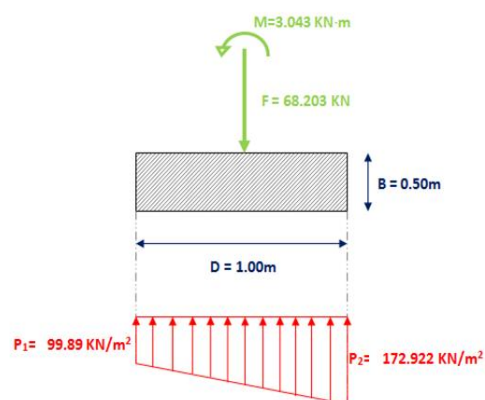
Η πρώτη περίπτωση είναι όταν το $e \leq D/6$ ενώ η δεύτερη όταν $e > D/6$ όπου και έχουμε ανατροπή του πέδλου μας. Έτσι, βάση το πέδιλο Π.18.1, με $D=1\text{m}$, η εκκεντρότητα είναι μικρότερη από το $D/6 = 0.17\text{m}$ και επομένως βρισκόμαστε στην πρώτη περίπτωση όπου δεν υπάρχει πρόβλημα ανατροπής.

Στην συνέχεια όμως, τα πέδιλα μας θα έπρεπε να ελεγχθούν και σε καθίζηση. Επομένως, με δεδομένο ότι η αντοχή του εδάφους της Κύπρου κυμαίνεται γύρω στα 200 KN/m^2 , η πίεση που ασκούν τα πέδιλα μας θα έπρεπε να συγκριθεί με αυτήν. Έτσι λοιπόν, αφού το πέδιλο Π.18.1 ανήκει στην πρώτη κατηγορία του σχήματος (Εικόνα 120.A), η εξίσωση που θα καθορίσει την πίεση που ασκεί είναι η παρακάτω:

$$P_{1,2} = \frac{F}{A} \pm \frac{6M}{BD^2}$$

Εφαρμόζοντας την εξίσωση λοιπόν για το πέδιλο Π.18.1, έχουμε ότι $P_1 = -99,89 \text{ KN/m}^2$ και η $P_2 = -172,922 \text{ KN/m}^2$, όπου και οι δύο πιέσεις είναι μικρότερες από αυτήν του εδάφους. Επομένως, δεν έχουμε ούτε καθίζηση. Συνοψίζοντας λοιπόν, το πέδιλο Π.18.1 έχει την μορφή που υποδεικνύεται δίπλα (Εικόνα 121):

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για το κάθε πέδιλο ξεχωριστά, και κανένα αντιμετωπίζει πρόβλημα καθίζησης ή ανατροπής.

