



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ : ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΜΣ: ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΑ ΕΡΓΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.

ΤΣΙΑΜΗ ΔΗΜΗΤΡΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:

ΔΡ. ΚΥΡΙΑΖΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΤΩΝΗΣ

ΔΗΜΑΚΟΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ

ΡΕΠΑΓΗΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ

13/12/2022

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η ανάλυση των μεθόδων επισκευής και ενίσχυσης ενός κτιρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα καθώς και η εφαρμογή τους. Επίσης, γίνεται αναφορά στους λόγους που προκαλούνται οι βλάβες στις κατασκευές και το μέγεθος αυτών έτσι ώστε να επιλεγεί η σωστή μέθοδος επισκευής ή ενίσχυσης.

Αρχικά γίνεται παράθεση των λόγων φθοράς ενός κτιρίου με ιδιαίτερη έμφαση στο φαινόμενο του σεισμού αφού πρόκειται για τον πιο συχνό λόγο εμφάνισης προβλημάτων μεγάλου ή μικρού μεγέθους σε μια κατασκευή. Αναλύονται οι στρατηγικές αποκατάστασης των βλαβών που προκαλούνται από ένα σεισμό ανάλογα με το βαθμό βλάβης που κατατάσσεται το υπο διερεύνηση κτίριο.

Ακολουθεί η ανάλυση μεταφοράς δυνάμεων στις διεπιφάνειες, σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται τα φαινόμενα θλίψης, τριβής και συνοχής μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος, όπως επίσης και το ζήτημα αγκύρωσης νέου οπλισμού.

Στη συνέχεια αναλύονται εκτενώς οι μέθοδοι επισκευής και ενίσχυσης ενός κτιρίου, με αναφορές στο κάθε δομικό στοιχείο ξεχωριστά, στο φέροντα και μη φέροντα οργανισμό, και στις λύσεις που επιδέχεται ανάλογα με το βαθμό βλάβης που υπέστη.

Τέλος γίνεται αναφορά στην κοστολόγηση του έργου πριν ξεκινήσουν οι επεμβάσεις επισκευής και ενίσχυσης, ένα στάδιο μέγιστης σημασίας ώστε να αποφασιστούν από το μηχανικό οι τρόποι αντιμετώπισης των βλαβών ενός κτιρίου.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	9
1.ΑΙΤΙΕΣ ΒΛΑΒΩΝ	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 ΣΕΙΣΜΟΣ	9
1.1.1 Γενική έννοια.....	9
1.1.2 Δομή του εσωτερικού της γης	10
1.1.3 Σεισμικά ρήγματα.....	12
1.1.4 Δημιουργία σεισμού	13
1.1.5 Ανάλυση χαρακτηριστικών σεισμού	14
1.Ενταση του σεισμού.....	14
2.Είδη σεισμών	14
3.Διάρκεια σεισμού	15
4.Διεύθυνση του σεισμού	16
5.Υπόκεντρο, επίκεντρο, εστιακό βάθος σεισμού.....	16
1.1.6 Σεισμός και Ελλάδα	16
1.2 ΚΑΘΙΖΗΣΗ	17
1.2.1 Γενική έννοια.....	18
1.2.2 Ομοιόμορφη και ανομοιόμορφη καθίζηση	18
1.2.3 Τύποι καθιζήσεων.....	19
Άμεση καθίζηση.....	19
Πρωτογενής καθίζηση ή καθίζηση λόγω στερεοποίησης.....	19
Δευτερογενής καθίζηση	20
1.2.4 Αίτια καθιζήσεων - Ενεργές και παθητικές καθιζήσεις	20
1.3 ΑΣΤΟΧΙΑ ΥΛΙΚΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ - ΑΠΟΦΥΓΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΛΑΘΩΝ	21
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	21
1.3.1 Χαρακτηριστικά σκυροδέματος	22
1.3.2 Επίδραση χαμηλών θερμοκρασιών (παγετός).....	25
1.3.3 Τοποθέτηση οπλισμών	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	30
2. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΛΑΜΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ	30
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	30
2.1 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	31
2.1.1 Απλοποίηση – Οργάνωση του προβλήματος της αποκατάστασης.....	31
2.1.2 Εκτίμηση της κατάστασης	32
2.1.3 Περιορισμοί.....	34
2.1.4 Προγράμματα αποκατάστασης	34
2.2 ΤΥΠΙΚΟΙ ΒΑΘΜΟΙ ΒΛΑΒΗΣ.....	38
2.3 ΣΤΟΧΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	41
2.3.1 Γενικά	41
2.3.2 Στάθμες επιτελεστικότητας φέροντος οργανισμού	42

2.4 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ - ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ	42
.....
2.4.1 Κριτήρια επεμβάσεων.....	42
2.4.2 Τύποι επεμβάσεων	44
2.5 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	45
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	45
2.5.1 Στάδια ανασχεδιασμού.....	46
2.6 ΣΥΝΤΑΞΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ	50
2.6.1 Στατικός – Αντισεισμικός έλεγχος κατασκευής.....	54
2.6.2 Τεχνική Έκθεση για την συμπεριφορά της κατασκευής	55
2.6.3 Παραδοχές Ανασχεδιασμού	56
2.6.4 Μελέτη Επεμβάσεων	57
2.6.5 Τεύχη και σχέδια μελέτης.....	58
2.6.6 Επίβλεψη και ποιοτικοί έλεγχοι	59
2.6.7 Συντήρηση.....	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	62
3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΣΤΙΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ.....	62
3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	62
3.1.1 Θλίψη στην διεπιφάνεια μεταξύ νέου και παλαιού σκυροδέματος.....	62
3.1.2 Θλίψη προρηγματωμένου σκυροδέματος.....	62
3.1.3 Συνοχή μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος	63
3.1.4 Τριβή μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος.....	64
3.2 ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΝΕΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	66
3.2.1 Αγκύρωση σε υπάρχοντα οπλισμό	66
3.2.2 Αγκύρωση σε υπάρχον σκυρόδεμα.....	67
3.2.3 Αγκύρωση σε νέο σκυρόδεμα	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	68
4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ.....	68
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	68
4.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ.....	68
4.2 Χρήση ειδικών τύπων σκυροδέματος.....	69
4.2.1 Χρήση έγχυτου σκυροδέματος σταθερού όγκου.....	70
4.2.2 Χρήση Σκυροτσιμεντοπήγματος.....	71
4.2.3 Μέθοδος Εκτοξευόμενου σκυροδέματος (gunitite)	71
4.2.3.1 Ανάλυση διαδικασίας ξηρής και υγρής ανάμιξης	72
4.2.3.2 Σύνθεση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος	75
4.2.3.3 Προδιαγραφές αεροσυμπιεστή.....	76
4.2.3.4 Προετοιμασία επιφάνειας βάσης	77
4.2.3.5 Χειρισμός εκτόξευσης σκυροδέματος.....	77
4.2.3.6 Ανακλώμενο και υπερψεκαζόμενο υλικό	82
4.2.3.7 Χρήση ινοοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος.....	83
4.3 Χρήση επισκευαστικών κονιαμάτων.....	83
4.3.1 Ανάλυση κονιαμάτων με πολυμερή.....	84
4.3.2 Ανάλυση και χρήση κονιαμάτων με βάση το τσιμέντο	84

4.3.2.1 Εφαρμογή και οδηγίες χρήσεως κονιαμάτων με βάση το τσιμέντο	85
4.4 Αστοχία ρωγμών σε κατασκευές από σκυρόδεμα - Χρήση πολυμερικών κολλών - Ρητινενέσεις.....	87
4.4.1 Ορολογία και γέννηση ρωγμών.....	87
4.4.2 Αιτίες και έλεγχος ρωγμών σε νωπό σκυρόδεμα	88
4.4.3 Αναγκαιότητα επισκευής ρωγμών	90
4.4.4 Εκτίμηση της σοβαρότητας των ρωγμών	92
4.4.5 Χρήση πολυμερικών κολλών	93
4.4.6 Επισκευή ρωγμών με ρητινενέσεις.....	95
4.4.7 Σύγκριση της μεθόδου των ρητινενέσεων σε σχέση με άλλες τεχνικές επισκευής ρωγμών	96
4.4.8 Διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου των ρητινενέσεων	98
4.4.9 Επιλογή υλικού	99
4.4.10 Παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την επιτυχία της μεθόδου.....	101
4.5 Χρήση επικολλητών φύλλων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή	105
4.5.1 Χρήση χαλύβδινων επικολλητών ελασμάτων	106
4.5.2 Χρήση φύλλων από ινοπλισμένα πολυμερή (FRP _s)	108
4.6 Εφαρμογή διατμητικών συνδέσμων – Αγκυρίων - Ριζοπλισμοί	113
4.6.1 Ριζοπλισμοί.....	117
4.7 Εφαρμογή αγκυρώσεων και συγκολλήσεων νέων ράβδων οπλισμού	118
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	125
5.1 ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ – ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	125
5.1.1 Επισκευές - Ενισχύσεις υποστυλωμάτων.....	125
5.1.1.1 Επισκευές υποστυλωμάτων	125
1. Επισκευές με κόλλες ή επισκευαστικά κονιάματα.....	125
2. Τοπικές αποκαταστάσεις ίσης διατομής	126
5.1.1.2 Ενισχύσεις υποστυλωμάτων	128
1. Ενίσχυση υποστυλωμάτων με περίσφιγξη	129
1.1 Διαδικασία επιβολής της περίσφιγξης	129
5.1.1.3 Τεχνικές – Είδη μανδύων και διαδικασία κατασκευής μανδύων.....	132
1. Μανδύες από ινοπλισμένα πολυμερή	132
2. Τεχνική του μεταλλικού κλωβού	132
3. Μανδύες υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα	135
3.1 Είδη μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος	136
4. Ανοικτοί μανδύες.....	137
5.1.1.4 Διαστασιολόγηση	139
5.1.1.5 Διαδικασία κατασκευής μανδύων	142
5.1.1.6 Μεταφορά αξονικού φορτίου	144
5.1.1.7 Συνδετήρες μανδύα.....	148
5.1.1.8 Έλεγχος διεπιφάνειας	148
5.1.1.9 Διαστασιολόγηση μανδύων	148
5.1.1.10 Κατασκευαστικές διατάξεις	149
5.1.2 Επισκευές – Ενισχύσεις τοιχωμάτων	151
5.1.2.1 Επισκευές τοιχωμάτων	151
5.1.2.2 Ενισχύσεις τοιχωμάτων.....	151

1. Ενίσχυση τοιχωμάτων με περίσφιγξη.....	151
2. Ενίσχυση τοιχωμάτων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος	152
5.1.2.3 Διαστασιολόγηση επεμβάσεων σε τοιχώματα	154
5.1.2.4 Κατασκευαστικές διατάξεις.....	157
5.1.3 Επισκευές – Ενισχύσεις δοκών και πλακών.....	158
5.1.3.1 Επισκευή δοκών και πλακών	158
5.1.3.2 Ενίσχυση δοκών και πλακών – Κατηγορίες ενισχύσεων	158
1. Καμπτική ενίσχυση με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος.....	159
1.1 Διαστασιολόγηση μεθόδου.....	161
1.2 Κατασκευαστικές διατάξεις.....	161
2. Καμπτική ενίσχυση με επικολλητά φύλλα από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή .	161
2.1 Διαστασιολόγηση επικολλητών ελασμάτων.....	162
2.2 Κατασκευαστικές διατάξεις.....	163
2.3 Ενίσχυση με ινοπλισμένα πολυμερή	164
2.4 Κατασκευαστικές διατάξεις - συστάσεις.....	164
3. Διατμητική ενίσχυση δοκών με εξωτερικά στοιχεία	165
4. Ενίσχυση με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος	166
4.1 Διαστασιολόγηση	168
4.2 Κατασκευαστικές διατάξεις.....	168
5.1.4 Επισκευή – Ενίσχυση κόμβων δοκών υποστυλωμάτων.....	169
5.1.4.1 Επισκευή κόμβων	169
5.1.4.2 Ενίσχυση κόμβων	170
1. Μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος σε κόμβους	170
2. Ενίσχυση των χιαστί κολλάρων.....	171
3. Η τεχνική των επικολλητών φύλων σε κόμβους	173
5.1.4.3 Διαστασιολόγηση κόμβων.....	174
5.1.5 Ενισχύσεις στοιχείων θεμελίωσης	175
5.1.6 Ενίσχυση κατασκευής ως σύνολο	177
5.1.6.1 Κατασκευή τοιχωμάτων εντός πλαισίων.....	182
1.Τοιχώματα από έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	182
.....	184
2. Προκατασκευασμένα τοιχώματα (panels).....	186
3. Τοιχώματα από οπλισμένη ή άοπλη τοιχοποιία	186
5.1.6.2 Προσθήκη δικτυωτών συστημάτων εντός πλαισίων	187
5.1.6.3 Κατασκευή πλευρικών τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστυλωμάτων	189
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°	190
6. ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΠΛΗΡΩΣΕΩΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	190
6.1 Αλληλεπίδραση φέροντος οργανισμού και τοιχοπληρώσεων-στοιχεία κανονισμών	
6.2 Επίδραση της συμπεριφοράς της τοιχοπλήρωσης στη μορφή αστοχίας των πλαισίων.....	193
6.3 Στάδια παραμόρφωσης τοιχοπληρωμένων πλαισίων υπό οριζόντια φορτία	195
6.4 Επίδραση της τοιχοπλήρωσης στα δυναμικά χαρακτηριστικά των πλαισίων.....	196
6.5 Απλή ρηγμάτωση τοίχων	197
6.6 Έντονη ρηγμάτωση τοίχων	199

6.7 Αποσύνδεση οργανισμού πληρώσεως και σκελετού.....	199
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7°	200
ΤΕΧΝΙΚΕΣ – ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΩΡΙΝΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΣΕΩΝ	200
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	200
7.1 Κριτήρια – Ευστάθεια – Τεχνογνωσία προσωρινών υποστυλώσεων	200
7.2 Τεχνικές - Μέθοδοι υποστυλώσεων	203
7.2.1 Υποστύλωση με τη μέθοδο των βιομηχανικών ικριωμάτων.....	203
7.2.2 Υποστύλωση με τη χρήση κορμών δέντρων	204
7.2.3 Υποστύλωση με τη χρήση σιδηρών διατομών.....	205
7.2.4 Υποστύλωση με τη χρήση τακαριών	207
7.3 Τεχνικές – μεθοδολογία σφηνώσεως	208
7.3.1 Τεχνική ξύλινων σφηνών.....	208
7.3.2 Τεχνική μηχανικών γρύλλων – υδραυλικών γρύλλων.....	209
7.4 Έλεγχος στις θέσεις σφηνώσεως (τοπική διάτμηση).....	210
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8°	212
8. ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΩΝ	212
8.1 Κριτήρια κοστολόγησης – μέθοδος κοστολόγησης.....	212
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9°	213
9. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΜΕΝΗΣ – ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	213
9.1 Γενικά	214
9.2 Ενδείξεις βλαβών.....	214
9.3 Περιοδικές επιθεωρήσεις	214
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	217

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο **επισκευή** ορίζεται ως η επαναφορά βλαβέντος δομικού στοιχείου ή κτίσματος στην κατάσταση προ βλάβης. Με τον όρο **ενίσχυση** ορίζεται ως το σύνολο των μέτρων αναβάθμισης των μηχανικών χαρακτηριστικών (αντοχή, δυσκαμψία, πλαστιμότητα) δομικού στοιχείου ή κτίσματος μέχρι ενός επιθυμητού ή απαραίτητου επιπέδου. Οι βλάβες που χρήζουν ενίσχυσης ή επισκευής μπορεί να προκληθούν από πολλούς παράγοντες αλλά κυρίως από :

- Σεισμό

- Καθίζηση
- Αστοχία υλικού
- Παλαιότητα κατασκευής

Αναλυτικότερα:

Ο **σεισμός** είναι ένα φυσικό φαινόμενο – άρρηκτα συνδεδεμένο με την ζωή και την ιστορία της γης- που εκδηλώνεται τις περισσότερες φορές, ξαφνικά και χωρίς προειδοποίηση ενώ συνήθως δεν υπάρχουν πολλά περιθώρια για προφύλαξη και δράση.

Η **καθίζηση** που μπορεί να προκληθεί στα θεμέλια μιας κατασκευής είναι η μετακίνηση τους κατά την διεύθυνση της βαρύτητας, που οφείλεται στην συμπίεση και την παραμόρφωση του υπερκείμενου εδάφους λόγω του ίδιου βάρους της κατασκευής.

Η **αστοχία ενός υλικού** μπορεί να προκληθεί όταν δεν τηρούνται οι κανονισμοί και οι τεχνικές που προβλέπονται για την κατασκευή και την ασφάλεια του έργου.

Η **παλαιότητα** ενός κτηρίου ή μιας κατασκευής γενικότερα, είναι το προσδόκιμο ζωής των υλικών της κατασκευής, το οποίο όταν ξεπεραστεί, τα υλικά αρχίζουν και φθείρονται πιο εύκολα σε καταπονήσεις με αποτέλεσμα να μην υπάρχει επαρκής ασφάλεια.

Όταν ένα κτίριο ή μια κατασκευή έχει υποστεί βλάβες πρέπει να εξετασθεί με κάποια κριτήρια για να ληφθεί η απόφαση εάν θα επισκευαστεί ή θα κατεδαφιστεί. Τα κυριότερα κριτήρια είναι τα εξής :

- Τεχνικά
- Οικονομικά
- Κοινωνικά

Αναλυτικότερα:

Τα **τεχνικά** κριτήρια αφορούν τις μεθόδους επισκευών που θα χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση-επισκευή του βλαμμένου έργου.

Τα **οικονομικά** κριτήρια αναφέρονται στο κόστος επισκευής που πρέπει να είναι μικρότερο από το 80% της απομένουσας αξίας του κτιρίου ή της κατασκευής.

Τα **κοινωνικά** κριτήρια αναφέρονται στην αισθητική του χώρου και την ασφάλεια γειτονικών κτιρίων.

Όταν επισκευάζεται ένα κτίριο, η ελάχιστη επιδίωξη είναι η αποκατάσταση του βαθμού ασφάλειας που είχε πριν από την βλάβη. Κατά περίπτωση μπορεί να αποφασισθεί αύξηση του βαθμού ασφάλειας στο ύψος που επιτάσσουν οι τρέχοντες κανονισμοί. Η μελέτη επισκευής του κτιρίου πρέπει πάντοτε να βασίζεται στον έλεγχο της συμπεριφοράς του καθώς και στην εξακρίβωση των αιτιών από τα οποία προκλήθηκαν οι αστοχίες. Στην περίπτωση που οι βλάβες είναι τοπικές, η αποκατάσταση και η ενίσχυση των βλαμμένων στοιχείων είναι κατά κανόνα επαρκής. Στην περίπτωση που οι βλάβες επηρεάζουν γενικότερα την ασφάλεια του κτιρίου, είναι απαραίτητο να εξετασθεί αυτό συνολικά.

Ο μελετητής πρέπει να έχει υπόψη του ότι η επισκευή ενός κτιρίου με βλάβες που επηρεάζουν γενικότερα την ασφάλεια του αποτελεί ειδικό πρόβλημα

που χρειάζεται εμπειριστατωμένη μελέτη για να καταλήξει σε λύση επιστημονικά, τεχνικά και οικονομικά αποδεκτή. Η επίβλεψη έχει στις περιπτώσεις επισκευών μείζονα σημασία. Συνίσταται να είναι αυστηρή τόσο για τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν όσο και για τις τεχνικές που θα εφαρμοστούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.ΑΙΤΙΕΣ ΒΛΑΒΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι αιτίες που προκαλούν βλάβες σε μια κατασκευή συνήθως οφείλονται σε φυσικά φαινόμενα και κυρίως στη σεισμική δραστηριότητα, όπως επίσης και στον ανθρώπινο παράγοντα που συμβάλει σημαντικά στο χρόνο ζωής μιας κατασκευής. Για φυσικά καταστροφικά φαινόμενα, όπως ο σεισμός που δεν μπορεί να προβλεφθεί τότε θα συμβεί και τι ένταση θα έχει, λαμβάνονται υπόψη στα έργα, συντελεστές ασφάλειας, αλλά δεν επαρκούν πάντα για την ασφάλεια του έργου, ειδικά αν ο σεισμός είναι μεγάλης έντασης.

Ο ανθρώπινος παράγοντας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο για την ασφάλεια και το προσδόκιμο ζωής του έργου. Λανθασμένες μελέτες, κατασκευαστικά λάθη, ελλιπής επίβλεψη κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του έργου ή ακόμα και οικονομικά συμφέροντα που θα αποφέρουν κέρδη, μη τηρώντας τους κανονισμούς, όλα αυτά είναι λάθη τα οποία μπορούν να έχουν καταστροφικές συνέπειες για το έργο μεσοπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα.

Τέλος κάθε υλικό που χρησιμοποιείται στην κατασκευή του έργου έχει συγκεκριμένη διάρκεια ζωής. Ξεπερνώντας την διάρκεια αυτήν, η αντοχή της κατασκευής μειώνεται και φθείρεται πιο εύκολα σε καταπονήσεις που μπορεί να προκληθούν.

1.1 ΣΕΙΣΜΟΣ

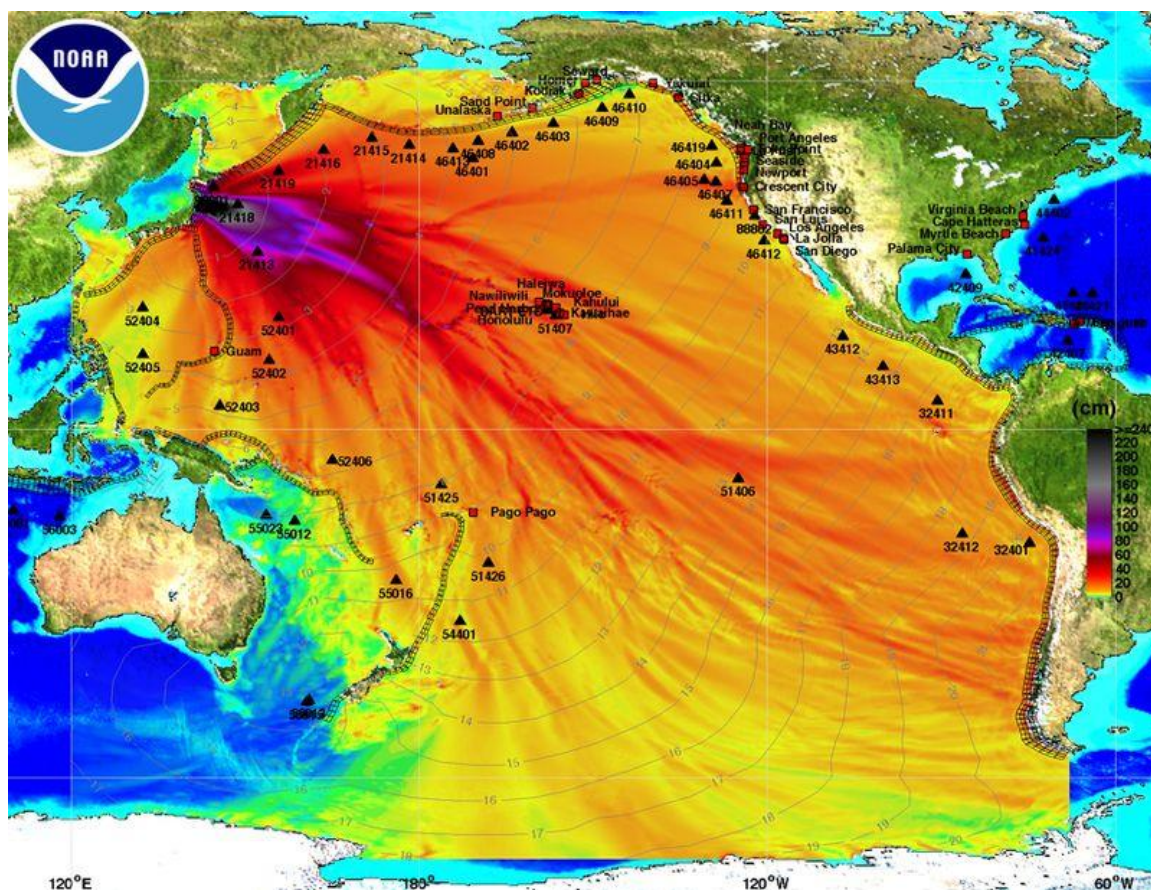
1.1.1 Γενική έννοια

Σεισμός ορίζεται ως η ανατάραξη και δόνηση του εδάφους, που προκαλείται από το ξαφνικό σπάσιμο και μετακίνηση των τεκτονικών πλακών στις οποίες υποδιαιρείται ο φλοιός της γης ή λόγω ηφαιστειακής δραστηριότητας. Τον αντιλαμβανόμαστε στην επιφάνεια της γης καθώς μέρος της ενέργειας μεταφέρεται εκεί με τα σεισμικά κύματα. Τα κύματα αυτά διαδίδονται στον φλοιό με ταλαντώσεις των πετρωμάτων και φθάνοντας στην επιφάνεια προκαλούν τις αναταράξεις του εδάφους που αισθανόμαστε.

Άλλη μια εκδήλωση των σεισμών, που προκαλείται από τη μετακίνηση των πετρωμάτων της λιθόσφαιρας, είναι η δημιουργία τσουνάμι στη θάλασσα όταν ο σεισμός είναι υποθαλάσσιος και έχει αποτέλεσμα ικανή κατακόρυφη ανάταξη του βυθού. Οι περισσότεροι σεισμοί

σχετίζονται με τον τεκτονικό χαρακτήρα της γης και ονομάζονται τεκτονικοί σεισμοί.

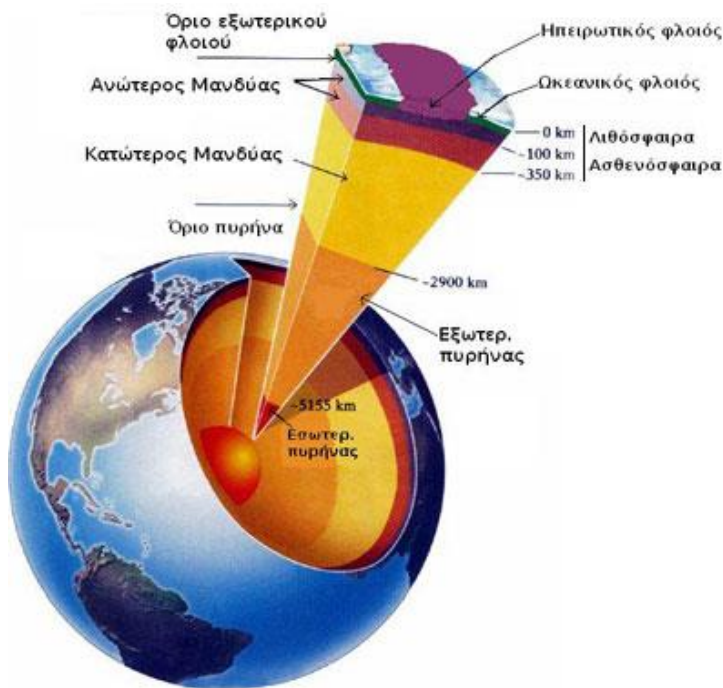
Γενικότερα ο σεισμός είναι φαινόμενο το οποίο εκδηλώνεται συνήθως χωρίς σαφή προειδοποίηση, δεν μπορεί να αποτραπεί και παρά τη μικρή χρονική διάρκεια του, μπορεί να προκαλέσει μεγάλες υλικές ζημιές στις υποδομές με επακόλουθα σοβαρούς τραυματισμούς και απώλειες ανθρώπινων ζωών.



Σχήμα 1.1 Χάρτης της NOAA που υποδεικνύει την απελευθερωμένη ενέργεια σε μορφή τεράστιων κυμάτων ενέργειας κατά την διάρκεια του σεισμού της Ιαπωνίας.

1.1.2 Δομή του εσωτερικού της γης

Η Γη αποτελείται από τρία διαφορετικά στρώματα το φλοιό, το μανδύα και τον πυρήνα, συνολικού πάχους 6.370 km περίπου. Ο φλοιός είναι το στερεό, εξωτερικό περιβλήμα της Γης. Υπάρχουν δυο είδη φλοιού, ο ηπειρωτικός και ο ωκεάνιος. Το μέσο πάχος του ηπειρωτικού είναι περίπου 35 km, κάτω όμως από τις μεγάλες οροσειρές μπορεί να φτάσει τα 60 – 70 km. Το μέσο πάχος του ωκεανού είναι 7 km. Ο μανδύας είναι το αμέσως επόμενο στρώμα και φτάνει μέχρι το βάθος των 2.900 km.



Σχήμα 1.2 Δομή του εσωτερικού της Γης

Κάτω από το μανδύα υπάρχει ο πυρήνας που φθάνει έως το κέντρο της γης. Ο πυρήνας διακρίνεται σε εξωτερικό (υγρή-ρευστή κατάσταση) και σε εσωτερικό (στερεή κατάσταση).

Ως λιθόσφαιρα χαρακτηρίζεται το εξωτερικό δύσκαμπτο περίβλημα της Γης. Περιλαμβάνει το φλοιό και μέρος του στερεού ανώτερου μανδύα. Το πάχος της λιθόσφαιρας κυμαίνεται ανάλογα το πάχος του φλοιού. Στις ωκεάνιες περιοχές το πάχος της λιθόσφαιρας είναι περίπου 80km, ενώ στις ηπειρωτικές κυμαίνεται μεταξύ 100 και 150km. Η λιθόσφαιρα δεν είναι ενιαία αλλά απαρτίζεται από επτά (7) μεγάλες πλάκες (Αφρικανική, Ευρασιατική, Ινδό-Αυστραλιανή, Ανταρκτική, πλάκα του Ειρηνικού, Βόρειο-Αμερικανική, Νότιο-Αμερικανική) και πολλές άλλες μικρότερες, που ολισθαίνουν, πάνω στο υποκείμενο παχύρρευστο υλικό του μανδύα την ασθενόσφαιρα, πραγματοποιώντας σχετικές μεταξύ τους κινήσεις. Οι πλάκες αυτές λέγονται λιθοσφαιρικές πλάκες.



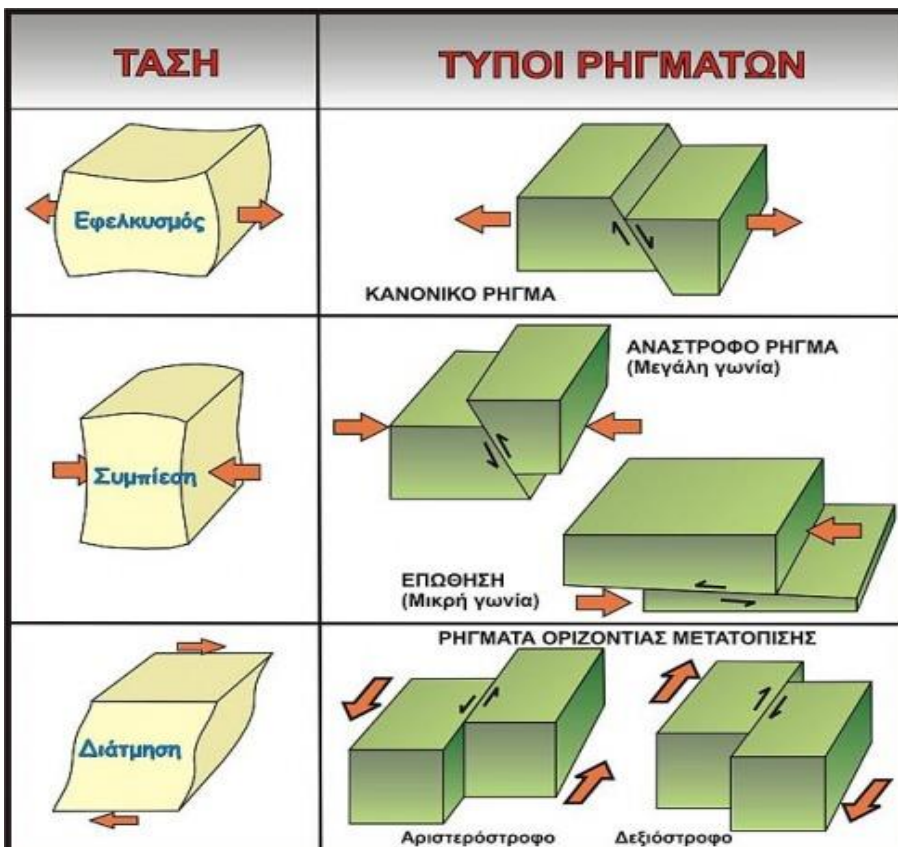
Σχήμα 1.3 Λιθοσφαιρικές πλάκες της Γης

1.1.3 Σεισμικά ρήγματα

Με τον όρο ρήγμα ονομάζεται στη γεωλογία η διακοπή της συνέχειας μιας ομάδας στρωμάτων πετρωμάτων του στερεού φλοιού της Γης, η οποία συμβαίνει κατά επίπεδη επιφάνεια και σε μεγάλη έκταση και εκατέρωθεν της οποίας πραγματοποιείται ή πραγματοποιήθηκε στο παρελθόν σχετική κίνηση των στρωμάτων. Υπάρχουν τρία είδη ρηγμάτων:

- κανονικά ρήγματα
- ανάστροφα ρήγματα
- ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης

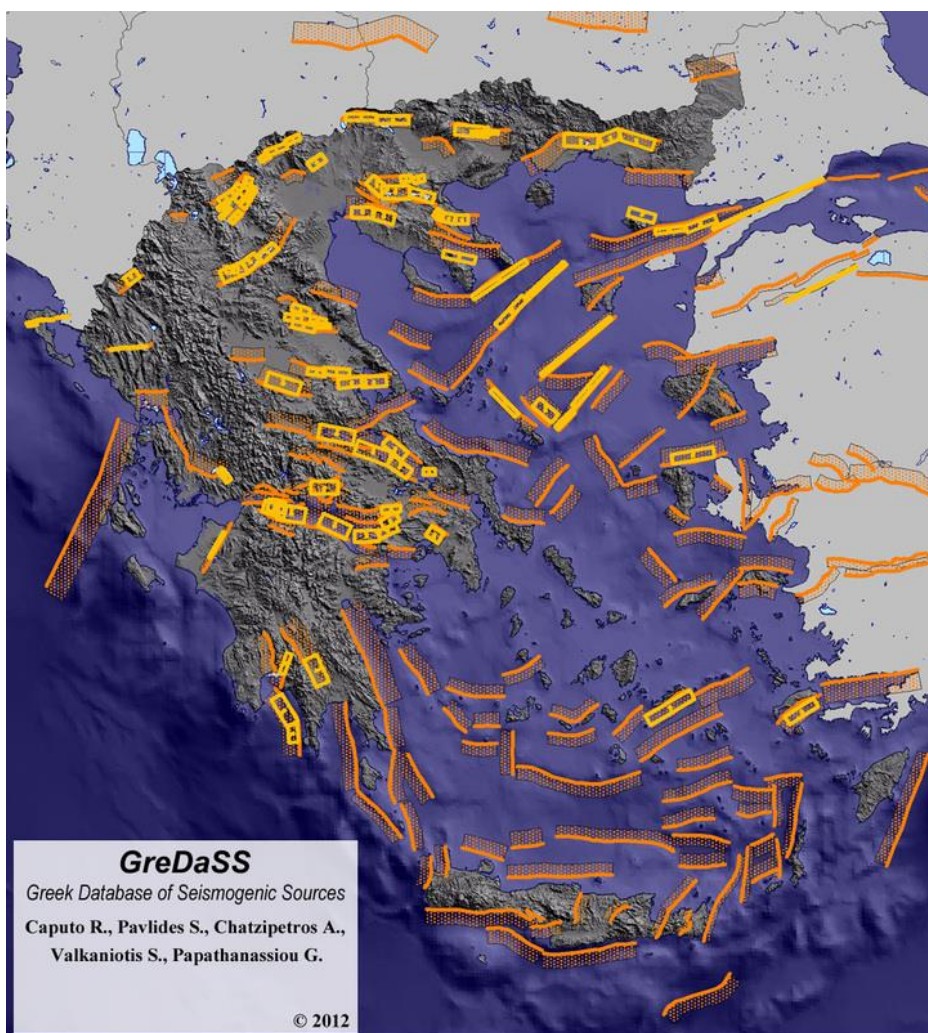
Στα κανονικά και στα ανάστροφα ρήγματα, η διάρρηξη του πετρώματος κλίνει προς τα κάτω, και το πέτρωμα μετακινείται προς τα πάνω ή προς τα κάτω κατά μήκος της διάρρηξης. Στο κανονικό ρήγμα, το τέμαχος της ανώτερης πλευράς της διάρρηξης ολισθαίνει προς τα κάτω. Στο ανάστροφο ρήγμα, το πέτρωμα και στις δύο πλευρές του ρήγματος συμπιέζεται ισχυρά. Οι συμπιεστικές δυνάμεις ωθούν το πάνω τέμαχος να ολισθήσει προς τα πάνω και το κατώτερο τέμαχος ωθείται προς τα κάτω. Στο οριζόντιας μετατόπισης ρήγμα, η διάρρηξη εκτείνεται κατακόρυφα μέσα στο πέτρωμα και τα τεμάχη των πετρωμάτων κατά μήκος του ρήγματος ολισθαίνουν το ένα ως προς το άλλο οριζόντια.



Σχήμα 1.4 Τύποι ρηγμάτων

Υπάρχουν πολλοί ορισμοί για τα ενεργά ρήγματα. Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος ορισμός είναι: ενεργό ρήγμα είναι εκείνο το οποίο έχει προκαλέσει τουλάχιστον ένα σεισμό κατά τη διάρκεια των προηγούμενων δέκα

χιλιάδων χρόνων. Η ιστορική και η σεισμολογική έρευνα βοηθούν στο χρονικό καθορισμό του τελευταίου μεγάλου σεισμού σε ένα ρήγμα.



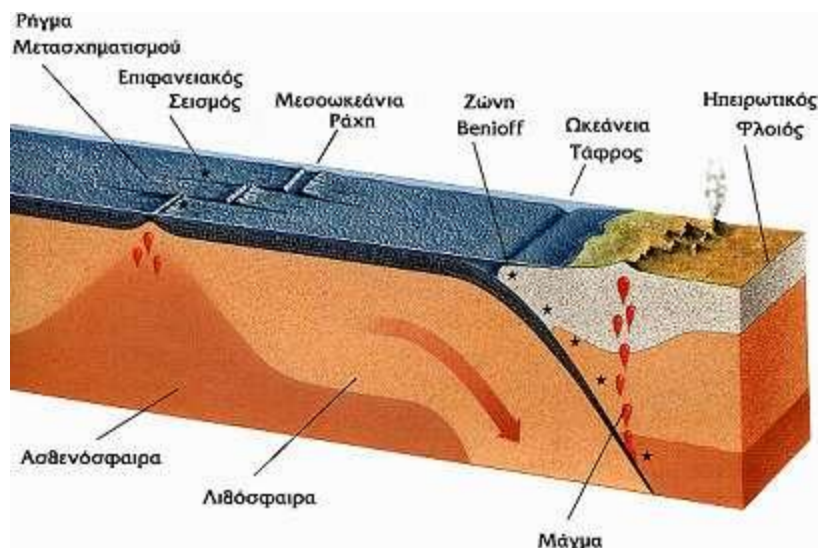
Σχήμα 1.5 Ρήγματα στον Ελλαδικό χώρο

1.1.4 Δημιουργία σεισμού

Όπως προαναφέραμε, η λιθόσφαιρα δεν είναι ενιαία αλλά απαρτίζεται από ένα σύνολο μεγάλων και μικρότερων πλακών (λιθοσφαιρικές πλάκες) που ολισθαίνουν πάνω στο υποκείμενο παχύρρευστο μανδουακό υλικό (ασθενόσφαιρα) πραγματοποιώντας σχετικές μεταξύ τους κινήσεις. Τα αίτια κίνησής τους πιθανόν να είναι οι οριζόντιες εφαπτομενικές κινήσεις που ασκούνται στον πυθμένα τους από τα θερμικά ρεύματα μεταφοράς τα οποία δημιουργούνται στον ασθενοσφαιρικό μανδύα.

Η θεωρία που ερμηνεύει ικανοποιητικά το σύνολο των γεωλογικών και γεωφυσικών παρατηρήσεων, που σχετίζονται με την ενεργό τεκτονική δράση και κατά συνέπεια και με τη σεισμική δράση, είναι αυτή που περιγράφει την κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών.

Η κίνηση αυτή όταν πραγματοποιείται σχετικά απότομα ανάμεσα στα δυο τμήματα που έχουν προκύψει στο σεισμικό ρήγμα έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί σεισμός.



Σχήμα 1.6 Γέννηση σεισμού

1.1.5 Ανάλυση χαρακτηριστικών σεισμού

Τα χαρακτηριστικά των σεισμών είναι τα εξής:

- Ένταση
- Είδος
- Διάρκεια
- Διεύθυνση
- Υπόκεντρο, επίκεντρο, εστιακό βάθος

1.Ένταση του σεισμού

Η **Ένταση** είναι η έκταση των καταστροφών που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, και μετριέται με βάση την τροποποιημένη **κλίμακα Mercalli**, η οποία κυμαίνεται από το **0 έως το 12**.

Η **ένταση** ενός σεισμού σε μία συγκεκριμένη θέση αποτελεί μία μέτρηση της βίαιης κίνησης του εδάφους που δημιουργείται κατά τη διάρκεια ενός σεισμού και καθορίζεται από τις επιπτώσεις της δόνησης στους ανθρώπους, στα κτίρια, στις γεωλογικές δομές κ.α. Η ένταση του σεισμού σε μία θέση εξαρτάται από την απόσταση αυτής της θέσης από το επίκεντρο του σεισμού, το βάθος της εστίας, τις παρεμβαλλόμενες τοπικές δομές και το είδος της κίνησης που προκαλείται από τη δραστηριοποίηση του ρήγματος κατά τη διάρκεια ενός σεισμού.

Αντίθετα το **μέγεθος** του σεισμού, έχει μία μοναδική τιμή για ένα συγκεκριμένο σεισμό. Το μέγεθος του σεισμού μετριέται στη **κλίμακα Richter** η οποία κυμαίνεται από το **0 έως το 10**.

2.Είδη σεισμών

- **Τεκτονικοί:**
Λέγονται έτσι επειδή έχουν σχέση με την τεκτονική κατασκευή της περιοχής. Προκαλούνται από δυνάμεις που ξεπερνούν τα όρια της αντοχής των πετρωμάτων, με αποτέλεσμα να παραμορφωθούν τα

στρώματα των πετρωμάτων. Οι σεισμοί που προκαλούνται με τον τρόπο αυτό αποτελούν την συντριπτική πλειοψηφία 90% των σεισμών.

- **Ηφαιστειακοί:**

Οι σεισμοί αυτοί σχετίζονται με ηφαιστειακή δραστηριότητα και συνήθως είναι λιγότερο ισχυροί από τους τεκτονικούς. Ακόμα και αυτοί πάντως, μπορεί να είναι ιδιαίτερα καταστροφικοί, προκαλώντας σχισμές στο έδαφος, παραμόρφωση του εδάφους, και ζημιές σε κατασκευές. Ο ηφαιστειακός σεισμός είναι αποτέλεσμα αλλαγής της πίεσης στο εσωτερικό της γης, λόγω της εισροής ή εκροής μάγματος. Το σήμα τέτοιων σεισμών ονομάζεται ηφαιστειογενής δόνηση. Αποτελούν 10% των παγκόσμιων σεισμών που προκαλούνται.

- **Εγκατακρημνισιογενείς:**

Εκτός από τα δύο προηγούμενα αίτια, υπάρχει και ένα ελάχιστο ποσοστό σεισμών που ονομάζονται Εγκατακρημνισιογενείς Σεισμοί, επειδή οφείλονται στην εγκατακρήμιση οροφών υπογείων κοιλωμάτων (π.χ. σπηλαίων) λόγω διάβρωσης. Είναι σεισμοί συνήθως μικρού μεγέθους και τοπικού χαρακτήρα. Ορισμένες φορές έχουν παρατηρηθεί σε μετασεισμική ακολουθία ως συνεπακόλουθο άλλου τύπου σεισμών.

- **Κρυογενείς:**

Υπάρχουν περιπτώσεις σεισμών που συμβαίνουν με την απότομη πτώση της θερμοκρασίας. Το έδαφος συγκρατεί νερό σε υγρή μορφή, όταν η θερμοκρασία του πέσει κάτω από το κρίσιμο σημείο που το υγρό νερό γίνεται πάγος, η διαστολή που προκαλεί η αλλαγή φάσης του νερού συμπιέζει τα πετρώματα και είναι πιθανό να προκληθεί διάρρηξη σε αυτά. Οι επιπτώσεις ενός κρυονικού σεισμού (frostquake) δεν είναι σοβαρές, καθώς γίνονται αισθητοί σε ακτίνα ελάχιστων χιλιομέτρων από τον άνθρωπο. Συνοδεύονται από τον κρότο θραύσης και προκαλούν ζημιές σε τσιμεντένιες υποστρώσεις και πλάκες, στο δίκτυο σωληνώσεων και σε υλικά θεμελίωσης που βρίσκονται στη γραμμή θραύσης. Συμβαίνουν συνήθως τις πρώτες πρωινές ώρες κατά τις κρύες περιόδους του χειμώνα. Επειδή δεν προκαλούνται από τεκτονικά αίτια, είναι σημαντικό να αναγνωρίζονται ως κρυογενείς για να μην εισάγουν σφάλμα στα σεισμολογικά δεδομένα των ρηγμάτων.

- **Τεχνητοί:**

Οι τεχνητοί σεισμοί προκαλούνται με εκρήξεις ή χτύπημα της επιφάνειας του γήινου φλοιού. Συνήθως χρησιμοποιούνται για την τομογράφηση του υπεδάφους. Σε μεγάλη κλίμακα είναι δυνατή η πρόκληση τέτοιων σεισμών.

3.Διάρκεια σεισμού

Διάρκεια του σεισμού λέγεται το χρονικό διάστημα κατά το οποίο ο σεισμός είναι αισθητός. Η διάρκεια των σεισμών είναι παρά πολύ μικρή (λίγα δευτερόλεπτα μέχρι 1' το πολύ), αλλά οι δονήσεις επαναλαμβάνονται με μεγάλη ταχύτητα έτσι ώστε να διατηρείται η εντύπωση μιας παρατεταμένης δόνησης και

μόνο. Η διάρκεια του σεισμού εξαρτάται από το μέγεθος του σεισμού, από την απόσταση του παρατηρητή, από το επίκεντρο κ.λπ.

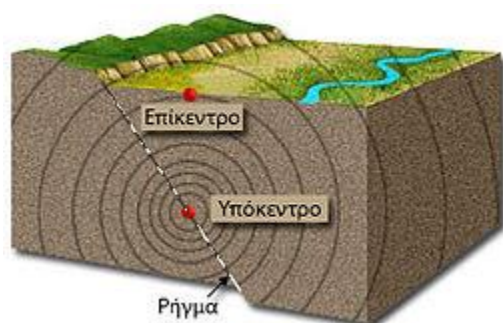
4. Διεύθυνση του σεισμού

Η **διεύθυνση του σεισμού** απ' όπου φαίνεται ότι έρχεται ο σεισμός είναι ανεξάρτητα από την θέση του επίκεντρου. Πολλές φορές συμπίπτει με την διεύθυνση προς την οποία βρίσκεται το επίκεντρο, τις περισσότερες όμως όχι. Αυτό συμβαίνει γιατί τα πετρώματα, μέσα από τα οποία μεταδίδονται οι σεισμικές δονήσεις, παρουσιάζουν διαφορετική ελαστικότητα το ένα από το άλλο.

5. Υπόκεντρο, επίκεντρο, εστιακό βάθος σεισμού

Ο χώρος που πρώτα εκδηλώνεται η διάρρηξη των πετρωμάτων (σεισμογόνος χώρος) μπορεί κατά προσέγγιση να θεωρηθεί ως σημείο και ονομάζεται **εστία** ή **υπόκεντρο** του σεισμού.

Το ίχνος της κατακόρυφης προβολής της εστίας πάνω στην επιφάνεια της γης είναι το **επίκεντρο**, ενώ η απόσταση του από την εστία (βάθος της εστίας) λέγεται **εστιακό βάθος**.



1.1.6 Σεισμός και Ελλάδα

Η Ελλάδα είναι μία από τις πιο σεισμογενείς χώρες του πλανήτη και πιο συγκεκριμένα διαθέτει την έκτη θέση παγκοσμίως, ενώ στον ευρωπαϊκό χώρο την πρώτη. Αξίζει να αναφερθεί ότι στην Ελλάδα δεν υπάρχει μη σεισμική περιοχή, αυτό οφείλεται στα ιδιαίτερα γεωλογικά χαρακτηριστικά της, τα οποία έχουν διαμορφωθεί από τις κινήσεις των τεκτονικών πλακών στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου.

Η Τουρκία κινείται δυτικά προς το Αιγαίο με ταχύτητα 25 χιλιοστά τον χρόνο κατά μήκος του ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας. Το Αιγαίο ακολουθεί την κίνηση αυτή και κινείται με την ίδια ταχύτητα σε σχέση με την Ευρώπη κατά μήκος της τάφρου του Βορείου Αιγαίου προς τα δυτικά. Ταυτόχρονα όμως το Αιγαίο, λόγω εσωτερικής παραμόρφωσης, επεκτείνεται προς τα νότια (με μια ταχύτητα η οποία φθάνει περίπου τα 10 χιλιοστά ανά έτος). Με τον τρόπο αυτό, ο ρυθμός ολίσθησης στο νότιο τμήμα του φθάνει ως τα 35 χιλιοστά το έτος περίπου με διεύθυνση βορειοανατολικά-νοτιοδυτικά.

Όλες αυτές οι παραπάνω κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών που σε γενικές γραμμές θα μπορούσαμε να πούμε ότι αποτελούν και την κύρια αιτία της σεισμικής δραστηριότητας που εκδηλώνεται στον ελληνικό χώρο «συναντώνται» στην περιοχή της Κεφαλονιάς, γεγονός που έχει αποτέλεσμα στον χώρο αυτό να παρουσιάζεται και η μεγαλύτερη σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής του Αιγαίου, ολόκληρης της Ελλάδας και κατ' επέκταση της Ευρώπης. Το σοβαρότερο σεισμικό συμβάν στην Ελλάδα τα τελευταία εκατό χρόνια είναι ο σεισμός 7,2 R που έγινε στις 12 Αυγούστου 1953 στη Κεφαλονιά.



Σχήμα 1.7 σεισμός Κεφαλονιάς το 1953

1.2 ΚΑΘΙΖΗΣΗ



Σχήμα 1.8 Καθίζηση εδάφους στο Νέο Βουτσά

1.2.1 Γενική έννοια

Καθίζηση είναι η υποχώρηση ή παραμόρφωση του εδάφους, που προκαλείται από το βάρος ενός τεχνικού έργου, που βρίσκεται πάνω σ' αυτό. Είναι δηλαδή η συμπίεση του εδάφους, όταν το υπερκείμενο έργο υπερβεί την αντοχή του. Το φαινόμενο αυτό συνδέεται με διάφορους γεωλογικούς – γεωτεχνικούς παράγοντες, την τοπογραφία – μορφολογία της περιοχής, το ύψος των βροχοπτώσεων και ιδίως τις απότομες θεομηνίες, τη σεισμικότητα της περιοχής, το είδος της κατασκευής, τον τύπο της θεμελίωσης της, την καταλληλότητα των κατασκευαστικών υλικών και βέβαια, τη σωστή επίβλεψη κατά το χρόνο κατασκευής του έργου. Οι επιπτώσεις που προκαλούνται στις κατασκευές λόγω αυτού του φαινομένου είναι άλλοτε μικρές, δηλαδή ρωγμές που επισκευάζονται εύκολα χωρίς να γίνουν μεγάλες επεμβάσεις, και άλλοτε προκαλούνται πιο σοβαρά προβλήματα που επιβάλουν την ενίσχυση της κατασκευής.

Τα ψαθυρά εδάφη (άμμοι, αμμοχάλικα) επιτρέπουν, κατά την φόρτιση τους, την γρήγορη αποβολή του νερού που περιέχουν και την αναδιάταξη των κόκκων τους σε μικρό χρόνο. Έτσι, όταν εμποδίζεται η πλευρική τους διόγκωση και διευκολύνεται η στράγγιση τους, τα εδάφη αυτά, πρακτικά, δεν καθιζάνουν. Οι μικρές παραμορφώσεις που εμφανίζονται, παίρνουν την τελική τους τιμή, μετά την επιβολή του φορτίου που τις προκαλεί.