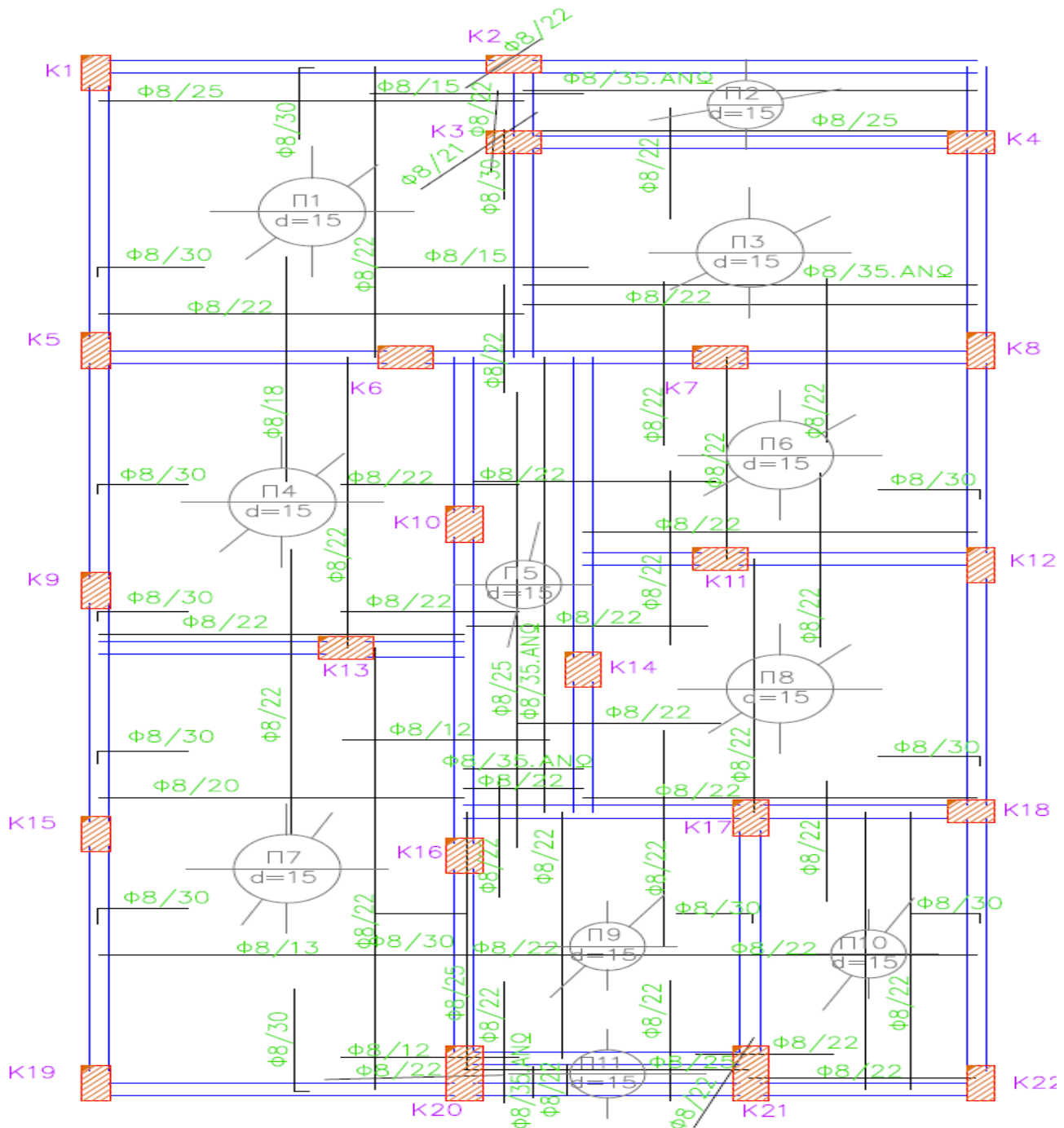


Εικόνα 121: Μορφή πέδλου Π.18.1 στην παρούσα μελέτη

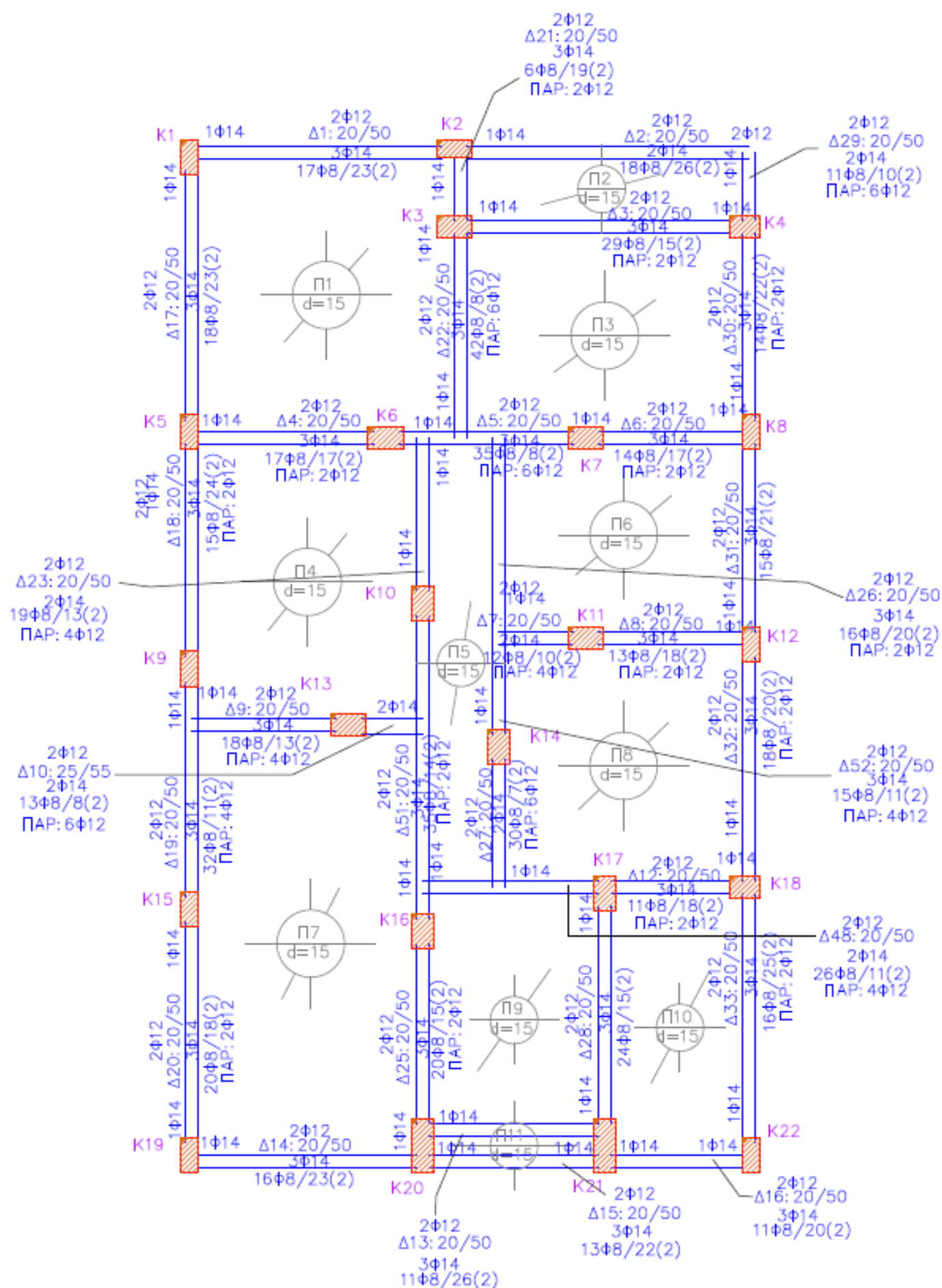
3. Προσθήκη νέου ορόφου πάνω από τον υφιστάμενο & στατική ανάλυση νέου ορόφου και ενίσχυση υφιστάμενου

Στο τρίτο μέρος όσο αφορά το πρόγραμμα αφορά την προσθήκη νέου ορόφου πάνω από τον υφιστάμενο.