Σε αντίθεση, τα συνεκτικά εδάφη, αργούν να στερεοποιηθούν, δηλαδή να αποκτήσουν την οριστική εσωτερική τους δομή, κάτω από την επιρροή των φορτίων. Τα περισσότερα συνεκτικά εδάφη (άργιλοι) έχουν πολύ μικρή διαπερατότητα. Και αυτό συντελεί στην αργή αποβολή του περιεχομένου νερού. Για αυτό το λόγο προσδιορίζονται οι λόγοι εμφάνισης της καθίζησης, ο τρόπος υπολογισμού της για κάθε τύπο καθίζησης και οι επιτρεπόμενες τιμές της.

1.2.2 Ομοιόμορφη και ανομοιόμορφη καθίζηση

Ομοιόμορφη ονομάζεται η καθίζηση όπου όλα τα σημεία του θεμελίου μετακινούνται κατά ίσες αποστάσεις, όταν δηλαδή το θεμέλιο υφίσταται μια σταθερή κατακόρυφη μετατόπιση, ενώ είναι ανομοιόμορφη όταν μετακινούνται κατά διαφορετικές αποστάσεις.

Στην περίπτωση που η καθίζηση του εδάφους είναι ομοιόμορφη η επιφάνεια της θεμελίωσης παραμένει επίπεδη, οπότε δεν έχει καμία επίπτωση στην εντατική κατάσταση της ανωδομής και το μόνο που ίσως προκαλέσει είναι κάποια δυσκολία στη λειτουργία του έργου.

Αν όμως η καθίζηση είναι ανομοιόμορφη, παρατηρείται στρέβλωση η όποια επεκτείνεται στο φέροντα οργανισμό, οπότε προκαλείται πρόσθετη εντατική κατάσταση, δεδομένου ότι ο φέρων οργανισμός της κατασκευής αποτελείται από υπερστατικούς φορείς, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται παραμορφώσεις και ρήγματα που δύσκολα επισκευάζονται.

1.2.3 Τύποι καθιζήσεων

Τα φορτία των κατασκευών έχουν ως αποτέλεσμα τη συμπίεση του εδάφους. Η συμπίεση αυτή προκαλείται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- αποβολή αέρα ή νερού των πόρων
- αναδιάταξη στοιχείων του εδάφους
- παραμόρφωση ή θραύση στοιχείων του εδάφους.

Γενικά, η καθίζηση του εδάφους που προκαλείται από την επιβολή φορτίων μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις κατηγορίες :

1. **Άμεση καθίζηση.** Είναι η καθίζηση η οποία λαμβάνει χώρα αμέσως μετά την επιβολή του φορτίου. Η άμεση καθίζηση οφείλεται στην ελαστική παραμόρφωση του ξηρού εδάφους, καθώς επίσης και του υγρού και του κορεσμένου εδάφους, χωρίς μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας.
2. **Καθίζηση λόγω πρωτογενούς στερεοποίησης.** Οφείλεται στην αποβολή του νερού των πόρων. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται στερεοποίηση.
3. **Καθίζηση λόγω δευτερογενούς στερεοποίησης (ερπυσμός).** Παρατηρείται στα κορεσμένα συνεκτικά εδάφη, και οφείλεται στην πλαστική αναδιάταξη της υφής τους. Είναι μία πρόσθετη συμπύκνωση που λαμβάνει χώρα υπό σταθερό φορτίο, όπως στο φαινόμενο του ερπυσμού.

Άμεση καθίζηση

Ονομάζεται και αστράγγιστη καθίζηση, επειδή συμβαίνει χωρίς εισροή ή εκροή νερού στο έδαφος. Το ότι ο όγκος δεν μεταβάλλεται σημαίνει ότι ο λόγος του Poisson είναι $\nu = 0.50$. Οι καθιζήσεις προκαλούνται από τις διατμητικές παραμορφώσεις μέσα στο έδαφος, και αναγκάζουν την επιφάνεια του να αλλάξει σχήμα. Αυτές οι παραμορφώσεις υποτίθεται ότι είναι ελαστικές, έτσι οι καθιζήσεις θα αναιρεθούν όταν αφαιρεθεί το φορτίο.

Οι άμεσες καθιζήσεις πραγματοποιούνται σχεδόν αμέσως με την εφαρμογή της φόρτισης, γι' αυτό συμβαίνουν κυρίως κατά το χρόνο της κατασκευής. Για πολλές κατασκευές, αυτές οι καθιζήσεις 'ενσωματώνονται' στα έργα, πριν από την προσθήκη ευπαθών στοιχείων, όπως η επένδυση ή οι χρωματισμοί. Όμως για τις κατασκευές που τα ευπαθή στοιχεία κατασκευάζονται στην αρχή ή κατά τη διάρκεια, όπως οι φέροντες τοίχοι, οι άμεσες καθιζήσεις μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση.

Πρωτογενής καθίζηση ή καθίζηση λόγω στερεοποίησης

Στα αμμώδη εδάφη η αύξηση του φορτίου επιφέρει γρήγορη αποβολή του νερού των πόρων, με αποτέλεσμα η άμεση καθίζηση και η στερεοποίηση να συμβαίνουν ταυτόχρονα. Όταν όμως ένα στρώμα κορεσμένης, συμπιεστής αργίλου υφίσταται μια αύξηση του φορτίου, η μεν άμεση (ελαστική) καθίζηση

συμβαίνει αμέσως, η δε στερεοποίηση συνεχίζεται για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η καθίζηση της αργίλου, που προκαλείται από τη στερεοποίηση, είναι αρκετές φορές μεγαλύτερη από την άμεση καθίζηση.

Δευτερογενής καθίζηση

Σε μερικούς τύπους εδαφών, έχει διαπιστωθεί ότι οι μειώσεις του όγκου άρα, και οι καθιζήσεις συνεχίζονται ακόμη και αφού ολοκληρωθεί η πρωτογενής στερεοποίηση και εκτονωθούν όλες οι πιέσεις του νερού των πόρων.

Οι καθιζήσεις από αυτές τις ογκομετρικές παραμορφώσεις αναφέρονται ως δευτερογενής συμπίεση. Ο ερπυσμός λόγω στράγγισης μπορεί να αποτελείται και από ογκομετρικές και από διατμητικές παραμορφώσεις.

Έχουν προταθεί διάφοροι μηχανισμοί και προσομοιώματα για την ερμηνεία του φαινομένου, αλλά φαίνεται πιο πιθανό ότι σχετίζεται με μια ανακατανομή της αλληλεπίδρασης (δυνάμεων) μεταξύ των κόκκων, η οποία ακολουθεί τις μεγάλες δομικές αναδιατάξεις που συμβαίνουν στη διάρκεια του σταδίου φόρτισης της κανονικής στερεοποίησης.

Αυτή η υπόθεση ενισχύεται από το γεγονός ότι οι δευτερογενείς καθιζήσεις είναι ασήμαντες για πιέσεις κάτω από το επίπεδο προστεροποίησης (όταν το έδαφος είναι υπερστεροποιημένο και συμβαίνουν κυρίως ελαστικές παραμορφώσεις). Στα οργανικά όμως εδάφη, όπως επίσης και στα υψηλής συμπίεσότητας ανόργανα εδάφη, μπορούν να είναι μεγάλες όταν οι τάσεις υπερβούν την πίεση προστεροποίησης και συμβούν πλαστικές παραμορφώσεις.

1.2.4 Αίτια καθιζήσεων - Ενεργές και παθητικές καθιζήσεις

Ανάλογα με τα αίτια που προκαλούν τις καθιζήσεις, αυτές διαχωρίζονται σε:

- ❖ ενεργές καθιζήσεις
- ❖ παθητικές καθιζήσεις

Οι **ενεργές καθιζήσεις** οφείλονται στα φορτία της ίδιας της κατασκευής ενώ οι **παθητικές** σε επιρροές που δεν έχουν σχέση με αυτήν.

Οι **ενεργές καθιζήσεις** μπορεί να οφείλονται:

- Στην ελαστική συμπίεση που προκαλείται από τα στατικά φορτία της κατασκευής.
- Σε παραμένουσες παραμορφώσεις που προκαλούν τα στατικά ή δυναμικά φορτία της κατασκευής (από τη λειτουργία μηχανών σε εργοστάσια για παράδειγμα). Προέρχονται κυρίως από τη συμπίεση ενός βράχου χαλαρής συναρμογής, από το κλείσιμο των ασυνεχειών ή από την έκθλιψη των υλικών πλήρωσης που περιέχονται στις ασυνέχειες και τη διεύθυνση τους σε παρακείμενα ανοικτά ρήγματα ή όταν η δυνατότητα έκθλιψης τους δεν υπάρχει από τη στερεοποίηση των υλικών πλήρωσης.
- Σε ερπυστικά φαινόμενα που προκαλούν τα φορτία της κατασκευής.

- Σε ολισθητικές κινήσεις κατά μήκος παρακείμενων γεωλογικών ασυνεχειών.

Οι παθητικές καθιζήσεις μπορεί να οφείλονται:

- Σε ελαστικές παραμορφώσεις οι οποίες προκαλούνται από την εφαρμογή φορτίων στη γειτονική περιοχή. Αποφορτίσεις της γειτονικής περιοχής μπορεί να οδηγήσουν σε ανυψώσεις (διάνοιξη εκσκαφής μιας γειτονικής θεμελίωσης για παράδειγμα).
- Σε παραμένουσες παραμορφώσεις εξαιτίας μεταβολών στη γειτονική περιοχή.
- Σε ερπυστικές ιδιοκινήσεις, ιδιαίτερα όταν η κατασκευή είναι θεμελιωμένη σε πρηνή.
- Ολισθητικές κινήσεις που δεν οφείλονται στην κατασκευή αλλά σε διαβρωτικά φαινόμενα του βραχώδους υπόβαθρου.
- Επιδράσεις δυναμικών φορτίων, για παράδειγμα κυκλοφοριακές δονήσεις, σεισμοί, ανατινάξεις σε κοντινά λατομεία.
- Είσοδος νερού στα υλικά πλήρωσης με αποτέλεσμα να έχουμε μείωση των παραμέτρων αντοχής των συνεχειών και ολισθητικές κινήσεις.
- Μεταβολές όγκου, όπως για παράδειγμα εξαιτίας του ανυδρίτη σε γύψο ή εξαιτίας απορρόφησης ή απομάκρυνσης νερού από αργιλικά πετρώματα ή υλικά πλήρωσης.
- Διακυμάνσεις της στάθμης του φρεατίου ορίζοντα: οι αυξομειώσεις του ενεργού βάρους του βράχου που προκαλούν οι διακυμάνσεις αυτές οδηγούν σε παθητικές καθιζήσεις.
- Επιδράσεις παγετού μπορούν να προκαλέσουν παθητικές ανυψώσεις ή παθητικές καθιζήσεις.
- Επιδράσεις από παρακείμενα υπόγεια έργα (μετρό).
- Διαλυτότητα του πετρώματος, για παράδειγμα καρστικά πετρώματα.

1.3 ΑΣΤΟΧΙΑ ΥΛΙΚΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ - ΑΠΟΦΥΓΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΛΑΘΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως όλα τα σύνθετα τεχνητά υλικά, το δομικό υλικό των ημερών μας, το οπλισμένο σκυρόδεμα μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι θερμοδυναμικά ασταθές, άρα είναι καταδικασμένο να αποσυντεθεί αργά ή γρήγορα από την ίδια την φύση. Το ζήτημα είναι αφού εκ γενετής μία κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα έχει

ημερομηνία λήξης να μην βραχύνουμε το χρόνο ζωής της από λάθη που μπορούν να γίνουν από την αρχή.



Σχήμα 1.9 Αστοχία σκυροδέματος – Αποκάλυψη οπλισμού

1.3.1 Χαρακτηριστικά σκυροδέματος

Το τσιμέντο που χρησιμοποιείται για την παρασκευή σκυροδέματος είναι βιομηχανικό κοκκώδες υλικό με υδραυλικές ιδιότητες, που σκληραίνει (όταν αναμιγνύεται με νερό), παράγοντας προϊόντα αδιάλυτα στο νερό. Η ποιότητά του μπορεί να υποβαθμιστεί κατά την αποθήκευση, λόγω μερικής ενυδάτωσης των κόκκων του. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε κατά την αποθήκευσή του σε σιλό σε θερμοκρασίες άνω των 50-60° ή κατά την αποθήκευση στην ύπαιθρο μέσα σε χάρτινους σάκους.

Με την απορρόφηση υγρασίας και διοξειδίου του άνθρακα σχηματίζονται σκληροί σβώλοι, που αργότερα δεν διαλύονται ούτε ενυδατώνονται. Μετά την αποθήκευση στην ύπαιθρο για 3 μήνες η απώλεια αντοχής ξεπερνά το 10%. Γι' αυτό η μακροχρόνια αποθήκευση σε σάκους πρέπει να γίνεται σε κλειστούς και ξηρούς χώρους, πάνω σε υπερυψωμένο ξύλινο δάπεδο.

Για το νερό ανάμιξης είμαστε πιο ανεκτικοί από ότι για το νερό που δρα εξωτερικά στο σκυρόδεμα καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του γιατί στο τελευταίο οι βλαβερές ουσίες ανανεώνονται συνεχώς. Πρέπει να αποκλείεται, σαν νερό ανάμιξης αυτό που περιέχει βιομηχανικά ή αστικά λύματα. Αλμυρά ή υφάλμυρα νερά περιέχουν χλωριούχα και θειικά άλατα και αν χρησιμοποιηθούν στο νερό ανάμιξης δίνουν λίγο μεγαλύτερες αρχικές αντοχές σκυροδέματος και 15-20% μικρότερες τελικές. Δεν υπάρχει σαφής ένδειξη ότι το θαλασσινό νερό διαβρώνει το χάλυβα οπλισμού. Το θαλασσινό νερό πρέπει να αποφεύγεται στο νερό ανάμιξης μόνο στο προεντεταμένο σκυρόδεμα όπου οι χάλυβες είναι πολύ πιο ευαίσθητοι στη διάβρωση, και σε εμφανή σκυροδέματα όπου προκαλούνται εξανθήματα αλάτων στην επιφάνεια.

Το νερό ανάμιξης δεν πρέπει να περιέχει τις εξής ουσίες :

- Ίχνη ζάχαρης , που σταματούν τελείως την ενυδάτωση.
- οξέα γιατί δεσμεύουν το **CaO** που είναι απαραίτητο για την πήξη.
- λάδια και λίπη που εμποδίζουν την πρόσφυση αδρανών και σκληρυμένου τσιμεντοπολτού.
- οργανικές ουσίες που αναστέλλουν την πήξη.

Όσων αφορά τα αδρανή, ουσίες που δεν πρέπει να περιέχονται είναι ίδιες με αυτές για το νερό ανάμιξης. Επίσης δεν πρέπει να περιέχει παιπάλη σε μεγάλες ποσότητες , γιατί ή κολλάει στην επιφάνεια των μεγάλων κόκκων εμποδίζοντας την πρόσφυση με τον τσιμεντοπολτό ή σχηματίζει σβώλους που παραμένουν στο σκυρόδεμα σαν σημεία μικρής αντοχής. Παιπάλη διασκορπισμένη στον όγκο του σκυροδέματος δεν είναι βλαβερή.

Για την ικανοποιητική μηχανική αντοχή του σκυροδέματος, το υλικό των αδρανών πρέπει να έχει μεγάλη μηχανική αντοχή, ανθεκτικότητα στον χρόνο, μικρή επιφανειακή φθορά σε κρούση, χημική αδράνεια σε σχέση με το τσιμέντο και το νερό και σταθερότητα όγκου.

Το σκυρόδεμα πρέπει να διαστρώνεται στην τελική του θέση όσο πιο γρήγορα γίνεται μετά την ανάμιξή του ή την παράδοσή του στο εργοτάξιο ομοιόμορφα και κατά τρόπο που να αποφεύγεται η απόπιξη. Για να αποφευχθεί ή απόπιξη το ύψος ελεύθερης πτώσης του σκυροδέματος κατά την διάστρωση πρέπει να περιορίζεται για μεν τις πλάκες, τις στέγες και τις δοκούς σε 1.00 m, για δε κατακόρυφα στοιχεία σε 2.50 m.

Οι ξυλότυποι αφαιρούνται μόνο εφόσον το σκυρόδεμα αποκτήσει αρκετή αντοχή ώστε να φέρει όλα τα φορτία που δρουν κατά την αφαίρεση καθώς και αυτά με τα οποία πρόκειται να φορτιστεί μέχρι την ηλικία των 28 ημερών! Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται όταν τα στοιχεία από τα οποία θα αφαιρεθούν οι ξυλότυποι στηρίζονται αυτοί των υπερκείμενων κατασκευών ή αν στις οριζόντιες επιφάνειες των στοιχείων αυτών πρόκειται να αποθηκευθούν υλικά. Ο κανονισμός τεχνολογίας σκυροδέματος δίνει τους χρόνους αφαίρεσης ξυλοτύπων του παρακάτω πίνακα :

Στοιχεία κατασκευής:	Τύπος τσιμέντου	
	I	II
Πλευρικοί ξυλότυποι δοκών, πλακών, υποστρωμάτων,	2 ημ.	3 ημ.
Ξυλότυποι πλακών	5 ημ.	8 ημ.
Ξυλότυποι δοκών και πλακών ανοίγματος μεγαλύτερου των 5μ.	10 ημ.	16 ημ.
Υποστρώματα ασφαλείας δοκών και πλακών ανοίγματος μεγαλύτερου των 5 μ.	28 ημ.	28 ημ.

Πίνακας 1.1 Χρόνοι αφαίρεσης ξυλότυπων

Στους παραπάνω χρόνους δεν προσμετράτε το χρονικό διάστημα κατά το οποίο η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι κάτω από 5°C επειδή η ενυδάτωση του τσιμέντου επιβραδύνεται σημαντικά για χαμηλές θερμοκρασίες σκυροδέματος.

Η πρόωρη ξήρανση (εξάτμιση) βλάπτει το φαινόμενο της σκλήρυνσης και προκαλεί συρρίκνωση και ερπυσμό. Η διατάραξη της κρυσταλλοποίησης λόγω εξάτμισης δεν επιδιορθώνεται με μεταγενέστερη διάβρωση. Το νερό δεν μπορεί πια να φτάσει μέχρι το μη ενυδατωμένο εσωτερικό των κόκκων του τσιμέντου. Συμβαίνει λοιπόν η ποσότητα του νερού που απαιτείται για την ενυδάτωση (40% της μάζας του τσιμέντου) να συγκρατείται.

Εξ ίσου βλαπτικό, όπως το πλεονάζων νερό για το νωπό τσιμέντο, είναι και το υπερβολικά λίγο κατά την σκλήρυνση. Στο νωπό μπετόν το υπερβολικό νερό δημιουργεί όγκο πόρων, στο σκληρυνόμενο μπετόν δεν πρόκειται περί αυτού, αλλά απεναντίας συμβαίνει αποστέρωση νερού λόγω εξάτμισης. Εάν π.χ. η σχετική υγρασία του αέρα υποχωρήσει από 90% σε 50%, η εξάτμιση αυξάνεται κατά 500%. Εάν η θερμοκρασία του αέρα και του μπετόν αυξηθεί από 10° C σε 20°C, η εξάτμιση αυξάνεται κατά 100%. Σε σχέση προς την απόλυτη άπνοια, το νερό του νωπού μπετόν εξατμίζεται υπό ταχύτητα ανέμου 15 Km/h τέσσερις φορές ταχύτερα.

Ύστερα από νεώτερες έρευνες, μπόρεσαν να διαπιστώσουν μεγάλες διαφορές στην αφυδάτωση υπό διάφορες ταχύτητες ανέμου μόνο μέχρι της ηλικίας 1 ημέρας. Η επίδραση της ταχύτητας του ανέμου ίσως να μεγαλοποιείται. Αρκεί γενικά να διαβρέχεται το μπετόν επί 7 ημέρες και να μην ξεκαλουπώνεται πολύ γρήγορα. Το πιο επικίνδυνο δεν είναι η ηλιακή ακτινοβολία αλλά ο ξηρός άνεμος. Επιπλέον χρειάζονται και συχνές διαβροχές στο τέλος της πρώτης εβδομάδας. Σε επιφανειακούς φορείς (πλάκες, οδοστρώματα) έδωσε καλά αποτελέσματα η κάλυψη με φύλλα συνθετικού υλικού ή η διάστρωση μιας στοιβάδας που να εμποδίζει την εξάτμιση. Κατά τον **Walz** ένα μπετόν μεγαλύτερου χρόνου προφύλαξης παρουσιάζει, σε σχέση προς ένα άλλο με προφύλαξη 3 μόνον ημερών μέχρι και διπλάσια τελική αντοχή.

Η δυνατή βροχή σε πρόσφατα συμπυκνωμένες πλάκες, όχι μόνον μεταβάλλει ασύμφορα τον **λόγο w/z**, αλλά μπορεί να ξεπλύνει πάρα πολύ τσιμέντο από την θλιβόμενη ζώνη π.χ. πλακών με νευρώσεις, που έχουν πάχος 5cm μόνον, ώστε οι πλάκες ν' αχρηστευθούν.

Αντίμετρο: αν είναι δυνατόν, να καλύπτεται το πρόσφατα σκυροδετημένο τμήμα, αλλιώς αναβολή της σκυροδέτησης! Αν πρόκειται για ελαφριά μόνο βροχή, αρκεί η προσθήκη τσιμέντου και η ελάττωση του νερού. Οι βλάβες από την βροχή είναι ισοδύναμες προς τον σφαλερό **λόγο w/z**.

Πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ κραδασμών λόγω πολύστροφων δονητών κατά την πήξη του μπετόν και των κραδασμών από κρούσεις μέχρι την πλήρη σκλήρυνση, όπως από κυκλοφορία σε γειτονικά οδοστρώματα ή από φορτηγά βαγόνια σε σιδηροτροχιές. Όπως διαπιστώθηκε σε έτοιμα δομικά έργα, οι μέχρι τώρα τόσο επίφοβες επήρειες όπως οι τριχοειδείς ρωγμές, ο υποβιβασμός αντοχής, η μείωση συνάφειας με τον χάλυβα κ.λ.π. εμφανίζονται λόγω κραδασμών σε περιορισμένη μόνο κλίμακα.

Ο **Back** αναφέρει πειραματικές δοκιμές σ' έναν φορέα οπλισμένου μπετόν του αυτοκινητοδρόμου, κατά τις οποίες κυβικά δοκίμια από εκεί που περίμεναν κρουστικούς κραδασμούς λόγω διέλευσης φορτηγού αμαξοστοιχίας, εκτέθηκαν στην επίδρασή τους κατά την σκυροδέτηση. Ενεργήθηκαν 30 κρούσεις ανά ώρα με μέση συχνότητα 16 Hz και με εύρος ταλαντώσεως περίπου 60m (μετρούμενο στον κύβο) επί 16 ώρες. Η θλιπτική αντοχή 28 ημερών εξαρτήθηκε από τη διάρκεια της επενέργειας και σε 4 ώρες έδειξε μια μικρή αύξηση, σε 16 δε ωρών κραδασμούς, μίαν ελάττωση κατά 8%. Η απαιτητή αντοχή >45 N/mm επιτεύχθηκε πάντοτε. Το νωπό μπετόν δεν παραβλάπτεται μόνο από χαμηλές θερμοκρασίες αλλά και από υψηλές. Σε σύγκριση προς μια θερμοκρασία +20°C κατά την σκλήρυνση, οι υψηλότερες θερμοκρασίες προκαλούν τους εξής υποβιβασμούς αντοχής :

+50°C	5-10 % απώλεια
+60°C	10-20 % απώλεια
+80°C	έως 30 % απώλεια

1.3.2 Επίδραση χαμηλών θερμοκρασιών (παγετός)

Το νωπό μπετόν, δηλαδή το πρόσφατα διαστρωμένο και συμπυκνωμένο, συμπεριφέρεται στον παγετό όπως περίπου το υγρό έδαφος. Λίγο κάτω από το σημείο πήξεως σχηματίζονται μέσα στο νωπό μπετόν φακοί πάγου ή βελόνες πάγου. Το νερό κατεργασίας αυξάνει αλματωδώς τον όγκο του κατά 9%. Η συνάφεια μεταξύ κόκκων των αδρανών και τσιμεντοπολτού διαταράσσεται και η δομή χαλαρώνεται. Η ενυδάτωση του τσιμέντου υποκύπτει, λόγω της θερμοκρασίας του νωπού μπετόν κατά την σκυροδέτηση και της θερμοκρασίας της ενυδατώσεως, δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα πάγωμα του μπετόν πριν από την έναρξη της πήξης του. Αν τυχόν συμβεί, τότε ύστερα από νέα τήξη, με επίκαιρη και συστηματική επανασυμπύκνωση, είναι δυνατό να αποσοβηθεί η βλάβη.

Μεταξύ έναρξης και τέλους της πήξης του μπετόν μέχρι την έναρξη της στερεοποίησης, τότε δηλαδή που αρχίζει να αποκτά αντοχή, το μπετόν υπόκειται

κατά κανόνα σε μόνιμη βλάβη λόγω παγώματος : η αντοχή του υποβιβάζεται και ενδεχομένως θα επηρεαστούν η υδατοπερατότητα και η σταθερότητα. Θεωρείται τώρα σαν ευσταθές στον παγετό ένα μπετόν με θλιπτική αντοχή 5N/mm, ενώ μέχρι προ ολίγου χρόνου ίσχυαν 15 N/mm. Έχει επομένως σημασία ο απαιτούμενος χρόνος σκλήρυνσης για να επιτευχθεί η ευστάθεια στον παγετό με 5N/mm, η οποία εξαρτάται και από την θερμοκρασία του μπετόν, τον **λόγο w/z**, την αναλογία τσιμέντου και το είδος του.

Η επήρεια της αναλογίας τσιμέντου και άρα της αντοχής του μπετόν, μεγαλοποιήθηκε επί πολύ καιρό. Αποδείχθηκε ότι έχει μεγαλύτερη σημασία το είδος τσιμέντου. Υπάρχουν τσιμέντα ταχύπηκτα (ή ταχείας αντοχής), κανονικής πήξης και βραδύπηκτα . Για να γίνουμε σαφείς : ευστάθεια στον παγετό δεν σημαίνει και ευστάθεια στο κύκλωμα παγετός - τήξη - εναλλαγή.

Ο χρόνος που χρειάζεται ένα στερεοποιούμενο μπετόν για να επιτύχει αντοχή 5 N/mm, χρειάζεται ενδεχομένως να ρυθμιστεί βάσει ορισμένων μέτρων. Κατά προσέγγιση, η επίδραση αυτών των μέτρων μπορεί να εκτιμηθεί σαν εξής :

- Ένα νωπό μπετόν που διαστρώνεται υπό θερμοκρασία αέρος -5°C , φθάνει μετά *n* ώρες αργότερα στους 0°C υπό ανύψωση της θερμοκρασίας του κατά *n*°C.
- Το ίδιο, αλλά 10 ώρες αργότερα, κατά την μετάβαση στην επόμενη κατηγορία τσιμέντου.
- Το ίδιο, αλλά σε διπλάσιο αριθμό ωρών, εάν σκεπαστεί με ένα θερμομονωτικό κάλυμμα πάχους 20 mm περίπου.

Επιπλέον μπορούμε να λογαριάζουμε πως η απώλεια θερμοκρασίας του ακάλυπτου μπετόν ανέρχεται σε 15 % της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ αέρος και μπετόν. Σύμφωνα με Ρώσικα πειράματα, το μπετόν των 0°C φθάνει μετά από 28 ημέρες μια αντοχή 70 έως 80% του μπετόν υπό κανονικές συνθήκες (με αυτές τις τιμές δεν γίνεται ασφαλής υπολογισμός). Ένα μπετόν σε -5 °C έφθασε, κατά δεδομένα του **Powers**, μετά από 28 ημέρες μόλις τα 3 έως 4%της αντοχής του μπετόν υπό κανονικές συνθήκες. Το λεγόμενο νεκρό σημείο επιτυγχάνεται υπό -10°C έως-11 °C, πράγμα που σημαίνει ότι η ενυδάτωση εκλείπει τότε εντελώς και η σκλήρυνση είναι αδύνατη .

Ανυψώνεται η θερμοκρασία του νωπού μπετόν ανά +10°C όταν:

- υψωθεί η θερμοκρασία νερού κατεργασίας κατά 40°C
- υψωθεί η θερμοκρασία αδρανών κατά 20°C
- υψωθεί η θερμοκρασία τσιμέντου κατά 100°C

Σε καμία περίπτωση η θερμοκρασία του μπετόν δεν επιτρέπεται να υπερβεί τους +30 °C, των αδρανών κατά την θέρμανσή τους +50 °C και του νερού κατεργασίας τους +70 °C. Επομένως γίνεται πρώτα η ανάμιξη με τα αδρανή, πριν να προστεθεί το τσιμέντο.

Εξαιρέση : κατά την ανάμιξη με υδρατμό 100 °C σε κατασκευές μπετόν, οι θερμοκρασίες του νωπού μπετόν φθάνουν μέχρι τους 70 °C. Προς αποτροπή ατελειών, χρειάζονται έλεγχοι καταλληλότητας και η τήρηση του «Φύλλου οδηγιών για την εφαρμογή της ανάμιξης του μπετόν υπό έμφυση υδρατμού».

Σε παγωμένα δομικά μέλη δεν πρέπει να διαστρώνεται σκυρόδεμα, έστω και αν στο μεταξύ η θερμοκρασία υπερβεί τους 0 °C. Η σύνδεση μεταξύ παλιού και νέου μπετόν είναι ατελής, οι δε ρωγμές από θερμοκρασία και συρρίκνωση δεν αποφεύγονται ποτέ . Το χιόνι πρέπει ν' απομακρύνεται από τα καλούπια ιδιαίτερα των πλακών καλύψεως - ακόμη και όταν οι οπλισμοί δυσχεραίνουν αυτή την δουλειά. Έχει ήδη διαπιστωθεί ότι το χιόνι ούτε λιώνει ούτε αποβάλλεται από το μπετόν, αλλά κατά το ξεκαλούπωμα η κάτω παρεία παρουσιάζει ασυνεχή πορώδη όψη με φωλιές χαλικιών. Παρατηρείται ενίοτε ότι στις κοιλότητες ή τους σωλήνες κοίλων πλακών είναι εύκολη η συσσώρευση νερού από την σκυροδέτηση, αν αυτές οι κοιλότητες μείνουν αστεγανοποίητες. Στην περίπτωση παγετού, η κατώτερη επιφάνεια τους ενδέχεται να συνθλίβεται από την πίεση του πάγου .

Το βλαμμένο από παγετό μπετόν πρέπει να απομακρύνεται πριν διαστρωθεί άλλο καινούργιο. Σε κάθε χειμώνα, κατά τον πρώτο αιφνιδιαστικό παγετό, βρίσκονται πάντοτε μερικές πρόσφατα σκυροδετημένες πλάκες χωρίς θερμομονωτικά καλύμματα, που είναι καταδικασμένες σε ζημιές παγετού. Γενικά, είτε η επάνω στοιβάδα της πλάκας θα παγώσει, είτε αχρηστεύεται ολόκληρη η πλάκα. Στη δεύτερη περίπτωση, το μόνο που μπορεί να γίνει είναι ν' αποσυντεθεί πάλι όσο το δυνατόν γρηγορότερα το μπετόν της πλάκας .Στην πρώτη περίπτωση είναι δυνατή κάποια θεραπεία ύστερα από ξεφλούδισμα της εύθρυπτης στοιβάδας. Η αντοχή του μπετόν που επιτεύχθηκε μπορεί να εξακριβωθεί επιτόπου με το σφυρί.

Πρέπει να γίνεται διάκριση μεταξύ σταθερότητας κατά παγετού του νωπού και του από μακρού χρόνου σκληρυμένου μπετόν. Για τον λόγο αυτό, τα δομικά στοιχεία υδραυλικών έργων πρέπει να παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στον παγετό, τα δε οδοστρώματα που έρχονται σε επαφή με άλατα κατά του παγετού πρέπει να είναι ανεπηρέαστα από αυτά. Για την σταθερότητα κατά παγετού υπεισέρχονται τρεις παράγοντες:

- η περιεκτικότητα σε νερό
- η θλιπτική αντοχή
- ο όγκος των μικροπόρων του μπετόν

Όταν παγώνει το νερό, διαστέλλεται κατά **1 / 11** του όγκου του (**=9%**). Αν εμποδιστεί αυτή η διόγκωση, δημιουργείται μια υδραυλική πίεση και μια πίεση κρυσταλλώσεως του διογκούμενου πάγου (**μέχρι και 250 N/mm**). Έχει σημασία, πόσος είναι ο διαθέσιμος όγκος των πόρων του μπετόν και σε ποιο ποσοστό, είναι αυτοί γεμάτοι νερό. Το απόλυτα στεγνό μπετόν είναι και απεριόριστα ανθεκτικό στον ισχυρό παγετό, εφ' όσον δεν ασκείται επιβλαβής επίδραση από θερμοκρασιακές μεταβολές όγκου. Κατά τον Vinkeloe, οι υπάρχοντες πόροι μπορούν να είναι κατά **85%** το πολύ πληρωμένοι με νερό, όταν υπάρχει αρκετός χώρος για την υποχώρηση του όχι ακόμη στερεοποιημένου νερού κατά την όχι απότομη πήξη. Τότε δεν υπάρχουν εξωθητικές εκδηλώσεις.

Ο όγκος των πόρων μπορεί να δημιουργηθεί ή να επαυξηθεί τεχνητά, με την προσθήκη αντίστοιχου πρόσμηκτου που δημιουργεί αρκετούς μικρούς και ομοιόμορφα κατανεμημένους πόρους στο νωπό μπετό. Κατά τον Bonzel όμως, μόνο οι πολύ λεπτοί πόροι, οι οποίοι δεν γεμίζουν με νερό κατά την ύγρανση του μπετόν αλλά διακόπτουν το γεμάτο νερό τριχοειδές σύστημα, είναι ικανοί να αυξήσουν την αντίσταση στον παγετό και στα άλατα του παγετού.

Εάν το λεπτό κονίαμα δεν είναι ανθεκτικό στον παγετό, τότε το μπετόν αποσυντίθεται ομοιόμορφα από την επιφάνεια προς τα μέσα. Εάν τα αδρανή δεν είναι ανθεκτικά στον παγετό οι κόκκοι προκαλούν τοπικές εξωθήσεις με ακτινοειδείς ρωγμές και όταν πρόκειται για μεγάλη αναλογία τέτοιων αδρανών, χονδροειδείς δικτυωτές ρωγμές.

Οι **Weigler/Karl** λένε βάσει εξαγομένων πειραμάτων, ότι με πρόσμικτα για την παραγωγή ελαφρομπετόν, δεν είναι δυνατόν να υπάρξει απόλυτη σταθερότητα κατά των καταπονήσεων από παγετό και άλατα. Σε πλάκες διατρεχόμενες από κυκλοφορία, στους πόδες βάθρων γεφυρών και στις κολώνες δομικών έργων κυκλοφορίας, δημιουργούνται αυξανόμενες ζημιές από την ενέργεια των αλάτων κατά του παγετού. Το πάγωμα και το λιώσιμο σε οδοστρώματα κυκλοφορίας αντιμετωπίζεται όλο και περισσότερο με άλατα κατά παγετού (αλάτι πήξεως, χλωριούχο μαγνήσιο και χλωριούχο ασβέστιο). Το μπετόν αποσυντίθεται και εξωθείται από οπλισμούς διαβρωμένους. Άλλοτε απέδιδαν την αιτία των βλαβών του μπετόν κυρίως σε χημικές προσβολές. Εντελώς ξεκαθαρισμένη δεν είναι ούτε σήμερα η πραγματική αιτία.

Αυτή η καταπόνηση παγετού - αλάτων είναι διαφορετική από την καταπόνηση παγετού, γιατί με το διεισδύον αλατικό διάλυμα υποβιβάζεται το σημείο πήξεως του νερού των πόρων, και μάλιστα τόσο λιγότερο όσο αυξάνεται το βάθος (με ελαττούμενη συμπύκνωση). Στο σημείο τομής της θερμοκρασιακής καμπύλης του μπετόν και της καμπύλης πήξεως του νερού των πόρων, είναι δυνατόν να παγώσει το νερό των πόρων πρώτα στις επιφάνειες και τις βαθιές στρώσεις του μπετόν, ενώ θα παγώσει αργότερα στην ενδιάμεση περιοχή. Η προκύπτουσα τότε πίεση δεν έχει δυνατότητα εξαπλώσεως και εκτινάζει την εξωτερική στρώση. Τα φυσικά και χημικά φαινόμενα επί παγετού στον τσιμεντόλιθο, στους κόκκους των αδρανών και επί σύγχρονης ενέργειας στο μπετόν, είναι μέχρι σήμερα αμφισβητούμενα.

1.3.3 Τοποθέτηση οπλισμών

Η σφαλερή **τοποθέτηση οπλισμών** με τον γνωστό τότε ποιοτικό υποβιβασμό του έτοιμου δομικού έργου, οφείλεται κατά κανόνα σε αμέλεια, νωθρότητα και επιθυμία εξοικονόμησης χρόνου (κατά συμβιβασμό) των επιφορτισμένων με την εργασία αυτή. Σπανιότερα είναι τα χονδροειδή και επικίνδυνα λάθη λόγω πλάνης. Κακή τοποθέτηση οπλισμών και κακή κατασκευή είναι θέματα που θα εξετάσουμε αυτοτελώς, αφού είναι ανεξάρτητα του εργοταξίου: η εκτέλεση ακολουθεί το εγκεκριμένο σχέδιο οπλισμών.

Η ελεύθερη σκουριά, η ακαθαρσία (ιδιαίτερα σε ράβδους οπλισμού θεμελίων λασπωμένες ύστερα από νεροποντές), τα λίπη και το λάδι, ελαττώνουν την πρόσφυση μπετόν και χάλυβα και είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε διακοπή της συνάφειας ή και στην εμφάνιση λίγων αλλά πολύ πλατειών ρωγμών επικίνδυνων για διάβρωση. Η προσκολλημένη σκουριά είναι αβλαβής. Οι εντατικά ξεσκουριασμένες διατομές δεν μπορούν να αναθεωρηθούν υπό το ονομαστικά εμβαδόν τους.

Ενίοτε οι τοποθετημένοι οπλισμοί ανεπίχριστων πλακών διαγράφονται σαν ένα κανονικό γεωμετρικό πλέγμα στην κάτω παρειά. Συνήθως, σε υγρούς χώρους, η διάβρωση των οπλισμών λόγω μικρού πάχους επικάλυψης μπετόν είναι πολύ προχωρημένη. Το διαγραφόμενο πλέγμα μπορεί να οφείλεται και στην

ελεύθερη σκουριά δομικού πλέγματός που είχε επί πολύ χρόνο παραμείνει στην ύπαιθρο, και το οποίο τοποθετήθηκε ύστερα μέσα στο λαδωμένο καλούπι.

Θεραπεία: τα δομικά πλέγματα να μην αποθηκεύονται επί πολύ εις το ύπαιθρο, να χτυπιούνται πριν από την τοποθέτηση τούς, και το καλούπι να ξεπλένεται μετά την τοποθέτησή τους με νερό υπό πίεση.

Πολλές ατέλειες οφείλονται σε ανύπαρκτους ή ελλιπείς διαχωριστήρες (καβίλιες). Η διάρκεια ζωής των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα εξαρτάται από την προφύλαξη του οπλισμού κατά της διάβρωσης, δηλαδή, με μια επαρκή, ομοιόμορφη, πυκνή, αρκετού πάχους επικάλυψη από μπετόν. Οι καφετιές αποχρώσεις, οι διακοπές συνέχειας της στρώσης του μπετόν και οι σκουριές, αποτελούν τις συνέπειες. Από εμπειρίες προκύπτει ότι η επικάλυψη από μπετόν εξασφαλίζεται μόνον με καβίλιες.

Το ανασήκωμα με γάντζους των ράβδων που ξαπλώνονται στον πυθμένα του καλουπιού της πλάκας κατά την διάρκεια της σκυροδέτησης, είναι κατά βάση εσφαλμένο, διότι εκλείπει κάθε δυνατότητα ελέγχου. Οι οπλισμοί ακουμπούν σποραδικά στον πυθμένα του καλουπιού χωρίς επικάλυψη, σε άλλα όμως τμήματά τους είναι υπερυψωμένοι με αποτέλεσμα την μείωση του στατικού ύψους. Εξίσου ανεπίτρεπτη είναι η τοποθέτηση κάτω από τις ράβδους λιθαριών που οπωσδήποτε θα φύγουν από την θέση τους.

Χρειάζεται επίσης προσοχή ως προς το σωστό πάχος των διαχωριστήρων. Κυκλοφορούν κατάλληλοι για επικαλύψεις 1, 1,5 και 2 cm ανάλογα προς την περίπτωση, π.χ. μεγάλη επικάλυψη χρειάζεται για λόγους πυροπροστασίας. Χρειάζεται επίσης επαρκής αριθμός από αυτές τις καβίλιες.

Οι συνδετήρες δοκών αποτυπώνονται πλευρικά, καθώς αργότερα, λόγω μικρής πλευρικής επικάλυψης, και τότε αρχίζει η διάβρωσή τους. Αν οι συνδετήρες δεν είναι ακριβώς ορθογώνιοι (με οξυγώνια κάμψη) έχουν μικρή διάμετρο και φορτίζονται κατά την σκυροδέτηση, θα ακουμπήσουν επάνω στον ξυλότυπο.

Θεραπεία: Να χρησιμοποιούνται πλευρικές καβίλιες.

Πλευρικές καβίλιες χρειάζονται και για τα υποστυλώματα, τοίχους αντιστηρίξεως και τοίχους από οπλισμένο μπετόν. Στα υποστυλώματα χρειάζεται επιπλέον προσοχή, ώστε να μην λείπουν οι συνδετήρες στον πόδα και στην κεφαλή, ενώ στον κορμό πρέπει να είναι καλά δεμένοι ώστε να μην ξεγλιστρούν. Σε θέσεις χωρίς συνδετήρες, οι μη ενισχυμένες σε κάμψη ράβδοι λυγίζουν υπό την ενέργεια του φορτίου και εξωθούν το μπετόν, δημιουργώντας ελαττωμένη διατομή που μπορεί να οδηγήσει σε θραύση.

Κινδύνους κρύβουν και οι υπερβολικού μήκους ράβδοι αναμονής, καθώς και οι ράβδοι υποστυλωμάτων που διατρέχουν συνεχείς το ύψος δύο ορόφων, είναι τότε αναπόφευκτες κατά την διάρκεια της σκυροδέτησης και της σκλήρυνσης οι μετακινήσεις και οι ταλαντώσεις τους από κρούσεις, δημιουργούνται κενοί χώροι μέσα στο μπετόν, κακή πρόσφυση και κρίσιμες διατομές, χρειάζονται προσεκτική πρόσδεσή τους σαν κάποιος προληπτικός τρόμος.

Ένα σύμφωνο για τους κανόνες κακό, είναι το κατέβασμα των επάνω οπλισμών πλακών από την θέση τους, δηλαδή πάνω από τους εσωτερικούς τοίχους ή από δοκούς ή σε πλάκες - προβόλους όπως στους εξώστες και τα προστεγάσματα. Αυτό συμβαίνει, γιατί οι σχετικά λεπτές ράβδοι στις οικοδομές αντιστηρίζονται από λιγοστά μόνο τρίποδα συγκράτησης με τρόπο ώστε να

υποχωρούν πριν και κατά την σκυροδέτηση. Δεν χρειάζεται να ειπωθεί πώς στην περίπτωση προβόλων, το λάθος αυτό μπορεί να αποβεί μοιραίο και να οδηγήσει σε κατάρρευση της πλάκας. Άλλωστε, όταν μια φορά υπάρξει χαμήλωμα των ράβδων από την θέση τους, σχεδόν δεν είναι πια δυνατή η τακτοποίησή τους.

Οι ράβδοι αναμονής σε κλίμακες , κεφαλόσκαλα , υψίκορμες δοκούς , άλλα δομικά στοιχεία (κολώνες ,δοκούς ,πλάκες) που ενίοτε εμποδίζουν, ανακάμπτονται πολλές φορές οξυγώνια με πρόθεση να τακτοποιηθούν πάλι αργότερα. Με την διπλή κάμψη προς τις δύο διευθύνσεις υπό ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας, δημιουργούνται σχισμές στις ράβδους και ενδεχομένως μια ψαθυρή θραύση. Χειρότερα είναι αν αυτή η θραύση συμβεί υπό δυναμική φόρτιση κατά την διάρκεια δομικού έργου.

Μια μεγάλη ομάδα ατελειών των δομικών έργων δημιουργείται μέσα στο Γραφείο Μελετών, όταν τα λάθη βρίσκονται ήδη μέσα στα σχέδια ή στους στατικούς υπολογισμούς. Μολονότι πολλές κατασκευαστικές οδηγίες περιλαμβάνονται στους κανονισμούς οπλισμένου μπετόν και στις προδιαγραφές χαλύβων, συχνά περνούν απαρατήρητες από αμέλεια ή από άγνοια . Εδώ δεν πρέπει να παραβλέψουμε ότι η «τέχνη της τοποθέτησης των οπλισμών» κατατάσσεται σήμερα ολότελα υποτιμημένη σε δεύτερη μοίρα, ύστερα από την Στατική, και ότι εξασκείται (απρόθυμα) μόνον από καλούς Πολιτικούς Μηχανικούς. Επιπλέον είναι και οι διάφορες ειδικές οδηγίες υπερβολικά πολυμερείς.

Όταν σκεφτούμε τις πολλές δυνατότητες ως προς τα μήκη αγκυρώσεως, άλλοτε για κάτω και άλλοτε για επάνω ράβδους και ανάλογα προς την αντοχή του μπετόν, δεν θα πρέπει να απορούμε για ανθρώπινα λάθη. Αυτά συναντώνται κυρίως στις περιοχές των στηρίξεων, των ενώσεων, της αγκυρώσεως και του απαιτητού για την συνάφεια μήκους. Εκεί είναι δυνατόν να συμβούν χονδροειδή λάθη που να παρουσιάζουν κίνδυνο αστοχίας π.χ. από θραύση αγκυρώσεως απροειδοποίητα , χωρίς μεγάλη παραμόρφωση και πριν από το όριο μηκύνσεως.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΛΑΜΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί γίνεται η προσπάθεια να αναλυθούν οι τρόποι με τους οποίους ο μηχανικός μπορεί να προσεγγίσει την λύση του προβλήματος της αποκατάστασης. Αρχικά προτείνονται, πολύ συνοπτικά μέσα από το Σχ.1 οι τρεις κύριες κατευθύνσεις της διαδικασίας αποκατάστασης και ακολούθως γίνεται προσπάθεια αναλύσεως της κάθε κατεύθυνσης χωριστά. Αναφέρονται δηλαδή, τα σημεία που απαιτείται να εξετάσει προσεκτικά ο μηχανικός προκειμένου να κάνει σωστή εκτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης. Στη συνέχεια αναφέρονται ενδεικτικά οι βασικοί περιορισμοί, στους οποίους υπόκεινται τα προγράμματα αποκατάστασης ενώ τέλος, παρουσιάζονται μερικά κριτήρια με τα οποία ο μηχανικός θα επιλέξει το κατάλληλο υλικό και τις

αντίστοιχες μεθόδους επισκευής ώστε να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα και οικονομικότητα του προγράμματος αποκατάστασης

2.1 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η Μηχανική αποκατάστασης αποτελεί έναν εξειδικευμένο τομέα που απαιτεί ικανότητες ,συχνά πάνω από εκείνες που απαιτούνται για τον κλασσικό σχεδιασμό κτιριακών έργων ή κατασκευών γενικότερα. Ο μηχανικός ή η ομάδα αποκατάστασης πρέπει να είναι εν μέρει ερευνητής, σχεδιαστής - αναλυτής κατασκευών, ειδικός στη συμπεριφορά των δομικών υλικών και φυσικά επιβλέπων στη φάση της κατασκευής.

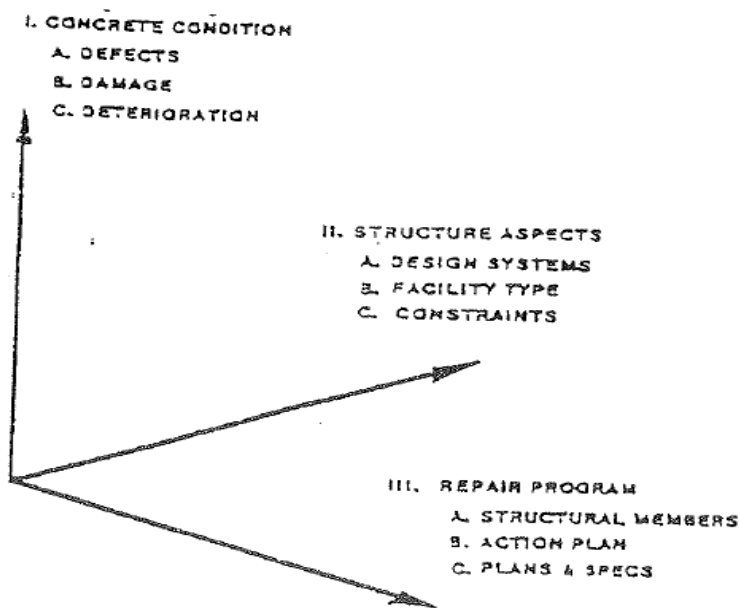
Συχνά η πολυπλοκότητα της διαδικασίας αποκατάστασης υποεκτιμάται. Ποικίλα συστήματα επισκευών, τεχνικές ελέγχου και προτεινόμενες "συνταγές" για κατασκευές από σκυρόδεμα που έχουν υποστεί βλάβες δεν παρέχουν πάντα προγνώσιμα και συνεπή αποτελέσματα. Κανονισμοί που να αφορούν τη διαδικασία επιθεώρησης, τις δοκιμές και τον προγραμματισμό της επισκευής βρίσκονται ακόμα σε στάδιο μελέτης - ανάπτυξης.

Παρ' όλα αυτά, διαμέσου κατάλληλης ταξινόμησης των απαιτήσεων αποκατάστασης και των αναγκαίων γι' αυτή (σ.σ. ταξινόμηση), τεχνικών δραστηριοτήτων είναι δυνατή η αποτελεσματική πραγμάτωση της επισκευής και της ενίσχυσης της κατασκευής.



2.1.1 Απλοποίηση – Οργάνωση του προβλήματος της αποκατάστασης

Στο **Σχήμα 2.1** που ακολουθεί παρουσιάζεται πίνακας επισκευής - ενίσχυσης, που επιχειρεί να απλοποιήσει και να οργανώσει το πρόβλημα της αποκατάστασης.



Σχήμα 2.1

Ο πίνακας προτείνει τις ακόλουθες τρεις κύριες κατευθύνσεις για τη διαδικασία της αποκατάστασης :

α) Εκτίμηση της κατάστασης της κατασκευής με την οποία αναγνωρίζεται η πηγή και η αιτία των προβλημάτων που δημιουργούν την ανάγκη αποκατάστασης.

β) Έρευνα των ιδιοτεροτήτων της κατασκευής με βάση την οποία τίθενται όλοι οι κατασκευαστικοί και λειτουργικοί περιορισμοί - στη διαδικασία αποκατάστασης

γ) Πρόγραμμα λύσεων επισκευής με βάση το οποίο παρέχονται ποικίλες προτάσεις λύσεων για τα αναγνωρισμένα προβλήματα.

Οι παραπάνω κύριες κατευθύνσεις αναλύονται διεξοδικότερα στη συνέχεια.

2.1.2 Εκτίμηση της κατάστασης

Ο μηχανικός που αναλαμβάνει τις εργασίες αποκατάστασης πρέπει να καθορίσει με σαφήνεια τις αιτίες οποιασδήποτε ζημιάς που παρατηρήθηκε, προτού αποφασίσει να σχεδιάσει μια οικονομική και επαρκής επισκευή που θα αποκαταστήσει την ικανότητα της κατασκευής να αναλαμβάνει τα φορτία σχεδιασμού καθώς και τη λειτουργικότητα της για τα επόμενα 20 έως 30 χρόνια.

Το πρώτο βήμα σε ένα αποτελεσματικό πρόγραμμα για την αποτίμηση της κατάστασης μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα αποτελεί η μελέτη της αρχικά σχεδιασμένης κατασκευής. Εάν πρόκειται για εξαιρετικά πολύπλοκη κατασκευή ή κατασκευή που έχει υποστεί μεγάλη έκταση βλαβών προτείνεται και μια επί τόπου επιθεώρηση.