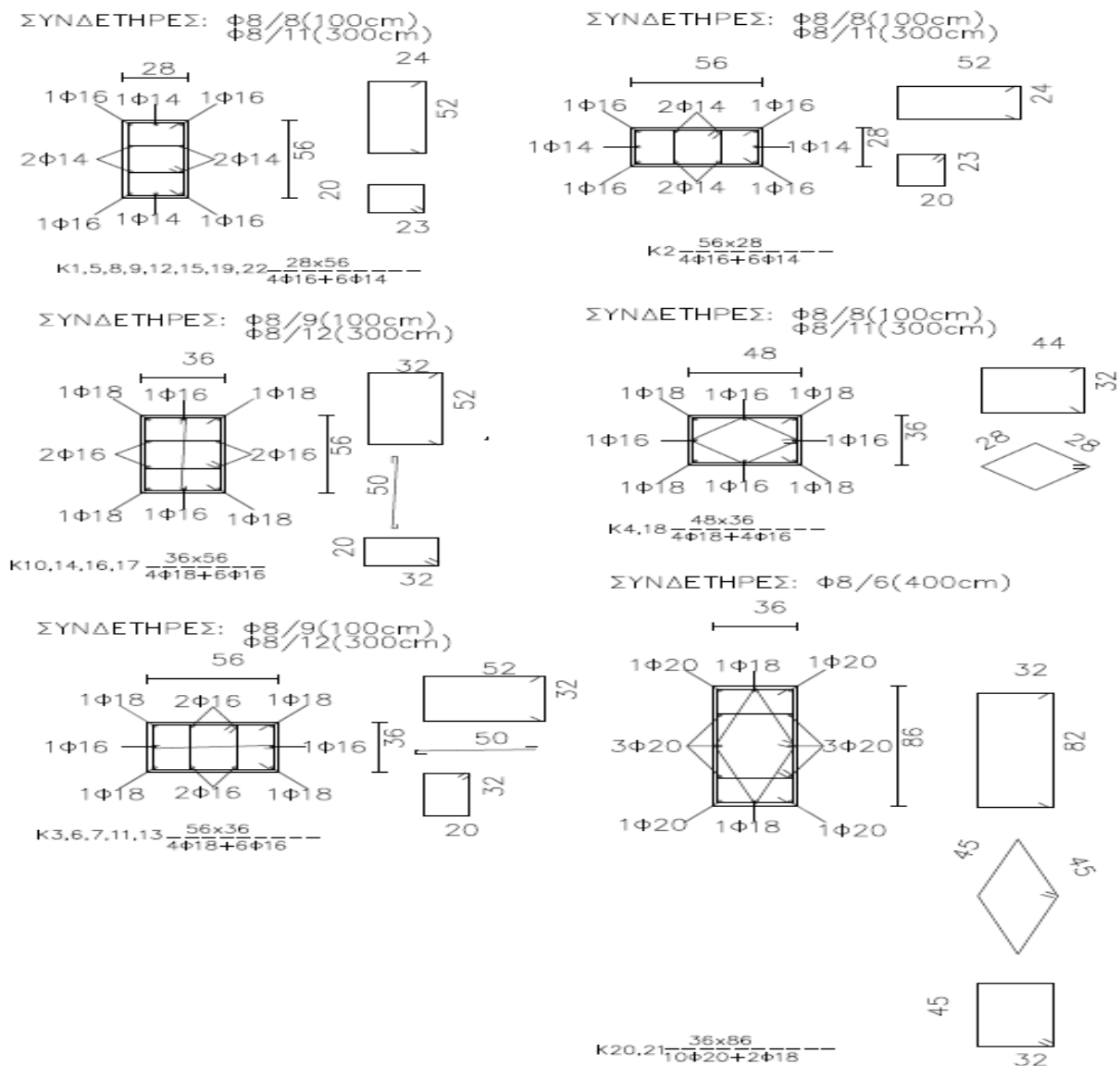
Αρχικά προστέθηκε ο όροφος ο οποίος θα ήταν ο ίδιος με τον πρώτο όροφο και στην συνέχεια έγινε στατική ανάλυση του ώστε να βρεθούν οι οπλισμοί του ορόφου. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης είναι τα ακόλουθα (Εικόνα 122, Εικόνα 123, Εικόνα 124):



Εικόνα 122: Σχέδιο οπλισμών πλακών επιπρόσθετου νέο ορόφου



Εικόνα 123: Σχέδιο οπλισμών δοκών νέου επιπρόσθετου ορόφου



Εικόνα 124: Λεπτομέρεια οπλισμών κολώνων επιπρόσθετου νέου ορόφου

Στην συνέχεια, έγινε προκαταρκτική ανάλυση του υφιστάμενου ορόφου, στην οποία ανάλυση υποδείχθηκε ότι στο υφιστάμενο κτίριο οι συντελεστές επάρκειας των στοιχείων του ήταν μεγαλύτεροι από το επιτρεπτό όριο δηλαδή το $\lambda=2.5$ γι' αυτό και θα έπρεπε να γίνει ανελαστική ανάλυση, η οποία και έγινε. Στην συνέχεια, από την ανελαστική ανάλυση υποδείχθηκε ότι τα στοιχεία μας χρειάζονταν ενίσχυση όπως και στην 2^η περίπτωση (Μέρος Β-2), καθώς επιλέγηκαν και οι ίδιοι μέθοδοι ενίσχυσης με την διαφορά όμως ότι έγιναν ενισχύσεις των υποστυλωμάτων με περιμετρικούς μανδύες μόνο στα εσωτερικά, καθώς τα εξωτερικά επενδύθηκαν μόνο στις 3 εξωτερικές πλευρές. Επιπρόσθετα, έγινε επέκταση των κολώνων του νέου ορόφου ώστε να έχουν την ίδια διάμετρο με αυτές του υφιστάμενου ορόφου με την ενίσχυση. Έτσι, ξανακάναμε προκαταρκτική ανάλυση στην οποία υποδείχτηκε ότι οι συντελεστές επάρκειας μειώθηκαν με αποτελέσματα να είναι επιτρεπτή και η ελαστική ανάλυση. Επομένως, έγινε η ελαστική ανάλυση ώστε να δούμε αν όντως οι

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: Φ8/25(250cm)

20x40x20x8x20x8x56x8x20x40
6Φ20+3Φ18[4Φ16]

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: Φ8/25(250cm)

40x20x40x20x8x56x8x20x8x56x20
8Φ20+6Φ18[4Φ16]

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: Φ8/25(250cm)

20x40x20x56x8x20x8x56x8x20x4
8Φ20+6Φ18[4Φ16]

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: Φ8/25(250cm)