Ο μηχανικός πρέπει να ενημερωθεί για το κατασκευαστικό σύστημα προκειμένου να καθορίσει τα μέλη στα οποία αναμένονται σοβαρές ή όχι βλάβες. Για παράδειγμα, αν μια κατασκευή έχει μήκος μεγαλύτερο των 50 μέτρων ή διαθέτει διατομές κατακόρυφων στοιχείων που είναι εξαιρετικά μεγάλες και δεν

έχει προβλεφτεί αρμός διαστολής τότε αναμένονται σε συγκεκριμένες θέσεις σοβαρές ρηγματώσεις λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών και συστολής ξήρανσης.

Συνθήκες που επηρεάζουν την ακεραιότητα και τη λειτουργικότητα της κατασκευής μπορούν να συμβούν σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή της χρήσιμης ζωής της. Παρ' όλα αυτά, ελαττώματα συχνά συμβαίνουν νωρίς στη χρήσιμη ζωή της κατασκευής και συνήθως μπορούν να αποτραπούν μέσω περιορισμένων ελέγχων.

Οι ζημιές που θα συμβούν σε μια κατασκευή είναι δυνατό να επηρεάσουν τη χρησιμότητα για την οποία δομήθηκε ενώ η διάβρωση απειλεί συνεχώς τις κατασκευές. Οι ατέλειες σε μια κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι συνήθως εμφανείς αμέσως μετά το πέρας της κατασκευής ή και κατά τη διάρκεια της. Οι ατέλειες εκδηλώνονται ως αποτέλεσμα αιτιών που μπορούν εύκολα να κατηγοριοποιηθούν. Τα πιο κοινά αίτια των ατελειών αφορούν:

α) Λάθη σχεδιασμού, εξιδανικεύσεων, στατικών υπολογισμών, υπολογισμού των λεπτομερειών.

β) Σφάλματα κατασκευαστικά, ακατάλληλη τοποθέτηση οπλισμών και σκυροδέματος συχνά συνεισφέρουν σε ελαττώματα που εμφανίζονται στην αρχή της ζωής της κατασκευής

γ) Λειτουργία υλικών: η ποιότητα του σκυροδέματος, η αντοχή η ομοιομορφία και η ανθεκτικότητα του υλικού είναι δυνατό να επηρεάσουν τη λειτουργία του υλικού. Η ανεπαρκής αντοχή εκδηλώνεται με εικόνες ρωγμών και μεγάλων βελών κάμψεως.

Ζημιές εκδηλώνονται ως αποτέλεσμα πλήθους τυχματικών γεγονότων όπως πυρκαγιές, σεισμοί, υπερφόρτιση, άνεμοι, καθίζηση της θεμελίωσης κτλ. Η φύση και η έκταση των ζημιών εξαρτώνται από τη σοβαρότητα του προκαλούντος αιτίου, τον σχεδιασμό και την αντοχή του επηρεαζόμενου κατασκευαστικού μέλους ή συστήματος. Μέλη από οπλισμένο αλλά και προεντεταμένο σκυρόδεμα απειλούνται με σοβαρές ζημιές όταν υπόκεινται σε μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές. Αντίστοιχα, υπερφόρτιση από στατικά φορτία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των βελών κάμψεως.

Οι πολυπληθείς μορφές διάβρωσης που υπάρχουν επηρεάζουν την ακεραιότητα του σκυροδέματος και θα δημιουργήσουν τελικά απαίτηση επισκευής. Οι πιο συνηθισμένες μορφές διάβρωσης είναι χημική διάβρωση, αποφλοιώση που σχετίζεται με τη ψύξη - απόψυξη του υλικού και αποσάθρωση των κόμβων. Αυτοί οι μηχανισμοί ενεργώντας είτε ανεξάρτητα είτε σε συνδυασμό είναι ικανοί να παραβιάσουν τα κατασκευαστικά στοιχεία και να τα αχρηστέψουν εντελώς. Η διαδικασία διάβρωσης γενικά προκαλεί ελαττώματα ή ζημιές στο σκυρόδεμα μετά την πάροδο μεγάλου χρονικού διαστήματος. Πρόκειται για το δυσκολότερα εντοπιζόμενο πρόβλημα αφού συχνά απαιτούνται πολλά χρόνια μέχρι να εκδηλωθούν οι πρώτες ενδείξεις. Ο μηχανικός αποκατάστασης οφείλει να λαμβάνει υπόψη του την αλληλεπίδραση των ατελειών και των βλαβών με το φαινόμενο της διάβρωσης.

Τελικά, αφού ο επισκευαστής αποκτήσει σαφή εικόνα της αρχικά σχεδιασμένης κατασκευής εντοπίζει τις ρωγμές, τις αποφλοιώσεις, τυχόν

θρυμματισμούς και σημάδια σκουριάς και τις αποτυπώνει σε λεπτομερή σχέδια. Οι καταγραφές αυτές χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των αιτίων που προκάλεσαν τις βλάβες.

Σε συνδυασμό με τα παραπάνω απαιτείται και η αφαίρεση "καρότων" από το σκυρόδεμα τόσο για να αποκαλυφθεί ο σπλισμός όσο και για να διαπιστωθεί η θλιπτική αντοχή του υλικού. Εργαστηριακές μέθοδοι όπως η πετρογραφική εξέταση χρησιμοποιούνται για να αποκαλύψουν την ποιότητα των αδρανών που χρησιμοποιήθηκαν την ύπαρξη ή όχι εγκλωβισμένου αέρα την πιθανή προσβολή του σκυροδέματος από χημικές ουσίες και την ποσότητα περιεχομένων χλωριδίων όπου υπάρχουν υποψίες για τη παρουσία τους.

Αφού συνεκτιμηθούν όλα τα συμπεράσματα που προέκυψαν από επιτόπου και εργαστηριακές δοκιμές τίθενται οι κατασκευαστικοί και λειτουργικοί περιορισμοί προκειμένου να επιλεγεί η καταλληλότερη μέθοδος επισκευής.

2.1.3 Περιορισμοί

Τα προγράμματα αποκατάστασης συχνά υπόκειται σε πολυπληθείς πολύπλοκους περιορισμούς. Οι περιορισμοί μπορούν σε γενικές γραμμές να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τις παρακάτω συνθήκες.

α) Πρόσβαση στο εργοτάξιο: η πρόσβαση στο εργοτάξιο είναι συχνά περιορισμένη στη διάρκεια της αποκατάστασης η μετακίνηση των εργατών των υλικών και του εξοπλισμού αποτελεί συχνά εξαιρετικά μεγάλο πρόβλημα ειδικότερα στην περίπτωση δημοσίων έργων. Έτσι είναι δυνατόν να απαιτηθούν ειδικές ρυθμίσεις ή και προσωρινές κατασκευές για την ασφαλή πρόσβαση στο εργοτάξιο.

β) Τρέχουσες λειτουργίες: στην περίπτωση που το κτιριακό έργο λειτουργεί μερικώς κατά την διάρκεια της αποκατάστασης περιορίζει σημαντικά το χώρο εργασίας ενώ ταυτόχρονα αυξάνει την ύπαρξη αυστηρά καθορισμένου χρονοδιαγράμματος.

Περιορισμοί στο θόρυβο, σκόνη, αναθυμιάσεις και δονήσεις εξαιτίας του εξοπλισμού, πρέπει να θεωρούνται αποδεκτές κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης.

2.1.4 Προγράμματα αποκατάστασης

Εάν ο μηχανικός που ανέλαβε το έργο αποκατάστασης αποτύχει να εκλέξει πρόγραμμα επισκευής που να βασίζεται σε σαφή εκτίμηση της κατάστασης του σκυροδέματος σε συσχετισμό με το κατασκευαστικό σύστημα του έργου και τους υπάρχοντες περιορισμούς βρίσκεται εκτεθειμένος στον κίνδυνο να εφαρμόσει μεθόδους που δεν ανταποκρίνονται στις ανάγκες της κατασκευής.

Τα προγράμματα αποκατάστασης αποφασίζονται με βάση τα παρακάτω τυπικά κατασκευαστικά στοιχεία: συστήματα πλακών, δοκοί, πρόβολοι, κολώνες, τοιχώματα και κόμβοι.

Με δεδομένα τα μέλη που απαιτούν επισκευή και γνωστή την αλληλεξάρτηση της λειτουργίας τους, ο μηχανικός αποκατάστασης αποφασίζει

για τα διάφορα υλικά επισκευής και τις μεθόδους επισκευής. Αποτελεί κοινή πρακτική, να χρησιμοποιούνται διαφορετικοί μέθοδοι επισκευής για την αποκατάσταση δοκών υποστρωμάτων ή τοιχωμάτων. Σημειώνεται ότι η αποκατάσταση των συνδέσεων απαιτεί ειδική μελέτη και συνάμα πρωτοποριακές λύσεις.

Ιδιότητες των υλικών επισκευής

Μερικές από τις ιδιότητες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην εκτίμηση διαφορετικών συστημάτων επισκευής είναι :

α) Η ικανότητα επαρκούς σύνδεσης με το υπόστρωμα: Ισχυρή συνάφεια του υλικού επισκευής με το παλαιό είναι ουσιαστική, ενώ οι μεταγενέστερες τάσεις δεν πρέπει να προκαλούν αποκόλληση.

β) Η σχετική κίνηση με το υπόστρωμα που βασίζεται σε συρρίκνωση λόγω συστολής ξήρανσης, θερμοκρασιακής μεταβολής και συμπεριφορά σε διαβροχή και ξήρανση.

γ) Η διαπερατότητα σε νερό, αέρια και ιόντα χλωριδίων. Η διάβρωση του οπλισμού μπορεί να αποφευχθεί αποκλείοντας το οξυγόνο και την υγρασία από το σίδηρο και γι' αυτό είναι απαραίτητη η πολύ χαμηλή διαπερατότητα στα υλικά των επισκευών. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται κονιάματα τσιμέντων, η χαμηλή διαπερατότητα είναι δυνατόν να καθυστερήσει και την ενανθράκωση.

δ) Η χημική αδρανοποίηση του χάλυβα οπλισμού. Η χημική αδρανοποίηση συμβαίνει με ένα φιλμ σκουριάς γύρω από τον οπλισμό. Σημειώνεται ότι τα περισσότερα υλικά επισκευής που βασίζονται στο τσιμέντο αποδεικνύονται ικανοποιητικά.

ε) Τα μηχανικά χαρακτηριστικά. Απαιτείται θλιπτική - εφελκυστική αντοχή παρόμοιας με εκείνη του προϋπάρχοντος σκυροδέματος ενώ ταυτόχρονα απαιτείται συμβατή σταθερά μέτρου ελαστικότητας. Συχνά λέγεται ότι τέτοια συμβατότητα απαιτείται στις περιπτώσεις που προβλέπεται μεταφορά ομοιόμορφου φορτίου μέσω της διατομής. Δεν θα πρέπει όμως να ξεχνάμε ότι οποιαδήποτε επιρροή του μέτρου ελαστικότητας ελαχιστοποιείται εάν το υλικό επισκευής υποστεί συρρίκνωση σε σχέση με το παλαιό υλικό.

στ) Η ευκολία εφαρμογής: Θα πρέπει να εξασφαλίζεται η σωστή αναλογία των υλικών κατά την ανάμιξή τους αλλά και η εργασιμότητα του μίγματος. Η χρήση προσυσκευασμένων υλικών παρακάμπτει πολλά προβλήματα.

ζ) Η ανθεκτικότητα σε κύκλους ψύξης - απόψυξης, σε χημικά και σε επιρροές του περιβάλλοντος (π.χ. καιρικές συνθήκες).

Η Επιλογή των υλικών

Η κατάλληλη επιλογή υλικών για ένα πρόγραμμα επισκευής είναι στην πραγματικότητα πιο περίπλοκη και σημαντική από την επιλογή υλικών για μια νέα κατασκευή. Στη μεγάλη πλειοψηφία των επισκευών συνηθίζεται η χρήση

εκτοξευόμενου ή έγχυτου σκυροδέματος. Τα τελευταία, όμως χρόνια εμφανίστηκαν εξειδικευμένα προϊόντα επισκευής που κατά αύξουσα σειρά κόστους βασίζονται γενικά σε:

- άμμο με τσιμέντο αναμιγνυόμενα επί τόπου με προσθήκη πολυμερικών ουσιών που βασίζονται σε ακρυλική πολυβυνιλική ακετόνη ή ρητίνη ή στυρενο - βουταδιενική ρητίνη.
- Προσσκευασμένο τσιμεντώδες κονίαμα
- Κονιάματα ρητίνης που περιέχουν ακρυλικά πολυουρεθάνης , πολυεστέρα και εποξειδικά.
- Η εκλογή του κατάλληλου υλικού επισκευής έχει ύψιστη σημασία,

Οποιαδήποτε επισκευή σε μια κατασκευή οφείλει να πληρεί τις παρακάτω τρεις βασικές απαιτήσεις:

- Πρέπει να σταματάει την φθορά της κατασκευής προστατεύοντας ιδιαίτερα από περαιτέρω διάβρωση τον χάλυβα οπλισμού.
- Αποκατάσταση της κατασκευαστικής ακεραιότητας. Τα υλικά πρέπει να έχουν ιδιότητες αντοχής παρόμοιες με εκείνες του ήδη υπάρχοντος υλικού.
- Το τελικό αισθητικό αποτέλεσμα θα πρέπει να είναι αποδεκτό (επιβάλλεται ομοιόμορφη εμφάνιση στο έργο).

Το υλικό επισκευής για μια συγκεκριμένη περίπτωση πρέπει να επιλέγεται με βάση τις ιδιότητες που περιγράψαμε παραπάνω, χρησιμοποιώντας τεχνικές αξιολόγησης που προβλέπονται από κανονισμούς όπως ο **ACI** και άλλους καταξιωμένους κανονισμούς διεθνώς. Αποφασιστικοί παράγοντες για την εκλογή του μηχανικού αποτελούν το κόστος του υλικού, των εργατικών και βέβαια ο απαιτούμενος χρόνος για την εφαρμογή της μεθόδου αποκατάστασης.

Γενικά, υλικά βασισμένα σε ρητίνες προτιμώνται για λεπτές διατομές. Στην περίπτωση αυτή εξασφαλίζονται : χαμηλή διαπερατότητα , καλή συνάφεια και καμία απαίτηση συντήρησης.

Για μεγαλύτερου μεγέθους επισκευές προτιμούνται τα υλικά που βασίζονται στο σκυρόδεμα. Τα υλικά αυτά έχουν μικρότερο κόστος από εκείνο των κονιαμάτων ρητίνης ενώ διαθέτουν θερμική διαστολή και χαρακτηριστικά κίνησης συμβατά με εκείνα του παλιού σκυροδέματος. Επίσης παρέχουν ευκολία στην ανάμιξη και χρήση σε μεγάλο όγκο.

Παρ' όλα αυτά, απαιτείται ειδική φροντίδα ώστε να μη συμβεί ξήρανση στα αρχικά στάδια εξαιτίας της γοργής απώλειας νερού είτε από την επιφάνεια επαφής με τον αέρα είτε μέσω ενός πορώδους υποστρώματος.

Σταθερές πρόοδοι έχουν γίνει στη σύνθεση τσιμεντοκονιαμάτων που βελτιώνουν την ευκολία εφαρμογής, μειώνουν τη συρρίκνωση και τη διαπερατότητα μέσω προσμίξεων προσθετικών, κ.λ.π. Ο μηχανικός αποκατάστασης οφείλει να κάνει την επιλογή.

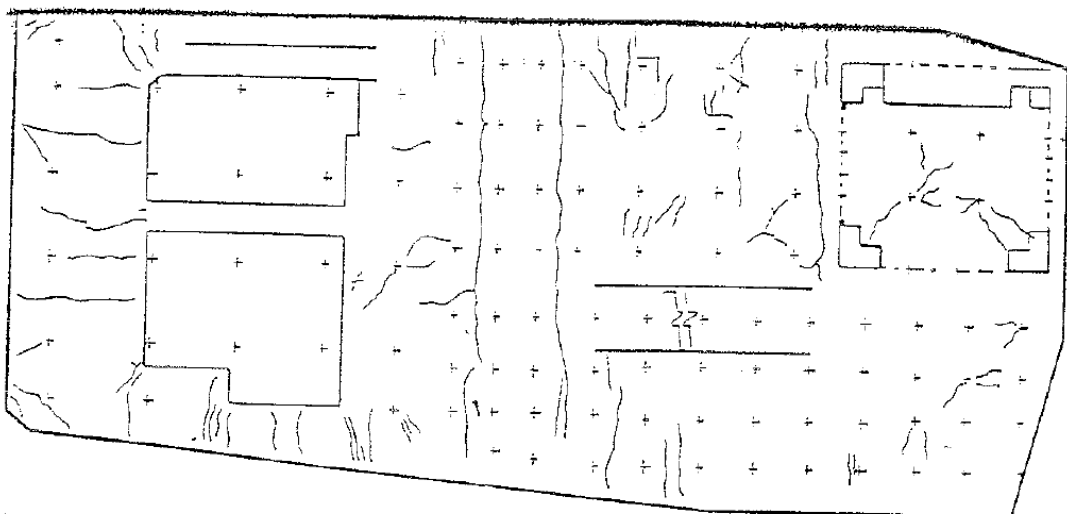
Γενικά κριτήρια επιλογής

Μερικά κριτήρια για την επιλογή των σωστών διαδικασιών για την πραγμάτωση της αποκατάστασης είναι τα εξής:

- Προετοιμασία: Συχνά αποτελεί την πιο σημαντική φάση της αποκατάστασης. Για παράδειγμα όλο το σκυρόδεμα που δεν χρειάζεται (διότι έχει υποστεί σοβαρές βλάβες) αφαιρείται και η επιφάνεια καθαρίζεται πριν την εφαρμογή οποιουδήποτε συγκολλητικού, μανδύα, κ.λ.π.
- Τεχνικές εφαρμογές όπως εκείνη του εκτοξευόμενου σκυροδέματος ή χιτισίματος με μυστρί μπορεί να είναι κατάλληλες για την επισκευή.
- Περιβαλλοντολογικές συνθήκες όπως η υγρασία, η θερμοκρασία και ο αέρας είναι λιγότερο ελεγχόμενες από ότι σε μια νεοαναγειρόμενη κατασκευή, ενώ τα υλικά που χρησιμοποιούμε πιθανόν να είναι περισσότερο ευαίσθητα στις συνθήκες αυτές.
- Η ακολουθία και ο προγραμματισμός των εργασιών είναι επίσης σημαντικά. Φυσικά απαιτούνται λεπτομερή σχέδια που παρουσιάζουν κάθε τύπο επισκευής.

Συμπερασματικά, συγκεντρώνοντας πληροφορίες κατά κατηγορίες όπως περιγράφηκαν παραπάνω ο μηχανικός που αναλαμβάνει την αποκατάσταση ενός έργου διαθέτει ένα λογικό δρόμο για να οργανώσει τα δεδομένα για ικανή και επαρκή ανάπτυξη του προγράμματος επισκευής.

Σημειώνεται ότι αν και κάποια δεδομένα είναι δυνατόν να θεωρηθούν αυτονόητα δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να παραληφθούν προκειμένου να καθοριστεί ο βαθμός και η φύση ενός κατάλληλου προγράμματος αποκατάστασης.



Σχήμα 2.2 Τυπικό σχέδιο καταγραφής ρωγμών σε πλάκα

2.2 ΤΥΠΙΚΟΙ ΒΑΘΜΟΙ ΒΛΑΒΗΣ

Μετά από ένα ισχυρό σεισμό, οι βλάβες στα υποστυλώματα, τα τοιχώματα και τους κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων μιας κατασκευής είναι από τις πιο συχνές και συγχρόνως από τις πιο σοβαρές. Η αξιολόγηση της σοβαρότητας των βλαβών στα παραπάνω στοιχεία αποτελεί πρώτη προτεραιότητα για την εκτίμηση της ασφάλειας της κατασκευής γιατί τέτοιου είδους βλάβες μπορεί να οδηγήσουν σε τμηματική ή ολική κατάρρευση του δομήματος. Είναι από τις περιπτώσεις όπου ο Μηχανικός, εκτιμώντας το επίπεδο βλάβης αμέσως μετά τον σεισμό σε στενά χρονικά περιθώρια πρέπει να αποφασίσει για άμεσα μέτρα προσωρινής υποστήλωσης και απομάκρυνσης ενοίκων. Η εμπειρία του παρελθόντος έχει δείξει την κρισιμότητα του χρονικού διαστήματος αμέσως μετά από τον κύριο σεισμό όπου ένας ισχυρός μετασεισμός είναι πολύ πιθανός και συχνά καταστρεπτικότερος του κύριου σεισμού.

Στο **Σχήμα 2.3** παρουσιάζονται τυπικές εικόνες βλάβης κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων ενώ στο **Σχήμα 2.4** παρουσιάζεται η κατάταξη των βαθμών βλάβης για υποστυλώματα και τοιχώματα.

Μία τέτοια κατάταξη χρησιμεύει για τον προσδιορισμό των περιθωρίων ασφαλείας αφενός και για την επιλογή της καταλλήλου μεθόδου επισκευής ή ενίσχυσης αφετέρου.

Η απόφαση για την κρίσιμη επιλογή, μεταξύ επισκευής, ενίσχυσης και κατεδάφισης/ανακατασκευής είναι αποτέλεσμα μιας σύνθετης διαδικασίας. Όμως, για κατασκευές που έχουν υποστεί βλάβες από έναν ισχυρό σεισμό, ανεξάρτητα από το παραπάνω αποτέλεσμα, η εικόνα των βλαβών αποτελεί αδιάψευστο στοιχείο της σεισμικής ικανότητας που επηρεάζει ιδιαίτερα την απόφαση. Σύμφωνα με την επικρατούσα άποψη :

- Σε κατασκευές με μικρές βλάβες τοπικού χαρακτήρα, η επέμβαση περιορίζεται στην επισκευή.
- Σε κατασκευές με εκτεταμένες ή βαριές βλάβες, δηλαδή βλάβες γενικού χαρακτήρα, η επέμβαση περιλαμβάνει και την ενίσχυση της κατασκευής.

Αναλυτικότερα :

Βαθμός βλάβης A

Μεμονωμένες οριζόντιες ρωγμές με πλάτος λιγότερο από 1-2 mm, με την προϋπόθεση ότι ένας απλός υπολογισμός έχει αποδείξει ότι αυτές οι ρωγμές δεν οφείλονται σε ανεπάρκεια της διατομής σε κάμψη, αλλά μάλλον σε τοπικές αδυναμίες όπως π.χ. αρμοί διακοπής εργασίας, επίδραση της εν επαφή τοιχοπλήρωσης, ανεπαρκής αγκύρωση οπλισμών, κ.τ.λ.

Βαθμός βλάβης B

Αρκετές πλατιές καμπτικές ρωγμές ή μεμονωμένες λοξές διατμητικές ρωγμές με πλάτος μικρότερο από 0.5 mm, υπό τον όρο ότι δεν παρατηρούνται εναπομένουσες μετακινήσεις.

Βαθμός βλάβης C

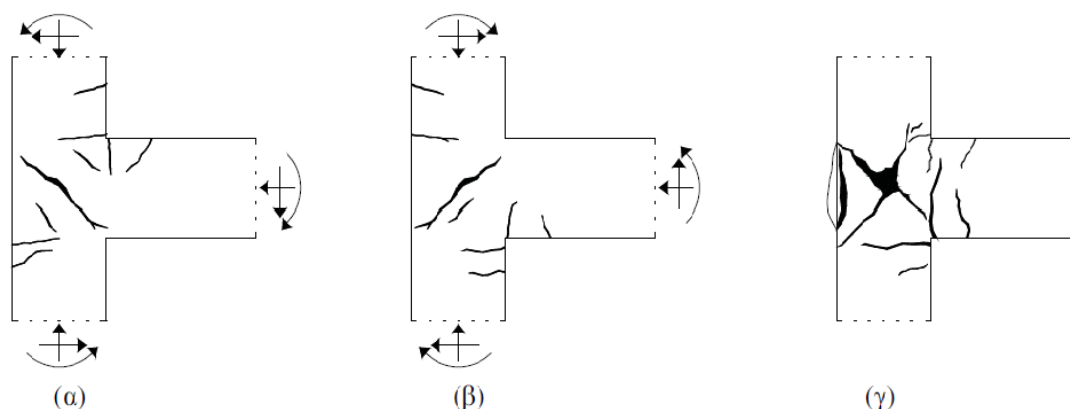
Χιαστί λοξές διατμητικές ρωγμές ή έντονη τοπική σύνθλιψη και αποδιοργάνωση του σκυροδέματος, υπό τον όρο ότι δεν παρατηρούνται άξιες λόγου εναπομένουσες μετακινήσεις. Ρηγματώσεις στους κόμβους (Σχήμα 2.3α, 2.3β) θεωρούνται ως βαθμός βλάβης C.

Βαθμός βλάβης D

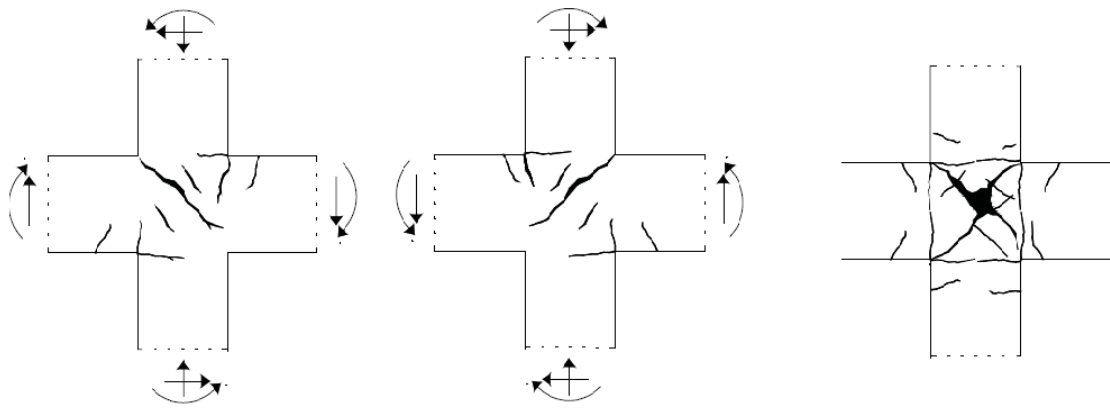
Πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στην περιοχή βλάβης, λυγισμός των διαμηκών ράβδων, διαρροή ή θραύση των συνδετήρων της περιοχής, ασυνέχεια στην περιοχή χωρίς κατάρρευση του υποστυλώματος. Προϋποτίθεται επίσης ότι οι εναπομένουσες μετακινήσεις που παρατηρούνται (οριζόντιες και κατακόρυφες) και ιδιαίτερα οι κατακόρυφες είναι σχετικά μικρές. Σοβαρή αποδιοργάνωση στους κόμβους (Σχήμα 2.3γ) θεωρείται ως βαθμός βλάβης D.

Βαθμός βλάβης E

- Πλήρης κατάρρευση του υποστυλώματος.
- Ως μία γενικότερη παρατήρηση σημειώνεται ότι εάν η γενική εικόνα βλάβης συμφωνεί με μία από τις εικόνες βλάβης του σχήμα 2.4 χωρίς όμως να τηρούνται οι προβλεπόμενες συνθήκες για τις εναπομένουσες μετακινήσεις, τότε ως βαθμός βλάβης θεωρείται ένα επίπεδο παραπάνω απ' ότι δηλώνεται στο σχήμα. Έτσι για παράδειγμα μία βλάβη με εικόνα τύπου D, όπου όμως υπάρχουν μεγάλες κατακόρυφες μετακινήσεις, πρέπει να θεωρηθεί βαθμός βλάβης E.



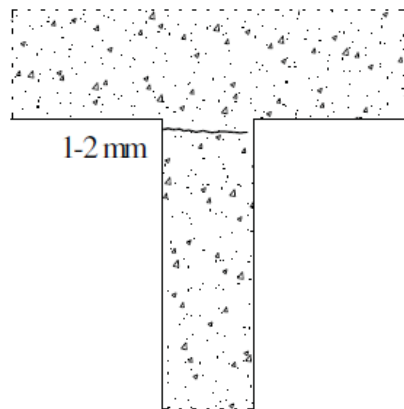
Βλάβες σε ακραίους κόμβους



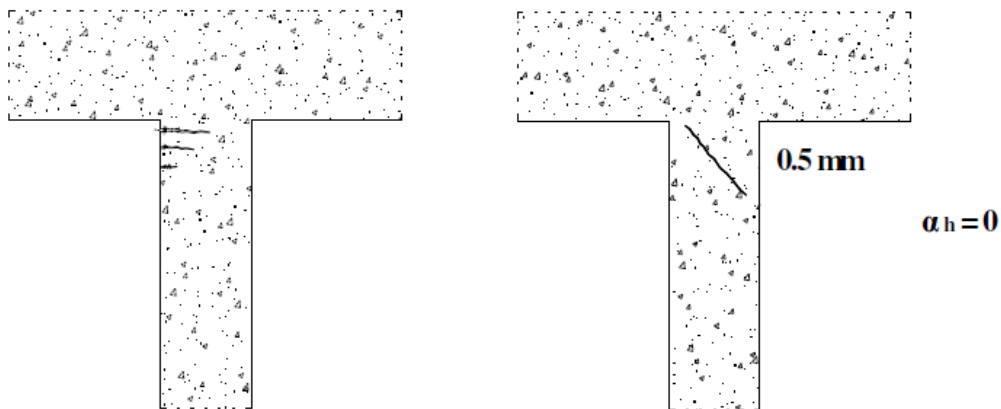
Βλάβες σε μεσαίους κόμβους

Σχήμα 2.3 Βλάβες σε κόμβους πλαισίων

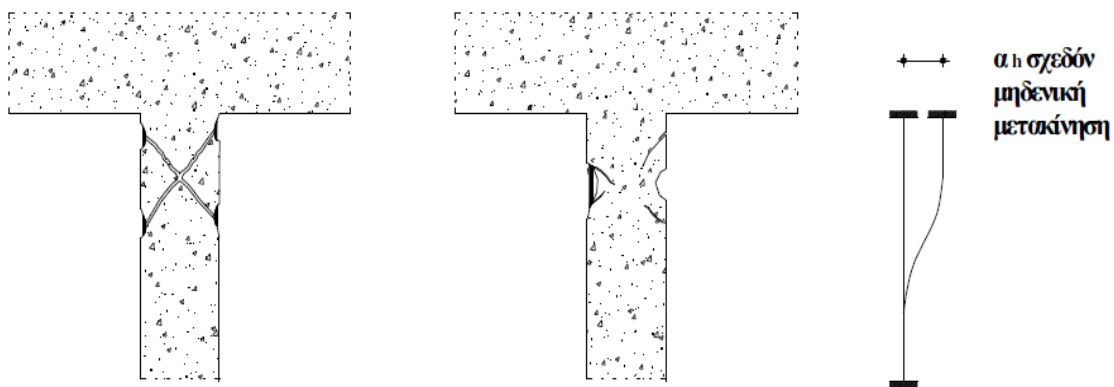
- α) σύνθλιψη κάτω παρειάς δοκού
- β) σύνθλιψη άνω παρειάς δοκού
- γ) αποδιοργάνωση κόμβου από ανακυκλιζόμενη φόρτιση



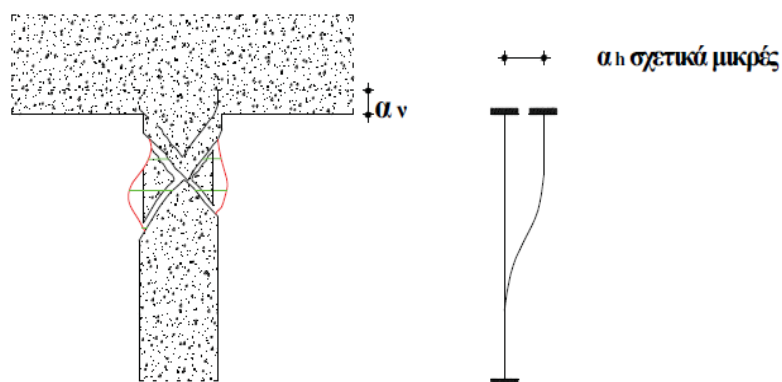
Βαθμός Βλάβης Α



Βαθμός Βλάβης Β



Βαθμός Βλάβης C



Βαθμός Βλάβης D

Σχήμα 2.4 Βαθμοί βλάβης για υποστυλώματα και τοιχώματα

2.3 ΣΤΟΧΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

2.3.1 Γενικά

- Για την εξυπηρέτηση ευρύτερων κοινωνικο - οικονομικών αναγκών, θεσπίζονται διάφορες «στάθμες επιτελεστικότητας» (στοχευόμενες συμπεριφορές) υπό δεδομένους αντίστοιχους σεισμούς σχεδιασμού.
- Οι στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού (Πίνακα 2.1) αποτελούν συνδυασμούς αφενός μιας στάθμης επιτελεστικότητας και αφετέρου μιας σεισμικής δράσης, με δεδομένη «ανεκτή πιθανότητα υπέρβασης κατά την τεχνική διάρκεια ζωής του κτιρίου» (σεισμός σχεδιασμού).
- Στον παρόντα Κανονισμό προβλέπονται στόχοι επανελέγχου αναφερόμενοι αποκλειστικά και μόνον στον φέροντα οργανισμό. Αντίθετα, δεν προβλέπονται στόχοι για τον μη-φέροντα οργανισμό.

Η σχετική πρόβλεψη υπηρετείται με τον ακόλουθο Πίνακα 2.1. Σε περίπτωση δύο στόχων επανελέγχου τα δυνατά ζεύγη είναι B1 και A2 και A2 ή Γ1 και B2.

Πιθανότητα υπέρβασης σεισμικής δράσης εντός του συμβατικού χρόνου ζωής των 50 ετών	Στάθμη επιτελεστικότητας φέροντος οργανισμού		
	«Περιορισμένες βλάβες»	«Σημαντικές βλάβες»	«Οιονεί κατάρρευση»
10%	A1	B1	Γ1
50%	A2	B2	Γ2

Πίνακας 2.1 Στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού φέροντος οργανισμού

2.3.2 Στάθμες επιτελεστικότητας φέροντος οργανισμού

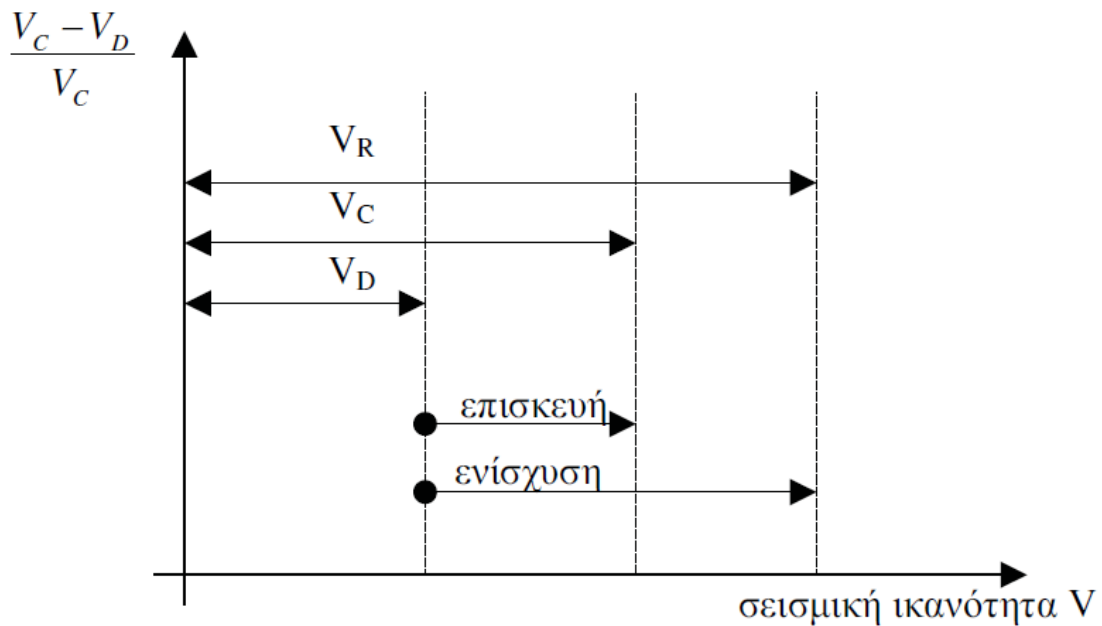
Οι στάθμες επιτελεστικότητας του φέροντος οργανισμού ορίζονται συναρτήσει του βαθμού βλάβης ως εξής, ειδικώς για τις ανάγκες του παρόντος Κανονισμού :

- **«Περιορισμένες βλάβες» (A) :**
Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί μόνο ελαφριές βλάβες, με τα δομικά στοιχεία να μην έχουν διαρρεύσει σε σημαντικό βαθμό και να διατηρούν την αντοχή και δυσκαμψία τους. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι αμελητέες.
- **«Σημαντικές βλάβες» (B) :**
Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί σημαντικές και εκτεταμένες αλλά επισκευάσιμες βλάβες, ενώ τα δομικά στοιχεία διαθέτουν εναπομένονσα αντοχή και δυσκαμψία και είναι σε θέση να παραλάβουν τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μετρίου μεγέθους. Ο φέρων οργανισμός μπορεί να αντέξει μετασεισμικούς μέτριας έντασης.
- **«Οιονεί κατάρρευση» (Γ) :**
Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου έχει υποστεί εκτεταμένες και σοβαρές ή βαριές (μη - επισκευάσιμες κατά πλειονότητα) βλάβες. Οι μόνιμες σχετικές μετακινήσεις ορόφων είναι μεγάλες. Ο φέρων οργανισμός έχει ακόμη την ικανότητα να φέρει τα προβλεπόμενα κατακόρυφα φορτία (κατά, και για ένα διάστημα μετά, τον σεισμό), χωρίς πάντως να διαθέτει άλλο ουσιαστικό περιθώριο ασφαλείας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης, ακόμη και για μετασεισμικούς μέτριας έντασης.

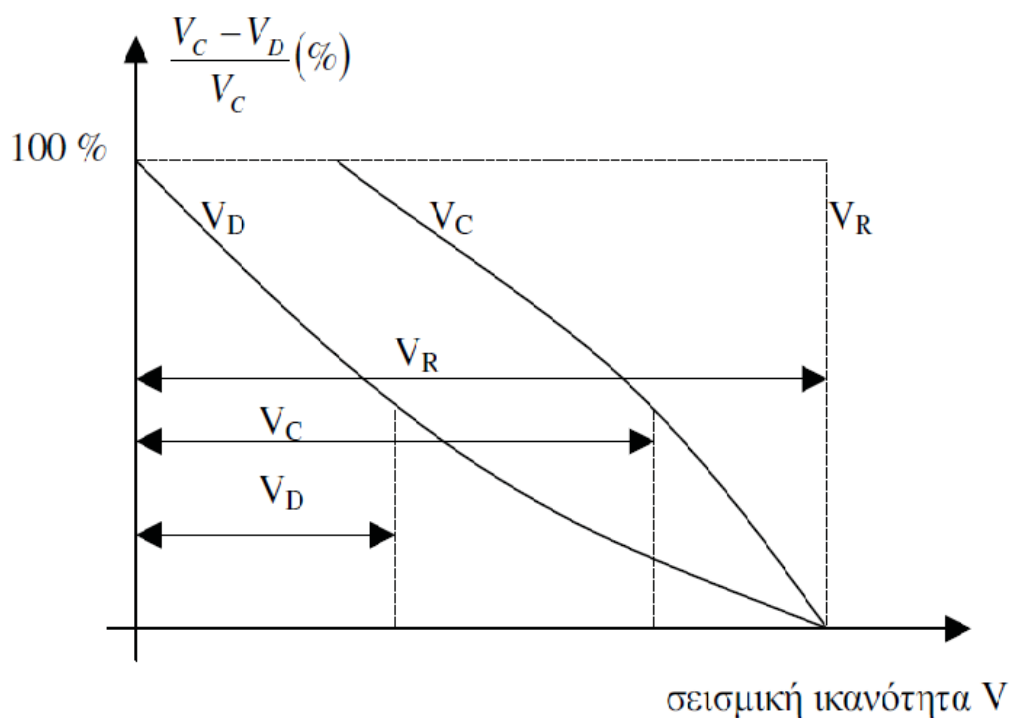
2.4 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ - ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

2.4.1 Κριτήρια επεμβάσεων

Προκειμένου να αντιμετωπισθεί η λήψη απόφασης για επισκευή ή ενίσχυση, καθώς και για τον τύπο και το βαθμό της ενισχύσεως, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι. Στις μεθόδους αυτές συνεκτιμώνται διάφορα κριτήρια, τα σημαντικότερα των οποίων είναι τα εξής (**Σχήμα 2.6**):



Σχήμα 2.5 Γραφική παράσταση των εννοιών V_R , V_C , V_D



Σχήμα 2.6 Συσχετισμός των δεικτών σεισμικής ικανότητας V_C/V_R , V_D/V_C

- Ο δείκτης φέρουσας ικανότητας της κατασκευής, ο οποίος εκφράζεται είτε ως ο λόγος της διαθέσιμης φέρουσας ικανότητας πρό του σεισμού προς την απαιτούμενη από τον τύπο : $R_{C1} = V_C/V_R$ είτε ως ο λόγος της απομένουσας σεισμικής ικανότητας μετά την εκδήλωση των βλαβών προς την διαθέσιμη προ του σεισμού : $R_{C2} = V_D/V_C$
- Η διάταξη του φέροντος οργανισμού, η οποία είναι δυνατόν να χαρακτηριστεί ως καλή, αποδεκτή ή ασαφής.
- Η ευκαμψία της κατασκευής, εκπεφρασμένη ως σχετική στροφή

ορόφων Δ_R/h για σεισμική φόρτιση αυτήν που υπαγορεύει ο Κανονισμός, και τέλος

- Η πλαστιμότητα της κατασκευής πριν από οποιαδήποτε ενίσχυση.

Όπου:

V_R = απαιτούμενη σεισμική ικανότητα

V_C = διαθέσιμη σεισμική ικανότητα

V_D = απομένουσα σεισμική ικανότητα

Η απαιτούμενη σεισμική ικανότητα δεν είναι τίποτε άλλο από τις σεισμικές δράσεις που προσδιορίζονται από τον Κανονισμό της εποχής κατασκευής για το υπό εξέταση κτίριο. Ειδικά, όμως, για επεμβάσεις σε υφιστάμενα κτίρια, οι δράσεις αυτές μπορούν να μειωθούν, προκειμένου να ληφθεί υπόψη η απομένουσα ζωή του κτιρίου σε σχέση προς την προδιαγεγραμμένη από τον Κανονισμό για νέα κτίρια. Η μείωση αυτή γίνεται με πιθανοτικές σχέσεις σεισμικού κινδύνου.

Με βάση τα παραπάνω, ο Μηχανικός μπορεί να καταλήξει σε μια από τις εξής τρεις αποφάσεις:

- Επισκευή του κτιρίου.
- Ενίσχυση του κτιρίου με διάφορα εναλλακτικά σχήματα που συνοπτικά θα εκτεθούν πιο κάτω.
- Κατεδάφιση και ανακατασκευή.

Η απόφαση για κατεδάφιση και ανακατασκευή επηρεάζεται από το κόστος των απαιτούμενων επεμβάσεων για ενίσχυση, όμως δεν παύει να αποτελεί συνάρτηση και άλλων παραγόντων, όπως των όρων δόμησης σε περίπτωση ανακατασκευής, της ιστορικής ή πολιτισμικής αξίας του κτιρίου κ.λπ.

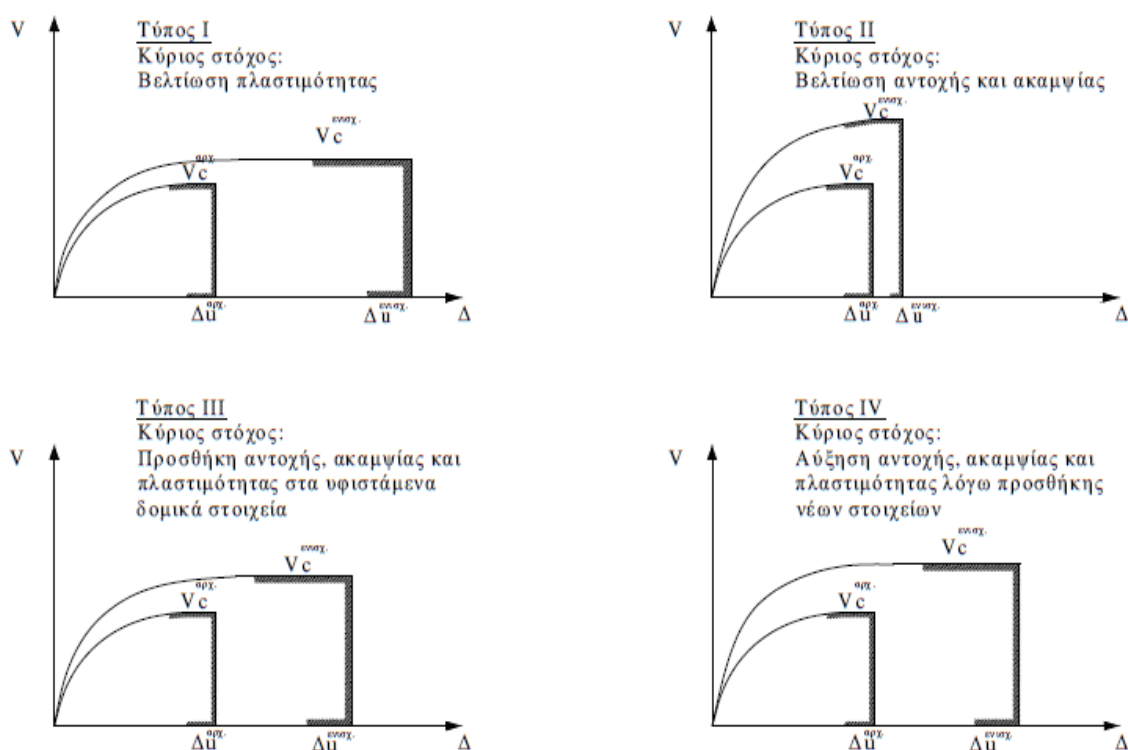
2.4.2 Τύποι επεμβάσεων

Οι τύποι ενίσχυσης ανάλογα με την σοβαρότητα των επεμβάσεων μπορούν να ενταχθούν σε μια από τις επόμενες κατηγορίες (**Σχήμα 2.8**) :

- **Τύπος I** : Βελτίωση της πλαστιμότητας και της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας με ενίσχυση υφισταμένων στοιχείων (π.χ. λεπτούς μανδύες στους στύλους με πυκνούς συνδετήρες, περισφιγξη με ελάσματα ή σύνθετα υλικά).
- **Τύπος II**: Αύξηση της αντοχής και της ακαμψίας με ενίσχυση υφισταμένων στοιχείων (π.χ. αύξηση πάχους τοιχείων).
- **Τύπος III**: Αύξηση της αντοχής, της ακαμψίας και της πλαστιμότητας με ενίσχυση των υφισταμένων στοιχείων (π.χ. επαύξηση πάχους τοιχείων και μανδύες στα υποστυλώματα).

- **Τύπος IV:** Αύξηση της αντοχής, ακαμψίας και πλαστιμότητας με την προσθήκη νέων φερόντων στοιχείων (π.χ. προσθήκη νέων τοιχείων σε συνδυασμό με μανδύες σε υφιστάμενα υποστηλώματα).
- **Τύπος V:** Ενσωμάτωση στην κατασκευή παθητικών, μηχανικών συστημάτων απορρόφησης ενέργειας ιξώδους ή υστερητικής συμπεριφοράς.

Τα κριτήρια που επηρεάζουν τον τύπο της επιλεγόμενης επέμβασης για ενίσχυση είναι τόσο γενικού χαρακτήρα, όπως το κόστος, τα διαθέσιμα τεχνολογικά μέσα, η αισθητική του κτιρίου κ.λπ., όσον και τεχνικού χαρακτήρα, όπως η απαίτηση κανονικότητας, αυξημένης πλαστιμότητας, μη δραστηκής μεταβολής της κατανομής της ακαμψίας του κτιρίου κ.λπ.



Σχήμα 2.8 Γραφική παράσταση των επεμβάσεων

2.5 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τον ανασχεδιασμό βλαμμένων κατασκευών παρατηρείται αυξημένη ανάγκη για συστάσεις και πρακτικούς κανόνες επανελέγχου και επαναδιαστασιολογήσεως για τους εξής λόγους:

- Οι διατιθέμενες γνώσεις για τις επεμβάσεις (επισκευές - ενισχύσεις) είναι πολύ φτωχότερες από εκείνες που σχετίζονται με την ανάλυση και την διαστασιολόγηση νέων κατασκευών. Στην συνέχεια αναφέρονται μερικές από τις πρόσθετες δυσχέρειες οι οποίες παρουσιάζονται κατά τον ανασχεδιασμό :

- Δυσχέρειες ερμηνείας και κατανοήσεως της βλάβης που παρατηρήθηκε. Οι αβεβαιότητες οι οποίες σχετίζονται με την ερμηνεία των βλαβών επηρεάζουν την έκταση και την ένταση των επιλεγόμενων επεμβάσεων.
 - Οι μέθοδοι αναλύσεως οι οποίες εφαρμόζονται στις νέες κατασκευές δεν είναι οι ιδανικότερες για την περίπτωση κατασκευών, οι οποίες έχουν ήδη εμφανίσει πλαστική συμπεριφορά.
 - Δυσχέρειες σχετιζόμενες με την διαστασιολόγηση μη μονολιθικών διατομών, αποτελούμενων από διάφορα υλικά (έλεγχος διεπιφανειών).
- Η πείρα υπολογιστικών και κατασκευαστικών εφαρμογών είναι πολύ περιορισμένη σε σχέση με την αντίστοιχη πείρα νέων κατασκευών. Επιπλέον, είναι περιορισμένα τα στοιχεία που διατίθενται για την αποτελεσματικότητα των επεμβάσεων (π.χ. συμπεριφορά μιας κατασκευής έναντι σεισμού, ο οποίος συνέβη μετά την επέμβαση).
 - Ακόμα οι τεχνικές και τα υλικά των επεμβάσεων δεν υποστηρίζονται από το πλήθος των Προδιαγραφών και των Κανονισμών που συνοδεύουν την εφαρμογή απλούστερων τεχνικών και τα συμβατικά υλικά νέων κατασκευών.

2.5.1 Στάδια ανασχεδιασμού

Ο ανασχεδιασμός ακολουθεί τα εξής στάδια:

1. Νέα σύλληψη του έργου

Πρόκειται για στάδιο ιδιαίτερα σημαντικό στις περιπτώσεις αντισεισμικού σχεδιασμού, ιδίως στην περίπτωση κατά την οποία η ερμηνεία των βλαβών έχει δείξει ότι προκλήθηκαν και λόγω κακής αρχικής σύλληψης του έργου ή λόγω ανεπιτυχών επεμβάσεων κατά την διάρκεια ζωής-του (π.χ. προσθήκες καθ' ύψος ή κατ' επέκταση).

2. Επανεκτίμηση των δράσεων σχεδιασμού

Πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη ότι εκτεταμένες ενισχύσεις οριζοντίων και κατακόρυφων στοιχείων συνεπάγονται αύξηση του ιδίου βάρους της κατασκευής. Αντιθέτως αλλαγή χρήσεως μιας κατασκευής ενδέχεται να οδηγήσει σε μείωση των ωφέλιμων φορτίων. Ανάλογα μεταβάλλονται και τα συμβατικά οριζόντια φορτία της κατασκευής κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό. Η μεταβολή αυτή οφείλεται σε δύο λόγους. Αφ' ενός, στην μεταβολή των κατακόρυφων δράσεων που συνδυάζονται με τις σεισμικές, αφ'ετέρου στην μεταβολή της δυσκαμψίας της κατασκευής λόγω ενισχύσεων (ενδέχεται, μετακίνηση της ιδιοπεριόδου της κατασκευής προς μικρότερες τιμές να οδηγήσει σε μεγαλύτερη τεταγμένη του φάσματος αποκρίσεως, άρα και σε μεγαλύτερα συμβατικά σεισμικά φορτία).

3. Νέα ανάλυση της κατασκευής, όπως αυτή θα διαμορφωθεί μετά από τις επεμβάσεις

Σε αυτό το στάδιο απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά την εκτίμηση των νέων αυξημένων δυσκαμψιών των στοιχείων που ενισχύονται, αλλά και των μειωμένων δυσκαμψιών των στοιχείων τα οποία υπέστησαν ελαφρές βλάβες και δεν προβλέπεται να ενισχυθούν.