40x20x40x20x8x56x8x20x8x20
6Φ20+3Φ18[4Φ16]

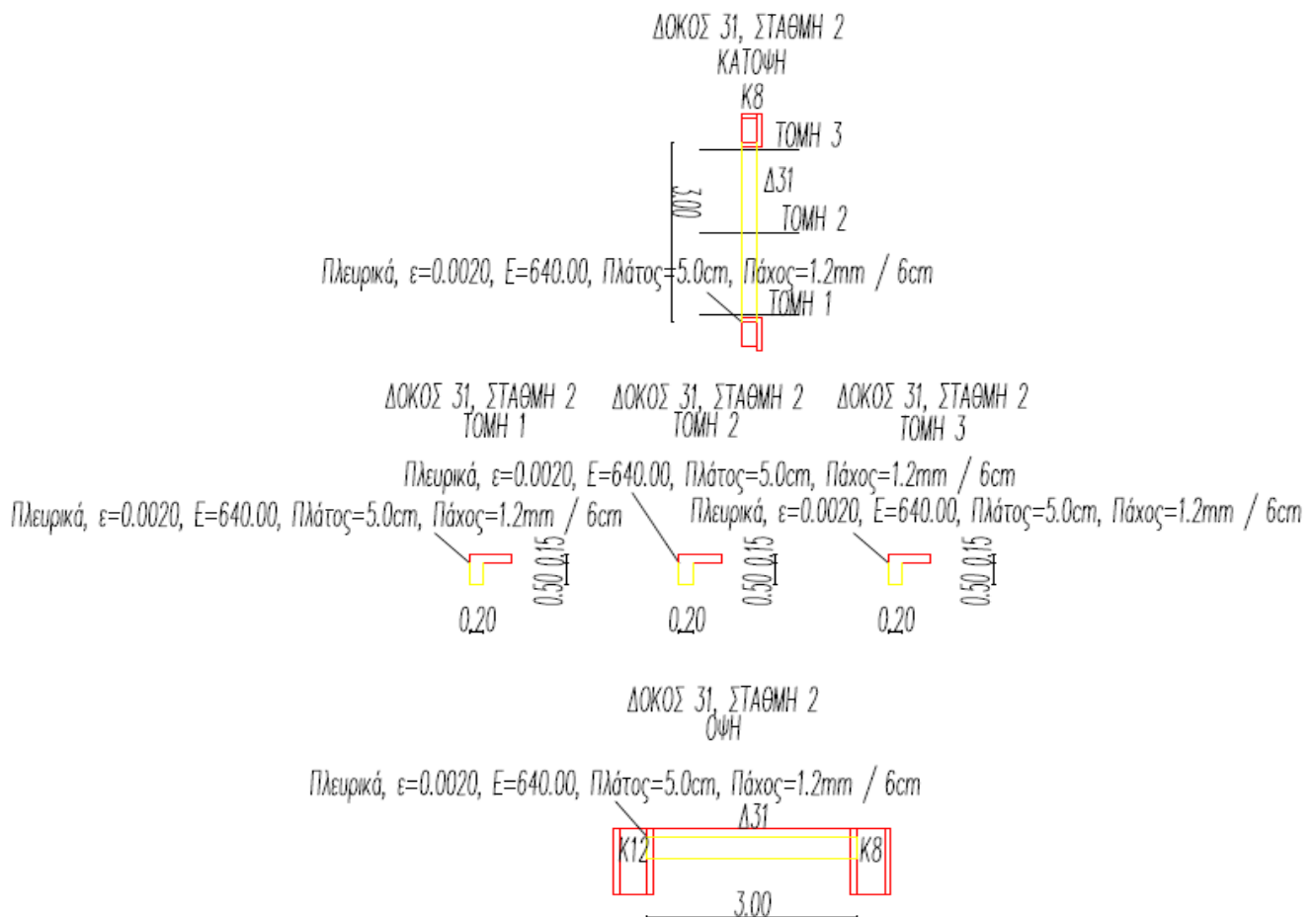
ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: Φ8/25(250cm)

40x20x40x20x8x48x8x8x8x48x20
6Φ20+4Φ18[4Φ16]

ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ: Φ8/25(250cm)

20x70x20x86x8x20x8x86x8x20x70
8Φ20+10Φ18[6Φ16]-#80/0cm από πάνω

137



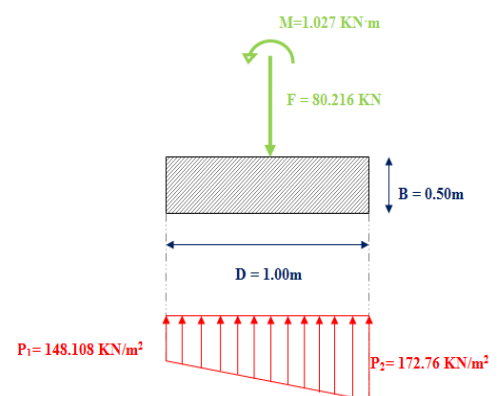
Εικόνα 126: Λεπτομέρεια ενίσχυσης υφιστάμενης δοκού 31 με ανθρακονήματα

Όσο αφορά τα θεμέλια μας, έγινε ο έλεγχος τους σε ανατροπή με το χέρι ώστε να δούμε κατά πόσο θα χρειάζονται ενίσχυση με τον ίδιο τρόπο που έγινε και στο Μέρος Β-2 (βλέπε Β-2), όπου και σε αυτήν την περίπτωση δεν βρέθηκε κανένα πρόβλημα ανατροπής των πέδινων ή καθίζησης. Ένα πολύ περιληπτικό παράδειγμα ελέγχου από επιλογή ενός τυχαίου πέδινου του κτιρίου μας είναι το εξής (Για λόγου σύγκρισης με δεύτερη περίπτωση, επιλέγεται ξανά το πέδιλο Π.18.1):

Έλεγχος πέδινου Π.18.1: $F = -80.216 \text{ KN}$ και $M = 1.027 \text{ KNm}$, $D = 1 \text{ m}$.

Επομένως, $e = M/N = 1.027 / (-80.216) \rightarrow e = -0.0128 \text{ m}$.

Όπου, $e \leq D/6 \leq 0.17$ και άρα βρισκόμαστε στην πρώτη κατηγορία πέδινου (βλέπε Εικόνα 120) και δεν υπάρχει πρόβλημα ανατροπής. Ακολουθώντας, από την εξίσωση $P_{1,2} = \frac{F}{A} \pm \frac{6M}{BD^2}$, προκύπτει ότι $P_1 = -148,108 \text{ KN/m}^2$ και η $P_2 = -172.76 \text{ KN/m}^2$, όπου και οι δύο πιέσεις είναι μικρότερες από αυτήν του εδάφους δηλαδή τα 200 KN/m^2 . Επομένως, δεν έχουμε ούτε καθίζηση. Συνοψίζοντας λοιπόν, το πέδιλο Π.18.1 έχει την διπλανή μορφή (Εικόνα 127).



Εικόνα 127: Μορφή πέδινου Π.18.1 στην παρούσα μελέτη

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, υπάρχει μία πληθώρα από αιτίες για την οποία η κατασκευή μας θα πρέπει να ενισχυθεί, έχοντας πάντα ως κύριο μέλημα μας την αύξηση της αντοχής της. Η ενίσχυση όμως ενός κτιρίου δεν είναι μια εύκολη διαδικασία, αφού θα πρέπει να εξετάσουμε όλους τους πιθανούς τρόπους αστοχίας με τις κατάλληλες μεθόδους και εξοπλισμό, να βρούμε αν υπάρχουν συγκεκριμένα αίτια φθοράς, να αποφασίσουμε τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση, καθώς και τι μέθοδοι ανάλυσης θα χρησιμοποιηθούν ώστε να επιτύχουμε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα λαμβάνοντας πάντα υπόψη την ασφάλεια και τους τεχνοοικονομικούς παραμέτρους. Επιπρόσθετα, ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στα κρίσιμα σημεία της διαδικασίας αυτής για τον λόγο ότι παραμονεύουν αρκετοί κίνδυνοι, και η πιθανότητα λάθος διάγνωση, λάθος μελέτης και κατ' επέκταση ενίσχυσης μπορεί να προκαλέσει αστοχία αλλά και στην έσχατη περίπτωση να έχουμε απώλεια ανθρώπινων ζωών. Τα πρώτο κρίσιμο σημείο λοιπόν, είναι οι πληροφορίες όπου παίρνουμε από την υφιστάμενη κατασκευή οι οποίες δεν είναι ακριβείς και πολλές φορές λόγω λανθασμένης διάγνωσης μπορούμε να πάρουμε λανθασμένες πληροφορίες. Το δεύτερο κρίσιμο σημείο, είναι η απόφαση του είδους ενίσχυσης, για τον λόγο ότι υπάρχει μια πληθώρα από ενισχύσεις, με διαφορετικές ιδιότητες η κάθε μία, τις οποίες μπορούμε να εφαρμόσουμε. Επομένως, δεν μπορούμε να είμαστε απόλυτα σίγουροι κατά πόσο θα εφαρμόσουμε την καλύτερη ενίσχυση λαμβανομένου υπόψη όλους του τομείς.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, έχει γίνει σε πρώτο στάδιο ανάλυση του υφιστάμενου κτιρίου ως νέο. Με βάση τα αποτελέσματα που εμφανίσαμε και σε σχέση με τους υφιστάμενους οπλισμούς, παρατηρούμε πάρα πολλές σημαντικές διαφοροποιήσεις, κυρίως στις διαστάσεις τους, αφού στο υφιστάμενο κτίριο έχουμε μικρότερες διαστάσεις καθώς και λιγότερες ράβδους χάλυβα. Αυτό, οφείλεται κατά κύριο λόγο στο γεγονός ότι το κτίριο μας είχε κατασκευαστεί χωρίς να ληφθεί υπόψη ο σεισμός.

Στην δεύτερη περίπτωση, έγινε έλεγχος της επάρκειας του υφιστάμενου κτιρίου με σεισμό. Το αποτέλεσμα όμως της ανάλυσης ήταν ότι όλα τα στοιχεία μας είχαν πολύ μικρό συντελεστή επάρκειας, γι' αυτό και χρειάζονταν ενίσχυση. Μετά από την επιλογή της ενίσχυσης μας, το κτίριο είχε την κατάλληλη αντοχή και επάρκεια στις επιπονήσεις που υπομένει.

Στην τρίτη περίπτωση, έγινε έλεγχος της επάρκειας του υφιστάμενου κτιρίου με σεισμό και με επέκταση του κτιρίου καθ' ύψος. Το αποτέλεσμα όπως και ήταν αναμενόμενο, ήταν ότι

όλα τα στοιχεία μας είχαν πολύ μικρό συντελεστή επάρκειας, γι' αυτό και χρειάζονταν ενίσχυση. Μετά από την επιλογή της ενίσχυσης μας, ήταν σχεδόν η ίδια με την δεύτερη περίπτωση όμως αυτή την φορά παρατηρούμε ότι χρειάζεται σε ορισμένες περιπτώσεις περισσότερος οπλισμός στα υποστυλώματα αφού είναι γεγονός ότι με την προσθήκη του ορόφου αυξάνεται και η κατακόρυφη δύναμη που ασκείται σ' αυτά. Επιπρόσθετα, παρατηρείται ότι υπάρχει και μια μικρή αύξηση των απαιτήσεων στα ανθρακονήματα. Όσο αφορά τις πλάκες, παρατηρούμε ότι σε καμία από τις δύο περιπτώσεις δεν υπήρχε ανάγκη για ενίσχυσή τους, παρά μόνο σε μία πλάκα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η πλάκα παίρνει μόνο τα μόνιμα και τα μεταβλητά φορτία που βρίσκονται πάνω από αυτή και υπήρχε ήδη επάρκεια.