4. Αναδιαστασιολόγηση των στοιχείων που πρόκειται να ενισχυθούν, καθώς και επανέλεγχος των στοιχείων για τα οποία δεν προβλέπεται ενίσχυση. (θεωρείται ότι έχει προηγηθεί και ολοκληρωθεί η φάση της αποτιμήσεως των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών).

Η μελέτη ανασχεδιασμού περιλαμβάνει όλους τους γενικούς και ειδικούς ελέγχους μεταφοράς δυνάμεων σε διεπιφάνειες μεταξύ υπάρχοντος και προστιθέμενου υλικού, τους ελέγχους αγκυρώσεων, κλπ. καθώς και λεπτομερή κατασκευαστικά σχέδια των οποίων η σημασία είναι ακόμα μεγαλύτερη απ' ότι για τις νέες κατασκευές. Τέλος η μελέτη ανασχεδιασμού πρέπει απαραίτητως να συνοδεύεται από Τεχνική Έκθεση με λεπτομερή περιγραφή κριτηρίων, σταδίων επεμβάσεων, προδιαγραφές υλικών, προϋποθέσεις συνεργείων, κλπ.

Κατά την φάση της αναδιαστασιολογήσεως, θα πρέπει (όπως και για τις νέες κατασκευές) σε όλες τις θέσεις ελέγχου να ικανοποιείται η βασική ανίσωση ασφαλείας:

$$S_d = S(S_k \gamma_f) \leq R(R_k : \gamma_m) = R_d$$

όπου :

- S_d : η τιμή σχεδιασμού της δράσεως
- S_k : η αντιπροσωπευτική τιμή της δράσεως για την οποία υπάρχει 5 % πιθανότητα υπέρβασης στα 50 χρόνια
- γ_f : ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για τις δράσεις
- R_d : η τιμή σχεδιασμού του μεγέθους αντιστάσεως
- R_k : η αντιπροσωπευτική τιμή του μεγέθους αντιστάσεως για την οποία υπάρχει 95 % πιθανότητα υπέρβασης (που ισοδυναμεί με πιθανότητα 5 % υποσκέλισης της αντιπροσωπευτικής τιμής)
- γ_m : ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας της αντιστάσεως

Στην περίπτωση των ενισχυόμενων κατασκευών, εφαρμόζεται η βασική ανίσωση ασφαλείας κατάλληλα τροποποιημένη :

$$S_d = \gamma_{sd} S(S_k \gamma_f) \leq \frac{1}{\gamma_{Rd}} R(R_k; \gamma_m) = R_d$$

όπου :

- γ_{sd} : ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας με τον οποίο λαμβάνονται υπόψη οι αβεβαιότητες των προσομοιωμάτων της δράσεως.
- γ_{Rd} : ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας με τον οποίο λαμβάνονται υπόψη οι αβεβαιότητες του προσομοιώματος της αντιστάσεως καθώς και οι αβεβαιότητες της αντιστάσεως λόγω ενδεχόμενης υποβάθμισης της ποιότητας και γήρανσης των υλικών.

Πάντως ως προς τους συντελεστές γ_m , γ_f κατά τον ανασχεδιασμό κατασκευών μπορούν να γίνουν και οι εξής παρατηρήσεις:

- Για τα υπάρχοντα νεκρά φορτία, ίδια βάρη, ο συντελεστής γ_f δύναται να ληφθεί και μειωμένος, σε σύγκριση με τις συνήθεις τιμές για νέες κατασκευές, εφόσον οι επιτόπου μετρήσεις των διαστάσεων και οι εκτιμήσεις των ειδικών βαρών δείξουν ότι οι αβεβαιότητες του ίδιου βάρους είναι μικρότερες από αυτές που λαμβάνει υπόψη ο συντελεστής γ_f . Το κατά πόσο μπορεί να ληφθεί μειωμένος συντελεστής γ_f εξαρτάται από την στάθμη αποτιμήσεως και μετρήσεων των ακριβών διαστάσεων, αλλά και από την στάθμη του ελέγχου κατά την εφαρμογή των επεμβάσεων.
- Για τα ωφέλιμα φορτία, η τιμή του γ_f εξαρτάται κυρίως από την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του έργου μετά τις επεμβάσεις. Επομένως, μπορεί να είναι μεγαλύτερος ή μικρότερος απ' ό,τι για τις νέες κατασκευές
- Αντιθέτως και για τα υπάρχοντα και για τα νέα υλικά, συνήθως χρησιμοποιούνται μεγαλύτερες τιμές των συντελεστών γ_m και λόγω της εμπειρικής μάλλον αποτιμήσεως των αντοχών των παλαιών υλικών και λόγω των περιορισμών του ποιοτικού ελέγχου και των δυσχερειών κατά την εφαρμογή των επεμβάσεων (σε ό,τι αφορά τα νέα υλικά). Σε περιπτώσεις αξιόπιστης αποτίμησης των μηχανικών χαρακτηριστικών των υπαρχόντων υλικών επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται μικρότερες τιμές των συντελεστών γ_m γι' αυτά τα υλικά.

Γενικά η παρούσα στάθμη γνώσεων δεν επιτρέπει πλήρως τεκμηριωμένη αντιμετώπιση του θέματος των τροποποιημένων επιμέρους συντελεστών ασφαλείας. Κατά τον ανασχεδιασμό μιας κατασκευής πρέπει να ικανοποιούνται οι εξής απαιτήσεις έναντι σεισμού :

- Απαίτηση αποφυγής καταρρεύσεως
- Απαίτηση περιορισμού βλαβών
- Απαίτηση εξασφάλισης ελάχιστης στάθμης λειτουργικότητας

Για τον επαναυπολογισμό του φέροντος οργανισμού μετά την επέμβαση απαιτείται η γνώση της ακαμψίας και της πλαστιμότητας των επισκευασμένων, καθώς και των νέων πρόσθετων στοιχείων για τον καθορισμό του συντελεστή

συμπεριφοράς αφ'ενός και την εισαγωγή των ακαμψιών ως δεδομένων για την ανάλυση αφ'ετέρου. Εξάλλου, για τη διαστασιολόγηση απαιτείται η γνώση της φέρουσας ικανότητας των επισκευασμένων στοιχείων. Τα τρία αυτά μεγέθη, φέρουσα ικανότητα, ακαμψία και πλαστιμότητα στα επισκευασμένα στοιχεία προσδιορίζονται κατά τρόπο όχι ιδιαίτερα αξιόπιστο και τούτο γιατί:

- Δεν υπάρχει επαρκής πειραματική αλλά και θεωρητική τεκμηρίωση για τη μηχανική συμπεριφορά στις διεπιφάνειες παλιού και νέου υλικού και της επιρροής της στην αντοχή, ακαμψία και πλαστιμότητα του επισκευασμένου στοιχείου ως σύνολο.
- Είναι προβληματική η αξιόπιστη εκτίμηση ανακατανομής της εντάσεως στο παλιό στοιχείο και στην ενίσχυση του, δοθέντος ότι το παλιό στοιχείο είναι ήδη προφορτισμένο από τα φορτία βαρύτητας.
- Ο βαθμός καλότεχνης εφαρμογής στο έργο επηρεάζει δραστικά τα αποτελέσματα.

Προς μερική κάλυψη των παραπάνω αβεβαιοτήτων συστήνεται η εισαγωγή αυξημένων τιμών στους μερικούς συντελεστές ασφάλειας γ_m των υλικών επισκευής.

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει συστηματική προσπάθεια για τη μελέτη και έρευνα της μηχανικής των διεπιφανειών κατά την μεταβίβαση εντάσεως από το ένα υλικό στο άλλο, δοθέντος ότι μια τέτοια γνώση αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ορθολογική διαστασιολόγηση ενός επισκευασμένου στοιχείου. Οι βασικοί μηχανισμοί λειτουργίας στις διεπιφάνειες που βρίσκονται υπό διερεύνηση είναι οι εξής :

- Σύνθλιψη προρηγματωμένων επιφανειών σκυροδέματος.
- Συνάφεια μεταξύ μη μεταλλικών επιφανειών.
- Τριβή μεταξύ μη μεταλλικών επιφανειών.
- Δράση βλήτρου.
- Αγκυρώσεις νέων οπλισμών.
- Συγκολλήσεις στοιχείων χάλυβα.

Παρά την πρόοδο που έχει γίνει προς αυτή την κατεύθυνση, εν τούτοις, προκειμένου να γίνει η διαστασιολόγηση ενός επισκευασμένου δομικού στοιχείου, απαιτείται ο κατάλληλος συνδυασμός περισσοτέρων του ενός μηχανισμού σε ολοκληρωμένα φυσικά και μηχανικά μοντέλα, δοθέντος ότι οι διάφορες τεχνικές επισκευής ενεργοποιούν κάθε φορά συνήθως πολλούς μηχανισμούς μεταφοράς συγχρόνως. Υπ'αυτή την έννοια υπάρχει επί του παρόντος χάσμα ανάμεσα στην ερευνητική δραστηριότητα επί της μηχανικής των διεπιφανειών και την πρακτική αξιοποίηση της στη διαστασιολόγηση επισκευασμένων στοιχείων, που όμως ελπίζεται ότι θα καλυφθεί σύντομα.

Έτσι, επί του παρόντος η προσέγγιση του προβλήματος στην πράξη στηρίζεται σε ημιεμπειρικές διαδικασίες που οι βασικοί άξονες της δίνονται συνοπτικά παρακάτω :

- Βασική αρχή κατά την ανάπτυξη οποιασδήποτε τεχνικής ενίσχυσης συνίσταται στο σχεδιασμό της κατά τέτοιο τρόπο ώστε η αστοχία του επισκευασμένου στοιχείου ως μονολιθικής κατασκευής να προηγείται

οποιασδήποτε αστοχίας στις διεπιφάνειες παλιού και νέου υλικού. Αυτό επαληθεύεται με εργαστηριακές δοκιμές και, όπου προηγείται τυχόν αστοχία σε διεπιφάνεια, λαμβάνονται εμπειρικά πρόσθετα μέτρα σύνδεσης (π.χ. πυκνότερα βλήτρα, επαλείψεις κόλλας κ.λπ). Αυτός είναι ένας βασικός λόγος για τον οποίο οι προδιαγραφές επισκευών θα πρέπει να τηρούνται με ιδιαίτερη φροντίδα, δοθέντος ότι απεικονίζουν το προϊόν της πειραματικής αυτής έρευνας.

➤ Με δεδομένη την ισχύ της παραπάνω αρχής τα επισκευασμένα δοκίμια δοκιμάζονται στο εργαστήριο όπου προσδιορίζονται :

- η οριακή αντοχή $R_{u,rep}$
- η ακαμψία K_{rep}
- η απορροφούμενη ενέργεια $E_{u,rep}$

➤ Τα παραπάνω μεγέθη προσδιορίζονται παραλλήλως με την παραδοχή ότι το δομικό στοιχείο μετά την επισκευή είναι μονολιθικό χωρίς διεπιφάνειες ($R_{u,monol}$, K_{monol} , $E_{u,monol}$). Είναι αυτονόητο ότι τα μεγέθη αυτά για το μονολιθικό δομικό στοιχείο έχουν τιμές μεγαλύτερες ή κατ'ελάχιστον ίσες προς αυτές του επισκευασμένου. Συνεπώς, για κάθε τύπο δομικού στοιχείου και κάθε τεχνική επισκευής είναι δυνατή η εισαγωγή **«μειωτικών συντελεστών μοντέλου»** με μορφή κανονιστική ή οδηγίων, ήτοι :

$$\phi_R = \frac{R_{u,rep}}{R_{u,monol}} \quad \phi_K = \frac{K_{rep}}{K_{monol}} \quad \phi_E = \frac{E_{u,rep}}{E_{u,monol}}$$

➤ Οι μειωτικοί αυτοί συντελεστές είναι εκ προΐμοιου δεδομένοι σε επίπεδο Κανονιστικό ή Συστάσεων για κάθε είδος δομικού στοιχείου και τύπου επισκευής του και επιτρέπουν τη διεξαγωγή της διαστασιολόγησης με την παραδοχή ότι το επισκευασμένο στοιχείο είναι μονολιθικό. Η αντοχή του, η ακαμψία του και η πλαστιμότητά του προκύπτουν από αυτήν του μονολιθικού πολλαπλασιασμένη επί τον αντίστοιχο μειωτικό συντελεστή. Η όλη διαδικασία ενδεχόμενα να συνοδευθεί και με ορισμένους απλοποιητικούς λογιστικούς ελέγχους στις διεπιφάνειες.

➤ Από τα ανωτέρω καθίσταται πρόδηλο ότι οι **«μειωτικοί συντελεστές μοντέλου»** έχουν τιμές αξιόπιστες μόνο για τις ειδικές περιπτώσεις που δοκιμάστηκαν στο εργαστήριο ή παραπλήσιες. Εάν η γεωμετρία του αρχικού δομικού στοιχείου ή του υλικού επισκευής διαφέρει αρκετά από τα εργαστηριακός ελεγχθέντα, είναι κατανοητό ότι η αξιοπιστία τους μειώνεται.

2.6 ΣΥΝΤΑΞΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

Η μελέτη επεμβάσεων είναι σκόπιμο να περιέχει τα εξής :

1. **Εγκεκριμένο φάκελο αδειας κατασκευής του κτιρίου**, ο οποίος θα περιέχει στοιχεία και σχέδια όπως, οικοδομική άδεια, μελέτες (παραδοχές, ανάλυση, διαστασιολόγηση) και κατασκευαστικά σχέδια. Ωστόσο,

ενδέχεται να είναι δύσκολο να βρεθούν τέτοιες πληροφορίες (π.χ. παραδοσιακά κτίρια ή περιπτώσεις καταστροφής αρχείων δημοσίων υπηρεσιών), οπότε απαιτείται συγκέντρωση στοιχείων και πληροφοριών ούτως ώστε να μπορεί να γίνει δομοστατική εκτίμηση της καταστάσεως των κατασκευών.

- 2. Πρόσθετα στοιχεία και πληροφορίες.** Τα στοιχεία και πληροφορίες που υπάρχουν στον εγκεκριμένο φάκελο κατασκευής πρέπει να συμπληρωθούν και από τις εξής πληροφορίες:

2.1 Γενικές πληροφορίες και ιστορικό κατασκευής

- Ημερομηνία(ες) κατασκευής, κανονισμός(οι) μελέτης που ίσχυε την περίοδο μελέτης, υπολογισμός της παραμένουσας οικονομικής αξίας του κτιρίου, καθώς και πληροφορίες από τον φάκελο ποιοτικού ελέγχου (εάν υπάρχει).
- Αξιολόγηση των τευχών του φακέλου της υφιστάμενης μελέτης η οποία περιλαμβάνει εξέταση των κατασκευαστικών σχεδίων για την αξιολόγηση της ορθότητας :
 - των προβλεπόμενων λεπτομερειών
 - των υπολογισμών για την επαλήθευση των εντατικών μεγεθών, ιδιαίτερα για τα δομικά στοιχεία που υπέστησαν ζημιές, κλπ.
- Συλλογή πληροφοριών όσον αφορά την προηγούμενη κατάσταση του κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων των ενδεχόμενων προηγούμενων εργασιών επεμβάσεων (επισκευής ή ενίσχυσης)
- Την συμπεριφορά της κατασκευής στον χρόνο καθώς και κατά την διάρκεια προηγούμενων σεισμών
- Τις προϋπάρχουσες βλάβες
- Πιθανές εκσκαφές σε μικρή απόσταση, κλπ.

Η συμπεριφορά κατά προηγούμενους σεισμούς αποτελεί πληροφορία η οποία θα πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερος υπ' όψη, δεδομένου ότι ο σεισμός είναι μια συνολική φυσική δοκιμή της κατασκευής. Οι πληροφορίες αυτές μπορεί να βοηθήσουν σημαντικά την βαθμονόμηση των μεθόδων αξιολόγησης, καθώς και στην λήψη αποφάσεων.

2.2 Στοιχεία από επιθεώρηση / αποτύπωση

- Οπτική εξέταση και προσδιορισμός του στατικού συστήματος, προκειμένου να διευκολυνθούν μεταγενέστερες αποφάσεις (ή και υπολογισμοί) σχετικά με την καταλληλότητα σύλληψης του

φορέα (σύνθεση, κανονικότητα κλπ) καθώς και την επάρκεια της φέρουσας ικανότητας των δομικών στοιχείων του κτιρίου.

- Προσδιορισμός πιθανών σοβαρών σφαλμάτων:
 - στην υπάρχουσα μελέτη (ιδιαίτερα όσον αφορά την αντίσταση της κατασκευής σε σεισμό)
 - στην κατασκευή
 - στην συντήρηση και πιθανή κακή χρήση.
- Αποτύπωση των ζημιών σε φέροντα και μη φέροντα στοιχεία σε σχέδια (όψεων, κατόψεων, τομών και ξυλότυπων), φωτογραφίες μελών με ζημιές, παρέχοντας εικόνα της στάθμης και του χαρακτήρα των ζημιών και αντιστοίχησή-τους με τα σχέδια.
- Ενδεικτικές αλλά αντιπροσωπευτικές αποτυπώσεις οπλισμών με αποκαλύψεις (τοπικά χαντρώματα) ή μαγνητομετρήσεις ή ακόμα και με χρησιμοποίηση ραδιογραφημάτων (πηγής κοβαλτίου) .
- Ειδικά για την περίπτωση κτιρίων από τοιχοποιία απαιτούνται επι πλέον, ενδεικτικές αλλά αντιπροσωπευτικές αποκαλύψεις (τοπικές καθαιρέσεις) για τον έλεγχο του είδους δομήσεως τοιχοποιίας, διαστάσεις λιθοσωμάτων, μέσο πάχος αρμών, ποσοστό κονιάματος / λιθοσωμάτων, συνδέσεις μεταξύ εγκαρσίων τοιχοποιιών, διερεύνηση για ύπαρξη ελκυστήρων, κατάσταση λιθοσωμάτων, εκτίμηση όγκου κενών τοιχοποιίας, κλπ.
- Έρευνα και εκτίμηση της καταστάσεως των μη φερόντων στοιχείων.
- Επίπεδο και πιθανή επιδείνωση της κατάστασης των υλικών λόγω περιβαλλοντικών επιδράσεων (π.χ. μηχανική φθορά ή διάβρωση υλικών).
- Εξέταση παρακειμένων κτιρίων παρόμοιας δομικής μορφής, με σκοπό την διαφορική διάγνωση

2.3 Επιτόπου μετρήσεις και εργαστηριακές δοκιμές

Οι έρευνες, μετρήσεις και δοκιμές οι οποίες, όπου είναι δυνατόν, πρέπει να γίνονται, είναι οι εξής:

- Γεωμετρικές μετρήσεις όπως :
 - διαστάσεις διατομών, όπως έχουν κατασκευασθεί
 - χωροσταθμίσεις, μετρήσεις εκκεντροτήτων, αποκλίσεις από την κατακόρυφο
 - εύρος ρωγμών ή αποκολλήσεις σε κατασκευές από σκυρόδεμα ή τοιχοποιία
 - παραμορφώσεις και ασυνέχειες σε αρμούς
 - παραμένουσες παραμορφώσεις
 - χρονική εξέλιξη των ανωτέρω χαρακτηριστικών, ιδιαίτερα λόγω

- μετασεισμών (ενδεχόμενη εγκατάσταση μαρτύρων - ρηγματομέτρων, για παρακολούθηση).
- Διερεύνηση του εδάφους που θα περιλαμβάνει:
 - περιγραφή θεμελίωσης
 - ενδεικτικό αλλά αντιπροσωπευτικό γεωμετρικό έλεγχο θεμελίων
 - φρέατα επιθεωρήσεως
 - εδαφοτεχνική έρευνα.
- Ποιοτικός έλεγχος υλικών και κατασκευής
 - Σκυρόδεμα
Έλεγχος ποιότητας σκυροδέματος με λήψη και θραύση τουλάχιστον έξι (6) δοκιμίων ανά παρτίδα και συνδυασμός - τους με έμμεσες μεθόδους (κρουσίμετρο, υπέρηχοι, εξόλκευση ήλου). Όπου παρτίδα νοείται οι περιοχές που φαίνεται πως διαστρώθηκαν σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα π.χ. διαφορετικοί όροφοι, πλάκες από υπερκείμενες σκάλες και τοιχία, υποστυλώματα που διαχωρίζονται από υπερκείμενες πλάκες με αρμούς εργασίας κλπ. σκυροδέτησης (όροφος κλπ).
 - Χάλυβας
Οπτικός έλεγχος και αναγνώριση κατηγορία χάλυβα (λείος - νευροχάλυβας), λήψη και θραύση τουλάχιστον τριών (3) δοκιμίων ανά κατηγορία με αντίστοιχο προσδιορισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών ορίων διαρροής (f_y) εφελκυστική αντοχή (f_t), λόγος εφελκυστικής αντοχής προς όριο διαρροής (f_t/f_y), παραμόρφωση θραύσης. Επίσης μπορούν να γίνουν και δοκιμές κάμψης-ανάκαμψης, αναδίπλωσης καθώς και έλεγχος χημικής σύστασης (όταν πρόκειται να γίνει χρήση εκτεταμένων ηλεκτροσυγκολλήσεων) Μετρήσεις δυναμικού χάλυβα. Οι δοκιμές στον χάλυβα μπορούν να παραληφθούν σε περίπτωση που αγνοείται ο υπάρχων φέρων οργανισμός.
 - Τοιχοποιία
Οπτικός έλεγχος καταστάσεως λιθοσωμάτων (λίθοι, οπτόπλινθοι - συμπαγή, διάτρητα τούβλα, ωμόπλινθοι), κονιάματος δομήσεως ή επιχρήσεως με λήψη και θραύση δοκιμίων και αντίστοιχο προσδιορισμό των:
 - αντοχή σε θλίψη τοιχοποιίας
 - αντοχή σε θλίψη λιθοσωμάτων
 - αντοχή σε εφελκυσμό λιθοσωμάτων
 - αντοχή σε θλίψη κονιάματος
 - αντοχή σε εφελκυσμό κονιάματος

Επίσης απαιτούνται επιπλέον, ενδεικτικές αλλά αντιπροσωπευτικές αποκαλύψεις (τοπικές καθαιρέσεις) για τον έλεγχο του είδους δομήσεως τοιχοποιίας, διαστάσεις λιθοσωμάτων, μέσο πάχος αρμών, ποσοστό κονιάματος / λιθοσωμάτων, συνδέσεις μεταξύ εγκαρσίων τοίχων, διερεύνηση για ύπαρξη ελκυστήρων, κατάσταση λιθοσωμάτων, εκτίμηση όγκου κενών τοιχοποιίας.

➤ Δοκιμαστικές Φορτίσεις

Η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής ως σύνολο ή η γνώση των δυναμικών χαρακτηριστικών (ιδιοσυχνότητα, απόσβεση) μπορούν να μας προσφέρουν πληροφορίες αρκετά χρήσιμες. Για τον σκοπό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθούν μικροδονήσεις ή άλλες μέθοδοι διερεύνησης της συμπεριφοράς της κατασκευής. Επίσης σε ορισμένες περιπτώσεις ενδέχεται να παρέχει σημαντικές πληροφορίες και η δοκιμαστική φόρτιση.

2.6.1 Στατικός – Αντισεισμικός έλεγχος κατασκευής

Μετά την συγκέντρωση των στοιχείων και πληροφοριών των υποπαραγράφων 2.2.1, 2.2.2 και 2.2.3, γίνεται επανέλεγχος της κατασκευής λαμβάνοντας υπ' όψη την ορθολογική και αξιόπιστη εκτίμηση βασικών χαρακτηριστικών των τυχαίων μεταβλητών **δράσεων S** και **αντιστάσεων R** και μάλιστα των χαρακτηριστικών τιμών-τους (δράσεων S_k και αντιστάσεων R_k , αντιστοίχως) καθώς και ορθολογική αποτίμηση του διαθέσιμου **δείκτη συμπεριφοράς q**, απαραίτητου για τον αντισεισμικό έλεγχο.

Η ανάγκη του επανελέγχου της αξιοπιστίας υφισταμένων κατασκευών ενδέχεται να προέρχεται μεταξύ άλλων και από τα εξής :

- αποκλίσεις από την αρχική μελέτη.
- αρνητικές ενδείξεις κατά τον περιοδικό έλεγχο της κατασκευής
- βλάβες στον φέροντα οργανισμό μετά από σεισμό ή τυχηματικές δράσεις (πυρκαγιά , πρόσκρουση οχήματος κλπ)
- αμφιβολίες ως προς την ασφάλεια μετά από βλάβες που δεν οφείλονται σε εμφανείς αιτίες
- υποψίες για χρήση ακατάλληλων υλικών ή μεθόδων κατασκευής
- διαπίστωση σφαλμάτων κατά την μελέτη ή την εκτέλεση
- προγραμματιζόμενη αλλαγή χρήσεως της κατασκευής
- λήξη της απομένουσας διάρκειας ζωής, η οποία είχε ληφθεί υπόψη κατά προηγούμενο επανέλεγχο της κατασκευής

Ο έλεγχος της αξιοπιστίας μιας κατασκευής αποσκοπεί στο να καταδείξει ότι η κατασκευή θα λειτουργήσει με ασφάλεια για την **υπολειπόμενη διάρκεια ζωής**. Κατά τον έλεγχο υφισταμένων κατασκευών ανακύπτουν μια σειρά ερωτημάτων όπως:

- Είδος απαραίτητων ελέγχων
- Είδος αναλύσεων οι οποίες είναι απαραίτητες
- Ποιοι είναι οι κίνδυνοι από την περαιτέρω χρήση της κατασκευής
- Είδος των απαραίτητων και άμεσων μέτρων
- Ποιος είναι ο βαθμός υποκειμενικότητας κατά την αξιολόγηση της ασφάλειας υφισταμένων κατασκευών

Να αναφέρουμε ότι η αποτίμηση της αξιοπιστίας υφισταμένων κατασκευών είναι εξαιρετικά δύσκολη διότι πρέπει να προβλεφθεί η συμπεριφορά της κατασκευής σε ακραίες καταστάσεις. Για τις καταστάσεις αυτές συνήθως δεν υπάρχει εμπειρία από την συμπεριφορά της κατασκευής η οποία συνήθως περιορίζεται στην συμπεριφορά υπό τα φορτία λειτουργίας.

Τέλος οι αβεβαιότητες αυξάνουν από την ελλιπή πληροφόρηση σχετικά με την κατάσταση ορισμένων δομικών στοιχείων σχετικά με την διάβρωση, την κόπωση, τα μήκη αγκυρώσεως κλπ. Οι έλεγχοι αυτοί μπορεί να περιορισθούν στο ελάχιστο εάν στην οικοδομή έχουν εφαρμοσθεί οι προβλεπόμενες παραδοχές της αρχικής μελέτης.

2.6.2 Τεχνική Έκθεση για την συμπεριφορά της κατασκευής

Λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία - παρατηρήσεις των προηγούμενων υποπαραγράφων 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 2.2.4 συντάσσεται Τεχνική Έκθεση που αναφέρεται στα αίτια, την ερμηνεία των βλαβών και την κρίση για την συμπεριφορά της κατασκευής καθώς και άλλες τεχνικές παρατηρήσεις όπως :

- σύγκριση φασμάτων αποκρίσεως με φάσματα σχεδιασμού
- αστοχία υποστυλωμάτων από έκκεντρη θλίψη, διαγώνιο εφελκυσμό ή συνδυασμό -των.
- ψαθυρή αστοχία υποστυλωμάτων
- αστοχία από ασύμμετρη διάταξη στοιχείων ακαμψίας σε κάτοψη ή όψη (π.χ. μαλακός όροφος)
- δημιουργία ευκάμπτου ορόφου
- κοντά υποστυλώματα
- ασύμμετρη μορφή κατόψεως
- ύπαρξη εσοχών

- αλλαγή χρήσεως
- κακοτεχνίες
- κακή σύλληψη του έργου κλπ.

2.6.3 Παραδοχές Ανασχεδιασμού

Η Τεχνική Έκθεση αυτή θα περιέχει όλα τα στοιχεία και τις πληροφορίες για τον ανασχεδιασμό όπως :

- Κανονιστικό πλαίσιο ανασχεδιασμού
- Σεισμική δράση ανασχεδιασμού
- Καθορισμός ακαμψιών (**K**)
- Υφιστάμενη στάθμη πλαστιμότητας και επιθυμητή στάθμη πλαστιμότητας μετά τις επεμβάσεις (**q**). Για κατασκευές που έχουν δομηθεί με παλαιούς κανονισμούς δεν είναι εφικτές οι τιμές που καθορίζονται από τους σύγχρονους κανονισμούς. Στις περιπτώσεις τέτοιων κατασκευών πρέπει να επιλέγονται συντηρητικές τιμές της τάξεως του **1,50-2,00**
- Επιλογή της μεθόδου αναλύσεως όπως:
 - Γενική μέθοδος γραμμικής δυναμικής, φασματικής ανάλυσης
 - Ισοδύναμη στατική (απλοποιημένη φασματική) μέθοδος ανάλυσης με κατανομή σεισμικών δυνάμεων κατά Ε.Α.Κ.
 - Ισοδύναμη στατική μέθοδος με ομοιόμορφη κατανομή σεισμικών δυνάμεων
 - Ισοδύναμη στατική μέθοδος με τριγωνική κατανομή σεισμικών δυνάμεων
 - Μη γραμμική δυναμική μέθοδος με εν χρόνο ολοκλήρωση
 - Μη γραμμική μέθοδος επιβαλλόμενων μετακινήσεων με εν χρόνο ολοκλήρωση
 - Μοντέλο υπολογισμού
 - Συνδυασμοί δράσεων
 - Συντελεστές ασφαλείας δράσεων και αντιστάσεων (επαρκής αιτιολόγηση χρησιμοποίησης διαφορετικών συντελεστών ασφαλείας απ' αυτούς που προβλέπονται από τους σύγχρονους κανονισμούς).
 - Καθορισμός των διαθέσιμων αντοχών και επιλογή των κατάλληλων συντελεστών ασφαλείας με επαρκή αιτιολόγηση για χρησιμοποίηση

διαφορετικών συντελεστών ασφαλείας απ' αυτούς που προβλέπονται από τους σύγχρονους κανονισμούς.

- Γενικοί και ειδικοί έλεγχοι αντοχής για την κατασκευής και τα επιμέρους δομικά στοιχεία-της.

2.6.4 Μελέτη Επεμβάσεων

Μετά την επιλογή του είδους της επέμβασης θα γίνει έλεγχος ικανοποίησης των κριτηρίων ανασχεδιασμού που καθορίζονται από το κανονιστικό πλαίσιο που έχει επιλεγεί κατά τον ανασχεδιασμό. Η διαδικασία ανασχεδιασμού θα πρέπει να περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα :

1. Προκαταρκτικός σχεδιασμός

- Επιλογή τεχνικών ή/και υλικών, καθώς και του τύπου και διαμόρφωσης της επέμβασης
- Προκαταρκτικός υπολογισμός των διαστάσεων των τυχόν προσθέτων δομικών στοιχείων.
- Προκαταρκτικός υπολογισμός της τροποποιημένης ακαμψίας των επισκευασθέντων / ενισχυθέντων στοιχείων.
- Προκαταρκτικός υπολογισμός της κατάλληλης κατηγορίας πλαστιμότητας και αντίστοιχο συντελεστή συμπεριφοράς. Βάσει των διατάξεων του κανονιστικού πλαισίου του ανασχεδιασμού

2. Ανάλυση

Περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

- Καθορισμός των μη σεισμικών φορτίων (χρήση κτιρίου)
- Καθορισμός της σεισμικής δράσης. Η σεισμική δράση που θα εφαρμοσθεί στην ανάλυση καθορίζεται με τη μεθοδολογία που αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.2.6 (Παραδοχές Ανασχεδιασμού).
- Επιλογή προσωμοίωματος υπολογισμού
- Ακαμψίες τροποποιημένες στα δομικά στοιχεία που ενισχύονται και νέες ακαμψίες στα πρόσθετα στοιχεία.
- Κατηγορία πλαστιμότητας και νέος συντελεστής συμπεριφοράς.
- Εφαρμογή της κατάλληλης μεθόδου ανάλυσης.
- Συνδυασμοί δράσεων.

3. Έλεγχος

Ο έλεγχος αφορά τις οριακές καταστάσεις αστοχίας ή / και λειτουργικότητας με βάση τις απαιτήσεις του κανονιστικού πλαισίου ανασχεδιασμού, και αφορά την ικανοποίηση της βασικής ανισότητας ασφάλειας για τους σεισμικούς αλλά και μη σεισμικούς συνδυασμούς δράσεων σε όλες τις διατομές των επισκευαζόμενων ή νέων δομικών στοιχείων, καθώς και σε κρίσιμες διατομές του συνόλου της κατασκευής και της θεμελίωσης.

Για την διεξαγωγή του ελέγχου απαιτούνται τα εξής επιμέρους βήματα:

3.1 Αντοχές σχεδιασμού

Για τα υφιστάμενα υλικά ισχύουν όσα αναφέρονται σε προηγούμενες παραγράφους. Για τα πρόσθετα υλικά που συνδέονται με υφιστάμενα για την επισκευή/ενίσχυση των δομικών στοιχείων, οι αντοχές σχεδιασμού πρέπει να υπολογίζονται με αυξημένους συντελεστές (γ_M) λόγω της αβεβαιότητας που προκύπτει από το είδος των εργασιών και την αδυναμία αποτελεσματικού ποιοτικού ελέγχου.

3.2 Προσομοιώματα συμπεριφοράς επισκευασμένων / ενισχυμένων στοιχείων και συνδέσεων

Οι αντοχές των δομικών στοιχείων που έχουν δεχθεί επισκευή ή και ενίσχυση στις κρίσιμες διατομές τους, καθώς και οι αντοχές των συνδέσεων, πρέπει να υπολογίζονται συντηρητικά, λαμβάνοντας υπόψη του μηχανισμούς μεταφοράς δυνάμεων. Για τον σκοπό αυτό απαιτείται και η εφαρμογή του κατάλληλου συνολικού συντελεστή ασφαλείας γ_{Rd} λόγω αβεβαιοτήτων διεπιφανειών.

3.3 Κατασκευαστικά σχέδια/ Τεχνική περιγραφή

Η μελέτη επισκευής θα περιλαμβάνει λεπτομερή Τεχνική περιγραφή και κατασκευαστικά σχέδια τα οποία είναι δυνατόν να αναθεωρηθούν και ανασυνταχθούν κατά την φάση της κατασκευής.

Η τεχνική περιγραφή καθώς και τα κατασκευαστικά σχέδια θα είναι λεπτομερή και θα παρέχουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την άρτια εκτέλεση του έργου, δεδομένου ότι η αποτελεσματικότητα των εργασιών επεμβάσεων εξαρτάται από την πληρότητα αυτών των σχεδίων.

2.6.5 Τεύχη και σχέδια μελέτης

1. Τα τεύχη της μελέτης πρέπει να περιλαμβάνουν :

- Τεχνική έκθεση αυτοψίας / Επιθεωρήσεως / αποτυπώσεως
- Τεχνική έκθεση αξιολόγησης και δικαιολόγησης των αποφάσεων επέμβασης
- Τεχνική έκθεση εφαρμογής επεμβάσεων
- Παραρτήματα των παραπάνω εκθέσεων με υποστηρικτικά στοιχεία όπως:

- Αποτελέσματα επί τόπου μετρήσεων και εργαστηριακών δοκιμών
- Υπολογισμούς αναλύσεων και ελέγχων
- Προδιαγραφές υλικών και εργασιών καθώς και απαιτήσεις ποιοτικού ελέγχου
- Τεχνική έκθεση με πιθανές προβλέψεις μέτρων συντήρησης.

2. Τα σχέδια της μελέτης πρέπει να καλύπτουν τις παρακάτω περιπτώσεις:

- Γενικά σχέδια αποτύπωσης των βλαβών
- Γενικά σχέδια περιγραφής των επεμβάσεων
- Σχέδια λεπτομερειών

2.6.6 Επίβλεψη και ποιοτικοί έλεγχοι

1. Επίβλεψη

Οι εργασίες της επέμβασης πρέπει να επιβλέπονται από άτομα που έχουν τα κατάλληλα προσόντα και είναι διπλωματούχοι Πολιτικοί Μηχανικοί πενταετούς εμπειρίας σε παρόμοια έργα. Ο επιβλέπων θα αναγράφεται στην οικοδομική άδεια που θα εκδίδεται υποχρεωτικά για εργασίες επισκευών. Ο επιβλέπων οφείλει να έχει στενή συνεργασία με τον μελετητή του έργου. Λόγω της ιδιομορφίας των εργασιών ο Μηχανικός πρέπει να έχει πείρα σε προβλήματα ευστάθειας και πλήρη γνώση των κανονισμών προλήψεως ατυχημάτων. Λόγω της πρωτοτυπίας των εργασιών επισκευής και την δυσχέρειας τυποποίησης τους ο Μηχανικός ή συνεργάτης-του(τες-του) πρέπει να είναι παρών κατά τις εργάσιμες ώρες στον χώρο εργασιών. Στα βασικά του καθήκοντα μεταξύ άλλων είναι:

- Συνεχής έλεγχος των μέτρων ασφαλείας .
- Έλεγχος των κατασκευαστικών σχεδίων αν προσαρμόζονται με την πραγματικότητα και όπου απαιτούνται τροποποιήσεις ενημέρωση του μελετητή Μηχανικού για τον τρόπο αντιμετώπισης -των.
- Έλεγχος των υλικών και των προδιαγραφών τους αν είναι συμβατά με των της μελέτης.
- Έλεγχος των συνεργείων, αν έχουν εμπειρία και ειδίκευση σε τέτοιου είδους κατασκευές.
- Συνίσταται να υπάρχει στενή συνεργασία, επιβλέποντα με τον μελετητή Μηχανικό ο οποίος έχει πλήρη γνώση του συγκεκριμένου αντικειμένου.

2. Ποιοτικός έλεγχος

Πρέπει να διασφαλίζεται η ποιότητα των υλικών και εργασιών της επέμβασης. Προς τούτο, ο μελετητής Μηχανικός πρέπει να υποβάλλει στον κύριο του έργου ένα πλήρες σχέδιο διαδικασιών και ελέγχων για διασφάλιση της ποιότητας των υλικών και των εργασιών, όπως απαιτείται από τις σχετικές προδιαγραφές, το

οποίο πρέπει να τηρείται από τον κατασκευαστή του έργου. Το σχέδιο αυτό πρέπει να καλύπτει τα παρακάτω θέματα:

2.1 Γενικά

- Εξέταση σχετικά με τη τεχνική γνώση και την εμπειρία του προσωπικού
- Εξέταση των όρων ασφαλείας κατά την εκτέλεση (πρόσβαση σε διόδους διαφυγής, προσωρινή αντιστήριξη κλπ)
- Εξέταση των πιστοποιητικών των υλικών και πιθανώς των δοκιμών παραλαβής (σύνθεση, σταθερότητα όγκου, συνθήκες χρήσης κλπ)
- Εξασφάλιση της υγείας από την χρήση δυνητικώς βλαβερών υλικών ή συσκευών επιτόπου μετρήσεων
- Εξασφάλιση της κατάλληλης επιθεώρησης από ειδικευμένο μηχανικό καθ' όλη τη διάρκεια της κατασκευής.

2.2 Επεξεργασία των επιφανειών

- Αναγνώριση οπτική ή και με όργανα όλων των επιφανειών που χρειάζονται επέμβαση. Επεξεργασία της επιφάνειας μπορεί να χρειάζεται αυτή καθ' αυτή, ή ως ένα προπαρασκευαστικό μέτρο για περαιτέρω επέμβαση, όπως προσθήκη νέων υλικών.
- Επιλογή των κατάλληλων περιοχών προκειμένου να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητα των μεθόδων, του εξοπλισμού και του προσωπικού
- Έλεγχος της αποτελεσματικότητας των τεχνικών καθαρισμού (αμμοβολή, υδροβολής ή υδραμμοβολής, μηχανική/θερμική/χημική απολέπιση).
- Σε σημαντικές περιπτώσεις, προτείνεται να συντάσσονται και υπογράφονται πρωτόκολλα παραλαβής για κάθε υπο επεξεργασία επιφάνεια.
- Πρέπει να ετοιμασθεί «**Πρόγραμμα δράσης**» που θα προδιαγράφονται τα διορθωτικά βήματα που θα λαμβάνονται στις περιπτώσεις όπου οι διαδικασίες διασφάλισης της ποιότητας δείχνουν ότι δεν επιτυγχάνεται η απαιτούμενη ποιότητα.

2.3 Επισκευή ρωγμών, κενών

- Έλεγχος του καθαρισμού και διαδικασία προετοιμασίας.

- Δοκιμή των υλικών πλήρωσης ή συγκολλήσεως.
- Πιθανή μέτρηση των τοπικών τάσεων που δημιουργούνται κατά τις εργασίες πλήρωσεως με ένεμα.
- Έλεγχος των τάσεων και παραμορφώσεων που δημιουργούνται με την εφαρμογή εξωτερικών φορτίων πριν από την πλήρωση ανοικτών ρωγμών.
- Οπτική επιθεώρηση της τελικής εργασίας.
- Πιθανή εξαγωγή πυρήνων σε επιλεγμένες περιοχές ελέγχου, ώστε να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα των ενεμάτων.

2.4 Μανδύες

- Έλεγχος προετοιμασίας της επιφάνειας.
- Δυνατότητα συγκόλλησης.
- Έλεγχος της συμπεριφοράς των διεπιφανειών σε καταλλήλως προετοιμασμένα δοκίμια υπό συνθήκες αναμενόμενου τύπου φόρτισης (κυρίως δοκιμές εξόλκευσης και διατμητικές δοκιμές μεταξύ υπαρχόντων και προτιθέμενων υλικών).

2.5 Πρόσθετες εισαγόμενες κατά την επισκευή / ενίσχυση δυνάμεις

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι παρακάτω περιπτώσεις :

- Περισφίξεις.
- Προένταση.
- Ανύψωση και σφήνωση.
- Εξέταση και ενδεχόμενη προ-δοκιμασία περιοχών όπου θα εφαρμοσθούν συγκεντρωμένες δυνάμεις (περιλαμβανομένων των περιοχών αγκύρωσης).
- Παρακολούθηση παραμορφώσεων στο χρόνο.
- Έλεγχος αλληλεπιδράσεων με άλλες κατηγορίες επεμβάσεων.
- Μετρήσεις τάσεων, παραμορφώσεων στην κατασκευή κατά την εφαρμογή των δυνάμεων, καθώς και σύγκριση με αναμενόμενες τιμές.
- Έλεγχος μη αποδεκτών εγκάρσιων μετατοπίσεων.

- Έλεγχος αντιδιαβρωτικών μέτρων.

2.6.7 Συντήρηση

Η μεγάλη ευαισθησία των διεπιφανειών που δημιουργούνται με την επισκευή/ενίσχυση, καθώς και η χρήση νέων υλικών, απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή ως προς τις συνθήκες των έργων επέμβασης κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της. Στα τεύχη της μελέτης πρέπει να περιλαμβάνονται ειδικές προτάσεις σχετικά με τα πιθανά πρόσθετα μέτρα συντήρησης που χρειάζονται οι περιοχές που υπέστησαν επισκευή / ενίσχυση, όπως για παράδειγμα :

- Περιοδική επιθεώρηση
- Περιοδικός έλεγχος της αποτελεσματικότητας (και πιθανώς εντατικοποίησης) των μέτρων ανθεκτικότητας.
- Περιοδική δοκιμή (σε περιπτώσεις κτιρίων με μεγάλη σπουδαιότητα)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΣΤΙΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ

3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

3.1.1 Θλίψη στην διεπιφάνεια μεταξύ νέου και παλαιού σκυροδέματος

Η θλιπτική αντοχή κάθετα στην διεπιφάνεια μεταξύ ενός παλαιού και ενός νέου σκυροδέματος μπορεί να λαμβάνεται ίση με την μικρότερη θλιπτική αντοχή των δύο υλικών. Οι θλιπτικές παραμορφώσεις τόσο στο παλαιό, όσο και στο νέο σκυροδέμα είναι μεγαλύτερες στην περιοχή της διεπιφάνειας των δύο υλικών. Έτσι, προκύπτει μειωμένο φαινόμενο μέτρο ελαστικότητας, καθώς και αυξημένες μέσες παραμορφώσεις, κυρίως για υψηλές τάσεις (κοντά στην αντοχή). Πάντως, σε συνήθεις περιπτώσεις, αυτό το φαινόμενο μπορεί να αμεληθεί.

3.1.2 Θλίψη προρηγματωμένου σκυροδέματος

Η επιβολή θλίψεως κάθετα σε μία προρηγματωμένη επιφάνεια οδηγεί στην ανάπτυξη θλιπτικών τάσεων προτού να κλείσει πλήρως η ρωγμή. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται :

- στην (αναπόφευκτη) παρουσία ταυτόχρονων διατμητικών παραμορφώσεων κατά μήκος της διεπιφάνειας, οι οποίες φέρουν τα χείλη της ρωγμής σε επαφή πριν απ' τον μηδενισμό του ανοίγματος της

- στην παρουσία παγιδευμένου υλικού (λόγω της ρηγματώσεως) μέσα στην διεπιφάνεια. Πρέπει, πάντως, να ληφθεί υπ' όψη ότι η ανακύκλωση των δράσεων δηλαδή, διαδοχικά ανοίγματα και κλεισίματα της ρωγμής, έχουν συνέπεια την σταδιακή μείωση της θλιπτικής τάσεως η οποία μπορεί να μεταφερθεί από ανοιχτές ρωγμές.

Επομένως, μία συντηρητική αντιμετώπιση είναι να αμεληθούν οι θλιπτικές τάσεις οι επιστρατευόμενες πριν απ' το πλήρες κλείσιμο μιας ρωγμής.

3.1.3 Συνοχή μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος

Συνοχή είναι η μέγιστη διατμητική τάση (αντίσταση), η οποία μπορεί να μεταφερθεί κατά μήκος μιας διεπιφάνειας, όταν η ορθή θλιπτική τάση στην διεπιφάνεια είναι μηδενική και όταν δεν υπάρχει οπλισμός ο οποίος να διαπερνά την διεπιφάνεια.

Η συνοχή οφείλεται κυρίως στον χημικό δεσμό του νέου με το παλαιό σκυρόδεμα. Η μέγιστη τιμή συνοχής επιστρατεύεται για τιμές της σχετικής ολισθήσεως κατά μήκος της διεπιφάνειας από 0,01mm-0,02 mm, ενώ διατηρείται πρακτικώς αμείωτη για τιμές της σχετικής ολισθήσεως έως 0,50 mm περίπου.

Η τιμή της αντοχής συνοχής μπορεί να λαμβάνεται ίση με:

1. **0,25 f_{ctk}** , για λείες επιφάνειες σκυροδέματος, χωρίς να έχει προηγηθεί καμία επεξεργασία (π.χ. η επιφάνεια που προκύπτει κατά την σκυροδέτηση, μετά από την εξομάλυνση με μυστρί).
2. **0,75 f_{ctk}** , για διεπιφάνειες οι οποίες έχουν υποστεί τεχνητή τράχυνση πριν απ' την χύτευση του νέου σκυροδέματος (μέσω αμμοβολής, υδροβολής, κλπ.).
3. **1,00 f_{ctk}** , όταν το νέο σκυρόδεμα εφαρμόζεται πάνω στο υπάρχον διαφερασμού (υπό πίεση) ή όταν το νέο σκυρόδεμα χυτεύεται μετά από την εφαρμογή ενός ισχυρού συνδετικού υλικού (π.χ. κόλλας) στην διεπιφάνεια, όπου, f_{ctk} είναι η χαρακτηριστική τιμή (**5%**) της εφελκυστικής αντοχής του ασθενέστερου από τα δύο σκυροδέματα.

Πρέπει, πάντως, να ληφθεί υπ' όψη ότι η λείανση της διεπιφάνειας και η ενδεχόμενη απώλεια του χημικού δεσμού μεταξύ των δύο σκυροδεμάτων, κατά την διάρκεια μεγάλου εύρους ανακυκλιζόμενων μετακινήσεων, ενδέχεται να προκαλέσουν σημαντική μείωση της συνοχής. Γι' αυτόν τον λόγο, η συνοχή δεν λαμβάνεται υπ' όψη κατά τους ελέγχους που πραγματοποιούνται σε οριακή κατάσταση αστοχίας.

Στην περίπτωση διεπιφανειών κάθετα στις οποίες ασκείται θλιπτική τάση (είτε λόγω εξωτερικού φορτίου είτε λόγω δράσεως σφικτήρα του οπλισμού που τις διαπερνά), η διατμητική αντίσταση επιστρατεύεται για σχετικώς μεγάλες τιμές της σχετικής ολισθήσεως. Σ' αυτήν την περίπτωση, η μέχρι μηδενισμού μείωση της συνοχής είναι περισσότερο πιθανή.

3.1.4 Τριβή μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος

Η διατμητική τάση που μεταφέρεται λόγω τριβής κατά μήκος μιας ασυνέχειας (διεπιφάνειας) είναι συνάρτηση της σχετικής ολισθήσεως s , των δύο επιφανειών, της ορθής θλιπτικής τάσεως σ_0 , στην διεπιφάνεια, καθώς και της τραχύτητας. Η μέγιστη διατμητική αντίσταση τ_u , μπορεί να υπολογίζεται, εν γένει, μέσω της σχέσεως:

$$\tau_u = \mu \sigma_0$$

όπου, μ συντελεστής τριβής, χαρακτηριστικός της τραχύτητας της διεπιφάνειας.

Πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη ότι ο συντελεστής τριβής μειώνεται αυξανόμενης της ορθής θλιπτικής δυνάμεως στην διεπιφάνεια. Αυτή η μείωση είναι ιδιαίτερα έντονη στην περίπτωση μικρών τιμών της σ_0 . Επί πλέον, εάν η διεπιφάνεια αναμένεται να υποβληθεί σε ανακυκλιζόμενες μετακινήσεις, θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη κατάλληλη μείωση της διατμητικής της αντιστάσεως λόγω τριβής.

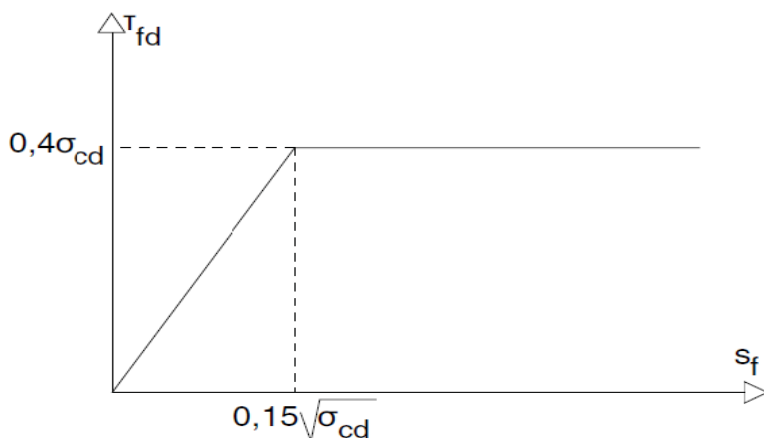
Η τιμή σχεδιασμού, T_{fud} , της διατμητικής αντοχής μιας διεπιφάνειας λόγω τριβής, μπορεί να υπολογίζεται μέσω των ακόλουθων σχέσεων :

1. Στην περίπτωση μιας **λείας διεπιφάνειας**, κατά τον ορισμό της παραγράφου $T_{fud} = 0,4 \sigma_{cd}$

όπου, σ_{cd} είναι η τιμή σχεδιασμού της ορθής θλιπτικής τάσεως στην διεπιφάνεια και περιλαμβάνει :

- την θλιπτική τάση λόγω εξωτερικών δράσεων για τον εκάστοτε υπό εξέταση συνδυασμό δράσεων
- την αντίστοιχη θλιπτική τάση λόγω δράσεως σφικτήρα του οπλισμού που διαπερνά την διεπιφάνεια.

Εάν λαμβάνεται υπ' όψη η δυσμενής επιρροή της τριβής, τότε αντί του συντελεστή 0,40 να λαμβάνεται υπ' όψη συντελεστής ίσος με 0,60.



Η μέγιστη διατμητική αντίσταση επιστρατεύεται για σχετική ολίσθηση στην διεπιφάνεια ίση με:

$$s_{fu} = 0,15\sqrt{\sigma_{cd}} \text{ (mm, MPa)}$$

Μπορεί να ληφθεί υπ' όψη γραμμική μεταβολή της διατμητικής τάσεως τριβής και της σχετικής ολισθήσεως, για τιμές της s_f από 0 έως s_{fu} . Για μεγαλύτερες τιμές της ολισθήσεως και για μεγάλο εύρος τιμών της s_f , μπορεί να θεωρηθεί ότι η διατμητική αντίσταση διατηρείται σταθερή και ίση με την μέγιστη τιμή της.