Κλείνοντας, τονίζεται ακόμη μια φορά η σημαντικότητα των ενισχύσεων, αφού όπως είναι φανερό χρειάζονται τόσο για την αντιμετώπιση των φυσικών φαινομένων όπως είναι ο σεισμός, η φθορά και το πέρασμα του χρόνου, καθώς ακόμη και όταν θα επεκτείνουμε το κτίριο μας. Επιπρόσθετα, η κάθε περίπτωση θα πρέπει να ελέγχεται ξεχωριστά, αφού θα επιφέρει και διαφορετικά αποτελέσματα στην ανάλυση μας. Επομένως, είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι για έναν Πολιτικό Μηχανικό, το οποίο τις περισσότερες φορές είναι πολύ δύσκολο να διεκπεραιωθεί χρίζοντας ταυτόχρονα μεγάλης επικινδυνότητας.

Τέλος, τίθεται το ερώτημα κατά πόσο η ενίσχυση που θα χρησιμοποιήσουμε είναι ικανοποιητική, ή αν θα ήταν ποιο τεχνοοικονομικά σωστό να γίνει ολική αντικατάσταση της κατασκευής μας. Η λύση στο ερώτημα αυτό, είναι η δημιουργία μίας επιπρόσθετης μελέτης για την κατεδάφιση της υφιστάμενης κατασκευής και ανέγερση μίας νέας από την αρχή έτσι ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα των δύο μελετών και εν συνέχεια, να αποφασιστεί λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους, ποια θα ήταν η καλύτερη και πιο αποτελεσματική λύση. Αυτό το κομμάτι δεν αποτελεί μέρος της παρούσας πτυχιακής, όμως συστήνεται να γίνεται, ώστε να γνωρίζουμε τι θα ήταν καλύτερο να γίνεται σε τέτοιες περιπτώσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. '«Ασπίδα» από επτά μέτρα χώμα.' (2015). <<http://www.ethnos.gr>> (Οκτωβρίου 8, 2015).
2. '3DR.STREN-KANEPIE (Εγχειρίδιο Χρήσης).' (2012).
3. Chrysostomou, C. Z., Kyriakides, N., Kappos, a. J., Georgiou, E., Vasilou, O., και Milis, M. (2012). 'Seismic Retrofitting of School Buildings of Cyprus.' 15th World Conference on Earthquake Engineering.
4. G.Grantham, M. (2011). Concrete Repair.
5. house, W. (2015). 'Ιωάννης Καράμπαλης και ΣΙΑ Ο.Ε. Εμπορία Μετάλλων και Ειδών Δόμησης, Σίδερα.'
6. 'International Federation for Structural Concrete.' (2015). <<https://en.wikipedia.org>> (Σεπτεμβρίου 8, 2015).
7. 'Mavrogiannakis S.A.' (χ.χ.). <<http://ektoxetine.com.gr>> (Οκτωβρίου 8, 2015).
8. Standard, E. (2004). 'European Standard En 1998-3.' 1–97.
9. Α.Καβουρά, Φ. (2010). 'Εκτίμηση σεισμικής συμπεριφοράς χαλύβδινων κτιρίων της Κύπρου με μη γραμμικές μεθόδους (Σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 8).'
10. Αγγελή, Γ., και Σταματοπούλου, Α. (2011). 'Μέθοδοι ενίσχυσης και επισκευής υποστυλωμάτων – σύγκριση μεθόδων.' 51–60.
11. Αθανασοπούλου, Χ., Πουλούδη, Ε., και Ελυσάβετ, Φ. (2013). 'Αποτίμηση και ενίσχυση υφιστάμενης κατασκευής και η επανεξέτασή της μετά την προσθήκη δεξαμενής νερού στην οροφή.'
12. Αλεξανδρή, Δ., και Στάμου. (χ.χ.). 'Μέθοδοι επισκευής κατασκευών μετά απο σεισμό.'
13. Αναγνωστόπουλος, Π. (χ.χ.). 'Ο ρολος της συστολής ξηρανσης του σκυροδεματος στην κατασκευη πλακων επι εδαφους.' 1–6.
14. 'Βουλή των Αντιπροσώπων.' (χ.χ.). <<http://www2.parliament.cy>> (Σεπτεμβρίου 8, 2015).
15. 'Γενικά περι ανθεκτικότητας σκυροδέματος στο χρόνο.' (χ.χ.). <<http://www.nikosbltae.gr/subject4.html>> (Σεπτεμβρίου 21, 2015).
16. Γεωργία, Σ. (2013). 'Βέλτιστος σχεδιασμός για την αναβάθμιση υφιστάμενων κτιρίων ω.σ.'
17. Γιαννόπουλλος, Ι. (2000). 'Βλάβες από σεισμό Αθήνας(1999).' 11(1999).