Η μειωμένη, λόγω ανακυκλιζόμενων ολισθήσεων, μέγιστη αντίσταση τριβής μπορεί να υπολογίζεται μέσω της ακόλουθης σχέσεως:

$$\tau_{fud,n} = \tau_{fud} \left(1 - \delta\sqrt{n-1}\right)$$

Όπου

$\tau_{fud,n}$ η διατμητική αντίσταση μετά από n κύκλους

τ_{fud} η διατμητική αντίσταση κατά τον πρώτο κύκλο και $\delta=0,15$ (σταθερά)

2. Στην περίπτωση μιας **τραχείας διεπιφάνειας** ή μιας **διεπιφάνειας που έχει προκύψει από εφαρμογή νέου σκυροδέματος υπό πίεση ή παρουσία συνδετικού υλικού στην διεπιφάνεια**.

$$\tau_{fud} = 0,4 \left(f_{cd}^2 \sigma_{cd}\right)^{1/3}$$

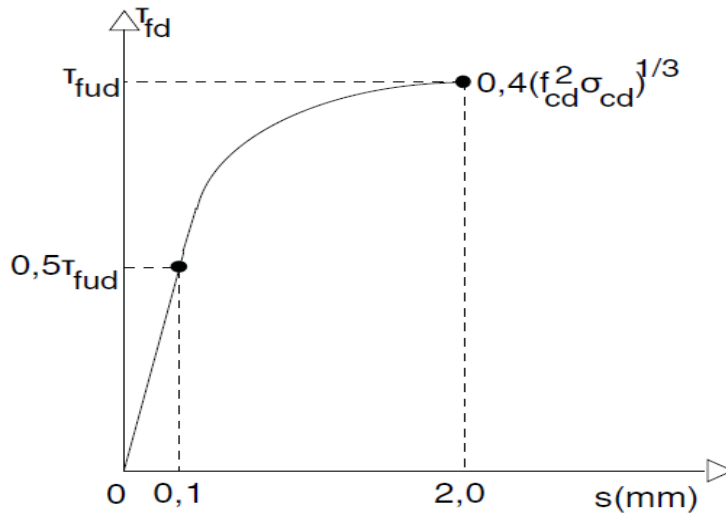
όπου,

f_{cd} : η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής αντοχής του ασθενέστερου από τα δύο σκυροδέματα της διεπιφάνειας.

Εάν λαμβάνεται υπ' όψη η δυσμενής επιρροή της τριβής, ο συντελεστής 0,4 πρέπει να αντικαθίσταται από συντελεστή 0,65. Η μέγιστη διατμητική αντίσταση επιστρατεύεται για σχετική ολίσθηση κατά μήκος της διεπιφάνειας περίπου ίση με 2mm. Εάν δεν αναμένονται ή εάν δεν επιτρέπονται μεγάλες σχετικές ολισθήσεις κατά μήκος μιας διεπιφάνειας, η επιστρατευόμενη διατμητική αντίσταση (μικρότερη της μέγιστης) μπορεί να υπολογίζεται κατά τα επόμενα:

- Για τιμές της σχετικής ολισθήσεως από 0-0,1mm και για τιμές της διατμητικής αντιστάσεως από 0 μέχρι το 50% του μεγίστου, η μεταξύ τους σχέση μπορεί να λαμβάνεται γραμμική.
- Για τιμές της σχετικής ολισθήσεως από 0,1-2mm, η διατμητική αντίσταση συνδέεται με την ολίσθηση μέσω της ακόλουθης σχέσεως:

$$\left(\frac{\tau_f}{\tau_{fud}}\right)^4 - 0,5\left(\frac{\tau_f}{\tau_{fud}}\right)^3 = 0,3s - 0,03, \quad [s \text{ in mm}]$$



Η ανακύκλιση των επιβαλλόμενων ολισθήσεων κατά μήκος της διεπιφάνειας προκαλεί σημαντική μείωση της αποκρίσεως, λόγω λειάνσεως της διεπιφάνειας. Η μειωμένη διατμητική αντίσταση μετά από n κύκλους μπορεί να υπολογίζεται μέσω της ακόλουθης σχέσης :

$$\tau_{fn}(s) = \tau_{f1}(s) \left(1 - \left[0,002(n-1) \left(\frac{s}{s_u} \right) \left(\frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}} \right) \right] \right)^{1/3}$$

όπου

s: η μέγιστη επιβαλλόμενη ανακυκλιζόμενη ολίσθηση

$\tau_{f1}(s)$: η διατμητική αντίσταση κατά τον πρώτο κύκλο για επιβαλλόμενη ολίσθηση s

$s_u=2,0$ mm

3.2 ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΝΕΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Νέος οπλισμός μπορεί να αγκυρωθεί σε υπάρχοντα οπλισμό ή σε υπάρχον σκυρόδεμα ή σε νέο σκυρόδεμα

3.2.1 Αγκύρωση σε υπάρχοντα οπλισμό

Εάν είναι δυνατή η παράθεση νέων και παλαιών ράβδων οπλισμού, τότε ο υπολογισμός του ματίσματος μπορεί να γίνει κατά τα προβλεπόμενα στον Κανονισμό για την μελέτη έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Εάν το απαιτούμενο κατά τον Κανονισμό μήκος αλληλοεπικαλύψεως δεν διατίθεται, η νέα ράβδος μπορεί να συγκολληθεί στην παλαιά, υπό τις εξής προϋποθέσεις:

- Η παλαιά ράβδος είναι της ίδιας ή μεγαλύτερης διαμέτρου απ' την νέα.
- Το όριο διαρροής της παλαιάς ράβδου είναι ίσο ή μεγαλύτερο από εκείνο της νέας ράβδου.
- οι δύο χάλυβες να είναι συγκολλησιμοι.

Συνιστάται να αποφεύγεται η συγκόλληση σε ράβδους που ευρίσκονται υπό μεγάλη τάση. Εάν η νέα ράβδος μπορεί να τοποθετηθεί παράλληλα με την παλαιά και σε επαφή με αυτήν, μπορεί να πραγματοποιηθεί πλαγιορραφή. Το μήκος αλληλοεπικαλύψεως, σ' αυτήν τη περίπτωση, δεν πρέπει να υπολείπεται του 15πλάσιου της διαμέτρου της νέας ράβδου. Μέσα σ' αυτό το μήκος θα πρέπει να γίνουν τουλάχιστον δύο συγκολλήσεις, η καθεμιά με μήκος όχι μικρότερο από το 5πλάσιο της διαμέτρου της νέας ράβδου.

Συγκόλληση δύο ράβδων κατά κεφαλήν επιτρέπεται μόνον εάν έχει προηγηθεί κατασκευή τέτοιων συγκολλήσεων υπό τις ίδιες εργοταξιακές συνθήκες και εργαστηριακή δοκιμή τους σε εφελκυσμό ή και σε άλλου είδους φορτίσεις.

Εναλλακτικά, η σύνδεση δύο ράβδων υπό μηδενική εκκεντρότητα μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω αμφοτερόπλευρης πλαγιορραφής των δύο ράβδων με μικρού μήκους συγκολλησίσιμες ράβδους (μήκους τουλάχιστον 10Φ), οι οποίες τοποθετούνται συμμετρικά ως προς τον διαμήκη άξονα των συνδεόμενων ράβδων. Το μήκος συγκολλήσεως των συνδεόμενων ράβδων με καθεμιά απ' τις μικρού μήκους ράβδους δεν πρέπει να υπολείπεται του 5Φ.

Εάν δεν είναι δυνατή η επαφή της νέας με την παλαιά ράβδο και η σύνδεση πρέπει να είναι έκκεντρη, μπορούν να χρησιμοποιούνται για την σύνδεση κατάλληλες τεχνικές, υπό τον όρο ότι καλύπτονται από επαρκή αναλυτικά και πειραματικά στοιχεία. Εάν οι νέες ράβδοι περιβάλλονται από νέους συνδετήρες συγκολλημένους πάνω στον υπάρχοντα κλωβό οπλισμού, η συμπεριφορά τους βελτιώνεται σημαντικά.

3.2.2 Αγκύρωση σε υπάρχον σκυρόδεμα

Ο νέος οπλισμός μπορεί να αγκυρωθεί στο υπάρχον σκυρόδεμα αμέσως ή εμμέσως μέσω αγκυρίων και βλήτρων.

3.2.3 Αγκύρωση σε νέο σκυρόδεμα

Ο νέος οπλισμός μπορεί να αγκυρωθεί στο νέο σκυρόδεμα σύμφωνα με τα προβλεπόμενα απ' τον ισχύοντα Κανονισμό για την Μελέτη Έργων από

Οπλισμένο σκυρόδεμα, υπό τον όρο ότι η διεπιφάνεια παλαιού και νέου σκυροδέματος ελέγχεται για την μεταφορά δυνάμεων στο παλαιό σκυρόδεμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιλογή της κατάλληλης λύσης για την επισκευή ή την ενίσχυση μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα, προϋποθέτει ότι ο Μηχανικός γνωρίζει καλά τα υλικά και τις τεχνικές που διατίθενται για τέτοιου είδους επεμβάσεις. Στην πραγματικότητα, ο Μηχανικός της πράξης που δεν έχει ασχοληθεί με θέματα επεμβάσεων, θα αντιμετωπίσει το θέμα με δυσκολία, επειδή τα παραδοσιακά υλικά της οικοδομής (σκυρόδεμα και χάλυβας), είναι από μόνα τους ανεπαρκή να δώσουν την λύση, έστω και αν εξακολουθούν να παίζουν πρωτεύοντα ρόλο στην διαδικασία.

Συχνά απαιτείται να χρησιμοποιηθούν νέα υλικά και νέες τεχνολογίες σε συνδυασμό με τροποποιημένα παραδοσιακά υλικά. Επειδή συχνά τα παραπάνω υλικά και τεχνολογίες εφαρμόζονται κάτω από ειδικές συνθήκες, χρειάζεται να διασφαλιστεί ένα σύστημα ποιοτικού ελέγχου σε επίπεδο σημαντικά υψηλότερο από αυτό που εφαρμόζεται στις νέες κατασκευές.

Επιπλέον θα πρέπει να αντιμετωπιστούν νέα κρίσιμα θέματα που ανακύπτουν, όπως αυτό της διασφάλισης της συνεργασίας των παλαιών και νέων υλικών . Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία σύντομη αναφορά στα διάφορα υλικά και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται συχνότερα στις επεμβάσεις των κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος.

Τα θέματα που παρουσιάζονται είναι τα εξής:

- Ειδικοί τύποι Σκυροδέματος.
- Πολυμερικές κόλλες.
- Επισκευαστικά κονιάματα.
- Επικολλητά φύλλα από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs)
- Διατμητικοί σύνδεσμοι-Αγκύρια.
- Αγκυρώσεις και συγκολλήσεις νέων ράβδων οπλισμού.

Μέθοδοι όπως το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, οι ενέσεις κόλλας, οι μεταλλικοί σύνδεσμοι και τα ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs) που κρίνονται σημαντικά, σε σχέση με τον τρόπο που εφαρμόζεται σήμερα η τεχνολογία των επεμβάσεων στον Ελληνικό χώρο, αναπτύσσονται εκτενέστερα.

4.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Οι βασικές έννοιες της μηχανικής αποκατάστασης είναι οι εξής :

- **Επισκευή (repair)** : Ορίζεται ως η επαναφορά βλαβέντος δομικού στοιχείου ή κτίσματος στην κατάσταση προ της βλάβης. Είναι φανερό ότι το ίδιο ή ανάλογο αίτιο (π.χ. σεισμός) θα προκαλέσει κατά τεκμήριο την ίδια ή ανάλογη βλάβη. Έτσι σε περίπτωση εκτεταμένων ή σοβαρών βλαβών είναι φρόνιμο η επέμβαση να περιλαμβάνει και ενίσχυση της κατασκευής, ενώ σε περιορισμένες ή μικρές βλάβες αρκεί συνήθως η επισκευή.
- **Ενίσχυση (strengthening)** : Ορίζεται ως το σύνολο των μέτρων αναβάθμισης των μηχανικών χαρακτηριστικών (αντοχή, δυσκαμψία, πλαστιμότητα κλπ.) δομικού στοιχείου ή κτίσματος μέχρις ενός επιθυμητού ή απαιτητού επιπέδου (π.χ. έναντι των σεισμικών δράσεων σχεδιασμού που επιβάλλουν οι ισχύοντες κανονισμοί). Σημειώνεται ότι η ενίσχυση προχωρά πέραν της επισκευής τυχόν βλαβών, είναι όμως δυνατή και η προληπτική ενίσχυση χωρίς την παρουσία βλαβών. Το επίπεδο και τα μέτρα ενίσχυσης προσδιορίζονται από ειδική μελέτη.
- **Ανακατασκευή (reconstruction)** : Ορίζεται ως η κατασκευή, στην θέση του παλιού, ενός νέου δομικού στοιχείου ή κτίσματος . Το νέο δομικό στοιχείο ή κτίσμα μπορεί να είναι αντίγραφο ή ανάλογο του υφισταμένου ή ακόμη και τελείως νέο. Η τελική απόφαση βασίζεται σε ιστορικούς, κοινωνικούς, χρηστικούς ή άλλους λόγους.
- **Αναστήλωση (restoration)** : Ορίζεται ως η επαναφορά του δομήματος στην αρχική του μορφή. Είναι όρος που χρησιμοποιείται συνήθως για επεμβάσεις σε μνημειακά κτίσματα και έχει ένα χαρακτήρα αυστηρότητας όσον αφορά τον σεβασμό της ιστορικής φυσιογνωμίας του κτίσματος.
- **Επανάχωση (rehabilitation)** : Ορίζεται ως η περιορισμένη συνήθως διαρρύθμιση και μετατροπή ενός κτιρίου ώστε να εξυπηρετήσει νέες και σύγχρονες χρήσεις και λειτουργίες. Αναφέρεται συνηθέστερα σε αρχιτεκτονικού χαρακτήρα παρεμβάσεις.
- **Διατήρηση (preservation)** : Ορίζεται ως η διαφύλαξη της υπάρχουσας κατάστασης με μέτρα αποτροπής περαιτέρω φθορών.
- **Συντήρηση (conservation)** : Είναι γενικότερος όρος με ευρύτερη χρήση. Υπονοεί συνήθως περιορισμένου ή και πρόσκαιρου, αλλά όχι πρόχειρου χαρακτήρα, μέτρα εν όψει τελικής ή ριζικότερης επέμβασης.
- **Επέμβαση (intervention)** : Είναι γενικότερος όρος που αναφέρεται ή υπονοεί οποιαδήποτε από τις παραπάνω έννοιες ή εργασίες.

4.2 Χρήση ειδικών τύπων σκυροδέματος

Ειδικοί τύποι σκυροδέματος, χρησιμοποιούνται στην Τεχνολογία των Επεμβάσεων για να αντιμετωπιστούν μειονεκτήματα του συμβατικού έγχυτου σκυροδέματος όπως η συστολή ξήρανσης και η μειωμένη συνάφεια του με το παλαιό σκυρόδεμα.

Τα μειονεκτήματα αυτά, σε αντίθεση με ότι ισχύει για τις νέες κατασκευές, αποτελούν συχνά κρίσιμους παράγοντες για την επιτυχία των επεμβάσεων και η αντιμετώπιση τους απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Επιπλέον συχνά απαιτείται αυξημένη αντοχή του νέου σκυροδέματος, για να μειωθεί το μέγεθος της αισθητικής παρέμβασης.

Στην συνέχεια αναπτύσσονται τέσσερις ειδικοί τύποι σκυροδέματος που χρησιμοποιούνται στις επεμβάσεις :

- Το έγχυτο σκυρόδεμα σταθερού όγκου
- το πολυμερικό σκυρόδεμα
- το σκυροτσιμεντόπηγμα
- το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που αποτελεί την πλέον δημοφιλή επιλογή στον Ελληνικό χώρο, και μερικές φορές χρησιμοποιείται με προσθήκη ινών.

4.2.1 Χρήση έγχυτου σκυροδέματος σταθερού όγκου

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

Αυτός ο τύπος του σκυροδέματος έχει υψηλό κόστος παρασκευής. Όμως χαρακτηρίζεται από ένα πλήθος πλεονεκτημάτων ιδιαίτερα σημαντικών στην τεχνολογία των επεμβάσεων. Εδώ επισημαίνονται τα εξής:

- Οι επιτύγχαναμενες αντοχές σε θλίψη μπορεί να φθάσουν μέχρι και το τετραπλάσιο των αντοχών των αντίστοιχων συμβατικών σκυροδεμάτων, ενώ η αντοχή σε εφελκυσμό μπορεί να φθάσει μέχρι και το 20πλάσιο!
- Η σκλήρυνση του σκυροδέματος γίνεται πολύ γρήγορα και επιταχύνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα μπορεί να επιτευχθούν ιδιαίτερα υψηλές αντοχές. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι για συντήρηση δοκιμίων σε θερμοκρασίες της τάξεως των 70° C προέκυψαν αντοχές μέχρι 140 MPa σε διάστημα 5 ωρών από το χρόνο σκυροδέτησης ενώ με θερμοκρασία περιβάλλοντος (200°C) οι αντίστοιχες αντοχές προέκυψαν μέχρι και 100 MPa σε διάστημα 7 ημερών.
- Επιτυγχάνεται εξαιρετικά καλή πρόσφυση με το παλαιό σκυρόδεμα, εξασφαλίζοντας σχεδόν μονολιθική συμπεριφορά του τελικού πολυφασικού στοιχείου.
- Το Μέτρο Ελαστικότητας προκύπτει μέχρι 50% υψηλότερο του αντίστοιχου για συμβατικό σκυρόδεμα στην περίπτωση που το τσιμέντο έχει αντικατασταθεί με πολυμερές, ενώ όταν το νερό αντικατασταθεί με υδατοδιαλυτό πολυμερές (latex) το Μέτρο Ελαστικότητας μπορεί να μειωθεί μέχρι και 50%.
- Επιτυγχάνεται αυξημένη αντίσταση στη επιφανειακή φθορά, στην προσβολή από χημικά και στον παγετό, ενώ παρατηρείται και μία σχετική μείωση του πορώδους και της συστολής ξήρανσης.
- Βασικά μειονεκτήματα των σκυροδεμάτων με πολυμερή είναι ο υψηλός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, η μειωμένη αντίσταση στην

ενανθράκωση του σκυροδέματος, η μικρή αντοχή σε πυρκαγιά και ο σχετικά υψηλός ερπυστικός συντελεστής. Αξίζει επίσης να παρατηρηθεί ότι η βελτίωση των χαρακτηριστικών του σκυροδέματος αυτού του τύπου μειώνεται ραγδαία σε υψηλές θερμοκρασίες.

4.2.2 Χρήση Σκυροτσιμεντοπήγματος

Το σκυροτσιμεντόπηγμα δημιουργείται με αρχική διάστρωση αδρανών μεγάλης διαμέτρου στα καλούπια του προς σκυροδέτηση στοιχείου και στην συνέχεια πλήρωση των κενών των αδρανών με τσιμεντοκονία που εισάγεται υπό πίεση. Τα αδρανή έχουν ελάχιστο μέγεθος κόκκων 10-15 mm.

Το σκυροτσιμεντόπηγμα έχει αρχικά μικρότερη αντοχή από το αντίστοιχο σκυρόδεμα. Με την πάροδο όμως του χρόνου η διαφορά μειώνεται συνεχώς μέχρι που παύει να υπάρχει. Εξάλλου πλεονεκτεί ως προς το συμβατικό σκυρόδεμα επειδή έχει μικρότερη συστολή ξήρανσης, μεγαλύτερη αντοχή στο χρόνο, μεγαλύτερη στεγανότητα και ικανοποιητική πρόσφυση στο παλαιό σκυρόδεμα.

4.2.3 Μέθοδος Εκτοξευόμενου σκυροδέματος (guniting)

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (shotcrete ή guniting) είναι σκυρόδεμα λεπτής διαβάθμισης αδρανών που σκυροδετείται με εκτόξευση. Η εφαρμογή του απαιτεί πάντα, ειδικό εξοπλισμό και κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό. Η ευρέως διαδεδομένη χρήση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στις επισκευές/ενισχύσεις κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος ή ακόμα και κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία οφείλεται κυρίως στα παρακάτω τέσσερα χαρακτηριστικά του:

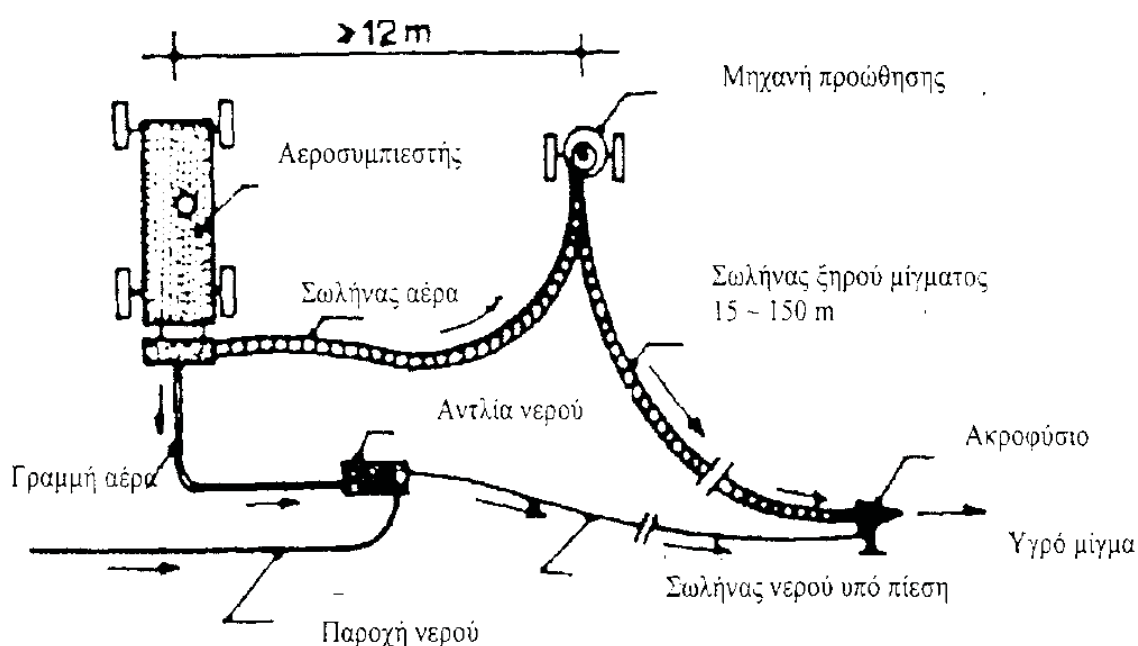
1. Έχει υψηλή θλιπτική αντοχή επειδή ο υδατοσυντελεστής N/T είναι χαμηλός και επειδή επιτυγχάνεται υψηλή συμπύκνωση λόγω της μεγάλης ταχύτητας εκτόξευσης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι αντοχές της τάξης των 70 MPa βρίσκονται μέσα στα πλαίσια συνήθους εφαρμογής της τεχνικής. Πάντως στην καθ' ημέρα πράξη, οι αντοχές που επιδιώκονται δεν ξεπερνούν τα 50 MPa, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι αντοχές μέχρι 35 MPa επιτυγχάνονται σχετικά εύκολα.
2. Η μεγάλη ταχύτητα εκτόξευσης παρέχει δυνατότητα πολύ καλής πρόσφυσης με το υλικό βάσης. Οι διαστάσεις των κόκκων των αδρανών παρέχουν μεγάλη ικανότητα διείσδυσης μέσα στις μικροανωμαλίες της επιφάνειας βάσης.
3. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αυτοστηρίζεται δηλαδή δεν απαιτείται ξυλότυπος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και στο κάτω μέρος οριζοντίων στοιχείων σε στρώσεις πάχους μέχρι και 50 mm.
4. Η εγκατάσταση είναι κινητή και σε συνδυασμό με το είδος του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται επιτρέπει την σκυροδέτηση σε δύσκολες και δυσπρόσιτες θέσεις. Χαρακτηριστικά μπορεί να αναφερθεί ότι "αν υπάρχει χώρος για έναν άνθρωπο και ένα λάστιχο, μπορούμε να σκυροδετήσουμε".

4.2.3.1 Ανάλυση διαδικασίας ξηράς και υγρής ανάμιξης

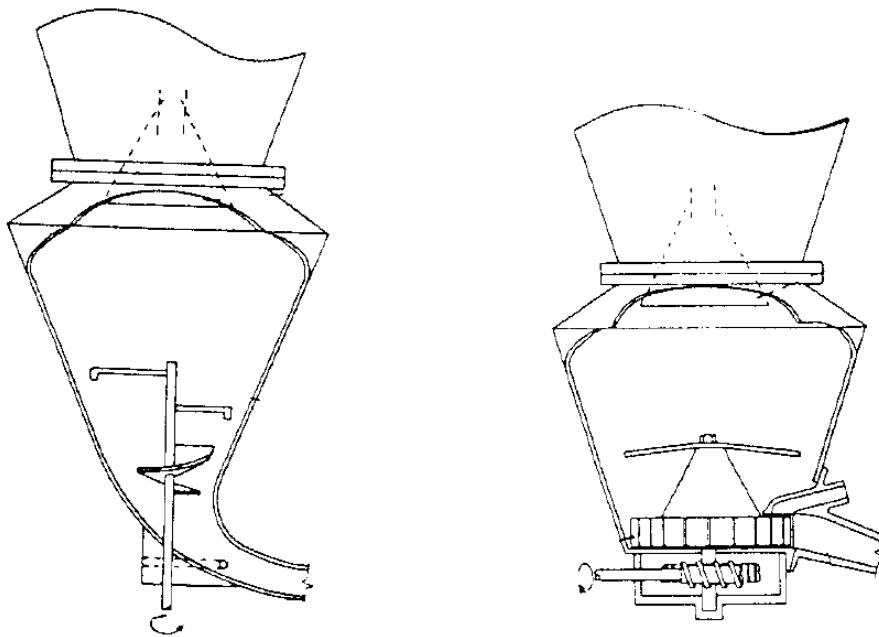
Σήμερα στην πράξη χρησιμοποιούνται δύο διαδικασίες ανάμιξης: Η ξηρά και η υγρά ανάμιξη. Στην διαδικασία ξηράς ανάμιξης ο εξοπλισμός αποτελείται από έναν αεροσυμπιεστή, μια δεξαμενή νερού, την μηχανή προώθησης το ακροφύσιο και φυσικά τους σωλήνες παροχής αέρα, νερού και υλικού. Στο **Σχήμα 4.1** παρουσιάζεται μια σχηματική αναπαράσταση μιας τυπικής διάταξης της παραπάνω εγκατάστασης.

Αρχικά το τσιμέντο και τα αδρανή αναμιγνύονται εν ξηρώ και το μίγμα εισάγεται στην μηχανή προώθησης (**Σχήμα 4.2**). Η προώθηση του μίγματος γίνεται με την βοήθεια πεπιεσμένου αέρα στο λαστιχένιο σωλήνα διανομής και στη συνέχεια στο ακροφύσιο (**Σχήμα 4.4**). Στην είσοδο του ακροφυσίου είναι προσαρμοσμένο το άκρο μιας παροχής νερού, που ελέγχεται από τον χειριστή. Από εκεί το νερό εισάγεται με πίεση στο ακροφύσιο και αναμιγνύεται με τα άλλα συστατικά. Τέλος το υλικό εκτοξεύεται από το ακροφύσιο με μεγάλη ταχύτητα προς την επιφάνεια βάσης.

Στην διαδικασία υγρής ανάμιξης, αρχικά αναμιγνύονται πλήρως τα αδρανή, το τσιμέντο, νερό και το μίγμα εισάγεται στη μηχανή προώθησης. Η προώθηση του μίγματος προς το ακροφύσιο γίνεται όπως και στην ξηρά ανάμιξη με την βοήθεια πεπιεσμένου αέρα μέσα από το σωλήνα διανομής. Εκεί προστίθεται κάποιο επιταχυντικό υλικό, ενώ πρόσθετος πεπιεσμένος αέρας που εισάγεται στο ακροφύσιο αυξάνει την ταχύτητα και βελτιώνει τη διαδικασία εκτόξευσης που ακολουθεί.



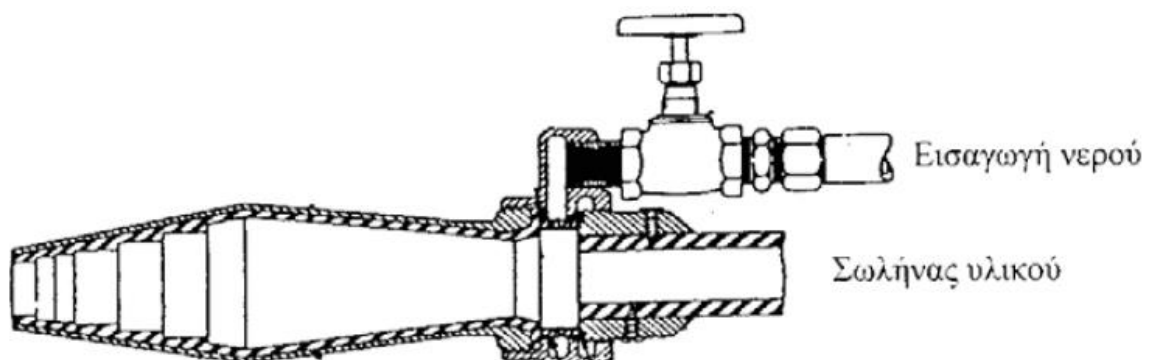
Σχήμα 4.1 Τυπική εγκατάσταση για ξηρά διαδικασία.



Σχήμα 4.2 Σχηματικές τομές τύπου μηχανής προώθησης



Σχήμα 4.3 Τυπική μηχανή προώθησης εμπορίου



Σχήμα 4.4 Τομή ακροφυσίου

Αν θέλαμε να συγκρίνουμε τις δύο διαδικασίες παραγωγής εκτοξευόμενου σκυροδέματος θα μπορούσαμε να παρατηρήσουμε τα εξής:

- Στην **ξηρά διαδικασία** ο έλεγχος της ποσότητας του νερού ανάμιξης γίνεται στο ακροφύσιο εμπειρικά από τον χειριστή, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα προσαρμογής στις ανά πάσα στιγμή διαφορετικές συνθήκες του έργου. Το σκυρόδεμα αποκτά υψηλότερες αντοχές από ότι με την υγρά ανάμιξη και μάλιστα σε μικρό χρονικό διάστημα. Επίσης ο

εξοπλισμός είναι κατάλληλος για χρήση σε μεγάλες αποστάσεις από τη θέση εγκατάστασης (μέχρι 150m), ενώ το κόστος της συνολικής εγκατάστασης δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό, και είναι πολύ χαμηλότερο από το αντίστοιχο κόστος της υγρής διαδικασίας.

- Στην **υγρή διαδικασία** η ποσότητα νερού ελέγχεται στον αναμικτήρα οπότε μπορεί να μετράται επακριβώς, και υπάρχει μεγαλύτερη εγγύηση για τη πλήρη ανάμιξη του νερού με τα άλλα συστατικά. Όταν χρησιμοποιείται η υγρά διαδικασία η σκόνη και το τσιμέντο που διαφεύγουν προς το περιβάλλοντα χώρο είναι σημαντικά μειωμένα σε σύγκριση με ότι συμβαίνει στην ξηρά διαδικασία. Γι' αυτό η τεχνική αυτή είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για χώρους που δεν αερίζονται επαρκώς όπως π.χ. στη κατασκευή υπογείων έργων (σηράγγων κλπ.).

Αξίζει να παρατηρηθεί ότι το κόστος των υλικών παραγωγής ενός m^3 εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι σημαντικά μικρότερο στην περίπτωση της υγρής διαδικασίας επειδή τότε το ανακλώμενο (και συνεπώς άχρηστο) υλικό είναι λιγότερο.

Στον **Πίνακα 1** παρουσιάζονται ενδεικτικά πειραματικά αποτελέσματα που αφορούν δοκίμια εκτοξευόμενου σκυροδέματος που παρήχθησαν με ξηρά και υγρά ανάμιξη. Από μια συγκριτική αξιολόγηση αυτών των αποτελεσμάτων, προκύπτει ότι στην περίπτωση ξηράς ανάμιξης, η διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας εκτοξευόμενου σκυροδέματος παλαιού στοιχείου είναι υπερδιπλάσια της αντίστοιχης αντοχής για υγρά ανάμιξη.

Δείγμα Νο.	Θλιπτική Αντοχή Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος (MPa)	Διατμητική Αντοχή Διεπιφάνειας (MPa)
------------	--	--------------------------------------

A. Εκτοξευόμενο Ξηράς ανάμιξης πάνω σε παλαιό συμβατικό σκυρόδεμα

1	40,3	5,0
2	49,2	4,1
3	40,7	2,9
4	37,3	3,6
5	48,7	6,0
6	31,9	2,8
7	31,6	3,5

Δείγμα Νο.	Θλιπτική Αντοχή Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος (MPa)	Διατμητική Αντοχή Διεπιφάνειας (MPa)
------------	--	--------------------------------------

B. Εκτοξευόμενο Ξηράς ανάμιξης πάνω σε παλαιό εκτοξευόμενο υγρής ανάμιξης

8	33,0	3,9
9	30,1	3,7
10	32,1	3,4

Γ. Εκτοξευόμενο Υγρής ανάμιξης πάνω σε παλαιό εκτοξευόμενο υγρής ανάμιξης

11	33,2	0,9
12		1,3
13	30,5	1,7
14		1,5
15	33,5	2,3

Πίνακας 1 Πειραματικά αποτελέσματα δοκιμών εκτοξευόμενου σκυροδέματος

4.2.3.2 Σύνθεση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος

Η σύνθεση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος ακολουθεί αντίστοιχους κανόνες με αυτούς που ισχύουν για το συμβατικό έγχυτο σκυρόδεμα, και για τον έλεγχο της ποιότητας ισχύουν τα κριτήρια συμμόρφωσης που προβλέπονται στον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος.

Η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών εξαρτάται από το μέγεθος του μεγίστου κόκκου όπως φαίνεται και στον **Πίνακα 2** όπου παρουσιάζονται τα επιτρεπτά όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών. Οι τρεις δυνατές διαβαθμίσεις που παρουσιάζονται στο Πίνακα επιτρέπουν την κατάλληλη επιλογή ανάλογα με τις συνθήκες του έργου. Έτσι για μικρό πάχος σκυροδέτησης ή για την περίπτωση εργασιών οροφής επιλέγεται η λεπτόκοκκος διαβάθμιση (No 1), ενώ στην περίπτωση σκυροδέτησης σχετικά μεγάλου πάχους στοιχείων επιλέγεται η περισσότερο χονδρόκοκκη διαβάθμιση (No 3).

Μέγεθος κόσκινου	Ποσοστό επί τοις εκατό διερχόμενου υλικού		
	Διαβάθμιση No.1	Διαβάθμιση No.2	Διαβάθμιση No.3
3/4 in.(19 mm)	-	-	100
1/2 in.(12 mm)	-	100	80-95
3/8 in.(10 mm)	100	90-100	70-90
No.4 (4.75 mm)	95-100	70-85	50-70
No.8 (2.4 mm)	80-100	50-70	35-55
No.16 (1.2 mm)	50-85	35-55	20-40
No.30 (600 μm)	25-60	20-35	10-30
No.50 (300 μm)	10-30	8-20	5-17
No.100 (150 μm)	2-10	2-10	2-10

Πίνακας 2 Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών για εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

Αξίζει πάντως να επισημανθεί ότι το ανακλώμενο υλικό είναι σημαντικά αυξημένο όταν χρησιμοποιούνται χονδρόκοκκα αδρανή, και προφανώς η σύσταση του περιλαμβάνει αυξημένα ποσοστά από χονδρόκοκκα αδρανή. Εξάλλου είναι προφανές ότι η ποσότητα του ανακλώμενου υλικού αυξάνεται για υψηλές ταχύτητες εκτόξευσης. Όμως, αν μειωθεί η ταχύτητα εκτόξευσης μπορεί να μειωθεί η πρόσφυση με το υλικό βάσης. Έτσι θα πρέπει πάντοτε να επιλεγεί η βέλτιστη ταχύτητα εκτόξευσης για την οποία το ανακλώμενο υλικό είναι ελάχιστο χωρίς να μειώνεται η πρόσφυση με το υλικό βάσης.

Επισημαίνεται ότι στην μελέτη σύνθεσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος πρέπει να ληφθεί υπόψη το υλικό που χάνεται λόγω ανάκλασης, επειδή, λόγω του ανακλώμενου υλικού, ο λόγος T/A (**Τσιμέντο / Αδρανή**) είναι διαφορετικός στην τελική θέση απ' ότι στην θέση εκκίνησης.

Στον **Πίνακα 3** δίνεται μία συσχέτιση συνήθων τιμών του λόγου T/A για την τελική θέση και την θέση εκκίνησης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε μία εφαρμογή με σύνθεση εκτοξευόμενου σκυροδέματος κατηγορίας C 30/35, ο λόγος T/A πήρε τιμές μεταξύ 1:3,5 έως 1:4.

Εκκίνηση	Τελική Θέση
1 :3,0	1 :2,0
1 :3, 5	1 :2,8
1 :4,0	1 :3,25
1 :4,5	1 :3,6
1 :5,0	1 :3,8
1 :6,0	1 :4, 1

Πίνακας 3 Σχέση λόγου T/A στην εκκίνηση και στην τελική θέση

Ο λόγος N/T (Νερό / Τσιμέντο) παίρνει τιμές μικρότερες απ' ότι στο συμβατικό σκυρόδεμα και κυμαίνεται μεταξύ 0,30 και 0,50. Οι, αντίστοιχες τιμές για την περίπτωση που χρησιμοποιείται υγρά ανάμιξη είναι 0,40 και 0,55. Όσον αφορά την ποσότητα του τσιμέντου, ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε συνθήκες εργοταξίου προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

- Για ποσότητες τσιμέντου 300-380 kg/m³ η μέση κυλινδρική αντοχή εκτιμήθηκε 21 MPa.
- Για ποσότητες τσιμέντου 325-425 kg/m³ η μέση κυλινδρική αντοχή εκτιμήθηκε 28 MPa.
- Για ποσότητες τσιμέντου 380-500 kg/m³ η μέση κυλινδρική αντοχή εκτιμήθηκε 35 MPa.

Όπως είναι γνωστό και από την τεχνολογία του συμβατικού σκυροδέματος, στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται λεπτόκοκκα αδρανή η συστολή ξήρανσης είναι υψηλότερη απ' ότι στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται χονδρόκοκκα αδρανή.

Εν γένει, η συστολή ξήρανσης e_{cs} λαμβάνει τιμές που κυμαίνονται μεταξύ $0,6 \times 10^{-3}$ και $1,0 \times 10^{-3}$, που είναι προφανώς μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του συμβατικού σκυροδέματος. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο, τα μέτρα συντήρησης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, (που είναι τα ίδια με αυτά που προβλέπονται για το συμβατικό σκυρόδεμα), πρέπει αμέσως μετά το πέρας της εκτόξευσης και τελικής διαμόρφωσης της επιφάνειας του να τηρούνται εξαιρετικά σχολαστικά. Εξάλλου η παρουσία οπλισμού είναι ιδιαίτερα ευεργετική επειδή έτσι μειώνονται οι παραμορφώσεις λόγω συστολής ξήρανσης.

Ένας επιπλέον λόγος που επιβάλλει την λήψη σχολαστικών μέτρων συντήρησης και την παρουσία οπλισμού είναι ότι η πιθανή ρηγμάτωση λόγω συστολής ξήρανσης και μάλιστα αυτή που μπορεί να δημιουργηθεί στην διεπιφάνεια μεταξύ εκτοξευόμενου σκυροδέματος και υλικού βάσης, μειώνει την πρόσφυση και κατά συνέπεια υποβαθμίζει ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

4.2.3.3 Προδιαγραφές αεροσυμπιεστή

Κρίσιμα χαρακτηριστικά του αεροσυμπιεστή για την επιτυχία εκτέλεσης της εργασίας είναι η επαρκής παροχή και συμπίεση του αέρα. Η απαιτούμενη συμπίεση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το μήκος του σωλήνα παροχής του υλικού (1), η διαφορά ύψους ακροφυσίου και θέσης εγκατάστασης (h), το ειδικό βάρος του ξηρού μίγματος, το πλήθος και οι γωνίες των καμπυλών του σωλήνα παροχής κ.α.

Μία πρακτική εκτίμηση της απαιτούμενης συμπιεστικής ικανότητας (P) του αεροσυμπιεστή, λαμβάνοντας υπόψη μόνο τους δύο κύριους παράγοντες είναι η εξής :

- 1 και h : $P = 200 + 2.5 (1+2h)$

όπου : 1 και h τίθενται σε m και το αποτέλεσμα λαμβάνεται σε kPa.

Η απαιτούμενη παροχή αέρα εξαρτάται από την εσωτερική διάμετρο του σωλήνα παροχής του υλικού και είναι συνάρτηση της συμπιεστικής ικανότητας του αεροσυμπιεστή. Στον **Πίνακα 4** παρουσιάζεται ενδεικτικά η απαιτούμενη παροχή αέρα για αεροσυμπιεστή, ικανότητας 700 kPa με εσωτερική διάμετρο σωλήνα παροχής από 25 mm έως 64 mm.

Εσωτ. Διάμετ. Σωλήνα	M ³ αέρα /min
25 mm	10.0
32 mm	12.5
38mm	17.0
51mm	21.0
64mm	28.0

Πίνακας 4 Απαιτούμενη παροχή αέρα για αεροσυμπιεστή ικανότητας 700 kPa

4.2.3.4 Προετοιμασία επιφάνειας βάσης

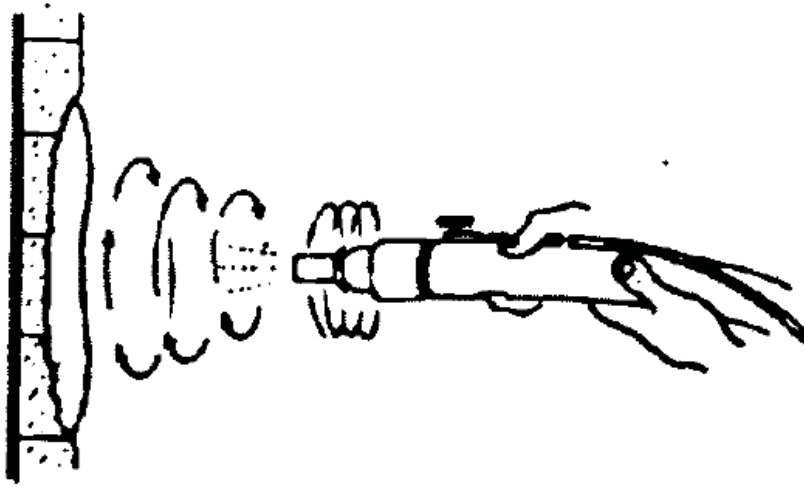
Η προετοιμασία της επιφάνειας βάσης περιλαμβάνει όλες τις εργασίες που σχεδόν πάντοτε απαιτείται να προηγηθούν της επαφής νέου και παλαιού σκυροδέματος. Έτσι θα πρέπει να απομακρυνθεί κάθε τμήμα αποσπασμένου σκυροδέματος, να απομακρυνθεί η εξωτερική μεμβράνη του τσιμεντοπολτού (χρησιμοποιώντας κατάλληλο μηχανικό εξοπλισμό ή υδροβολή), αποκαλύπτοντας έτσι τα αδρανή του υλικού βάσης, και τέλος να διαβραχεί το υλικό βάσης αρκετό χρόνο πριν την εκτόξευση.

Εδώ θα πρέπει να επισημανθεί ότι η χρήση (ξύλινων ή μεταλλικών) "οδηγών" αποτελεί κρίσιμη προϋπόθεση για την ακρίβεια των διαστάσεων και της μορφής του υπό κατασκευή στοιχείου.

4.2.3.5 Χειρισμός εκτόξευσης σκυροδέματος

Παρακάτω σημειώνονται μερικά κρίσιμα σημεία για την επιτυχή εκτέλεση της εκτόξευσης:

- Για μεγάλα σχετικά πάχη η εκτόξευση του σκυροδέματος γίνεται σε στρώσεις οι οποίες πρέπει να είναι κατά το δυνατό λιγότερες. Η πρώτη στρώση πρέπει να είναι περισσότερο υγρή από τις άλλες.
- Η ροή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος πρέπει να διατηρείται σταθερή χωρίς διακυμάνσεις.
- Η απόσταση της εκτόξευσης κυμαίνεται από 0,60 m έως 1 ,80 m και επιλέγεται έτσι ώστε το ανακλώμενο υλικό να είναι ελάχιστο.
- Η χρήση του ακροφυσίου από το χειριστή γίνεται με μικρές κυκλικές περιστροφές (**Σχήμα 4.5**) σε σταθερή απόσταση από την επιφάνεια διάστρωσης χωρίς κινήσεις μπρος-πίσω.

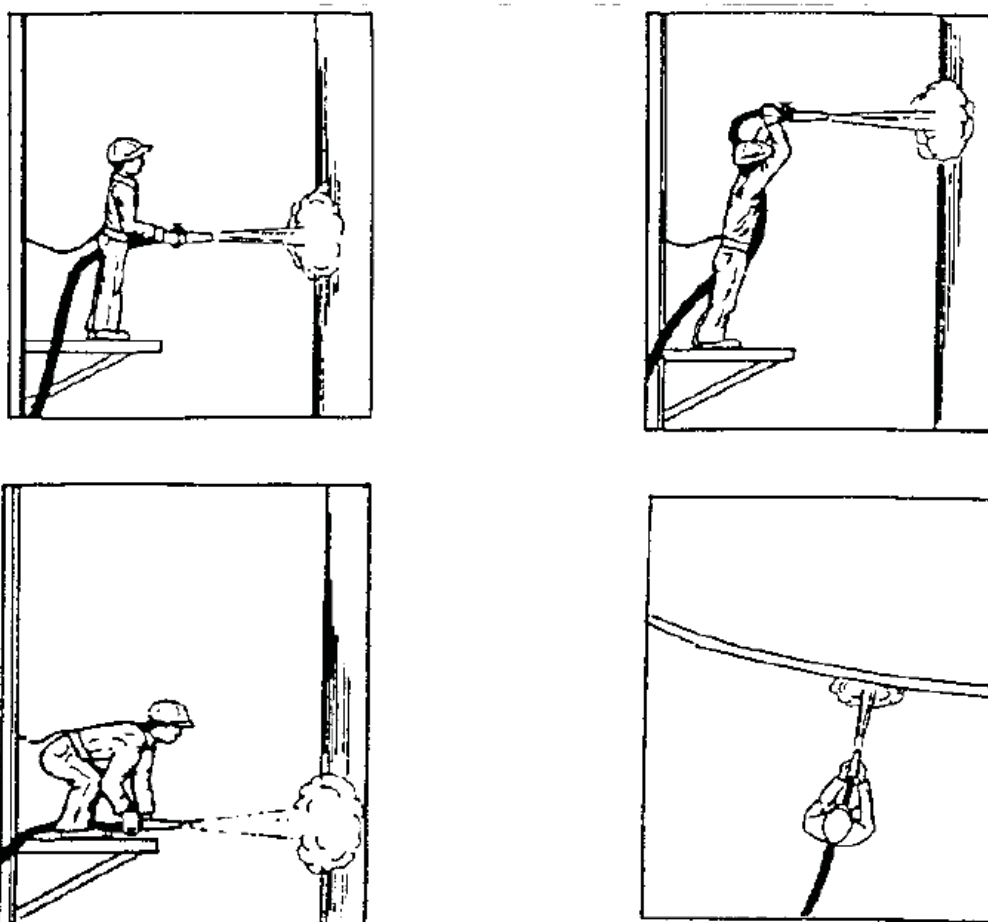


Σχήμα 4.5 Μικρές κυκλικές κινήσεις

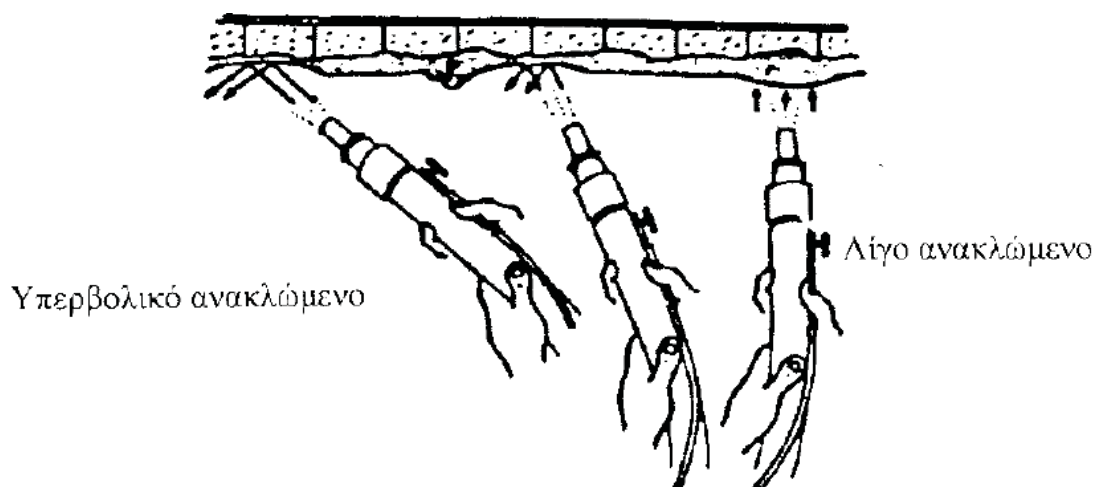


Σχήμα 4.6 Κατά την διάρκεια του ψεκασμού

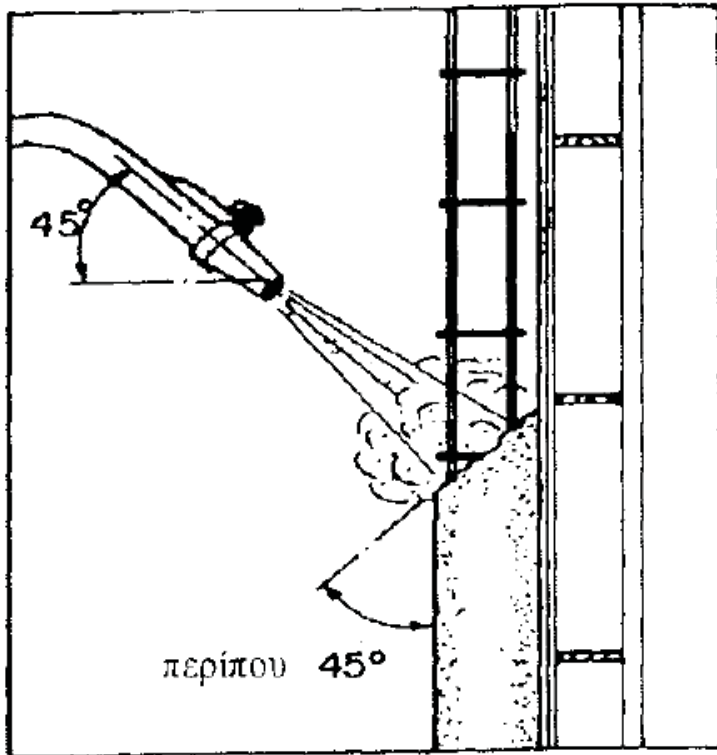
- Ο χειρισμός του ακροφυσίου γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η εκτόξευση να είναι κατά το δυνατόν κάθετη και ποτέ υπό γωνία μικρότερη από 45° ως προς την επιφάνεια διάστρωσης (**Σχήμα 4.7**). Έτσι το ανακλώμενο υλικό είναι ελάχιστο (**Σχήμα 4.8**).
- Για μεγάλα πάχη, η εκτόξευση του σκυροδέματος μπορεί να γίνει υπό γωνία 45° ως προς την επιφάνεια βάσης αλλά όμως κάθετα προς την επιφάνεια του προηγούμενως διαστρωθέντος υλικού (**Σχήμα 4.9**).
- Εφόσον υπάρχουν εσωτερικές γωνίες, η εκτόξευση ξεκινάει από εκεί. Στο **Σχήμα 4.10** παρουσιάζεται παραστατικά η διαδικασία εκτέλεσης της εργασίας γι' αυτή την περίπτωση.
- Όταν η δέσμη της εκτόξευσης συναντά οπλισμούς, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή έτσι ώστε το υλικό να πάει καλά πίσω από τις ράβδους και να μην δημιουργούνται συσσωματώματα με αυτές. Στο **Σχήμα 4.11** απεικονίζεται η εκτέλεση της εκτόξευσης συγκρίνοντας τον σωστό και τον λανθασμένο τρόπο.



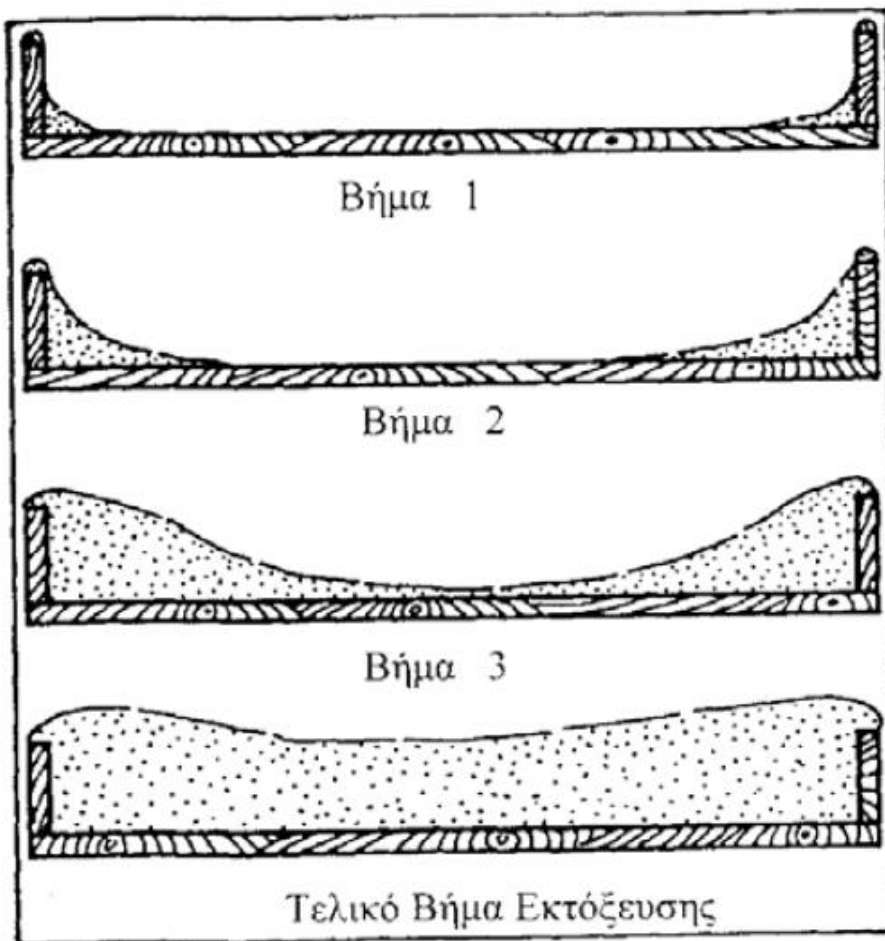
Σχήμα 4.7 Σωστές θέσεις εκτόξευσης σκυροδέματος



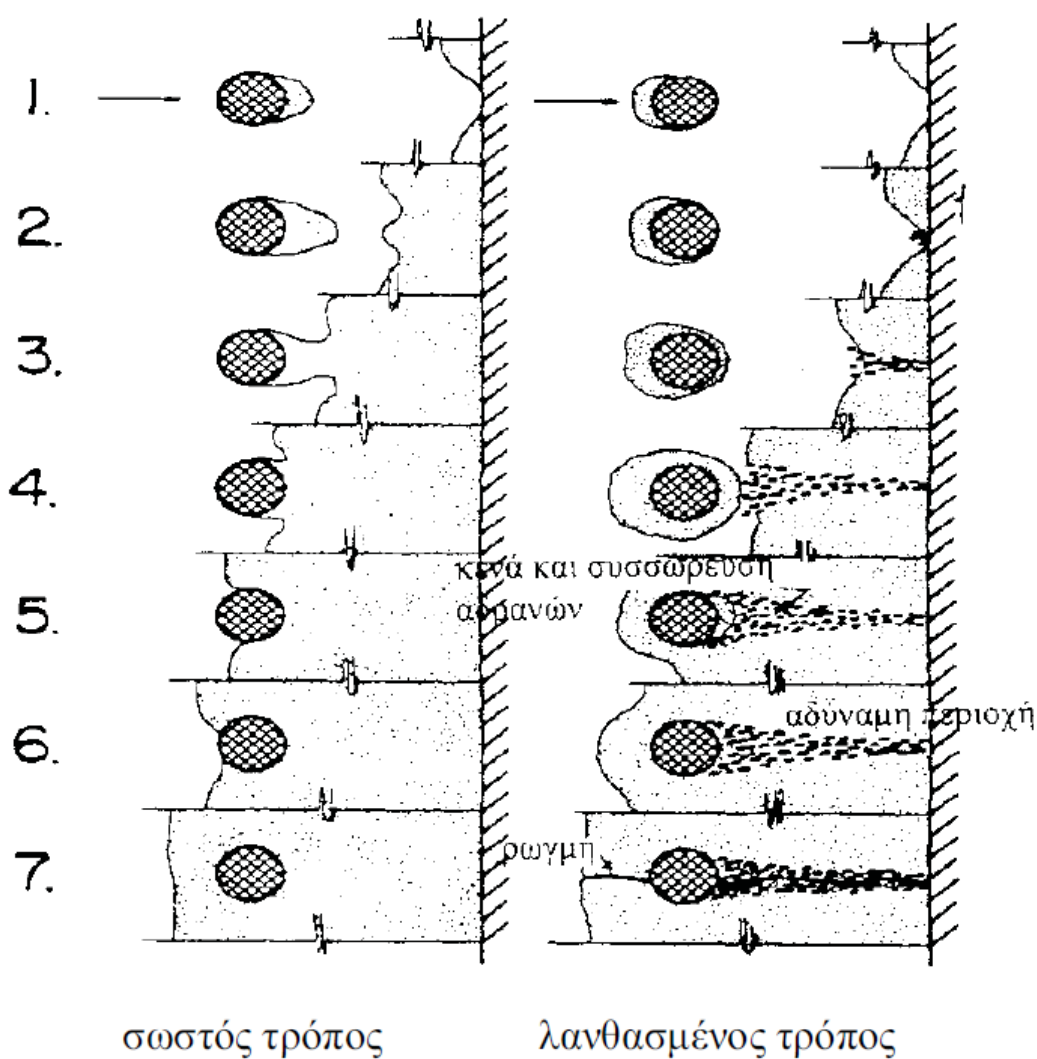
Σχήμα 4.8 Σχέση ανακλώμενου υλικού και γωνία πρόσπτωσης



Σχήμα 4.9 Σωστός τρόπος εκτόξευσης για μεγάλα πάχη



Σχήμα 4.10 Κατάλληλη διαδικασία εκτόξευσης σε εσωτερικές γωνίες



Σχήμα 8.11 Εκτόξευση παρουσία οπλισμού

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο σχήμα, ο λανθασμένος τρόπος εκτόξευσης ξεκινάει όταν το υλικό επικολλάται στην εξωτερική πλευρά του οπλισμού.

- Εν γένει, παρουσία οπλισμού, συνίσταται μικρότερη απόσταση εκτόξευσης, περισσότερο υγρό μίγμα και μικρή απόκλιση της γωνίας πρόσπτωσης από την προβλεπόμενη καθετότητα. Έτσι για οριζόντιες ράβδους η εκτόξευση πρέπει να γίνεται από στάθμη λίγο υψηλότερα από αυτήν της αντίστοιχης ράβδου, ενώ για κατακόρυφες ράβδους λίγο αριστερότερα ή δεξιότερα από την θέση της αντίστοιχης ράβδου. Όταν η δέσμη συναντά δύο στρώσεις οπλισμού τα προβλήματα εντείνονται, και μάλιστα ακόμα περισσότερο όταν οι οπλισμοί είναι πυκνοί. Γι' αυτό συνιστάται όπως οι αποστάσεις των ράβδων της εξωτερικής στρώσης είναι μικρότερες από 12Φ ενώ για τις ράβδους της εσωτερικής στρώσης η απόσταση πρέπει να είναι μικρότερη από 6Φ.
- Ο έλεγχος της ποσότητας του νερού από τον χειριστή απαιτεί ειδική εκπαίδευση και εμπειρία. Εξάλλου η πίεση εκτόξευσης του νερού θα πρέπει να είναι υψηλότερη κατά 100-200 kPa από την πίεση του αέρα.
- Πρακτικά θα μπορούσε κανείς να εκτιμήσει ότι η ποσότητα νερού είναι σωστά επιλεγμένη όταν το υλικό φαίνεται ελαφρά γυαλιστερό. Μεγαλύτερη ποσότητα του νερού έχει ως συνέπεια την αδυναμία μέρους του υλικού να παραμείνει στην θέση όπου εκτοξεύτηκε.

Δηλαδή λόγω των δυνάμεων βαρύτητας το υλικό "κρεμάει" ή "κυλάει". Αντίθετα όταν χρησιμοποιείται μικρότερη ποσότητα νερού το υλικό έχει

σκούρα και αμμώδη επιφάνεια χωρίς να γυαλίζει. Η μικρή [^]ποσότητα νερού (μικρότερη από την απαιτούμενη) δεν θα πρέπει να θεωρηθεί πιθανό πλεονέκτημα για την αντοχή επειδή ο λόγος N/T προκύπτει μειωμένος.

Αντίθετα, έχει ως συνέπεια την κατά περιοχές συσσώρευση αδρανών , την αδύναμη σύνδεση των στρώσεων, την κακής ποιότητας τελική επιφάνεια και τελικά την μειωμένη αντοχή. Δείγματα από εργασίες εκτοξευόμενου σκυροδέματος στην πράξη έδειξαν ότι το συνηθέστερο σφάλμα του χειριστή στην εκτίμηση της ποσότητας του νερού βρίσκεται προς την πλευρά της επιλογής λιγότερου νερού.

4.2.3.6 Ανακλώμενο και υπερψεκαζόμενο υλικό

Το ανακλώμενο (rebound) και το υπερψεκαζόμενο (overspray) υλικό είναι ανεπιθύμητα προϊόντα της εκτόξευσης. Αποτελεί κύριο μέλημα του χειριστή η ελαχιστοποίησή τους. Το ανακλώμενο υλικό περιέχει μεγάλο ποσοστό από τα χονδρότερα αδρανή και μειώνεται προοδευτικά όσο αυξάνει το πάχος της στρώσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Είναι υλικό που δεν μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί και επομένως αυξάνει το κόστος παραγωγής του τελικού προϊόντος. Επιπρόσθετα σημειώνεται, ότι το αυξημένο ποσοστό του ανακλώμενου υλικού, όπως και του υπερψεκαζόμενου, δημιουργούν δυσμενείς συνθήκες εργασίας για τον χειριστή της εκτόξευσης. Εξάλλου αύξηση του ανακλώμενου υλικού πέρα από αυτή που έχει εκτιμηθεί στη μελέτη σύνθεσης, τροποποιεί τις αναλογίες των υλικών στο τελικό προϊόν και αυξάνει την συστολή ξήρανσης επειδή μειώνονται τα χονδρόκοκκα αδρανή.

Τέλος πρέπει να επισημανθεί ότι όταν η εκτόξευση γίνει σε μία περιοχή που δεν έχει απομακρυνθεί το ανακλώμενο υλικό, μπορεί να δημιουργηθούν περιοχές μειωμένης αντοχής του σκυροδέματος.

Το ποσοστό του ανακλώμενου υλικού εξαρτάται ιδιαίτερα από τη θέση της επιφάνειας όπου γίνεται η εκτόξευση. Έτσι για εργασίες οροφής το ποσοστό του ανακλώμενου υλικού μπορεί να φθάσει μέχρι και 50% ενώ το πιο μικρό ποσοστό λαμβάνεται για εργασίες δαπέδου. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται εκτοξευόμενο σκυρόδεμα υγράς ανάμιξης τα αντίστοιχα ποσοστά είναι πολύ μικρότερα (της τάξης του 30-40% της ξηράς ανάμιξης). Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται τα ποσοστά του ανακλώμενου υλικού για διάφορες θέσεις της επιφάνειας βάσης.

Επιφάνεια	Ξηρή Ανάμιξη	Υγρή Ανάμιξη
Δάπεδα	5-15 %	0-5 %
Κεκλιμένοι και κατακόρυφοι τοίχοι	15-25 %	5-10 %
Εργασίες οροφής	25-50 %	10-20 %

Πίνακας 5 Ποσοστό ανακλώμενου υλικού

Το υπερψεκαζόμενο υλικό είναι υλικό που διαχέεται πέρα από την θέση διάστρωσης και αποτελείται από λεπτόκοκκα αδρανή και τσιμέντο. Επικολλλάται στην επιφάνεια βάσης, δημιουργεί συσσωματώματα με τους σπλισμούς και εφόσον σκληρυνθεί πριν γίνει η εκτόξευση στις θέσεις που βρίσκεται, μειώνει την

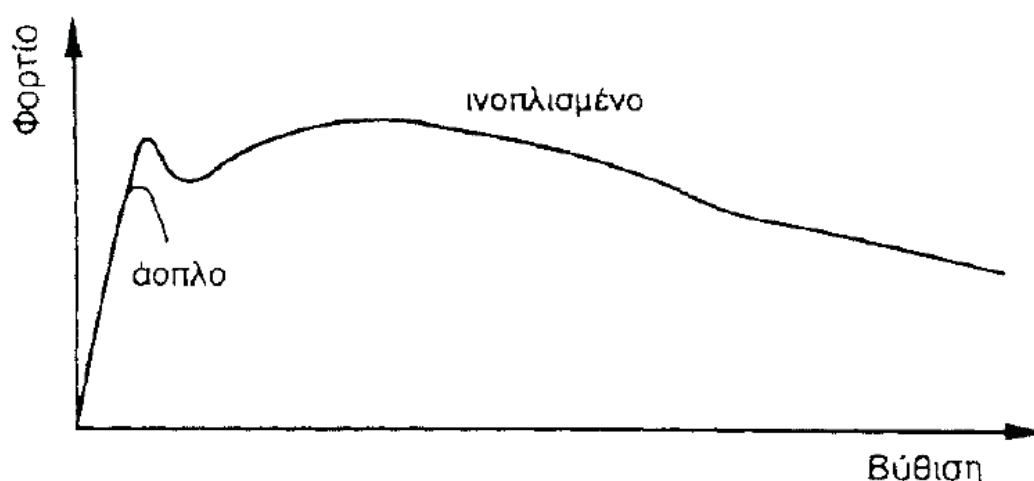
συνάφεια του εκτοξευόμενου σκυροδέματος με το παλαιό σκυρόδεμα και τους οπλισμούς.

4.2.3.7 Χρήση ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος

Η προσθήκη ινών στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα γίνεται κυρίως για περιορισμό της ρηγμάτωσης λόγω της υψηλής συστολής ξήρανσης. Συνήθως οι ίνες που χρησιμοποιούνται είναι από χάλυβα, προπυλένιο ή γυαλί. Το μήκος τους είναι της τάξης μερικών εκατοστών, και η διάμετρος τους, που εξαρτάται από το υλικό, συνήθως δεν ξεπερνά το χιλιοστό.

Η προσθήκη των ινών γίνεται συνήθως σε ποσοστό μεταξύ 1% και 3% κ.ο. Για ίνες χάλυβα το μέγιστο ποσοστό είναι 2% και ο λόγος του μήκους τους προς την διάμετρο τους, δεν πρέπει να ξεπερνάει το 100. Εξάλλου η τυχόν διάβρωση των ινών χάλυβα δεν έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθεκτικότητα του υλικού.

Εκτός από τον περιορισμό της ρηγμάτωσης, η προσθήκη των ινών έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραμόρφωσης του υλικού κατά την αστοχία και μια μικρή αύξηση της εφελκυστικής αντοχής (**Σχήμα 4.12**).



Σχήμα 4.12 Επίδραση ινών στη συμπεριφορά σε κάμψη

Η παραπάνω αύξηση της παραμόρφωσης αστοχίας, συνεπάγεται μια αύξηση της ικανότητας του υλικού να απορροφήσει ενέργεια κατά την παραμόρφωση (δυσθραυστότητα) που φτάνει να είναι 10-40 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του χωρίς ίνες εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Προφανώς η παραπάνω εξαιρετικά θετική συμβολή των ινών στην απορρόφηση ενέργειας πρέπει να αξιολογηθεί ιδιαίτερα στην περίπτωση επεμβάσεων που στοχεύουν στην αντισεισμική ενίσχυση των κατασκευών .

4.3 Χρήση επισκευαστικών κονιαμάτων

Επισκευαστικά κονιάματα χρησιμοποιούνται συχνά σε εφαρμογές αποκατάστασης και ενίσχυσης των κατασκευών όταν το απαιτούμενο πάχος του υλικού είναι μικρό και απαιτείται πολύ καλή πρόσφυση. Βασικό μειονέκτημα, αυτών των υλικών είναι το υψηλό τους κόστος, που όμως συχνά εξουδετερώνεται από το γεγονός ότι η ποσότητα που απαιτείται είναι μικρή και το μέγεθος της προστασίας που προσφέρεται είναι υψηλό.

Στην πράξη εφαρμόζονται σήμερα δύο τύποι κονιαμάτων. Τα κονιάματα με **πολυμερή** και τα κονιάματα με βάση το **τσιμέντο**.

4.3.1 Ανάλυση κονιαμάτων με πολυμερή

Τα κονιάματα με πολυμερή παράγονται με δύο τρόπους:

- α) με αντικατάσταση του τσιμέντου με πολυμερές,
- β) με αντικατάσταση μέρους του νερού με υδατοδιαλυτό πολυμερές (latex)

Στην πράξη έχει επικρατήσει η ονομασία ρητινοκονιάματα επειδή συνήθως ως πολυμερές χρησιμοποιείται ρητίνη. Κονιάματα αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται για να αποκατασταθούν βλάβες μικρού βαθμού σε δομικά στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπως αποφλοιώσεις σκυροδέματος ή άλλες περιπτώσεις όπου το απαιτούμενο πάχος του επισκευαστικού υλικού είναι ιδιαίτερα μικρό (π.χ. στην περίπτωση οπλισμών χωρίς επικάλυψη λόγω κακής σκυροδέτησης).

Τα πλεονεκτήματα των κονιαμάτων αυτού του τύπου είναι σημαντικά, και ανάλογα με αυτά που αναφέρθηκαν για την περίπτωση του σκυροδέματος με πολυμερή. Αν και το κόστος τους είναι ιδιαίτερα υψηλό σε σύγκριση με τα ανταγωνιστικά κονιάματα που έχουν βάση το τσιμέντο, πρέπει να τονιστεί ότι στο πεδίο εφαρμογής που αναφέρθηκε παραπάνω έχει σαφές προβάδισμα.

4.3.2 Ανάλυση και χρήση κονιαμάτων με βάση το τσιμέντο

Τα κονιάματα αυτά δημιουργούνται από ειδικές κονίες με προσθήκη μικρής ποσότητας νερού, της τάξεως 10-20 % του βάρους του κονιάματος. Οι κονίες είναι μίγματα τσιμέντου με λεπτόκοκκα αδρανή που η διάμετρος τους συνήθως δεν ξεπερνά τα 2.5 mm, σε συνδυασμό με υπερευστοποιητικά υλικά, και πρόσμικτα που παρεμποδίζουν την συστολή ξήρανσης. Σε μερικές περιπτώσεις τα αδρανή μπορεί να έχουν διάμετρο μέχρι και 10 mm.

Συνήθως τα αδρανή περιέχονται στο μίγμα, που προσφέρεται στην αγορά σε συσκευασμένους σάκους έτοιμο προς χρήση απαιτώντας μόνο την προσθήκη κατάλληλης ποσότητας νερού. Σε μερικές περιπτώσεις τα αδρανή προβλέπεται να προστίθενται σε προκαθορισμένη αναλογία, που συνήθως δεν ξεπερνά την 1:1, ακολουθώντας πάντοτε τις οδηγίες του παραγωγού.

Κονιάματα αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται όταν απαιτούνται μικρά μεν πάχη υλικού, αλλά όμως μεγαλύτερα απ' ότι στις περιπτώσεις που περιγράφηκαν προηγουμένως για εφαρμογές με κονιάματα πολυμερών. Συνήθεις εφαρμογές τους είναι η αποκατάσταση περιοχών αποδιοργανωμένου σκυροδέματος και η πλήρωση φωλεών σε στοιχεία σκυροδέματος με κακή συμπίκνωση.

Τα μεγάλα πλεονεκτήματα αυτών των κονιαμάτων είναι:

- Οι υψηλές αντοχές που οφείλονται στο χαμηλό υδατοτσιμεντοσυντελεστή. Στον **Πίνακα 6** παρουσιάζονται οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά ενός δείγματος από υλικά της αγοράς για τα οποία υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία. Στις δύο τελευταίες στήλες δίνονται για λόγους σύγκρισης τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά για τις κατηγορίες σκυροδέματος C 16/20 και C25/30.

Ιδιότητες Χαρακτηριστικά	Συμβατική ονομασία υλικού						Κατηγορία σκυροδέματος	
	MA	MB	MC	MD	ME	MF	C 16/20	C 25/30
Θλιπτική αντοχή [MPa]	74	70	75	63	68	42	24	33
Μέτρο ελαστικότητας σε θλίψη [MPa]	25.000	25.000	30.000	*	*	27.500	30.500	*
Παραμόρφωση αστοχίας [‰]	6	6	6	*	*	*	3,7	3,5
Εφελκυστική αντοχή σε κάμψη [MPa]	8,8	8	8,5	8	11,3	6,3	2,1	2,8
Συνάφεια με παλαιό σκυρόδεμα [MPa]	6	6	6,5	*	*	*	1,5	1,5
Συνάφεια με χάλυβα [MPa] Για λείους ράβδους Για ράβδους με ραβδώσεις	3 20	3 20	4 30	*	*	*	*	*

* δεν διατίθενται στοιχεία

Πίνακας 6 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά επισκευαστικών κονιαμάτων με βάση το τσιμέντο

- **Η ταχεία ανάπτυξη αντοχής**, όπως μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί στον Πίνακα 7.

Θλιπτική αντοχή [MPa]	Συμβατική ονομασία υλικού				
	MA	MB	MC	MD	ME
1 ημέρα	33	26	30	3	16
4 ημέρα	*	40	45	33	38
8 ημέρα	*	5	60	48	48
28 ημέρα	74	70	75	63	68

* δεν διατίθενται στοιχεία

Πίνακας 7 Εξέλιξη της ανάπτυξης της αντοχής επισκευαστικών κονιαμάτων με βάση το τσιμέντο

- **Η μεγάλη ρευστότητα**, που μπορεί να επιτευχθεί χωρίς μείωση της αντοχής, λόγω παρουσίας υπερευστοποιητών.
- **Η εξουδετέρωση της συστολής ξήρανσης**, λόγω της παρουσίας των ειδικών προσθέτων που προκαλούν σταδιακή αύξηση του όγκου του κονιάματος. Συμπερασματικά μπορεί να λεχθεί ότι το υλικό, έχει χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά του σκυροδέματος και υψηλότερη αντοχή. Επίσης έχει πολύ καλή πρόσφυση στο υλικό βάσης που μπορεί να είναι σκυρόδεμα ή τοιχοποιία και δεν παρουσιάζει ρηγματώσεις ή κενά κακής χύτευσης.

4.3.2.1 Εφαρμογή και οδηγίες χρήσεως κονιαμάτων με βάση το τσιμέντο

Σε πρώτη φάση, το υλικό πρέπει να είναι καλά συσκευασμένο και σωστά αποθηκευμένο σε ξηρό χώρο. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή επειδή η παρουσία υγρασίας έχει ιδιαίτερα αρνητικές επιπτώσεις στα επιδιωκόμενα αποτελέσματα.

Ύστερα το μίγμα αναμειγνύεται για 3-4 λεπτά, σε μικρό αναμικτήρα. Πρώτα τοποθετείται το νερό στην ελάχιστη συνιστώμενη ποσότητα και στη συνέχεια προστίθεται κονία σε συνεχή ροή. Έπειτα προστίθεται όσο νερό χρειάζεται (μέσα στα όρια της προδιαγραφής του προμηθευτή), για την απόκτηση της επιθυμητής ρευστότητας και συνεχίζεται η ανάμιξη για 2-3 λεπτά, ακόμα. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, ότι οι προβλεπόμενες από τους προμηθευτές ποσότητες νερού, αφορούν κανονικές συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Σε συνθήκες ψυχρού και υγρού περιβάλλοντος (π. χ. το χειμώνα) το νερό θα πρέπει να μειώνεται ενώ σε αντίθετες συνθήκες το νερό θα πρέπει να αυξάνει.

Υπενθυμίζεται πάντως ότι, όπως και στο συμβατικό σκυρόδεμα, οι αντοχές αναπτύσσονται αργότερα, σε χαμηλές θερμοκρασίες. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί χρησιμοποιώντας χλιαρό (30°-50°C) νερό ανάμιξης και θερμομονωτικά καλύμματα.

Παρακάτω παρουσιάζεται η πορεία των εργασιών σε μία τυπική διαδικασία χρήσης αυτών των υλικών.

- Απομακρύνεται το αποσαθρωμένο σκυρόδεμα και δημιουργείται τραχεία, επιφάνεια πρόσφυσης, σε βάθος της τάξεως των 5 mm.
- Δημιουργείται περιμετρική απότμηση της προς επισκευή επιφάνειας, σε βάθος τουλάχιστον 10 mm, έτσι ώστε να δημιουργηθεί περιμετρικός εγκιβωτισμός του κονιάματος.
- Καθαρίζεται ο οπλισμός από την σκουριά και το σκυρόδεμα βάσης από τυχόν σκόνη.
- Τοποθετείται ελαφρύς οπλισμός, σε περιπτώσεις πάχους μεγαλύτερου από 20 mm, ειδικότερα στις περιπτώσεις που δεν έχει εξασφαλιστεί ο περιμετρικός
- εγκιβωτισμός.
- Διαβρέχεται το σκυρόδεμα βάσης για όσο χρόνο συνιστάται από τον προμηθευτή. Πάντως χρειάζεται προσοχή να μην παραμείνει νερό πριν τη χύτευση στην επιφάνεια βάσης (κίνδυνος) σε οριζόντιες επιφάνειες.
- Εφόσον χρησιμοποιείται ξυλότυπος, αυτός διαβρέχεται με προσοχή πριν τη χύτευση.
- Τοποθετείται το κονίαμα. Σε περιπτώσεις ρευστού υλικού η χύτευση γίνεται από τη μία πλευρά για να αποφευχθεί ο εγκλωβισμός αέρα. Σε περίπτωση πλαστικού υλικού, η τοποθέτηση γίνεται χειρονακτικά πιέζοντας το υλικό. Όταν υπάρχει οπλισμός, τότε το υλικό τον καλύπτει τουλάχιστον 10-15 mm.
- Αφαιρείται ο τυχόν ξυλότυπος μετά παρόδου χρόνου τουλάχιστον 24 ωρών μετά τη χύτευση. Σε επιφάνειες χωρίς καλούπι, τις πρώτες 24 ή 48 ώρες απαιτείται καλή συντήρηση με υγρές λινάτσες. Ανάλογα με τις

συνθήκες περιβάλλοντος και τις απαιτήσεις της κονιάς, η συντήρηση συνεχίζεται για 4-5 μέρες, σύμφωνα με τις οδηγίες του προμηθευτή. Συνήθως η ανάγκη επιμελούς συντήρησης είναι μεγαλύτερη όταν είναι μεγάλη η ρευστότητα του κονιάματος που χρησιμοποιήθηκε.

4.4 Αστοχία ρωγμών σε κατασκευές από σκυρόδεμα - Χρήση πολυμερικών κολλών - Ρητινενέσεις

Πριν αναφέρουμε τον τρόπο εφαρμογής και τα χαρακτηριστικά των πολυμερικών κολλών και των ρητινενέσεων, θεωρούμε σκόπιμο να αναφερθούμε πρώτα στις αιτίες και την εκτίμηση των ρωγμών σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα.

4.4.1 Ορολογία και γέννηση ρωγμών

Η σημασία των ρωγμών σε κατασκευές από σκυρόδεμα είναι μεγάλη αφού μπορεί να υποδηλώνουν λειτουργικά προβλήματα της κατασκευής, οπότε απαιτούν την άμεση επισκευή τους, ή να έχουν απλώς αισθητικό χαρακτήρα. Οι τρόποι επισκευής εξαρτώνται βασικά από την γνώση των αιτιών εμφάνισής τους, προϋποθέτουν μια εκτίμηση του μεγέθους, της θέσης τους και της αναγκαιότητας προς επιδιόρθωση.

Οι αιτίες εμφάνισης ρωγμών στο σκυρόδεμα είναι αρκετές. Οι ρωγμές μπορεί να επηρεάζουν αρνητικά την εμφάνιση και αισθητική ενός κτιρίου, μπορεί όμως να υποδηλώνουν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στην φέρουσα ικανότητα του, όπως και να προδίδουν ενδεχόμενη έλλειψη αντοχής. Μπορεί επίσης να παρουσιάζουν το συνολικό μέγεθος μιας ζημιάς ή μόνο σε ένα μέρος της. Η σημαντικότητα τους εξαρτάται τόσο από το είδος κτιρίου στο οποίο εμφανίζονται όσο και από την φύση της κάθε ρωγμής.

Οι κατάλληλοι τρόποι αντιμετώπισης τους εξαρτώνται βασικά από την γνώση των αιτιών εμφάνισης τους. Ειδάλλως είναι πολύ πιθανό η επισκευή να είναι εντελώς προσωρινή.

Προτού προχωρήσουμε στην ανάλυση του φαινομένου εμφάνισης των ρωγμών θα ήταν σκόπιμο να παραθέσουμε τρεις βασικές αρχές οι οποίες θα βοηθήσουν περισσότερο στην κατανόηση του. Οι αρχές αυτές είναι οι εξής :

1. Το σπάσιμο των δεσμών.

Η εξέταση κάθε πολυατομικού δεσμού και της δύναμης που εξασκείται πάνω του, δείχνει ότι ο εφελκυσμός είναι υπεύθυνος για το σπάσιμο του και ούτε διατμητικές ούτε θλιπτικές δυνάμεις.

2. Εφελκυστική αστοχία.

Η θεωρία του Criffith στον χώρο της θραυστομηχανικής φανερώνει ότι δυο είναι οι παράμετροι που οδηγούν στην διάδοση μιας ρωγμής.

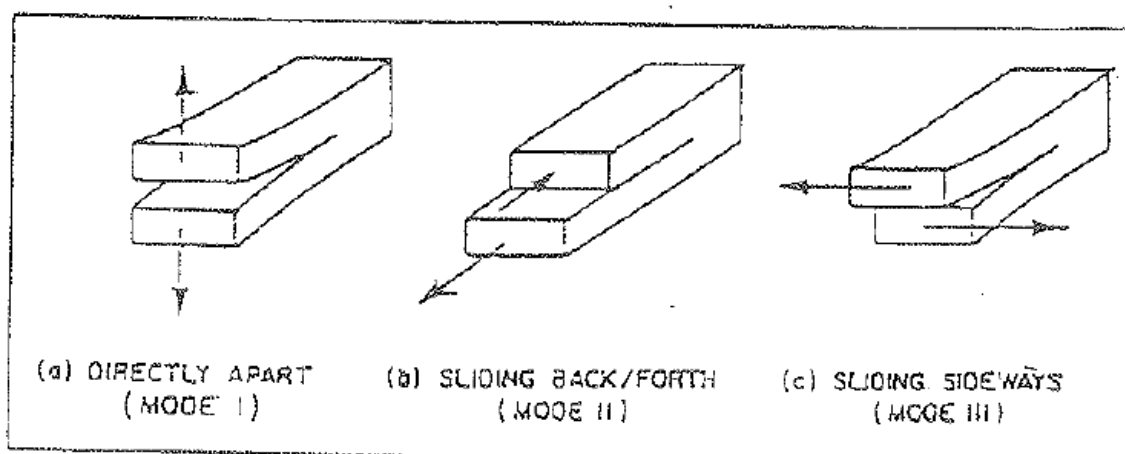
Πρώτον θα πρέπει να υπάρχει τάση ικανή να σπάσει τους δεσμούς αυτούς και δεύτερον θα πρέπει να υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ του ποσού ενεργείας που χάνεται και της επιφανειακής – εσωτερικής

ενέργειας που αποθηκεύεται καθώς διαδίδεται η ρωγμή. Και οι δυο πρέπει να ικανοποιούνται για την διάδοση της ρωγμής.

3. Επιφανειακές μετατοπίσεις της ρωγμής :

Υπάρχουν τρεις ανεξάρτητοι τρόποι κατά τους οποίους διεπιφάνειες που παρουσιάζουν ρωγμή μπορούν να μετατεθούν η μια ως προς την άλλη όταν η ρωγμή μεγαθύνεται :

- Να απομακρυνθεί η μια παρειά ως προς την άλλη (**Σχήμα 4.13a**)
- Να γλιστρήσει η μια ως προς την άλλη (**Σχήμα 4.13b**)
- Να γλιστρήσει σε πλάγια διεύθυνση ή μια ως προς την άλλη (**Σχήμα 4.13c**)



Σχήμα 4.13 Μετατοπίσεις διεπιφανειών και πρόκληση ρωγμών

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τις τρεις αυτές αρχές είναι ότι για μια ορατή ρωγμή, απαιτείται να σπάσουν οι δεσμοί και να μετατεθούν μεταξύ τους οι διεπιφάνειες.

4.4.2 Αιτίες και έλεγχος ρωγμών σε νωπό σκυρόδεμα

Οι ρωγμές λόγω συστολής ξήρανσης στο πλαστικό σκυρόδεμα εμφανίζονται συχνότερα στις επιφάνειες νωπών πλακών όταν ξεραίνονται λόγω ύπαρξης χαμηλής θερμοκρασίας αέρα, υψηλής θερμοκρασίας ή συνδυασμό των παραπάνω όταν η υγρασία εξατμίζεται από την επιφάνεια μιας τοποθετημένης πλάκας γρηγορότερα απ' ό,τι αντικαθίσταται από νερό ενυδάτωσης, η επιφάνεια του σκυροδέματος συστέλλεται.

Λόγω της αντίστασης που προσβάλλεται από το σκυρόδεμα κάτω από την ξηραίνόμενη επιφάνεια, εμφανίζονται τάσεις που έχουν σαν αποτέλεσμα δημιουργία ρωγμών σε όλες τις διευθύνσεις. Οι ρωγμές αυτές κυμαίνονται από μερικά εκατοστά έως και μέτρα σε μήκος. Το σκυρόδεμα μετά την σκυροδέτηση έχει την τάση να συνεχίζει την σταθεροποίησή του. Κατά την διάρκεια της σταθεροποίησής του μπορεί να εμφανίζονται τάσεις λόγω της αντίστασης που προσβάλλουν οι οπλισμοί του χάλυβα στην σταθεροποίηση αυτή και λόγω της συνοχής χάλυβα - σκυροδέματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα σε αρκετές περιπτώσεις την εμφάνιση ρωγμών.



Σχήμα 4.14 Τυπική ρωγμή σε πλάκα



Σχήμα 4.15 Κλασικές ρωγμές σε παλαιά κτίρια

Άλλα αίτια που οδηγούν στην εμφάνιση ρωγμών στο σκυρόδεμα είναι οι θερμικές τάσεις που εμφανίζονται λόγω διαφορών θερμοκρασίας λόγω της ενυδάτωσης του σκυροδέματος, οι χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό του σκυροδέματος λόγω των συστατικών που υπάρχουν αλλά και διάφορων υλικών που έρχονται σε επαφή μαζί του όταν αυτοί έχει σταθεροποιηθεί.

Οι θερμοκρασιακές συνθήκες είναι ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας εμφάνισης ρωγμών στο σκυρόδεμα και περιλαμβάνουν πάγωμα και τήξη, ύγρανση και ξήρανση θέρμανση και κρύωμα. Οι ρωγμές που υπάγονται στην κατηγορία αυτή είναι ορατές συνήθως και δίνουν την εντύπωση ότι το σκυρόδεμα βρίσκεται σε στάδιο αποσύνθεσης.

Τέλος η εμφάνιση ρωγμών μπορεί να οφείλεται σε κακή μόρφωση μιας κατασκευής έτσι ώστε να υπάρχουν σημεία όπου έχουμε συσσώρευση τάσεων ή η κατασκευή να υπόκειται σε πολύ μεγαλύτερα φορτία απ' ότι είχε αρχικά σχεδιαστεί.

4.4.3 Αναγκαιότητα επισκευής ρωγμών

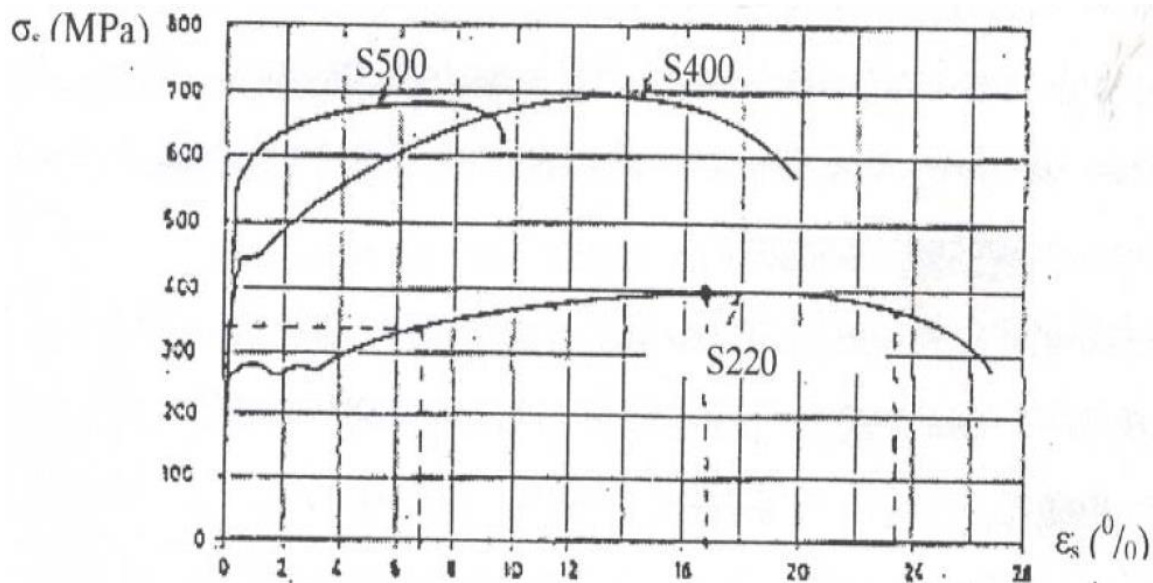
Όπως προαναφέραμε οι ρωγμές σε κατασκευές από σκυρόδεμα, είναι συνηθισμένο φαινόμενο. Αυτό εξάλλου δεν είναι άστοχο, αφού οι ρωγμές θα μπορούσαν απλοποιητικά να χαρακτηριστούν ως ορατά αποτελέσματα των παραμορφώσεων ενός φορέα. Όμως, το γεγονός της ύπαρξής τους, δεν συνεπάγεται πάντοτε την ανάγκη επισκευής τους. Η απόφαση για την αναγκαιότητα της επέμβασης, προϋποθέτει τη διερεύνηση των αιτιών της ρωγμής και την εξακρίβωση της φύσης της ρωγμής.

Ως εκ τούτου πρέπει να θεωρείται πρωταρχικό θέμα, η διερεύνηση της επάρκειας του φορέα. Ο μηχανικός εφαρμογής δεν πρέπει να λησμονεί ότι ρωγμές λόγω υπέρβασης αντοχής, είναι ένδειξη στατικής ανεπάρκειας του φορέα, όχι κατ' ανάγκη στην περιοχή ρωγμής. Με άλλα λόγια, οι ρωγμές αποτελούν προειδοποίηση για πιθανό κίνδυνο. Είναι δηλαδή η ορατή ένδειξη, ότι "κάτι δεν πηγαίνει καλά" στο φορέα και γι 'αυτό δεν έχει νόημα να γίνει απλά και μόνο η επισκευή των ρωγμών .

Κάθε παραπέρα ενέργεια, ξεκινάει από την ανάλυση του φορέα, με βάση τα πραγματικά φορτία και τις αντοχές των υλικών (σκυροδέματος και χάλυβα), έτσι "όπως πραγματικά δομήθηκαν" με στόχο τον προσδιορισμό των αιτιών της ρωγμής. Στη συνέχεια, ο Μηχανικός, θα πρέπει να επέμβει για τη θεραπεία της αδυναμίας, είτε αφαιρώντας την αιτία (π.χ. μειώνοντας τα φορτία σε κάποια περιοχή) είτε ενισχύοντας κατάλληλα τον φορέα. Η διαδικασία επισκευής της ρωγμής, που ούτως ή άλλως συνήθως γίνεται για λόγους δυσκαμψίας, ερπυστικών φαινομένων κλπ., είναι πλέον συμπληρωματική και δευτερεύουσας σημασίας.

Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση ρωγμών που παρατηρούνται από υπέρβαση αντοχής στο εφελκόμενο πέλμα ενός στοιχείου, λόγω ανεπαρκούς οπλισμού ή στατικού ύψους. Είναι προφανές ότι η επισκευή τέτοιου είδους ρωγμών, δεν προσφέρει βελτίωση στη στατική συμπεριφορά του στοιχείου, αφού η ροπή αντοχής της διατομής δεν μπορεί να αυξηθεί με τέτοιες διαδικασίες.

Ας θεωρήσουμε για παράδειγμα, την περίπτωση ρωγμής του εφελκόμενου πέλματος, ενός υπό-οπλισμένου στοιχείου όπου ο χάλυβας βρίσκεται σε τάση μεγαλύτερη από αυτή του ορίου διαρροής. Προφανώς, η οποιαδήποτε διαδικασία επισκευής της ρωγμής είναι ανώφελη από στατική άποψη, αφού μια ελάχιστη αύξηση της έντασης συνεπάγεται πολύ μεγάλες πρόσθετες παραμορφώσεις (**Σχήμα 4.16**) και επομένως, νέες ρωγμές στη γειτονιά της παλιάς ρωγμής.



Σχήμα 8.16 Διαγράμματα $\sigma_s - \varepsilon_s$ χαλύβων S220, S400, S500

Πάντως πρέπει να τονιστεί ότι οι ορατές (δια γυμνού οφθαλμού) ρωγμές λόγω αυξημένων φορτίων, ενώ δεν σημαίνουν πάντοτε υπέρβαση της αντοχής, υποδηλώνουν σχεδόν πάντοτε υπέρβαση του ορίου διαρροής του υλικού.

Όταν εξακολουθούν να υφίστανται ρωγμές μετά από την απομάκρυνση του προκαλούντος την ένταση αιτίου, π.χ. μετά από ένα σεισμό, θα πρέπει να εκτιμηθεί ότι η περιοχή που ρηγματώθηκε υπεισήλθε σε ανελαστική φάση, ενώ το εύρος των ρωγμών αποτελεί ένα μέτρο της παραμένουσας παραμόρφωσης.

Ο Μηχανικός θα αξιολογήσει τις μαρτυρίες από τις ρωγμές αυτού του είδους και εφόσον εκτιμηθεί ότι αυτή η συμπεριφορά βρίσκεται μέσα στα αποδεκτά όρια των κανονισμών, μπορεί να επιλέξει τη διαδικασία επισκευής των ρωγμών για αισθητικούς λόγους ή για λόγους προστασίας των οπλισμών από διάβρωση.

Γενικώς μπορεί να λεχθεί ότι ρωγμές με άνοιγμα μικρότερο από 0.3 mm, δεν αποτελούν απειλή για τους οπλισμούς και ως εκ τούτου δεν απαιτείται επισκευή, εκτός από την περίπτωση έντονων επιδράσεων από το περιβάλλον. Στον **Πίνακα 8** παρουσιάζονται λεπτομερέστερα τα μέγιστα αποδεκτά όρια εύρους ρωγμών, για διάφορες συνθήκες περιβάλλοντος.

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

Πίνακας 8 Μέγιστο επιτρεπόμενο εύρος ρωγμών

Τέλος, χρήσιμο είναι να αναφερθεί ότι από πρακτική άποψη, έχει σημασία η κατεύθυνση της ρωγμής σε σχέση με την κατεύθυνση των οπλισμών. Για παράδειγμα ρωγμές που τέμνουν τους οπλισμούς, προκαλούν πολύ μικρότερες βλάβες, από αυτές που βρίσκονται κατά μήκος τους.

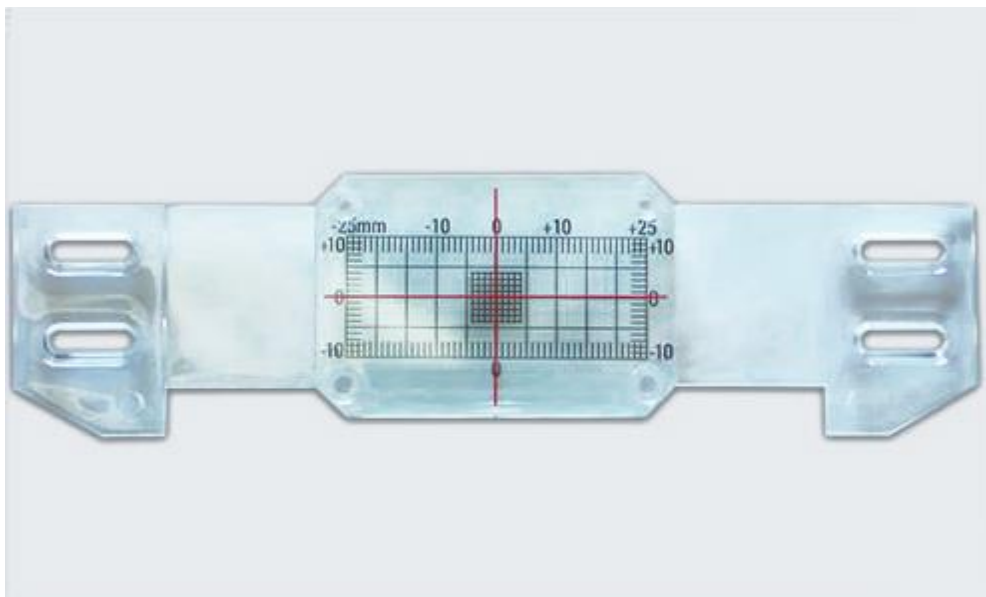
4.4.4 Εκτίμηση της σοβαρότητας των ρωγμών

Πριν το στάδιο της επισκευής είναι απαραίτητο να γίνει μια εκτίμηση για το μέγεθος τα αίτια, αλλά και τον προσδιορισμό της θέσης της ρωγμής και σε τελική ανάλυση της ανάγκης για επιδιόρθωση.

Αυτή είναι μόνο τότε απαραίτητη εάν οι ρωγμές ελαττώνοντας την δύναμη, αντοχή και δυσκαμψία της κατασκευής σε ανεπίτρεπτο βαθμό, ή ακόμα και αν επηρεάζουν αρνητικά την αισθητική κατά δεύτερο λόγο. Υπάρχουν περιπτώσεις που η επιδιόρθωση των ρωγμών είναι άμεσα απαραίτητη όπως σε κατασκευές που λειτουργούν σαν δεξαμενές ακόμα και αν η αντοχή δεν επηρεάζεται.

Οι πληροφορίες και ο προσδιορισμός της κατάστασης του σκυροδέματος σε μια κατασκευή γίνονται με οπτική επιθεώρηση και δομικές από δοκίμια που λαμβάνονται απ' την δοκιμή. Χρήσιμα επίσης είναι τα σχέδια της κατασκευής για την δουλειά αυτή.

Το πάχος των ρωγμών μπορεί να μετρηθεί με μια ακρίβεια της τάξης των 0,025 mm με έναν ειδικό μετρητή που είναι μικροσκόπιο με μια κλίμακα στον φακό κοντά στην επιφάνεια που βρίσκεται υπό εξέταση.



Σχήμα 8.16 Μετρητής ρωγμών

Οι ρωγμές μπορούν να διαχωριστούν σε ενεργές και μη. Ενεργές λέγονται αυτές στις οποίες συνεχίζονται οι μετακινήσεις ο διαχωρισμός αυτός αρκετές φορές συμβάλλει στην διαφορετική μεθοδολογία ενίσχυσης και επισκευής των ρωγμών.

Βάσει της σωστής εκτίμησης του μεγέθους και των αιτιών ρηγμάτωσης μπορούν να επιλεγούν κατάλληλες διαδικασίες επισκευής κάθε μία από τις οποίες να επιτυγχάνει διαφορετικό σκοπό ανάλογα με το τι εμείς θέλουμε. Έτσι αποσκοπούμε ουσιαστικά σε τεχνικές που να μας οδηγούν σε:

- Διατήρηση, αύξηση αντοχής
- Διατήρηση, αύξηση ακαμψίας
- Παροχή στεγανότητας
- Βελτίωση αισθητικής των επιφανειών σκυροδέματος
- Παρεμπόδιση εισχώρησης διαβρωτικών υλικών στον οπλισμό του σκυροδέματος.

4.4.5 Χρήση πολυμερικών κολλών

Οι πολυμερικές κόλλες είναι συγκολλητικά υλικά που δημιουργούνται από την "επί τόπου" ανάμιξη των δύο συστατικών .

Το πρώτο είναι το πολυμερές που βρίσκεται σε υγρή κατάσταση (**συστατικό Α**) και το δεύτερο είναι ο σκληρυντής (**συστατικό Β**). Η ανάμιξη τους σ' ένα ομοιογενές υλικό δημιουργεί ένα ισχυρό συγκολλητικό υλικό, με ασυναγώνιστες σε πολλές περιπτώσεις ιδιότητες. Αυτός είναι ο λόγος που οι πολυμερικές κόλλες έχουν ευρύτατη εφαρμογή στον τομέα των επισκευών και των ενισχύσεων. Εξάλλου σε σύγκριση με άλλα συστήματα σύνδεσης έχουν το πλεονέκτημα της κατανομής των φορτίων σε μεγαλύτερη επιφάνεια μειώνοντας έτσι τις τοπικές εντάσεις. Επιπρόσθετα, η χρήση τους επιτρέπει την πλήρη επαφή των προς σύνδεση στοιχείων χωρίς να απαιτούνται τροποποιήσεις στο σχήμα ή την επιφάνεια επαφής τους. Τέλος σημειώνεται ότι έχουν το πλεονέκτημα να δημιουργούν ένα αδιαπέραστο φράγμα υγρασίας.

Τα είδη των πολυμερών που χρησιμοποιούνται είναι αρκετά. Όμως για τις διαδικασίες επισκευής και ενίσχυσης των κατασκευών από σπλισμένο σκυρόδεμα, τα πλέον διαδεδομένα και ενδεδειγμένα πολυμερή είναι (κυρίως) οι εποξειδικές και δευτερευόντως οι πολυεστερικές ρητίνες.

Στην πράξη έχει επικρατήσει η ονομασία ρητίνη, υπονοώντας την ρητινοειδή κόλλα. Στην συνέχεια ο όρος ρητίνη χρησιμοποιείται με αυτήν την έννοια ενώ όταν χρειάζεται να δηλωθεί το πρώτο συστατικό πριν την ανάμιξη θα χρησιμοποιείται ο όρος "**συστατικό Α**".

Κρίσιμο μειονέκτημα των τεχνικών που χρησιμοποιούν κόλλες είναι ότι απαιτούν ειδικό προγραμματισμό των εργασιών επέμβασης επειδή :

- ο χρόνος εργασιμότητας τους (pot life) δηλαδή ο χρόνος που η ρευστότητα τους επιτρέπει να χρησιμοποιηθούν, είναι μικρός
- τα στοιχεία που συγκολλήθηκαν θα πρέπει να παραμείνουν αδιατάρακτα για όσο χρόνο (ώρες ή ημέρες) διαρκεί η συγκόλληση τους.