18. Γκουβάκης, Γ. (χ.χ.). ‘Ενανθράκωση σκυροδέματος.’ <<http://www.360news.gr>> (Σεπτεμβρίου 21, 2015).
19. Δημοσθένους, Μ. Α., Τεχνικής, Ι., και Κατασκευών, Α. (2009). ‘Μέθοδοι και υλικά αποκατάστασης και ενίσχυσης διατηρητέων κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία.’
20. ‘Διατμητικές Αστοχίες.’ (χ.χ.). <<http://seismicz.weebly.com>> (Σεπτεμβρίου 13, 2015).
21. Δρίτσος, Σ. (2005). Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα. Πάτρα.
22. ‘Ελαττώματα ή βλάβες στο μπετόν.’ (χ.χ.). <<http://ygromonosi.blogspot.com.cy>> (Σεπτεμβρίου 10, 2015).
23. Ελευθεριάδου, Α. Κ., και Καραμπινής, Α. Ι. (2010). ‘Κλίμακες Σεισμικής Βλάβης σε Κατασκευές Ωπλισμένου Σκυροδέματος.’ (3), 41–60.
24. ‘Ενανθράκωση μπετόν και διάβρωση οπλισμών.’ (χ.χ.). <<http://monosimacon.blogspot.com.cy>> (Σεπτεμβρίου 10, 2015).
25. ‘Ενίσχυση υποστυλωμάτων:Περίσφιξη με χρήση ινοπλισμένων πολυμερών (FRP).’ (χ.χ.). <<http://www.episkeves.civil.upatras.gr/ergasies> 2006/15 REZOY.pdf> (Νοεμβρίου 14, 2014).
26. ‘Επισκευές – Ενισχύσεις – Προσθήκες Υφιστάμενα Κτίρια.’ (χ.χ.). <<http://smartbuilding.gr>> (Σεπτεμβρίου 10, 2015).
27. ‘Εφέδρανα-Σεισμική Μόνωση - ΕΛΕΜΚΑ.’ (χ.χ.). <<http://www.elemka.gr>> (Σεπτεμβρίου 16, 2015).
28. Ζησοπούλου, Ε., και Αντωνόπουλος, Α. (2000). ‘Αιτίες βλαβών και τρόποι ενίσχυσης κόμβων απο οπλισμένο σκυρόδεμα.’ 194–204.
29. Ζωιτάκης, Π. (χ.χ.). ‘Στρατηγικές Ενίσχυσης Υφιστάμενων κτιρίων για την προστασία τους έναντι σεισμού.’
30. Ζώσιμα, Ε., και Στρατήγη, Β. (2007). ‘Ενίσχυση κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με frp (ινοπλισμένα πολυμερή).’
31. ‘Η διάβρωση του χάλυβα στο σκυρόδεμα.’ (χ.χ.). <<http://www.buildnet.gr>> (Σεπτεμβρίου 23, 2015).
32. Θεωδορίδης, Χ. . (2006). ‘Συμβατά Υλικά και Μέθοδοι Συντήρησης και Αποκατάστασης Ιστορικών Κτιρίων.’ 25–27.
33. Ι, Λαγίου, Μ. (2012). Ενίσχυση υποστυλωμάτων παλαιών κτιρίων με ινοπλισμένα πολυμερή - Πολυμερή -Διερεύνηση της βελτίωσης της περιφράξης.

34. Ιγνατάκης, Χ. (χ.χ.). 'Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός φορέων από Σκυρόδεμα.' <<http://portal.tee.gr>> (Σεπτεμβρίου 20, 2015).
35. Κ.Σπυράκος. (2004). Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία. Αθήνα.
36. Καϊάφας, Ν., και Τσαμόπουλος, Ν. (2006). 'Αντισεισμικές ενισχύσεις κτιρίων με σύνθετα υλικά.' 1–127.
37. Καϊρης, Σ., και Χατζηβασιλειάδης, Α. (2008). 'Ενίσχυση Υποστυλωμάτων με Μανδύες Οπλισμένου Σκυροδέματος.'
38. Καλαντζής, Σ., και Χριστόπουλος, Α. (2006). 'Αντισεισμική ενίσχυση κτιρίων με ινοπλισμένα πολυμερή.'
39. Καματερή, Δ. (2012). 'Αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς υφιστάμενων κτιρίων απο οπλισμένο σκυρόδεμα και τρόποι ενίσχυσής τους.'
40. 'ΚΑΝ.ΕΠΕ.-Κανονισμός Επεμβάσεων.' (χ.χ.). <<http://www.oasp.gr>> (Σεπτεμβρίου 22, 2015).
41. 'Κανονισμός επεμβάσεων.' (χ.χ.). <<http://portal.tee.gr>> (Σεπτεμβρίου 22, 2015).
42. 'Κανονισμός Επεμβάσεων(ΚΑΝ.ΕΠΕ) σε κτίρια από ΟΣ, έναντι σεισμού.' (χ.χ.). <<http://www.teetas.gr>> (Σεπτεμβρίου 22, 2015).
43. 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.'
44. Κρητικού, Κ., και Λογοθέτη, Ε. (χ.χ.). 'Ενίσχυση δοκών με φυλλα f.r.p. και μεταλλικά ελασματα.'
45. Κωνσταντίνος, Σ. Α. (χ.χ.). 'Ενισχύσεις κατασκευών.' <http://sideris-konstantinos.blogspot.com/p/blog-page_8741.html> (Νοεμβρίου 4, 2014).
46. Κωτσοβίνος, Α., και Παναγιωτάτου, Ε. (2013). 'Καμπτική ενίσχυση δοκών με ελάσματα και FRP κατά ΚΑΝ. ΕΠΕ.' Πάτρα.
47. ΛΑΜΠΡΟΥ, Κ. Ν. (2010). 'Ενίσχυση πλακοδοκών οπλισμένου σκυροδέματος σε τέμνουσα με μανδύες ινοπλισμένων πολυμερών και αγκύρια ινών.'
48. ΛΕΥΤΕΡΗΣ, Δ. (χ.χ.). 'Ανθρακονήματα | Λ.Δασκαλάκης | Τεχνική - Κατασκευαστική - Μελετητική.' <<http://www.eandas.gr>> (Νοεμβρίου 4, 2014).
49. Μάμαλης, Π., και Ξάνθης, Δ. (2004). 'Διάβρωση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος και τρόποι επισκευής.' 1–10.
50. Μαρία, Ζ. (2008). 'Η Τεχνική των ενέσεων εποξειδικών ρητίνων στις επισκευές στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος.'

51. 'Μάχη επιβίωσης δίνει η βιομηχανία ξυλείας.' (χ.χ.). <<http://www.koolnews.gr>> (Οκτωβρίου 8, 2015).
52. 'Μέθοδος μέτρησης ενανθράκωσης και pH.' (χ.χ.). <<http://nnk.gr>> (Σεπτεμβρίου 23, 2015).
53. Νικόλαος, Σ., και Καλλιανώτης, Φ. (2009). 'Αίτια και μέθοδοι επισκευής ρωγμών στο οπλισμένο σκυρόδεμα.' 9–24.
54. Νικόπουλλος, Δ. (2013). 'Τεχνολογία Επεμβάσεων Ενίσχυσης κτιρίων Ωπλισμένου Σκυροδέματος για σεισμικά φορτία.' 1–123.
55. Νταμπαμπάς, Α., και Μακρίδου, Γ. (2012). 'Καταστροφές κτιρίων απο σεισμούς - Μέτρα πρόληψης και αποκατάστασης.'
56. 'Ο «παραδοσιακός» πηλός το μέλλον της δόμησης.' (χ.χ.). <<http://apeordaias.blogspot.com.cy>> (Οκτωβρίου 8, 2015).
57. 'Ο ρόλος της συστολής ξηράνσεως του σκυροδέματος στην κατασκευή πλακών επί εδάφους.' (χ.χ.). <<http://www.e-archimedes.gr>> (Σεπτεμβρίου 10, 2015).
58. 'Οικολογική δόμηση με ασβεστοκονιάματα.' (χ.χ.). <<http://www.metaxiotis.gr>> (Νοεμβρίου 13, 2014).
59. Π.Σταυρόπουλος, Φ. (2007). 'Σεισμική Ενίσχυση μέσω περίσφιγξης υποστυλωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος με πλέγματα συνεχών ινών σε ανόργανη μήτρα.'
60. Παπαθανασίου, Μ. (2005). 'Ενίσχυση οπτοπλινθοδομής σε κάμψη με σύνθετα υλικά ανόργανης μήτρας και με ράβδους σύνθετων υλικών σε εγκοπές.'
61. Παπούδος, Ν., Βερύκιος, Ι., και Κονταρούδας, Ι. (2011). 'Κατασκευαστικές Πρακτικές στην ενίσχυση κτιρίων με φέροντα οργανισμό.'
62. 'Προστασία των χαλύβων οπλισμού από την διάβρωση.' (χ.χ.). <<http://www.karabinas.gr/innovations/protection.asp>> (Σεπτεμβρίου 10, 2015).
63. 'Προσωρινέ εθνικές τεχνικές προδιαγραφές.' (2006). .
64. Σπύρου, Δ. (2011). 'Αποτίμηση φέρουσας ικανότητας υφιστάμενου κτιρίου οπλισμένο σκυροδέματος & ενισχύσεις.'
65. Σταθόπουλος, Θ. (χ.χ.). 'Αντισεισμικές Ενισχύσεις με σύνθετα Υλικά.'
66. Σταματούλης, Σ.-Γ. (2013). 'Μη καταστροφικοί Έλεγχοι σε Υφιστάμενες Κατασκευές.'
67. 'Τεχνικά Θέματα.' (χ.χ.). <<http://www.telestatic.gr>> (Σεπτεμβρίου 10, 2015).
68. 'Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης - Σεισμοί - Χάρτες Σεισμικότητας -Σεισμικές Ζώνες.' (χ.χ.). <<http://www.moa.gov.cy>> (Σεπτεμβρίου 10, 2015).

69. Τσώλου, Η. (2012). 'Ενίσχυση ιστορικών κατασκευών κατασκευών με ινοπλισμένα πολυμερή (F.R.P.).' 65–74.
70. 'Υπουργείο Εσωτερικών - Ευρωκώδικες.' (χ.χ.). <<http://www.moi.gov.cy>> (Σεπτεμβρίου 8, 2015).
71. Χαρίτου, Δ., Καδόγλου, Σ., και Τοτολίδου, Ε. (2013). 'Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα στην Κατασκευή, Αποκατάσταση και Ενίσχυση Τεχνικών Έργων.'
72. Χιώτης, Δ. Δ. (2012). 'Ενίσχυση δομικών μελών από οπλισμένο σκυρόδεμα και φέρουσα τοιχοποιία με ινοπλισμένα πολυμερή.'
73. Χιώτης, Δ. Δ., Χαρίτου, Δ., Καδόγλου, Σ., Τοτολίδου, Ε., Τσώλου, Η., Ρέζου, Α., Νταμπαμπάς, Α., Μακρίδου, Γ., Νικόλαος, Σ., Καλλιανώτης, Φ., Μαρία, Ζ., ΛΕΥΤΕΡΗΣ, Δ., Κωτσοβίνος, Α., Παναγιωτάτου, Ε., Κωνσταντίνος, Σ. Α., Κρητικού, Κ., Λογοθέτη, Ε., Καϊρης, Σ., Χατζηβασιλειάδης, Α., Κ.Σπυράκος, Ι, Λαγίου, Μ., Θεωδωρίδης, Χ. ., Ζώσιμα, Ε., Στρατήγη, Β., Ζησοπούλου, Ε., Αντωνόπουλος, Α., Δρίτσος, Σ., Δημοσθένους, Μ. Α., Τεχνικής, Ι., Κατασκευών, Α., Δημάδη, Κ., Κατσενίου, Γ., Αγγελή, Γ., και Σταματοπούλου, Α. (2012). 'Αιτίες βλαβών και τρόποι ενίσχυσης κόμβων απο οπλισμένο σκυρόδεμα.' Αθήνα, 1–39.
74. Χριστοδούλου, Μ. (2012). 'Πτυχιακή διατριβή.'
75. Χρυσοστόμου, Κ. (2009). 'Αντισεισμική Θωράκιση της Κύπρου (Seismic Protection of Cyprus).' 21–23.