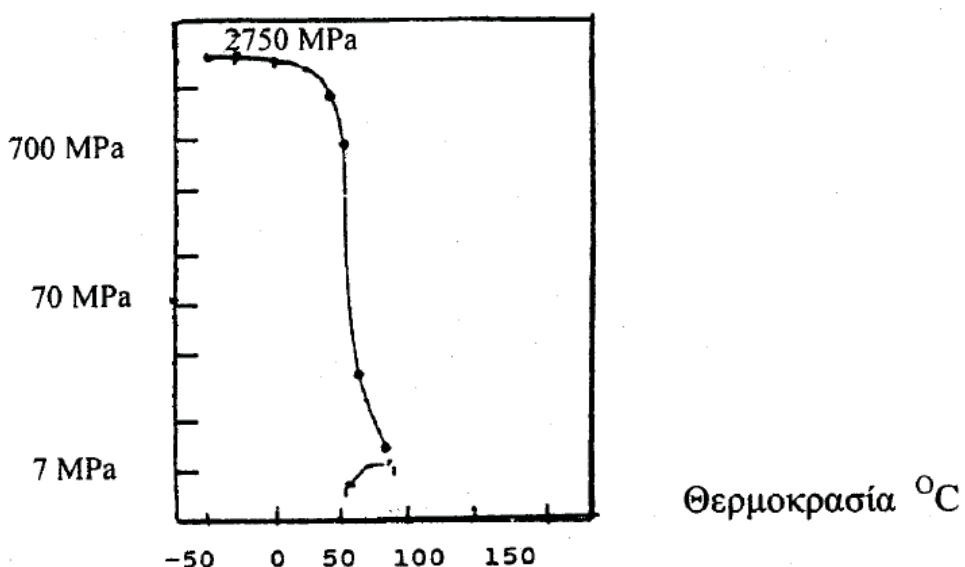


Σχήμα 8.17 Πολυμερικές κόλλες εμπορίου

Εξάλλου δεν πρέπει να λησμονούνται τα βασικά προβλήματα, όλων των ρητινοειδών υλικών, που οφείλονται στο γεγονός ότι τα χαρακτηριστικά τους είναι διαφορετικά από αυτά του σκυροδέματος και πολλές φορές καθορίζουν τα όρια εφαρμογής της παραπάνω τεχνικής. Ως τέτοια μπορούν να επισημανθούν :

1. Η μικρή αντοχή του υλικού σε υψηλές θερμοκρασίες. Όπως είναι γνωστό από την βιβλιογραφία τα χαρακτηριστικά της κόλλας, αρχίζουν να αλλάζουν και η αντοχή της μειώνεται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 50° C. Στο **Σχήμα 4.18**, δείχνεται αυτή η επίδραση στο Μέτρο Ελαστικότητας. Τελικά η κόλλα καίγεται σε θερμοκρασίες υψηλότερες από 250° C. Γίνεται ως εκ τούτου προφανής ο κίνδυνος που δημιουργείται σε περίπτωση πυρκαγιάς και για αυτό απαιτείται να ληφθούν ειδικά μέτρα προστασίας των επισκευασμένων δομικών στοιχείων.

Μέτρο Ελαστικότητας (MPa)



Σχήμα 8.18 Επίδραση θερμοκρασίας στο Μέτρο ελαστικότητας

2. Το Μέτρο Ελαστικότητας του υλικού είναι πολύ μικρότερο από αυτό του σκυροδέματος. Εν γένει είναι μικρότερο από το 1/10 της τιμής του Μέρου Ελαστικότητας του συνηθισμένου σκυροδέματος.

Κρίσιμος παράγοντας επιτυχίας της συγκόλλησης είναι η προετοιμασία της επιφάνειας του σκυροδέματος. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να είναι υγιής και καθαρή. Εξάλλου επισημαίνεται ότι εάν δεν έχουν αποκαλυφθεί τα χονδρόκοκκα αδρανή, η αντοχή της σύνδεσης θα είναι μειωμένη. Αυτό επιβάλλεται από το γεγονός ότι η αντοχή της σύνδεσης εξαρτάται από την αντοχή του ασθενέστερου συγκολλημένου στοιχείου ενώ η επιδερμική στρώση σκυροδέματος είναι πάντοτε ασθενέστερη από το σκυρόδεμα που είναι κάτω από την επιφάνεια.

Οι συνηθέστερες χρήσεις της κόλλας στο τομέα των επισκευών και ενισχύσεων είναι:

- a) η συγκόλληση νωπού ή σκληρυμένου σκυροδέματος σε σκληρυμένο σκυρόδεμα
- b) η συγκόλληση άλλων υλικών στο σκυρόδεμα
- c) οι αγκυρώσεις ράβδων σε σκληρυμένο σκυρόδεμα και
- d) η επισκευή ρωγμών στο σκυρόδεμα.

Στην πράξη, το μεγαλύτερο μερίδιο εργασιών με πολυμερικές κόλλες αφορά τις επισκευές ρωγμών με την τεχνική των ρητινενέσεων. Σε εργασίες μετασεισμικών επεμβάσεων το οικονομικό αντικείμενο των εργασιών με ρητινενέσεις εκτιμήθηκε σε ποσοστό 90% του συνόλου των εργασιών με πολυμερικές κόλλες.

4.4.6 Επισκευή ρωγμών με ρητινενέσεις

Με τον όρο ρητινένωση, προσδιορίζεται η διαδικασία έγχυσης μιας ρητινοειδούς κόλλας στις ρωγμές του στοιχείου, με ενέσιμο τρόπο. Τα τελευταία χρόνια, η τεχνική των ρητινενέσεων έχει αποδειχθεί ως η καλύτερη διαδικασία επισκευής ρωγμών σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το εύρος των ρωγμών, στο οποίο συνήθως εφαρμόζεται, κυμαίνεται από 0.1 mm έως 3.0 mm.

Τα μέχρι σήμερα αποτελέσματα από πειραματικές έρευνες και εφαρμογές πεδίου, δείχνουν ότι με την τεχνική αυτή, μπορεί να επιτευχθεί πλήρης επισκευή των ρωγμών και επαναφορά της μονολιθικότητας και στατικής ακεραιότητας του στοιχείου ή της κατασκευής.

Συχνά στην πράξη επικρατεί η αντίληψη ότι οι ρωγμές στον φέροντα οργανισμό είναι πάντοτε επικίνδυνες. Όμως είναι πάντοτε έτσι; Στη συνέχεια γίνεται μια προσπάθεια να απαντηθεί το παραπάνω ερώτημα και ακολουθούν τα σχετικά με την εφαρμογή της τεχνικής των ρητινενέσεων.



Σχήμα 8.19 Εφαρμογή ρητινενέσεων

4.4.7 Σύγκριση της μεθόδου των ρητινενέσεων σε σχέση με άλλες τεχνικές επισκευής ρωγμών

Την τελευταία εικοσαετία, έχουν χρησιμοποιηθεί στην πράξη διάφορες μέθοδοι για την επισκευή ρωγμών από σπλισμένο σκυρόδεμα. Με εξαίρεση την τεχνική των ρητινενέσεων, πρέπει να τονιστεί ότι οι περισσότερες από αυτές, αποδείχθηκαν ανεπιτυχείς. Ενδεικτικά αναφέρονται μερικές από αυτές:

- Το σφράγισμα των ρωγμών με ειδικά κονιάματα που έχουν ως βάση το τσιμέντο.
- Η εφαρμογή υγρής μεμβράνης.
- Η εφαρμογή μεμβράνης από ίνες γυαλιού, ανάμεσα από επάλληλες στρώσεις επιφανειακού σφραγίσματος της ρωγμής με ειδικά κονιάματα τσιμέντου.
- Η εφαρμογή διαφόρων ειδών σιλικόνης σε όλη την επιφάνεια του δομικού στοιχείου ή σε αυλάκια διεύρυνσης του ίχνους της ρωγμής, καθ' όλο το μήκος της.
- Η χρήση διαφόρων ειδών μαστίχας ή εποξειδικής παχύρρευστης κόλλας, για τη γεφύρωση του ανοίγματος της ρωγμής.

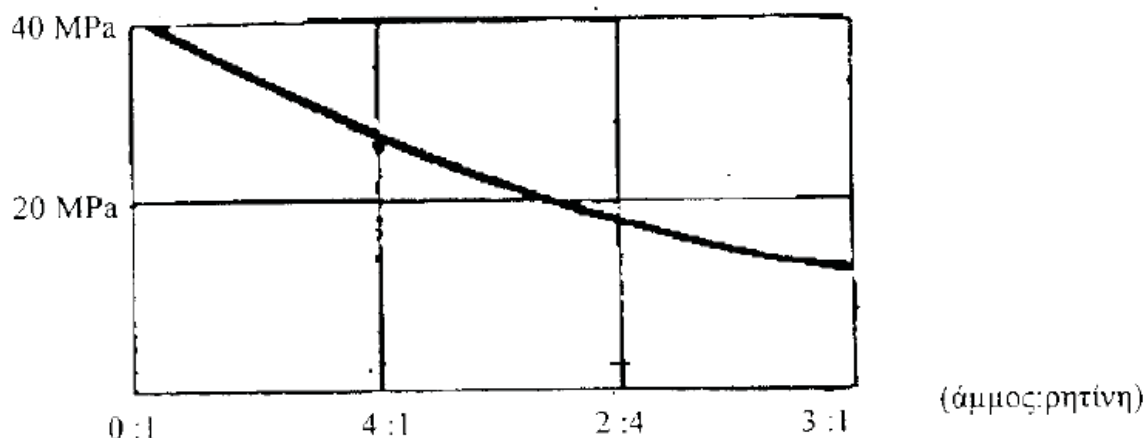
Το βασικό πρόβλημα, όλων των παραπάνω διαδικασιών, σχετίζεται κύρια με την γήρανση του υλικού επισκευής. Έτσι οι τεχνικές αυτές, δεν συνιστώνται πλέον, παρά μόνο ως προσωρινοί τρόποι αποκατάστασης. Αντίθετα η τεχνική των ενέσεων με ρητίνες, φαίνεται να μπορεί να δημιουργήσει μόνιμη αποκατάσταση, που δεν χάνει την αντοχή της με τον χρόνο. Παρακάτω αναφέρονται μερικά από τα βασικά πλεονεκτήματα της τεχνικής των ρητινενέσεων :

1. Οι κόλλες γεμίζουν το κενό της ρωγμής και δεν γεφυρώνουν απλώς το άνοιγμα. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται πλήρης συνέχεια του υλικού. Επίσης, οι οπλισμοί στην περιοχή της ρωγμής, εγκιβωτίζονται πλήρως και έτσι προστατεύονται από κάθε διαδικασία οξειδωσης ή άλλης περιβαλλοντικής προσβολής. Επιπροσθέτως, αποκαθίσταται πλήρως η συνάφεια του οπλισμού και του περιβάλλοντος σκυροδέματος.
2. Οι υψηλές αντοχές εφελκυσμού και συνάφειας των ρητινών με το σκυρόδεμα, εμποδίζουν την αύξηση του εύρους και του μήκους των ρωγμών.
3. Οι κόλλες που χρησιμοποιούνται, δεν είναι υλικά ευάλωτα από παράγοντες που συχνά επιδρούν δυσμενώς στην κατασκευή, όπως π.χ. αλκαλικότητα, ιόντα, περιβαλλοντικές δράσεις. Εξάλλου το υλικό που βρίσκεται στο βάθος της ρωγμής, δέχεται πολύ μικρότερες επιδράσεις, από το υλικό που βρίσκεται στην επιφάνεια του στοιχείου.
4. Όσον αφορά τη διαδικασία γήρανσης του υλικού επισκευής, είναι χαρακτηριστικό ότι οι ρητινενέσεις υπερτερούν σημαντικά έναντι των άλλων τεχνικών επισκευής ρωγμών επειδή η μεγαλύτερη ποσότητα της ρητίνης, βρίσκεται στο εσωτερικό της ρωγμής, όπου το άνοιγμα και κλείσιμο των παρειών, λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών του περιβάλλοντος είναι πολύ μικρότερο από ότι στην επιφάνεια του στοιχείου.
 Ως γνωστό, το εύρος της ρωγμής μεταβάλλεται λόγω εποχιακών ή και εντός 24ώρου μεταβολών της θερμοκρασίας στο περιβάλλον του στοιχείου. Οι κινήσεις των παρειών της ρωγμής είναι ουσιαστικά μικρές, όμως δεν είναι ασήμαντες στην επιφάνεια του στοιχείου όπου η εναλλαγή ηλιακής ακτινοβολίας με το κρύο, είναι πολύ έντονη. Έτσι παρόλο που το άνοιγμα και κλείσιμο της ρωγμής δεν είναι ορατό, το υλικό επισκευής που βρίσκεται στην επιφάνεια του στοιχείου, γηράσκει, λόγω της επαναλαμβανόμενης έντασης, ενώ για το υλικό που βρίσκεται στο βάθος της ρωγμής, η ένταση είναι μικρότερη.
5. Ως προς το αισθητικό αποτέλεσμα της επέμβασης, θα πρέπει να τονιστεί ότι η τεχνική των ρητινενέσεων, αποτελεί μοναδική ίσως διαδικασία με τόσο υψηλό βαθμό διακριτικότητας.

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα, της τεχνικής των ρητινενέσεων, επισημαίνεται ιδιαίτερα η ανάγκη χρησιμοποίησης εξειδικευμένου και έμπειρου προσωπικού, και ακόμη οι σοβαροί κίνδυνοι που προκύπτουν από την ανεπιτυχή εφαρμογή της μεθόδου. Για την επίδραση του χαμηλού Μέτρου Ελαστικότητας της κόλλας στην συμπεριφορά του επισκευασμένου στοιχείου μπορούν να επισημανθούν τα εξής :

Το Μέτρο Ελαστικότητας της κόλλας έχει ασήμαντη επίδραση στις γραμμικές παραμορφώσεις του στοιχείου, επειδή το πάχος της είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με το αντίστοιχο μήκος του στοιχείου. Όμως η επίδραση στις στροφές της επισκευασμένης διατομής είναι ιδιαίτερα σημαντική και επομένως, γι' αυτό το λόγο πρέπει να προτιμούνται υλικά, με όσο το δυνατόν, μεγαλύτερο Μέτρο Ελαστικότητας. Παρόλο που δεν υπάρχουν εν γένει συστάσεις για ένα κάτω όριο του Μέτρου Ελαστικότητας σε κάμψη, σκόπιμο είναι προσωρινά να επιλέγονται υλικά με τιμή $E > 2000 \text{ MPa}$, όπως, έστω αυθαίρετα, έχει προταθεί από ερευνητές με εμπειρία στην εφαρμογή.

Ένα μεγαλύτερο Μέτρο Ελαστικότητας θα μπορούσε να επιτευχθεί σε περιπτώσεις χρησιμοποίησης ρητινοκονιαμάτων, δηλαδή κονιαμάτων που προκύπτουν από την ανάμιξη αδρανών (συνήθως filler) με ρητίνη. Όμως τέτοιου είδους υλικά έχουν πολύ μεγάλο ιξώδες και μπορούν ως εκ τούτου να χρησιμοποιηθούν μόνο σε ρωγμές μεγάλου εύρους (μεγαλύτερου από 3 mm). Πέρα από αυτό είναι γνωστό ότι οι αντοχές του υλικού μειώνονται σημαντικά όπως εξάλλου φαίνεται και στο διάγραμμα του **Σχήμα 8.20**.



Σχήμα 8.20 Επίδραση προσθήκης αδρανών στην αντοχή ρητινοκονιαμάτων

4.4.8 Διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου των ρητινενέσεων

Απ' όσα προαναφέρθηκαν, είναι προφανές ότι η τεχνική των ρητινενέσεων είναι η καταλληλότερη διαδικασία για την επισκευή των ρωγμών, σε στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στην συνέχεια αναφέρονται τα επιμέρους στάδια εκτέλεσης της επέμβασης, όπως αυτά προτείνονται σε διάφορα εγχειρίδια και εφαρμόζονται στην πράξη:

1. Καθαρίζεται η ρωγμή και η γειτονική περιοχή με πεπιεσμένο αέρα.
2. Τοποθετούνται μικρά κομμάτια, ταινίας κατά μήκος της ρωγμής.
3. Διανοίγονται οπές διαμέτρου 5-10 mm με τρυπάνι, σε ορισμένες θέσεις κατά μήκος της ρωγμής. Κρίσιμο σημείο της τεχνικής είναι η επιλογή των θέσεων των οπών και αυτό θα αναπτυχθεί εκτενέστερα παρακάτω. Στη συνέχεια η περιοχή καθαρίζεται από κάθε υπόλοιπο, για να απομακρυνθεί ο κίνδυνος απόφραξης της διόδου του ενέματος. Ο κίνδυνος αυτός είναι ο λόγος που ειδικοί της πράξης, προτείνουν αποφυγή της διάνοιξης των οπών. Ένας ακόμη λόγος που συνηγορεί στην αποφυγή διάνοιξης οπών είναι ότι το επίπεδο της ρωγμής, δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια, και έτσι υπάρχει η πιθανότητα να διανοιχτεί η οπή έξω από το επίπεδο της ρωγμής.
4. Προσαρμόζονται επιστόμια στις θέσεις όπου, είτε έχουν διανοιχτεί οπές είτε όχι, θα χρησιμοποιηθούν ως σημεία έγχυσης της κόλλας.
5. Σφραγίζεται επιφανειακά, η ρωγμή με ρητινόστοκο ταχείας σκλήρυνσης ή άλλο αντίστοιχο υλικό που θα εμποδίσει τη διαφυγή της κόλλας έξω από την ρωγμή.

6. Αναμειγνύονται τα δύο συστατικά, η ρητίνη και ο σκληρυντής, για περίπου 3 min, σε κατάλληλο αναμικτήρα, έτσι ώστε να μην συγκρατείται αέρας στο μίγμα και να μην υψώνεται η θερμοκρασία περισσότερο από 40°C για μίγματα ταχείας ή μέσης αντίδρασης, ή περισσότερο από 60° C για μίγματα βραδείας αντίδρασης. " Συνίσταται, όπως η ανάμιξη εκτελείται όσο το δυνατό πιο κοντά στη θέση που θα γίνει η επέμβαση, για να υπάρχει διαθέσιμος μεγαλύτερος χρόνος εργασιμότητας του υλικού.
7. Εκτελείται η ρητινένωση, αρχίζοντας από το χαμηλότερο επιστόμιο, μέχρις ότου η κόλλα εμφανιστεί στο αμέσως υπερκείμενο σημείο. Στη συνέχεια το πρώτο επιστόμιο, σφραγίζεται και η διαδικασία συνεχίζεται από το επόμενο προς τα πάνω σημείο κ.ο.κ.
8. Αφαιρείται ο ρητινόστοκος σφράγισης, μετά από 24 ώρες, με τρίψιμο της επιφάνειας. Στην πράξη έχουν επικρατήσει δύο διαδικασίες ανάμιξης της ρητίνης και του σκληρυντή. Στην πρώτη, η ανάμιξη των δύο συστατικών γίνεται ξεχωριστά και στη συνέχεια το υλικό τοποθετείται στο δοχείο της αντλίας, το οποίο φέρει ακροφύσιο για την εκτέλεση της επέμβασης και μανόμετρο για την μέτρηση της πίεσης έγχυσης του μίγματος. Στη δεύτερη διαδικασία, χρησιμοποιούνται μηχανές αυτόματης συνεχούς ανάμιξης με ελεγχόμενη τροφοδοσία. Έτσι επιτυγχάνεται πλήρης εκμετάλλευση του χρόνου εργασιμότητας.

4.4.9 Επιλογή υλικού

Η επιλογή του κατάλληλου υλικού επισκευής και της σχετικής διαδικασίας, είναι κρίσιμος παράγοντας για την επιτυχία της επέμβασης. Η συνήθης εμπειρία των Μηχανικών, είναι μικρή ή ανύπαρκτη, αφού η επισκευή των ρωγμών δεν αποτελεί καθημερινή πρακτική. Εξάλλου το πλήθος των υλικών που κυκλοφορούν στο εμπόριο, είναι υπερβολικά μεγάλο. Τα στοιχεία που προσφέρονται από αυτούς που διαθέτουν τα υλικά περιορίζονται συνήθως σε διαφημιστικά έντυπα και οδηγίες χρήσης, ενώ απουσιάζουν δεδομένα από αποτελέσματα δοκιμών και εγγυημένα χαρακτηριστικά που να καθορίζονται με συγκεκριμένες τιμές. Πρέπει να τονιστεί, ότι ο Μηχανικός δεν πρέπει να αφήνεται σε συστάσεις "ειδικών", έστω και αν αυτοί είναι οι αρμόδιοι που διαθέτουν τα υλικά.

Προηγουμένως πρέπει να διερευνηθεί η αγορά και η επιλογή πρέπει να γίνεται μετά από συγκριτική μελέτη των τεχνικών χαρακτηριστικών των υλικών που διατίθενται, σε συνάρτηση με τις ειδικότερες απαιτήσεις της βλάβης, ως επίσης και με τις απαιτήσεις της επισκευαστικής τεχνικής. Στο σημείο αυτό είναι χρήσιμο να υπενθυμιστεί, η βασική διάκριση των ρωγμών σε ενεργές και μη.

- **Ενεργές** είναι οι ρωγμές, όταν συνεχίζονται οι μετακινήσεις, όπως μπορεί να διαπιστωθεί από την αύξηση του εύρους ή του μήκους τους.
- **Μη-ενεργές** είναι οι ρωγμές όταν δεν υπάρχουν πλέον μετακινήσεις.

Στην περίπτωση των ενεργών ρωγμών, όπου δεν προβλέπεται η αναίρεση της αιτίας που τις προκαλεί, πρέπει αφ' ενός να ληφθούν μέτρα, έτσι ώστε οι μετακινήσεις αυτές να μην προκαλούν βλάβες στο φορέα και αφ' ετέρου το υλικό επισκευής που θα επιλεγεί να έχει μεγάλη παραμορφωσιμότητα. Από πρακτική άποψη, εξάλλου θα πρέπει να επιδιώκεται η έγχυση τη στιγμή που η ρωγμή βρίσκεται στην ευρύτερη της θέση. Διαφορετικά, θα πρέπει να επιλεγεί κάποιο

υλικό που αποκτά την εφελκυστική του αντοχή, πολύ γρήγορα. Αντίθετα το υλικό που θα επιλεγεί για την επισκευή μη-ενεργών ρωγμών, δεν πρέπει να είναι παραμορφώσιμο.

Οι διαβεβαιώσεις των προμηθευτών για την παραμορφωσιμότητα ενός προϊόντος, πρέπει να εξετάζονται με προσοχή. Έτσι, αν για παράδειγμα απαιτείται παραμόρφωση κόλλας της τάξης του 100% και ο προμηθευτής διαβεβαιώνει ότι η παραμόρφωση θραύσης υπερβαίνει το 100%, η επιτυχία της επέμβασης δεν θεωρείται εξασφαλισμένη,, όταν η ένταση που απαιτείται για να αναπτυχθεί αυτό το μέγεθος της παραμόρφωσης ξεπερνά την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος.

Για ρωγμές που ανοιγοκλείνουν λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών και οι μετακινήσεις είναι μικρές, χρησιμοποιούνται ημί-παραμορφώσιμες κόλλες. Χρειάζεται βέβαια να τονιστεί ότι εν γένει δεν διατίθενται στην αγορά, κόλλες με μεγάλη παραμορφωσιμότητα και ότι η τεχνική των ρητινένεσεων εφαρμόζεται σχεδόν πάντοτε, σε μη-ενεργές ρωγμές.

Στον **Πίνακα 9** παρουσιάζονται συνοπτικά, ενδεικτικές τιμές από ιδιότητες και χαρακτηριστικά ενός τυχαίου δείγματος ορισμένων ρητινών που κυκλοφορούν στην αγορά, για να εκτιμηθεί η τάξη μεγέθους των χαρακτηριστικών τους. Πάντως, όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς μία πλήρης σύγκριση χαρακτηριστικών είναι αδύνατη, αφού τα στοιχεία των διαφόρων προμηθευτών, δεν είναι συγκρίσιμα. Αυτό προφανώς οφείλεται στην έλλειψη προδιαγραφών και συγκεκριμένων προκαθορισμένων υποχρεωτικών δοκιμών για κάθε υλικό, πριν αυτό διατεθεί στην αγορά.

Γι' αυτό σε πολλές περιπτώσεις, η απόφαση επιλογής του υλικού λαμβάνεται από σύγκριση της θλιπτικής αντοχής μόνο, αφού αυτό το στοιχείο σχεδόν πάντοτε διατίθενται με συγκρίσιμο τρόπο. Αυτό αν και θα μπορούσε να θεωρηθεί λογικό, επειδή σε πολλές περιπτώσεις τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά βρίσκονται σε συνάρτηση με τη θλιπτική αντοχή, δεν οδηγεί σε σωστά συμπεράσματα πάντοτε.

Ιδιότητες Χαρακτηριστικά	Μέθοδος Δοκιμής	Συμβατική Ονομασία Υλικού					
		A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6
Θλιπτική αντοχή [MPa]	ASTM D695	68,9	61,1	110	117	85,8	103,4
Χρόνος ** εργασιμότητας [min]	*	60 για 106 5 gr	300 για 106 5 gr	19 για 60 gr	170 για 100 gr	*	28 για 60 gr
Ιξώδες [PS]	ASTM D1824- mod	6,0	5,0	3,5	χαμηλό	4,0	1,4

Ιδιότητες Χαρακτηριστικά	Μέθοδος Δοκιμής	Συμβατική Ονομασία Υλικού					
		A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6
Αντοχή λοξής διάτμησης [MPa]	AASTHO T-237	48,2	*	34,5	*	*	34,5
Μέτρο ελαστικότητας [MPa]	ASTM D695	965	827	1585	1379	1372	2785
Αντοχή σε εφελκυσμό [MPa]	ASTM D638	41,4	34,5	62	27,5 – 41,4	57,2	55,2
Παραμόρφωση θραύσεως [%]	ASTM D638	2,0	2,5	2,5	0,5-1,2	1,5	2
Εφελκυστική αντοχή σε κάμψη [MPa]	ASTM D790	68,9	55,1	82,7	*	107,3	89,6
Μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη [MPa]	ASTM D790	2413	2068	4137	*	2842	3447,5
Θερμοκρασία παραμόρφωσης	ASTM D648	49 °C	45 °C	57 °C	43-115 ° C ***	46 °C	60 °C
Χρόνος απόκτησης αντοχής [ημέρες]	*	7	20	3	7	*	2
* δεν διατίθενται στοιχεία							
** στους 25 °C							
*** ανάλογα με τις συνθήκες συντήρησης							

Ιδιότητες Χαρακτηριστικά	Μέθοδος Δοκιμής	Συμβατική Ονομασία Υλικού				
		B 1	B 2	B 3	B 4	B 5
Θλιπτική αντοχή [MPa]	ASTM D695	92,2	105	129	112	101
Χρόνος ** εργασιμότητας [min]	Ποσότητα υλικού 200 gr	25	80	45	30	81
Ιξώδες [PS]****	ASTM D1824- mod	4,5	2,0	2,8	*	44,0
Αντοχή λοξής διάτμησης [MPa]	AASTHO T-237	55,1	49,5	44	44	55
Αντοχή συγκόλλησης σκληρυμένου σκυροδέματος [MPa]	AASTHO T-237	3,0	3,9	5,5	2,5	3,4
Αντοχή συγκόλλησης νωπού και σκληρυμένου σκυροδέματος [MPa]	AASTHO T-237	3,0	2,9	2,8	4,1	4,0
* δεν διατίθενται στοιχεία						
** στους 25 °C						
**** στους 20 °C						

Πίνακας 9 Τυπικά χαρακτηριστικά ενέσιμων ρητινών

Η επιλογή του υλικού και της επισκευαστικής διαδικασίας, πρέπει να γίνεται, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα χαρακτηριστικά των υλικών, με ιδιαίτερη έμφαση στη συνάφεια με το σκυρόδεμα, στο Μέτρο Ελαστικότητας, και στον χρόνο εργασιμότητας του υλικού, σε συνάρτηση με το είδος της βλάβης και τα διατιθέμενα μέσα.

4.4.10 Παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την επιτυχία της μεθόδου

Τονίζεται με έμφαση ότι η επιτυχία της επέμβασης εξαρτάται από το βαθμό πλήρωσης της ρωγμής με ρητινοειδή κόλλα. Μόνο αν εξασφαλιστεί τέλεια ή τουλάχιστον κατά 90% πλήρωση της ρωγμής, η επισκευή θεωρείται αποδεκτή. Πρέπει δηλαδή η έγχυση του μίγματος να γίνει με τέτοιο τρόπο, ώστε η ρητίνη να πάει σε κάθε σημείο της ρωγμής.

Η ροή, όμως του ενέματος, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η γεωμετρία της ρωγμής, η απόσταση των σημείων έγχυσης, η πίεση του ενέματος και το ιξώδες του υλικού. Οι παράγοντες αυτοί, αλληλεξαρτώνται και έτσι το πρόβλημα επιλογής των καταλληλότερων συνθηκών εκτέλεσης της εργασίας είναι σύνθετο..

Στην συνέχεια εξετάζονται αναλυτικά οι παραπάνω παράγοντες. Η γεωμετρία της ρωγμής, σε συνάρτηση με την γεωμετρία του φορέα είναι καθοριστική για την επιλογή των σημείων έγχυσης της κόλλας. Έτσι οι αποστάσεις των επιστομίων δεν μπορεί να είναι σταθερές και οποιασδήποτε μορφής συστάσεις για την τάξη μεγέθους των αποστάσεων, πρέπει να θεωρούνται εντελώς ενδεικτικές.

Οι αποστάσεις που συνήθως εφαρμόζονται, κυμαίνονται από 15 έως 100 cm, ενώ συχνά χρησιμοποιείται ως μέτρο το πάχος του στοιχείου. Επιλέγονται δηλαδή αποστάσεις, ίσες περίπου με το πάχος του στοιχείου. Αυτό στηρίζεται στην υπόθεση, ότι η κόλλα ταξιδεύει προς κάθε κατεύθυνση με τον ίδιο ρυθμό. Παρά το γεγονός ότι η ρωγμή μπορεί να μην ακολουθεί το επίπεδο που ορίζεται από το ίχνος της ή μπορεί να υπάρχουν σημεία στο εσωτερικό, που να εμποδίζουν την διείσδυση του ενέματος, δεν είναι άστοχο να χρησιμοποιείται αυτός ο κανόνας ως ένδειξη τάξης μεγέθους της απόστασης, σε περιπτώσεις που η πείρα του Μηχανικού δεν είναι επαρκής, λαμβάνοντας τέλος πάντων υπόψη ότι το εσωτερικό της ρωγμής είναι άγνωστο.

Επαναλαμβάνεται πάντως ότι οι αποστάσεις αυτές είναι ενδεικτικές και στην πράξη είναι σκόπιμο να προτιμούνται εκείνα τα σημεία, όπου υπάρχουν τοπικές διευρύνσεις της ρωγμής. Η υποτιθέμενη συντηρητική άποψη για επιλογή μικρών αποστάσεων δεν είναι πραγματικά συντηρητική, επειδή υπάρχει κίνδυνος να πληρωθεί η ρωγμή μόνο προς την πλευρά του στοιχείου που γίνεται η ένεση.

Η πίεση του ενέματος είναι καθοριστική για τη συνεχή ροή του υλικού και είναι προφανές ότι αυτή πρέπει να μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της επέμβασης. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην ρύθμιση της πίεσης έτσι ώστε να επιτυγχάνεται περίπου σταθερή πρόοδος του ενέματος, και να αποφευχθεί ο κίνδυνος αποσφράγισης του ρητινόστοκου και (ακόμα χειρότερα) η περαιτέρω διεύρυνση της ρωγμής, λόγω υψηλής πίεσης.

Ως εκ τούτου είναι προφανές, ότι προτιμούνται κόλλες για τις οποίες η απαιτούμενη εισαγόμενη πίεση ενέματος, είναι μικρή. Οριακά μάλιστα σε περιπτώσεις με σχετικά ευρείς ρωγμές, χωρίς πιθανές αποφράξεις, η κόλλα μπορεί να εισάγεται χωρίς πίεση και να διεισδύει με τη βαρύτητα. Επίσης σε περιπτώσεις ρωγμών που είναι πολύ λεπτές και με σχετικά μικρό βάθος, μπορεί να γίνει εμποτισμός της ρωγμής χωρίς πίεση, εκμεταλλευόμενοι το τριχοειδές φαινόμενο.

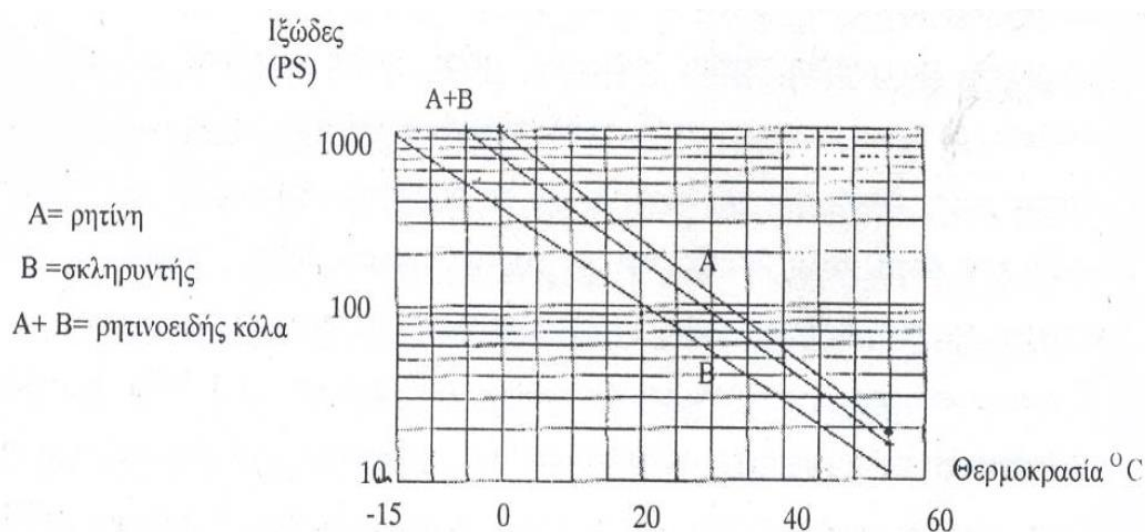
Η εισαγόμενη πίεση του ενέματος, συνήθως δεν ξεπερνά το 1 MPa. Εξάλλου σημειώνεται ότι πολύ καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται όταν μπροστά από την συσκευή έγχυσης προσαρμόζεται ένα σύστημα δημιουργίας κενού. Έτσι αποφεύγεται ο εγκλωβισμός αέρα και επομένως όλη η ρωγμή γεμίζει με κόλλα. Το σύστημα αυτό είναι ιδιαίτερα απαραίτητο σε "τυφλές" ρωγμές.

Το ιξώδες της κόλλας είναι ένας άλλος σοβαρός παράγοντας που επηρεάζει την επιτυχία της επέμβασης. Όπως είναι λογικό, σε περιπτώσεις όπου είναι αδύνατον να σφραγιστούν όλα τα μέτωπα της ρωγμής (έστω και αν αυτό δεν είναι καλή εφαρμογή της τεχνικής) πρέπει να προτιμώνται υλικά με υψηλό ιξώδες. Εξάλλου είναι προφανές ότι το ιξώδες του υλικού και η πίεση του ενέματος, αλληλεξαρτώνται και εν τέλει επηρεάζουν την διάρκεια εκτέλεσης της εργασίας.

Όσο μικρότερο είναι το ιξώδες του υλικού, τόσο μεγαλύτερη είναι η διείσδυση της κόλλας και επομένως τόσο μικρότερη είναι η πίεση με την οποία απαιτείται να εισαχθεί το ένεμα. Όμως το ιξώδες μεταβάλλεται με το χρόνο λόγω πολυμερισμού της κόλλας και αυξάνεται όσο περνάει ο χρόνος από τη στιγμή της ανάμιξης μέχρις ότου εξαντληθεί ο χρόνος εργασιμότητας (pot life) του υλικού.

Η ιδιαίτερα αυξημένη θερμοκρασία στο μίγμα, είναι ένδειξη ότι ο εργάσιμος χρόνος έχει εξαντληθεί. Χρειάζεται επομένως, ιδιαίτερη προσοχή, για να αποφευχθεί ο κίνδυνος σκλήρυνσης του ενέματος μέσα στη ρωγμή, οπότε δεν μπορεί να συνεχιστεί η διαδικασία από το ίδιο επιστόμιο. Γι' αυτό προτείνεται, να αφήνονται πάντα συμπληρωματικά σημεία ασφαλείας, έτσι ώστε να μπορεί να συνεχιστεί από εκεί η έγχυση του ενέματος. Γίνεται λοιπόν φανερό, ότι η μηχανή αυτόματης ανάμιξης, προσφέρει, ιδιαίτερα στον τομέα αυτό.

Το ιξώδες εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Όπως φαίνεται από τον **Πίνακα 10** και το **Σχήμα 4.21**, η μείωση του ιξώδους με την αύξηση της θερμοκρασίας είναι ιδιαίτερα σημαντική για κάθε τύπο κόλλας.



Σχήμα 8.21 Επίδραση θερμοκρασίας στο ιξώδες

Συμβατική ονομασία ρητινοειδούς κόλλας	T = 4° C	T = 25° C	T = 37° C
A 3	44	3,5	1,5
A 5	24	4	*
A 6	6	1,4	0,55
A 7	7,5	1,6	*
	T = 5° C	T = 2° C	T = 35° C
B 1	19	4,5	*
B 2	*	2	0,8
B 3	*	2,8	1,1
B 6	45	8,5	*
B 7	*	8	4,5

* δεν διατίθενται στοιχεία

Πίνακας 10 Ιξώδες ενέσιμων (σε PS) για διαφορετικές θερμοκρασίες

Ο χρόνος εργασιμότητας, είναι, ένα στοιχείο που πάντοτε δίνεται από τον προμηθευτή (βλ. Πίνακα 9).

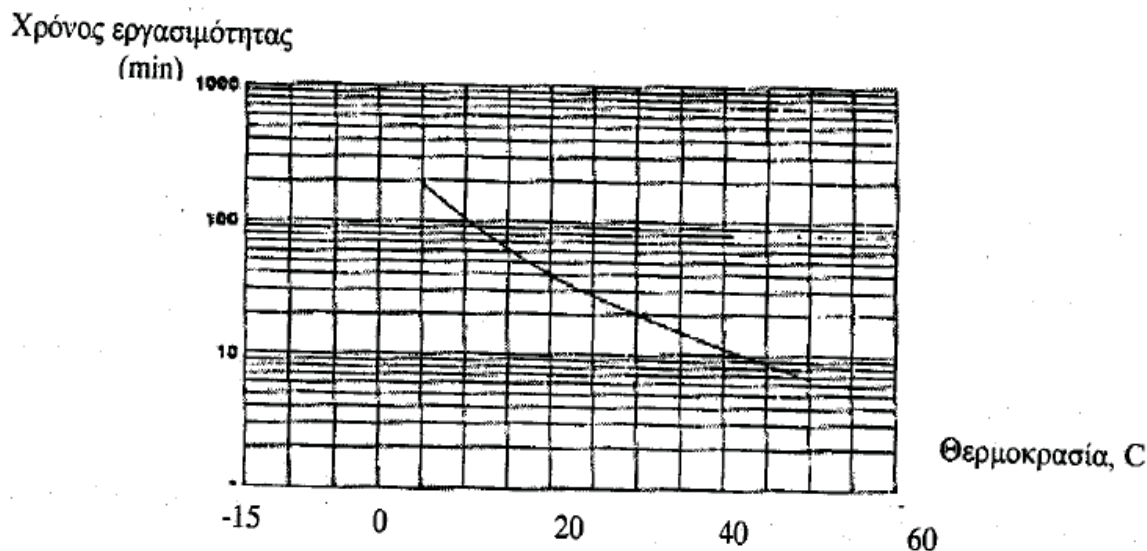
Γενικά μπορεί να λεχθεί ότι για ποσότητες του ενός λίτρου οι εποξειδικές κόλλες έχουν χρόνο εργασιμότητας της τάξεως των 45 min. Ο αντίστοιχος χρόνος στις πολυεστερικές κόλλες είναι της τάξης των 60 min. Αυτός ο χρόνος μπορεί να επιμηκυνθεί αν επιμεριστεί το μίγμα σε μικρότερες ποσότητες ή αναμιγνύοντας μικρότερες ποσότητες ρητίνης και σκληρυντή. Αντίθετα, σε μεγαλύτερες ποσότητες, ο χρόνος εργασιμότητας γίνεται μικρότερος.

Στον **Πίνακα 11**, παρουσιάζονται ενδεικτικά στοιχεία για δύο τύπους κόλλας, από όπου φαίνεται η εξάρτηση του εργάσιμου χρόνου από το μέγεθος του μίγματος. Είναι ενδιαφέρον να παρατηρηθεί ότι η παραπάνω εξάρτηση είναι έντονα διαφορετική για κάθε υλικό.

Συμβατική ονομασία ρητινοειδούς κόλλας	Ποσότητα μίγματος	
		4260 gr
I	50 min	60 min
II	120 min	300 min

Πίνακας 11 Εργάσιμος χρόνος για διαφορετικές ποσότητες μίγματος

Τέλος πρέπει ιδιαίτερα να τονιστεί η μεγάλη εξάρτηση του χρόνου εργασιμότητας από τη θερμοκρασία, που μεγαλώνει όσο μειώνεται η θερμοκρασία (**Σχήμα 4.22**). Στον **Πίνακα 12** δίνονται ενδεικτικά στοιχεία από μερικά υλικά για τα οποία διατίθενται στοιχεία.



Σχήμα 4.22 Ενδεικτικό διάγραμμα για την επίδραση της θερμοκρασίας στο χρόνο εργασιμότητας

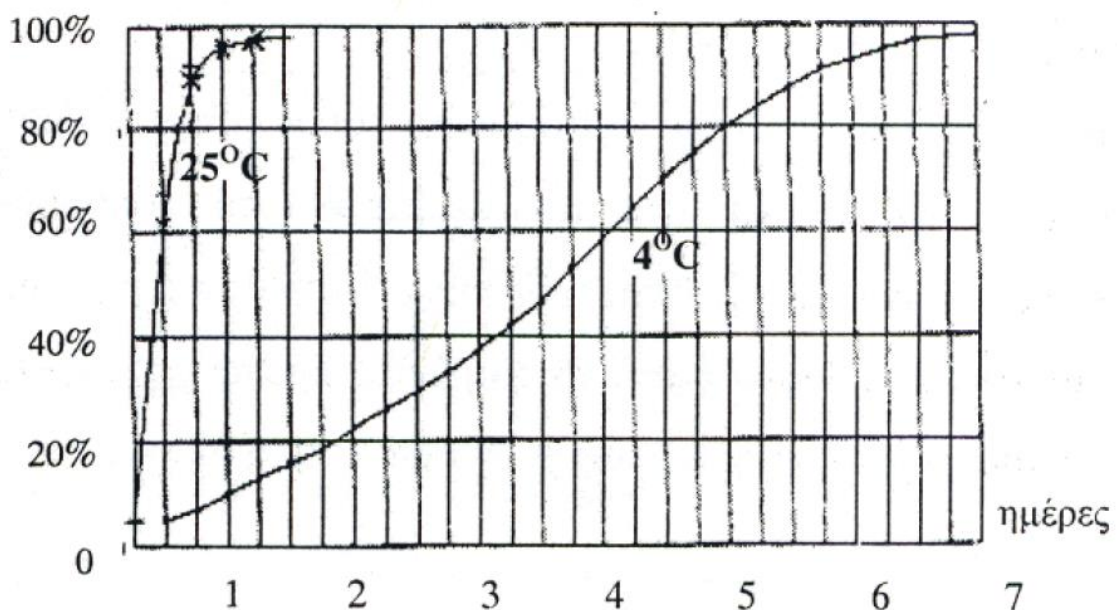
Συμβατική ονομασία ρητινοειδούς κόλλας	T = 4° C				Ποσότητα μίγματος
	T = 4° C	T = 4° C	T = 4° C	T = 4° C	
A 3	*	*	19 min	8,5 min	60 gr
A 6	210 min	62 min	28 min	12 min	60 gr
B 1	380 min	72 min	25 min	*	200 gr
B 2	*	300 min	80 min	*	200 gr
B 3	*	61 min	35 min	*	200 gr

* δεν υπάρχουν στοιχεία

Πίνακας 12 Χρόνος εργασιμότητας σε διαφορετικές θερμοκρασίες

Κλείνοντας, επισημαίνεται η εξάρτηση του χρόνου απόκτησης των μηχανικών αντοχών από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, στη θέση της ρωγμής. Σε χαμηλές θερμοκρασίες, οι αντοχές αποκτώνται αργά, όπως φαίνεται από τις καμπύλες του **Σχήμα 4.23**. Οι καμπύλες αυτές αφορούν ένα τύπο εποξειδικής κόλλας που έχει εφαρμογή στις χαμηλές θερμοκρασίες, μπορεί όμως να θεωρηθεί ότι εκφράζουν ποιοτικά κάθε τύπο κόλλας.

ποσοστό αντοχής



Σχήμα 4.23 Ενδεικτικό διάγραμμα για την επίδραση της θερμοκρασίας στο χρόνο απόκτησης αντοχής.

4.5 Χρήση επικολλητών φύλλων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή

Η χρήση επικολλητών φύλλων , από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή (FRP), για την ενίσχυση στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα, είναι σήμερα μια πολύ δημοφιλής τεχνική λόγω της ευκολίας εφαρμογής της. Ο παραδοσιακός τρόπος εφαρμογής της τεχνικής είναι με χρήση χαλύβδινων ελασμάτων. Σήμερα, έχει αρχίσει να εφαρμόζεται ανταγωνιστικά (με αρκετά πράγματα πλεονεκτήματα) η χρήση φύλλων από ινοπλισμένα πολυμερή. Στην συνέχεια αναπτύσσονται και σχολιάζονται συγκριτικά και οι δύο τεχνικές.

4.5.1 Χρήση χαλύβδινων επικολητών ελασμάτων

Η χρήση χαλύβδινων ελασμάτων που επικολώνται στην εξωτερική επιφάνεια δομικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι μια πολύ πρακτική τεχνική ενίσχυσης, που στοχεύει στη συμπλήρωση του ελλείμματος του προϋπάρχοντος οπλισμού, με νέους οπλισμούς.

Η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για την αύξηση της καμπτικής αντοχής δοκών και πλακών ή της διατμητικής αντοχής δοκών. Τα χαλύβδινα ελάσματα επικολώνται, χρησιμοποιώντας κάποια κατάλληλη κόλλα, σε επίπεδο παράλληλο προς αυτό του προϋπάρχοντος ανεπαρκούς οπλισμού. Έτσι είτε τοποθετούνται στο εφελκυστικό πέλμα των στοιχείων (ενίσχυση σε κάμψη), είτε τοποθετούνται στις παρειές των δοκών (ενίσχυση σε διάτμηση). Επίσης μεταλλικά ελάσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και με τη μορφή κλειστών μανδύων για την ενίσχυση υποστυλωμάτων με τη τεχνική της περισφιγξης.

Τα τελευταία 30 χρόνια η τεχνική εφαρμόστηκε ευρύτατα σε περιπτώσεις ενίσχυσης του εφελκυστικού πέλματος καταστρωμάτων γεφυρών. Οι πρώτες, εφαρμογές έγιναν στην Γαλλία και στη Ν.Αφρική στα μέσα της δεκαετίας του 1960.



Σχήμα 4.24 Χαλύβδινα επικολητά ελάσματα

Συνήθως χρησιμοποιούνται λεπτά χαλύβδινα ελάσματα πάχους 1-1.5 mm με όριο διαρροής που κυμαίνεται από 240 έως 400 MPa. Τα ελάσματα επικολούνται σε μία ή περισσότερες στρώσεις σε συνεχή σύνδεση χρησιμοποιώντας ειδική κόλλα που συνήθως είναι εποξειδική. Συνίσταται η χρησιμοποίηση κόλλας με πλάσιμη συμπεριφορά για καλύτερη κατανομή των τάσεων στην περιοχή αγκύρωσης. Πρόσθετα στοιχεία αγκύρωσης μέσω βλήτρων ή μικροσυνδέσμων (καρφιών) χρησιμοποιούνται συχνά για μεγαλύτερη εξασφάλιση της σύνδεσης.

Το πάχος των ελασμάτων ενίσχυσης πρέπει να είναι μικρό για να αποφεύγεται η πρόωρη αστοχία στην διεπιφάνεια επικόλλησης του ελάσματος, ιδιαίτερα στην ακραία περιοχή αγκύρωσης του. Γενικά προτείνεται να μην ξεπερνά τα 4 mm και

επίσης να είναι μικρότερο από 2% του πλάτους του ελάσματος. Εξάλλου η χρήση ελασμάτων με μικρό πάχος επιτρέπει την καλύτερη σύνδεση με το στοιχείο αφού έτσι ακολουθείται κάθε αλλαγή της επιπεδότητας του πέλματος, χωρίς να εισάγονται πρόσθετες τοπικές τάσεις στο έλασμα. Αυτός είναι ο λόγος που σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ελάσματα σε περισσότερες στρώσεις, αντί για ελάσματα μεγάλου πάχους.

Μια τυπική διαδικασία εφαρμογής της τεχνικής είναι η εξής :

1. Η επιφάνεια του σκυροδέματος που θα έρθει σε επαφή με το συγκολλητικό μέσο λειαίνεται με επιμέλεια και καθαρίζεται καλά από τυχόν σκόνες.
2. Η επιφάνεια του σκυροδέματος διαβρέχεται με νερό υπό πίεση και μετά στεγνώνεται καλά
3. Γίνεται αμμοβολή στην εσωτερική επιφάνεια των ελασμάτων έτσι ώστε να παρεμποδιστεί η οξειδωση του χάλυβα και ακολουθεί καθαρισμός με απολυμαντικό μέσο.
4. Η επιφάνεια του σκυροδέματος εμποτίζεται με αραιό διάλυμα εποξειδικής κόλλας εάν κριθεί ότι είναι ιδιαίτερα πορώδης ή υπάρχουν μικρορηγματώσεις.
5. Η επιφάνεια αναμονής επαλείφεται με εποξειδική κόλλα πάχους 1-2 mm με κατάλληλο ιξώδες που διευκολύνει την τοποθέτηση του ελάσματος. Η κόλλα τοποθετείται με μεγαλύτερο πάχος, που είναι της τάξης των 10 mm, στην κεντρική περιοχή επαφής, έτσι ώστε κατά την τοποθέτηση του ελάσματος η κόλλα να προχωράει προς τα έξω όταν συμπιεστεί.
6. Το έλασμα τοποθετείται στην επιφάνεια αναμονής με προσοχή έτσι ώστε να μην εγκλωβιστεί αέρας και συμπιέζεται για χρονικό διάστημα περίπου 24 ωρών με κατάλληλη διάταξη.
7. Αν προβλέπεται η τοποθέτηση περισσότερων του ενός μεταλλικών ελασμάτων, η διαδικασία επαναλαμβάνεται, προετοιμάζοντας με ανάλογο τρόπο την εξωτερική επιφάνεια του προηγούμενου ελάσματος.
8. Τελικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα "πεταχτό" τσιμεντοκονίαμα για προστασία των ελασμάτων από διάβρωση και αντίσταση σε προσβολή από υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. πυρκαγιά).

Η ευκολία εφαρμογής της τεχνικής σε συνδυασμό με την ελάχιστη όχληση που προκαλείται στην χρήση του δομήματος και το χαμηλό κόστος αποτελούν τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου.

Βασικά μειονεκτήματα της τεχνικής είναι η ευκολία διάβρωσης του χάλυβα που συχνά διαπιστώνεται εντονότερη στην εσωτερική επιφάνεια των ελασμάτων. Απαιτείται ως εκ τούτου συνεχής συντήρηση που τελικά αυξάνει το κόστος. Εξάλλου η προφανής δυσκολία άμεσης διαπίστωσης της διάβρωσης του χάλυβα και η αδυναμία λήψης μέτρων προστασίας στην εσωτερική επιφάνεια των ελασμάτων, αυξάνει τους κινδύνους για μια απροειδοποίητη αστοχία της διεπιφάνειας και τελικά ένα ανεπιθύμητο τρόπο αστοχίας των στοιχείων. Επιπλέον στα αρνητικά της τεχνικής θα πρέπει να προστεθούν :

- η δυσκολία εφαρμογής της τεχνικής λόγω του μεγάλου βάρους του χάλυβα.
- η ανάγκη κατασκευής ενώσεων των ελασμάτων στις περιπτώσεις που απαιτούνται μεγάλα μήκη (π.χ. γέφυρες μεγάλων ανοιγμάτων).

Για να αντιμετωπιστούν τα παραπάνω μειονεκτήματα έχει αρχίσει να εφαρμόζεται ως εναλλακτική λύση η χρήση σύνθετων υλικών από ινοπλισμένα πολυμερή που επικολλώνται με ανάλογο τρόπο στην εξωτερική επιφάνεια των στοιχείων.

4.5.2 Χρήση φύλλων από ινοπλισμένα πολυμερή (FRP_s)

Η χρήση φύλλων από ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ)-Fiber Reinforced Polymers (FRP_s) αποτελεί σήμερα την πλέον σύγχρονη τεχνική στον τομέα της ενίσχυσης των κατασκευών. Ουσιαστικά, είναι η εξέλιξη της τεχνικής των χαλύβδινων επικολλητών ελασμάτων αντιμετωπίζοντας επιτυχώς τις αδυναμίες αυτής της τεχνικής. Έχουν πολύ μικρό βάρος και εξαιρετικά υψηλή αντοχή, διατίθενται σε μεγάλα μήκη και δεν είναι ευαίσθητα σε διάβρωση. Εξάλλου η εφαρμογή της τεχνικής είναι απλούστατη και ο χρόνος που απαιτείται για την εκτέλεση της εργασίας ελάχιστος, υπερέχοντας ακόμα και στα αντίστοιχα θετικά χαρακτηριστικά της τεχνικής των χαλύβδινων επικολλητών ελασμάτων.

Έτσι η εφαρμογή της τεχνικής έχει επεκταθεί και σε περιπτώσεις όπου η τεχνική των επικολλητών ελασμάτων είναι περιορισμένη. Ως τέτοιες περιπτώσεις μπορούν να αναφερθούν οι ενισχύσεις υποστυλωμάτων με μανδύα και οι ενισχύσεις κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων. Ως κύριο μειονέκτημα της, τεχνικής θα πρέπει να αναφερθεί το ιδιαίτερα υψηλό κόστος του υλικού που όμως μειώνεται σταδιακά λόγω της αύξησης της ζήτησης και κατά συνέπεια αύξηση της παραγωγής αυτού του είδους των υλικών.



Σχήμα 4.25 Επίσκεψη υποστυλώματος με FRP_s



Σχήμα 4.26 Ενίσχυση δοκαριών με FRP_s

Τα νοπλισμένα πολυμερή είναι στην πραγματικότητα σύνθετα υλικά που αποτελούνται από ίνες υψηλής εφελκυστικής αντοχής εμποτισμένες με θερμοσκληρυνόμενη κόλλα, της οποίας τα χαρακτηριστικά δεν είναι ευαίσθητα σε θερμοκρασίες κάτω των 80° C. Οι συνήθεις τύποι ινών είναι από γυαλί ή αραμίδη (που συχνά αναφέρεται ως κέβλαρ) ή από άνθρακα με πολύ μικρή διάμετρο της τάξης των 5-25 μm.

Στον **Πίνακα 13** δίνονται τυπικά χαρακτηριστικά των ινών, σε σύγκριση με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά του χάλυβα. Η διαδικασία επικόλλησης των νοπλισμένων φύλλων πολυμερών συνήθως συνιστάται από τους προμηθευτές. Πάντως μια τυπική διαδικασία εφαρμογής της τεχνικής μπορεί να είναι η εξής :

Ινες	Ποκνότητα [Kg/m ³ X 10 ³]	Μέτρο Ελαστικότητας [GPa]	Λόγος Poisson	Εφελκυστική αντοχή [MPa]	Παραμόρφωση αστοχίας [%]
Ανθρακα					
Υψηλού E	1,90	380	0,35	1800	0,5
Υψηλής f _t	1,90	230	0,35	2600	1,2
Γυαγιού					
Γυαλί E	2,54	72-75	0,25	3500	4,8
Γυαλί AR	2,27	70-76	0,25	2000-3500	3-4,6
Αραμίδιο					
Κέβλαρ 29	1,44	70	0,32	2900	4
Κέβλαρ 49	1,45	135	0,32	2900	2,1
Χάλυβας	7,86	200	0,28	400-1700	10

Πίνακας 13 Τυπικές ιδιότητες ινών

1. Απομακρύνεται η επιδερμική στρώση σκυροδέματος στην επιφάνεια που θα γίνει η επικόλληση έτσι ώστε να αποκαλυφθούν τα αδρανή σε βάθος περίπου 5 mm, χρησιμοποιώντας ειδικό μηχανικό εξοπλισμό, ή υδροβολή.
2. Εφόσον το σύνθετο υλικό καλύπτει και γωνίες του στοιχείου σκυροδέματος, αυτές εξομαλύνονται και λειαίνονται για να αποκτήσουν καμπυλότητα με ακτίνα 30 mm.

3. Η επιφάνεια σκυροδέματος καθαρίζεται καλά, διαβρέχεται με νερό υπό πίεση και μετά στεγνώνεται. Η υγρασία της τελικής επιφάνειας του σκυροδέματος δεν επιτρέπεται να είναι περισσότερο από 4%.
4. Η επιφάνεια του σκυροδέματος εμποτίζεται με αραιό διάλυμα εποξειδικής κόλλας εάν κριθεί ότι είναι ιδιαίτερα πορώδης ή υπάρχουν μικρορηγματώσεις. Στη συνέχεια η επιφάνεια επαλείφεται με παχύρρευστο συγκολλητικό υλικό που συνήθως είναι εποξειδικός στόκος. Σημειώνεται ότι συχνά επιλέγεται η διαδικασία λείανσης της επιφάνειας χωρίς να προηγηθεί η εξομαλυντική στρώση του εποξειδικού στόκου.
5. Μετά την σκλήρυνση του συγκολλητικού υλικού, η επιφάνεια λειαίνεται με επιμέλεια έτσι ώστε να μην υπάρχει ανωμαλία σε ύψος μεγαλύτερο από 1 mm.
6. Η επιφάνεια αναμονής επαλείφεται με εποξειδική κόλλα πάχους 1-2 mm με κατάλληλο ιξώδες που διευκολύνει την τοποθέτηση του φύλλου. Η κόλλα τοποθετείται με μεγαλύτερο πάχος, που είναι της τάξης των 10 mm. στην κεντρική περιοχή επαφής, έτσι ώστε κατά την τοποθέτηση του φύλλου η κόλλα να προχωράει προς τα/έξω όταν συμπιεστεί. Συχνά, τα χαρακτηριστικά της κόλλας, προδιαγράφονται από τον προμηθευτή του σύνθετου υλικού.
7. Το φύλλο του σύνθετου υλικού τοποθετείται στην επιφάνεια αναμονής, εφαρμόζοντας ομοιόμορφη πίεση, με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μην εγκλωβιστεί αέρας. Συνήθως χρησιμοποιείται ένα σκληρό ρολό.
8. Μετά την πάροδο χρόνου μισής έως μιας ώρας, αφαιρείται το προστατευτικό κάλυμμα του φύλλου και οι ίνες επαλείφονται με μία δεύτερη στρώση της ίδιας κόλλας.
9. Αν προβλέπεται η τοποθέτηση περισσότερων του ενός φύλλου, η διαδικασία επαναλαμβάνεται, προετοιμάζοντας με ανάλογο τρόπο την εξωτερική επιφάνεια του προηγούμενου ελάσματος.
10. Τελικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα "πεταχτό" τσιμεντοκονίαμα για προστασία των φύλλων του σύνθετου υλικού από υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. πυρκαγιά) και άλλες περιβαλλοντικές προσβολές.

Τα χαρακτηριστικά των νοπλισμένων πολυμερών εξαρτώνται κυρίως από την κατ' όγκο περιεκτικότητα τους σε ίνες. Ειδικά για το Μέτρο Ελαστικότητας, η σχέση που ισχύει για σύνθετα υλικά με συνεχείς ίνες μιας διεύθυνσης είναι η εξής:

$$E_{FRP} = E_r V_r + E_f V_f$$

όπου :

E_{FRP} , E_r , E_f είναι τα Μέτρα Ελαστικότητας του σύνθετου υλικού, της κόλλας και των ινών αντίστοιχα.

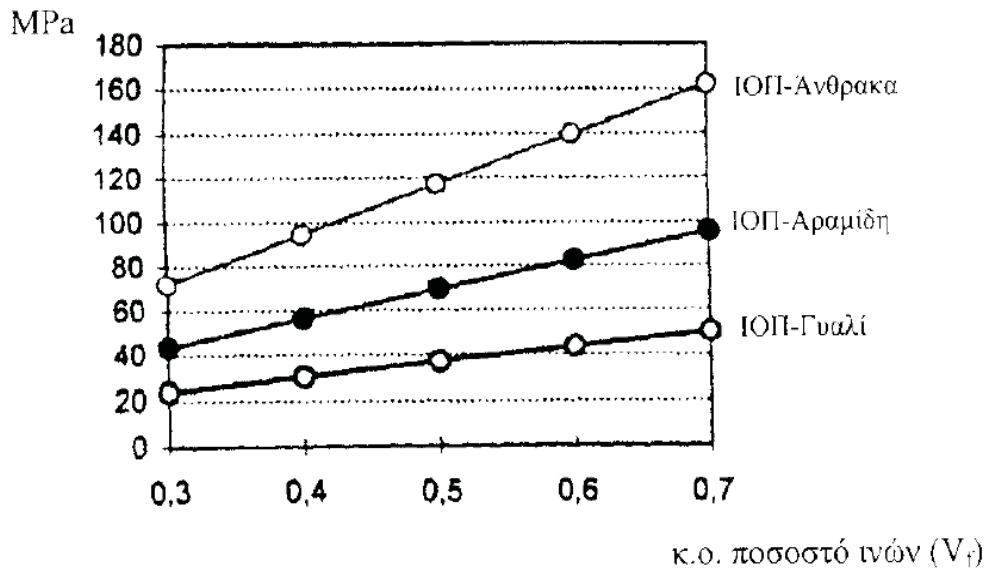
V_r , V_f είναι τα κ.ο. ποσοστά κόλλας και ινών.

Προφανώς ισχύει $V_r + V_f = 1$

Εξάλλου, επειδή $E_f > E_r$ μπορεί να θεωρηθεί προσεγγιστικά $E_{FRP} = V_f E_f$

Στο **Σχήμα 4.27** αναπαρίσταται γραφικά η παραπάνω σχέση για τους τρεις τύπους ινών.

Μέτρο Ελαστικότητας (E_{FRP})



Σχήμα 4.27 Εξάρτηση Μέτρου Ελαστικότητας από το ποσοστό των ινών

Η εφελκυστική αντοχή των σύνθετων υλικών είναι 3-4 φορές μεγαλύτερη από αυτή του κοινού χάλυβα S500 και για βραχυχρόνια φόρτιση κυμαίνεται σε 1500-2500 MPa. Εξάλλου μπορεί να θεωρηθεί ότι οι εξισώσεις που δόθηκαν παραπάνω για το Μέτρο Ελαστικότητας ισχύουν προσεγγιστικά και για την εφελκυστική αντοχή, αντικαθιστώντας τα Μέτρα Ελαστικότητας με τις αντίστοιχες εφελκυστικές αντοχές.

Πρέπει πάντως να τονιστεί ότι για μακροχρόνια φόρτιση η εφελκυστική αντοχή μπορεί να μειωθεί σημαντικά. Για υλικά με ίνες γυαλιού η αντοχή μειώνεται μέχρι και το 40-60 % της αρχικής τιμής, ενώ για υλικά με ίνες αραμιδίου ή άνθρακα μέχρι το 50-65% και 75-95% αντίστοιχα.

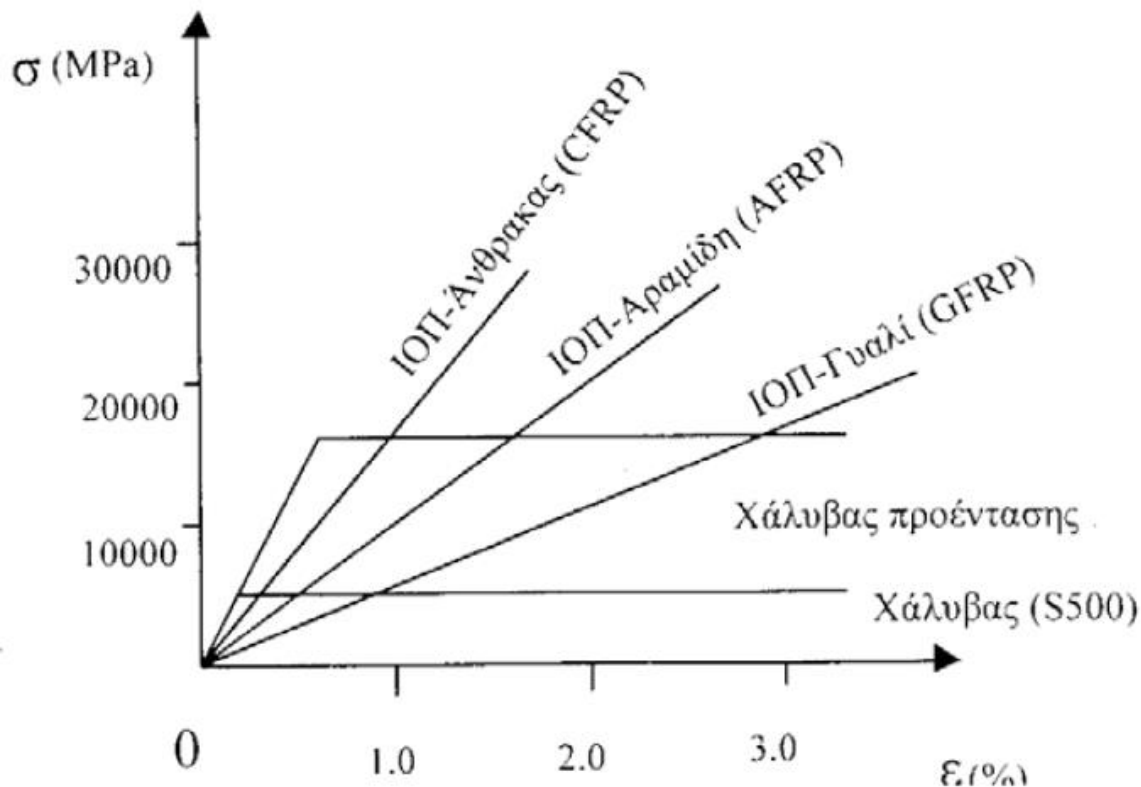
Στον **Πίνακα 14** παρουσιάζονται τυπικές τιμές για το Μέτρο Ελαστικότητας και τη παραμόρφωση αστοχίας των σύνθετων υλικών. Στο **Σχήμα 4.28** παρουσιάζονται τυπικές καμπύλες τάσεων-παραμορφώσεων για σύνθετα υλικά μαζί με την αντίστοιχη καμπύλη για χάλυβα. Όπως μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί, τα σύνθετα υλικά συμπεριφέρονται πλήρως ελαστικά, μέχρι την αστοχία τους. Η παντελής έλλειψη πλάστιμης συμπεριφοράς, που συνεπάγεται και αδυναμία απορρόφησης ενέργειας από το υλικό, αποτελεί ένα από τα βασικά μειονεκτήματα των σύνθετων υλικών.

Όμως στις εφαρμογές τους σε ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, το παραπάνω μειονέκτημα είναι λιγότερο έντονο, επειδή το ενισχυμένο στοιχείο διατηρεί ένα βαθμό πλαστιμότητας. Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση εφαρμογής τους υπό την μορφή κλειστού μανδύα σε υποστυλώματα, η αύξηση της πλαστιμότητας αποτελεί την κύρια επιδίωξη εφαρμογής της τεχνικής.

Μία τεχνική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδώσει κάποιο βαθμό πλαστιμότητας στο υλικό είναι η σύνθεση του υλικού με ίνες διαφορετικού τύπου. Οι ίνες αστοχώντας σε διαφορετικά μεγέθη παραμόρφωσης δημιουργούν τελικά μία ψευδο-πλάστιμη συμπεριφορά.

Υλικό	Μέτρο Ελαστικότητας [GPa]	Παραμόρφωση αστοχίας [%]
Σύνθετο υλικό με ίνες γυαλιού (GFRP)	50	3 %
Σύνθετο υλικό με ίνες αραμιδίου (AFRP)	65 –120	2-3 %
Σύνθετο υλικό με ίνες άνθρακα (CFRP)	35 –190	1-1,5 %
Χάλυβας	200	10 %

Πίνακας 14 Τυπικές τιμές Μέτρου Ελαστικότητας και παραμορφώσεως αστοχίας σύνθετων υλικών και χάλυβα.



Σχήμα 4.28 Σχέσεις τάσης – παραμόρφωσης για σύνθετα υλικά

Ως αρνητικά χαρακτηριστικά των σύνθετων υλικών θα πρέπει επίσης να αναφερθούν:

- Η χαμηλή αντίσταση τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Ως γνωστόν η κόλλα καίγεται σε θερμοκρασίες υψηλότερες από 250° C.
- Η ευαισθησία τους σε περιβαλλοντικές δράσεις όπως η υπεριώδης ακτινοβολία, η υγρασία, οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας και η δράση χημικών. Σε γενικές γραμμές η παραπάνω ευαισθησία εξαρτάται από τον τύπο των ινών του υλικού. Έτσι για παράδειγμα η υπεριώδης ακτινοβολία επιδρά ιδιαίτερα στα υλικά με ίνες αραμιδίη ενώ η δράση αλκαλίων είναι περισσότερο έντονη σε υλικά με ίνες γυαλιού. Πάντως τα υλικά με ίνες άνθρακα, θεωρούνται περισσότερο ανθεκτικά, ενώ τα υλικά με ίνες γυαλιού είναι τα λιγότερο ανθεκτικά και τα υλικά με ίνες αραμιδίη βρίσκονται ενδιάμεσα.

Στον **Πίνακα 15** παρουσιάζεται μια ποιοτική αξιολόγηση των χαρακτηριστικών σύνθετων υλικών. Για λόγους σύγκρισης έχουν βαθμολογηθεί σε μία κλίμακα με άριστα το 10.

Χαρακτηριστικό	ΙΟΠ - Ανθρακας	ΙΟΠ - Αραμίδη	ΙΟΠ - Γυαλιού
Εφελκυστική αντοχή	9	9	9
Μέτρο ελαστικότητας	9	6	3
Παραμόρφωση αστοχίας	6	9	9
Συμπεριφορά σε μακροχρόνιες δράσεις	9	6	3
Συμπεριφορά σε κόπωση	6	4	2
Ανθεκτικότητα σε διάρκεια	6	4	2
Πυκνότητα	4	6	2
Κόστος	6	6	9

Πίνακας 15 Ποιοτική αξιολόγηση ινοπλισμένων πολυμερών

4.6 Εφαρμογή διατμητικών συνδέσμων – Αγκυρίων - Ριζοπλισμοί

Μεταλλικοί σύνδεσμοι που αγκυρώνονται σε υφιστάμενα στοιχεία σκυροδέματος μπορούν να δρουν είτε ως βλήτρα είτε ως αγκύρια, ανάλογα με τον τύπο του φορτίου που καταπονούνται. Ως **βλήτρα** χαρακτηρίζονται όταν καταπονούνται σε διάτμηση ενώ ως **αγκύρια** όταν καταπονούνται σε αξονικό φορτίο. Στην πράξη, διατίθενται ένα πλήθος από βιομηχανοποιημένους συνδέσμους που αγκυρώνονται στα στοιχεία σκυροδέματος με χημικό ή μηχανικό τρόπο. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τμήματα ράβδων οπλισμού ή δομικού χάλυβα που πακτώνονται με χημικό τρόπο σε τρύπες που διανοίγονται στα υφιστάμενα στοιχεία σκυροδέματος.

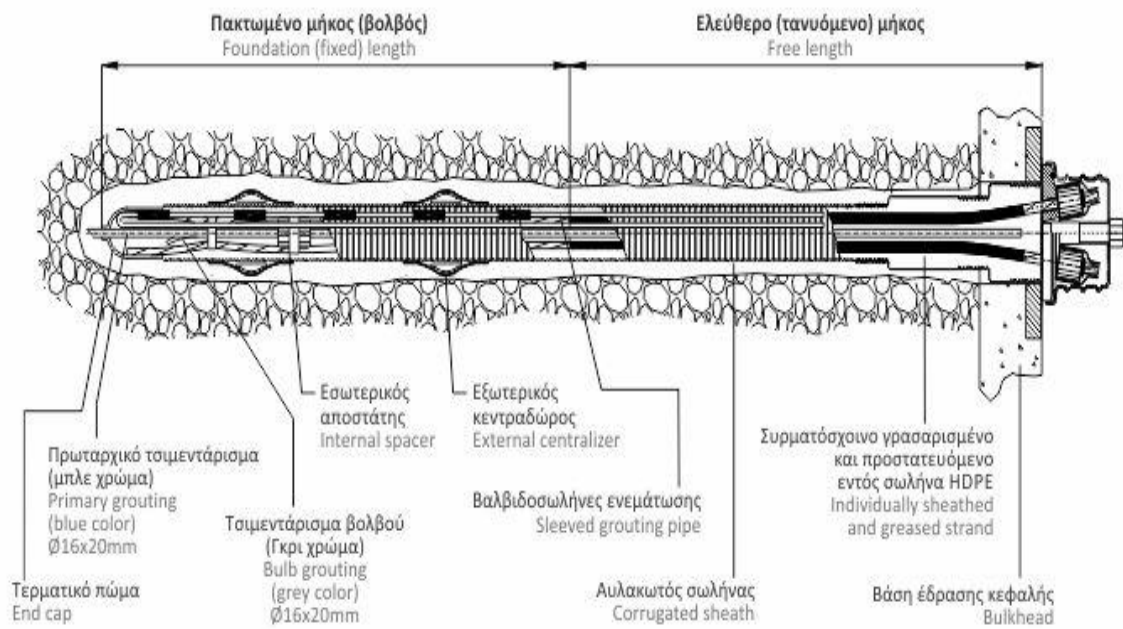


Σχήμα 4.29 Τυπικά αγκύρια

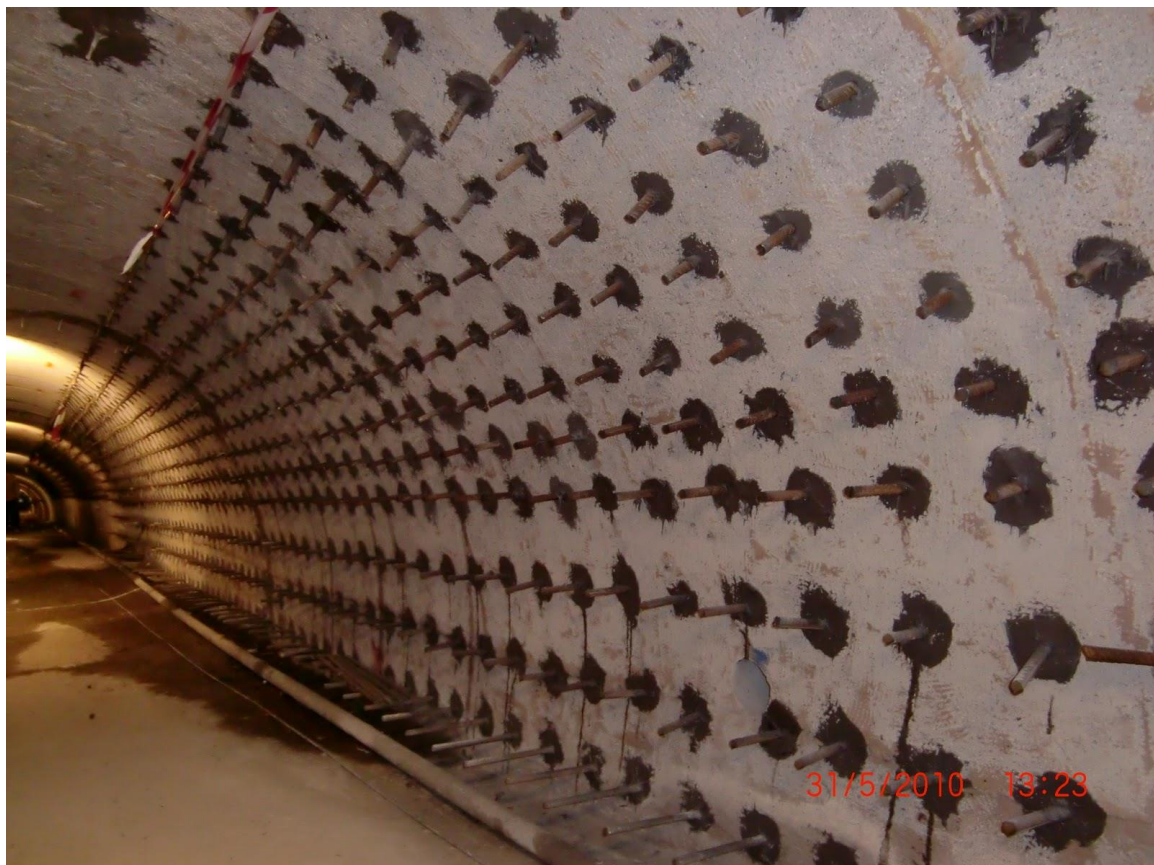
Η χημική πάκτωση των συνδέσμων, που αποτελεί την συχνότερη επιλογή στην πράξη, γίνεται σχεδόν πάντοτε με εποξειδικές κόλλες. Για την εκτέλεση της εργασίας επισημαίνονται τα εξής:

1. Η διάμετρος της οπής της τρύπας γίνεται 2-6 mm μεγαλύτερη από την διάμετρο του συνδέσμου για να υπάρξει ο απαραίτητος χώρος για την κόλλα.
2. Όπως έχει προκύψει πειραματικά, η αγκύρωση των συνδέσμων είναι καλύτερη όταν ο καθαρισμός της τρύπας γίνεται με αναρρόφηση της σκόνης από το εσωτερικό της. Τα αποτελέσματα έχουν προκύψει ακόμα καλύτερα όταν τα τοιχώματα στο εσωτερικό της τρύπας εκτραχύνονται χρησιμοποιώντας μια λεπτή συρματόβουρτσα.
3. Γενικά προτιμώνται κόλλες με μικρό ιξώδες (μεγάλη ρευστότητα).
4. Για οριζόντιες αγκυρώσεις, ο άξονας της τρύπας είναι ελαφρώς κεκλιμένος για να μην χάνεται η κόλλα έξω από την τρύπα.
5. Για κατακόρυφες αγκυρώσεις οροφής χρησιμοποιούνται ειδικές κάψουλες κόλλας που τοποθετούνται με κατάλληλο εξοπλισμό.
6. Επαρκής ποσότητα κόλλας θα πρέπει να τοποθετηθεί στην τρύπα πριν την είσοδο του συνδέσμου, έτσι ώστε στην τελική φάση η κόλλα να καλύπτει πλήρως το κενό μεταξύ συνδέσμου και τοιχωμάτων της τρύπας. Στην πράξη, συχνά, αντί για την παραπάνω διαδικασία ο μεταλλικός σύνδεσμος επαλείφεται με παχύρρευστη κόλλα ή ρητινόστοκο σε μήκος όσο απαιτείται για την αγκύρωση του, και στην συνέχεια τοποθετείται στην θέση του. Η τεχνική αυτή είναι άκρως επικίνδυνη και απαγορεύεται επειδή έτσι η κόλλα δεν μπορεί να γεμίσει πλήρως το κενό μεταξύ συνδέσμου και τοιχωμάτων της τρύπας.

Εναλλακτικά, όταν στο έργο εφαρμόζεται η τεχνική των ρητινένεσεων (για την επισκευή ρωγμών) αυτή μπορεί να επεκταθεί και στην χημική πάκτωση των συνδέσμων. Κάθε τρύπα σφραγίζεται εξωτερικά με ρητινόστοκο και η κόλλα πιέζεται από επιστόμιο. Για την αποφυγή εγκλωβισμού αέρα θα πρέπει να έχει προβλεφθεί κατάλληλη οδός διαφυγής του αέρα. Σημειώνεται πάντως ότι στην πράξη η εφαρμογή της παραπάνω εναλλακτικής διαδικασίας δεν είναι συνήθης και χρησιμοποιείται μόνο όταν αντικαθιστά εργασίες υψηλού κόστους, όπως για παράδειγμα κατακόρυφες αγκυρώσεις οροφής.

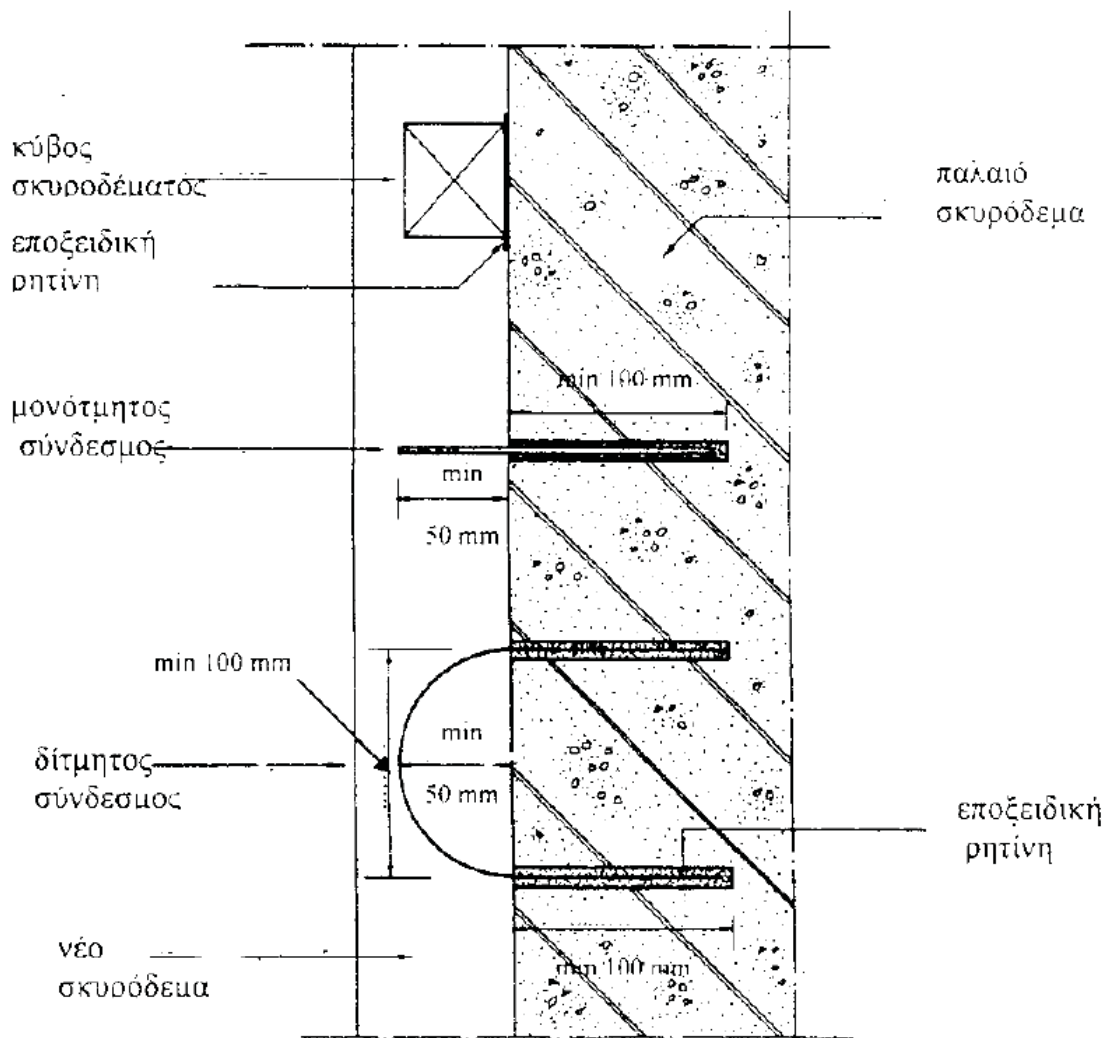


Σχήμα 4.30 Λεπτομέρειες αγκυρίου



Σχήμα 4.31 Ενίσχυση με βλήτρα σε έργο ενίσχυσης οχετού

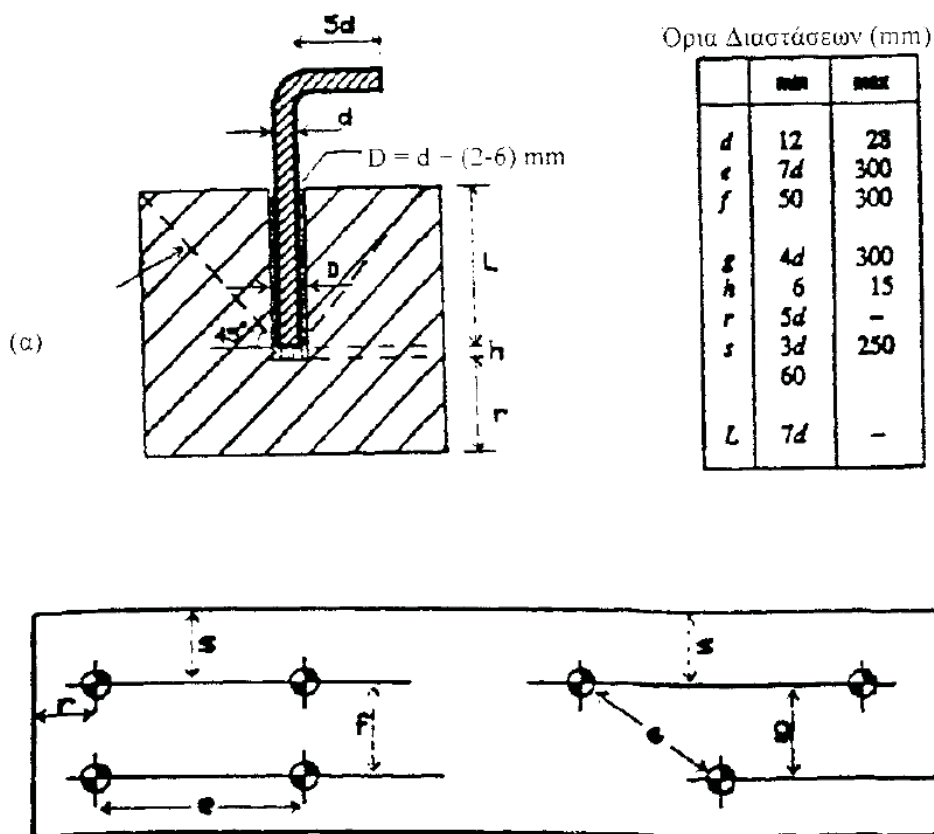
Τέλος επισημαίνεται ότι σε κάθε περίπτωση που χρησιμοποιούνται βιομηχανοποιημένοι σύνδεσμοι θα πρέπει να ακολουθούνται πιστά οι οδηγίες των προμηθευτών. Στις ενισχύσεις των κατασκευών η χρήση διατμητικών συνδέσμων αποτελεί την πλέον διαδεδομένη διαδικασία ανάληψης τέμνουσας στις διεπιφάνειες παλαιού νέου στοιχείου. Στο **Σχήμα 4.32** παρουσιάζονται τρεις τύποι διατμητικών συνδέσμων που χρησιμοποιούνται στις διεπιφάνειες παλαιού και νέου σκυροδέματος.



Σχήμα 4.32 Προτεινόμενοι τρόποι διατμητικής σύνδεσης

Οι δύο, πλέον συνήθεις, τύποι είναι μεταλλικοί σύνδεσμοι με ένα ή δύο σκέλη ενώ ο τρίτος τύπος (που χρησιμοποιείται σπάνια) αφορά μικρούς κύβους από σκυρόδεμα συγκολλημένους με κόλλα στην επιφάνεια του παλαιού σκυροδέματος. Προφανώς αν από την μελέτη προκύψει η ανάγκη για πυκνούς διατμητικούς συνδέσμους, οι δίμητοι μεταλλικοί σύνδεσμοι αποτελούν την καταλληλότερη λύση. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις χρησιμοποιούνται μονόμητοι διατμητικοί σύνδεσμοι με μορφή Γ για καλύτερη αγκύρωση στο νέο σκυρόδεμα.

Στο **Σχήμα 4.33** παρουσιάζεται μια τυπική μορφή των βλήτρων αυτού του τύπου. Στο ίδιο σχήμα παρουσιάζονται κατασκευαστικές διατάξεις σύμφωνα με πρακτικές συστάσεις που έχουν προταθεί στην βιβλιογραφία για συνήθεις εφαρμογές της πράξης.



Σχήμα 4.33 α) Τυπική μορφή μονόμητου βλήτρου μορφής Γ
β) Τυπικές διατάξεις μονόμητων βλήτρων

4.6.1 Ριζοπλισμοί

Η αρχή της χρήσης μεταλλικών στοιχείων σε κατασκευές από φέροντα οργανισμό από φυσικά λιθοσώματα έγινε από τους αρχαίους Έλληνες, οι οποίοι χρησιμοποιούσαν μεταλλικούς συνδέσμους για να ενώσουν τα λιθοσώματα μεταξύ τους τόσο σε οριζόντια όσο και κατακόρυφη διεύθυνση. Όμως αυτή η τεχνική αφορούσε την φάση της κατασκευής του κτίσματος. Επινοητής της μεθόδου εισαγωγής κοντών χαλύβδινων ράβδου με σκοπό την ενίσχυση και επισκευή υφιστάμενων κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία υπήρξε ο Ιταλός F.Lizzi περί το 1950. Η τεχνική αυτή εφαρμόστηκε για να «δέσει» δυνατά με αδύναμα σημεία της τοιχοποιίας και να αυξήσει την θλιπτική, εφελκυστική και διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας.

Εν ολίγοις, τοποθετώντας χαλύβδινες ράβδους στο εσωτερικό της τοιχοποιίας της προσδίδουμε καλύτερες ιδιότητες με τα οφέλη που συνοδεύουν τον χάλυβα.

Η μέθοδος της ενίσχυσης με ριζοπλισμούς βρίσκει εφαρμογή σε πληθώρα κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία. Οι συχνότερες περιπτώσεις είναι οι εξής:

- ενίσχυση πεσσών σε γέφυρες που έχουν ρηγματωθεί λόγω διαφορικών καθιζήσεων.
- ενίσχυση πεσσών σε παλαιές γέφυρες επειδή έχουν αυξηθεί τα κινητά φορτία για τα οποία έχουν μελετηθεί και κατασκευασθεί.
- σταθεροποίηση απίδων, που έχουν υποστεί παραμορφώσεις.
- ενίσχυση υπογείων στοών, όπου το έδαφος έχει υποστεί καθίζηση ή μετακίνηση.

- ενίσχυση ασθενούς τοιχοποιίας σε περιοχές που εφαρμόζονται πλάκες αγκύρωσης τενόντων (προεντεταμένη τοιχοποιία ή ενίσχυση με ελκυστήρες).
- σύνδεση τμημάτων κατασκευών όπως αψίδες με τα ανώτερα τμήματα του τοίχου.
- ενδυνάμωση του σώματος του φέροντα οργανισμού και σύνδεση των σαθρών με τα δυνατά τμήματα της τοιχοποιίας.
- δημιουργία υψίκορμων δοκών.

Η μέθοδος έγκειται στην κατασκευή ενός δικτύου οπών στο σώμα της τοιχοποιίας στις οποίες τοποθετούνται ράβδοι οπλισμού. Στη συνέχεια γίνεται η πλήρωση των οπών αυτών με ένεμα. Η μέθοδος ενδείκνυται στις περιπτώσεις παλαιών λιθοδομών μεγάλου πάχους για επεμβάσεις τοπικού ή καθολικού χαρακτήρα. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση της θλιπτικής και διατμητικής αντοχής της τοιχοποιίας ανάλογα με την πυκνότητα τοποθέτησης και τη διάμετρο των ριζοπλισμών. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι η αλλοίωση της δομής της τοιχοποιίας κατά τρόπο μη αναστρέψιμο, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις εφαρμογής σε μνημεία.



Σχήμα 4.34 Κατασκευή και τοποθέτηση ριζοπλισμών

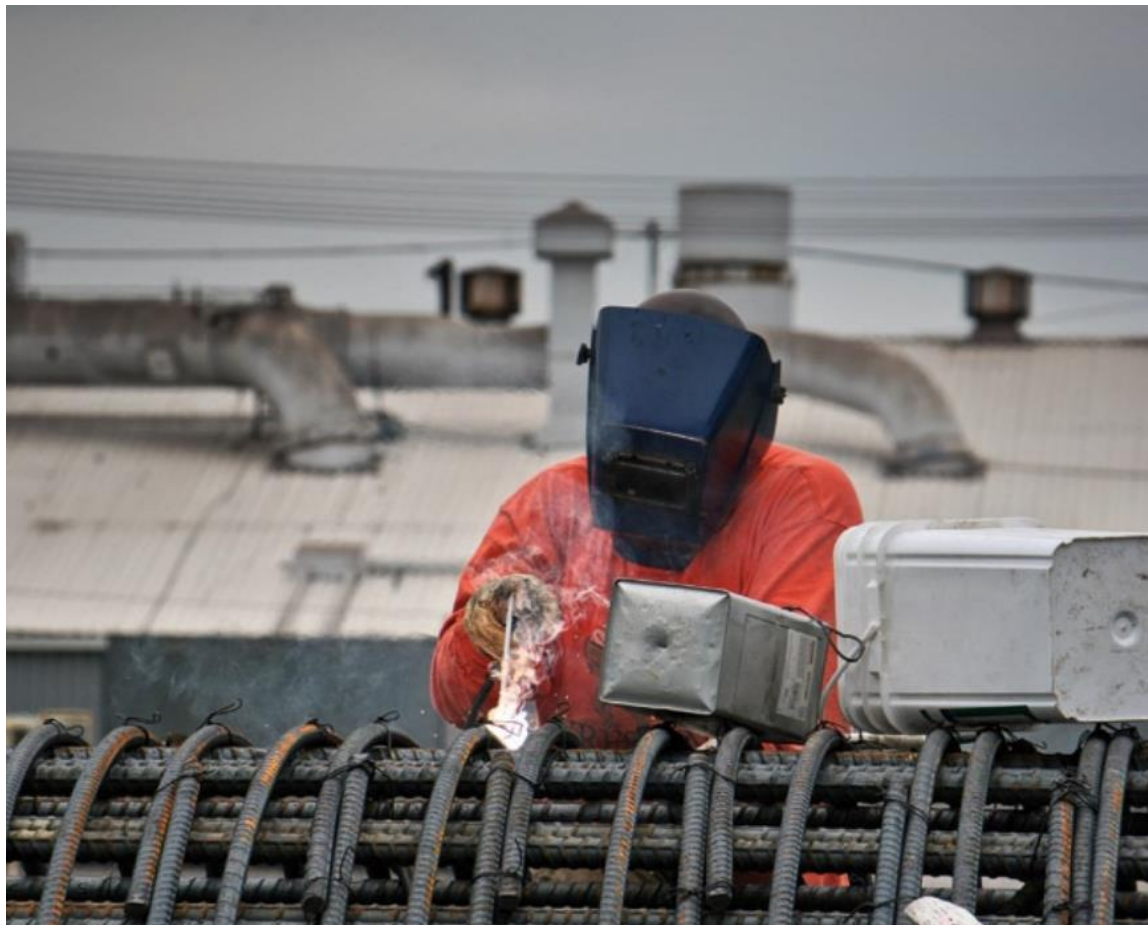
4.7 Εφαρμογή αγκυρώσεων και συγκολλήσεων νέων ράβδων οπλισμού

Οι αγκυρώσεις νέων ράβδων οπλισμού στον υφιστάμενο φορέα καθώς και οι συνδέσεις παλαιών και νέων ράβδων αποτελούν συχνή πρακτική στις ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Οι αγκυρώσεις ράβδων οπλισμού σε σκληρυμένο σκυρόδεμα γίνονται με χημικό τρόπο, χρησιμοποιώντας κάποια εποξειδική κόλλα. Η όλη διαδικασία

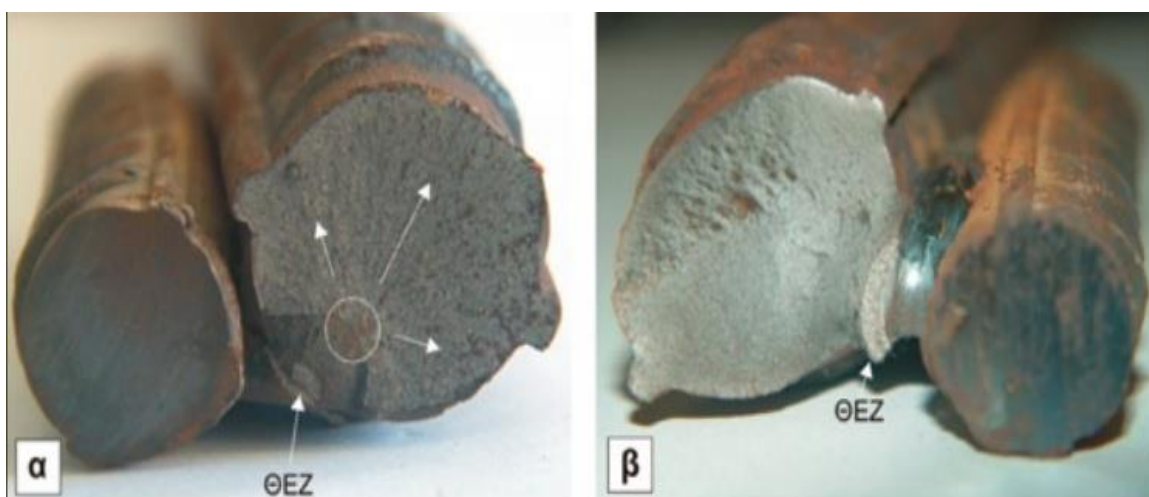
εκτέλεσης της εργασίας είναι ίδια ακριβώς με αυτή που αναπτύχθηκε, στην προηγούμενη ενότητα, για μεταλλικούς συνδέσμους, και δεν θα επαναληφθεί.

Για τις συγκολλήσεις παλαιών και νέων ράβδων οπλισμού εφαρμόζονται πιστά οι διατάξεις περί συγκολλήσεων του Κανονισμού Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος.



Σχήμα 4.35 Συγκόλληση ράβδων οπλισμού

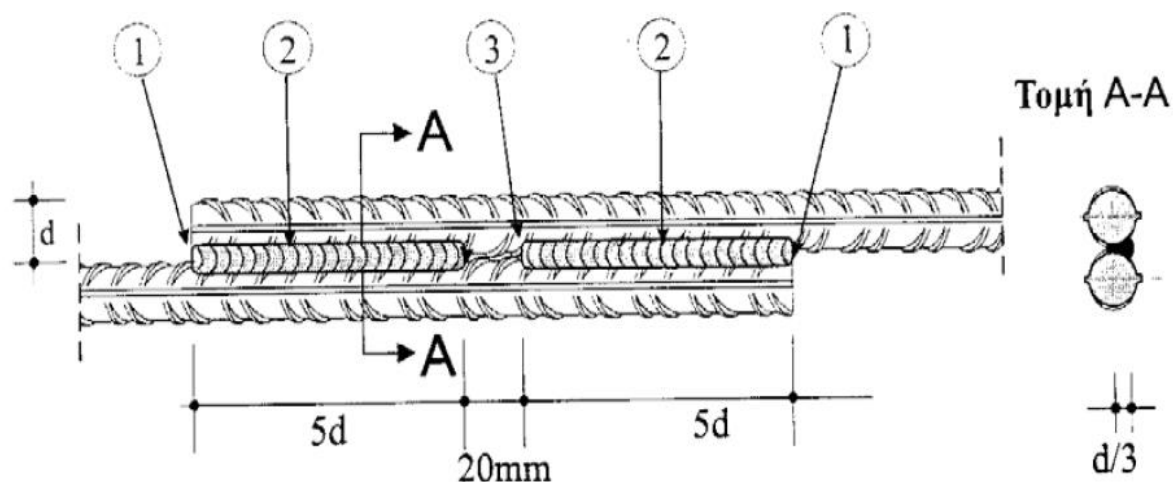
Όπως είναι γνωστό, χάλυβες με ποσοστό άνθρακα C μικρότερο από 0.24% και ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα C_{eq} μικρότερο από 0.53% θεωρούνται συγκολλησιμοί. Οι παραπάνω συνθήκες εκπληρούνται για τους χάλυβες παλαιού τύπου μόνο στον StI (σήμερα S220) όπου η περιεκτικότητα σε άνθρακα είναι της τάξεως του 0,15% και δεν εκπληρούνται στον χάλυβα τύπου St II1(σήμερα S 400) όπου η περιεκτικότητα σε άνθρακα ξεπερνά το 0.30%. Παρόλα αυτά ο χάλυβας St II1(S 400) όπως και κάθε άλλου τύπου χάλυβας που δεν πληροί τις παραπάνω συνθήκες χημικής σύστασης, μπορεί να θεωρηθεί συγκολλησιμος εφόσον η συγκολλησιμότητα του ελέγχεται σε εφελκυσμό και κάμψη σύμφωνα με πρότυπες δοκιμές που περιγράφονται στον Κανονισμό Χαλύβων. Η πλέον ενδεδειγμένη διαδικασία συγκόλλησης είναι η ηλεκτροσυγκόλληση. Η οξυγονοκόλληση φαίνεται να είναι ιδιαίτερα προβληματική και πρέπει να αποφεύγεται.



Σχήμα 8.35 Μακροσκοπική άποψη της επιφάνειας θραύσης συγκολλημένης ράβδου χάλυβα.

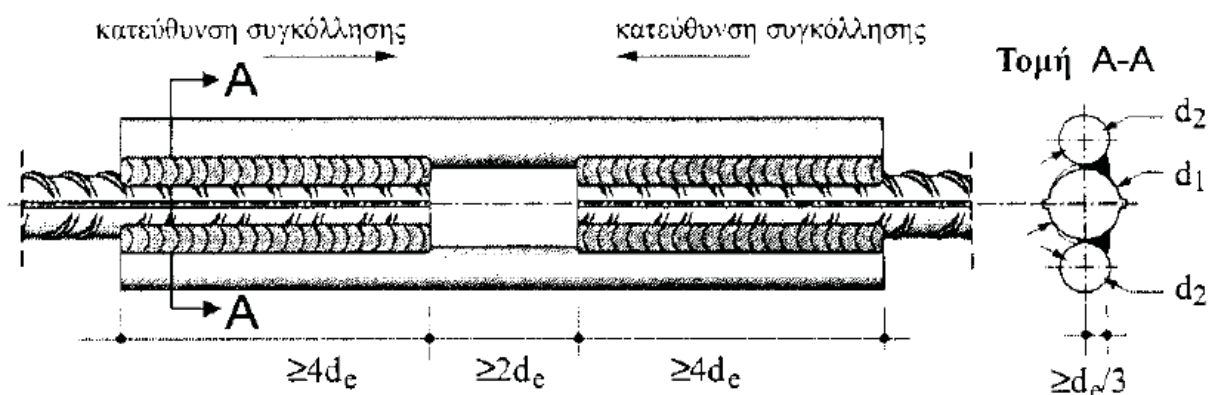
- α) φαθυρή θραύση μη συγκολλησίμου ($C_{eq} \sim 0,60 \%$)
- β) όλκιμη θραύση συγκολλησίμου ($C_{eq} < 0,52\%$)

Εφόσον οι ράβδοι μπορούν να παρατεθούν σε επαφή, η ηλεκτροσυγκόλληση γίνεται από την μία μόνο πλευρά, με δύο ραφές συγκόλλησης μήκους $5d_b$ όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4.36**. Εδώ, όπως και σε κάθε ανάλογη αναφορά που ακολουθεί, ως διάμετρος d_b λαμβάνεται η μικρότερη από τις ράβδους. Οι ραφές της συγκόλλησης ξεκινούν από τα άκρα των ράβδων (**σημεία 1 του Σχήματος**) και προχωρούν προς το εσωτερικό σε μήκος $5d_b$ έτσι ώστε να απομένει ανάμεσα στις απολήξεις (**σημεία 3 του Σχήματος**) ένα διάκενο 20 mm περίπου.



Σχήμα 4.36 Συγκόλληση κατά παράθεση

Οι μετωπικές ηλεκτροσυγκολλήσεις (**άκρο με άκρο**) ή όπως συχνά αναφέρονται «κατά κεφαλή», δεν επιτρέπονται. Άντ' αυτών, για ηλεκτροσυγκολλήσεις ράβδων με μηδενική εκκεντρότητα μπορεί να επιλεγεί η λύση της συγκόλλησης με λωρίδες, όπου χρησιμοποιούνται δύο τμήματα ράβδων μήκους τουλάχιστον $10d_b$ το καθένα, τα οποία τοποθετούνται συμμετρικά εκατέρωθεν των ράβδων και ηλεκτροσυγκολλούνται στα άκρα σε μήκος τουλάχιστον $4d_b$ όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4.37**.



Σχήμα 8.37 Συγκόλληση με λωρίδες

Και σ' αυτήν την περίπτωση οι ραφές των συγκολλήσεων γίνονται μόνο από την μία πλευρά και ξεκινούν από τα εξωτερικά σημεία (σημεία 1 στο **Σχήμα 4.36**) και προχωρούν προς το εσωτερικό (σημεία 3 στο **Σχήμα 4.36**), αφήνοντας ένα κενό ίσο περίπου με $2d_b$.

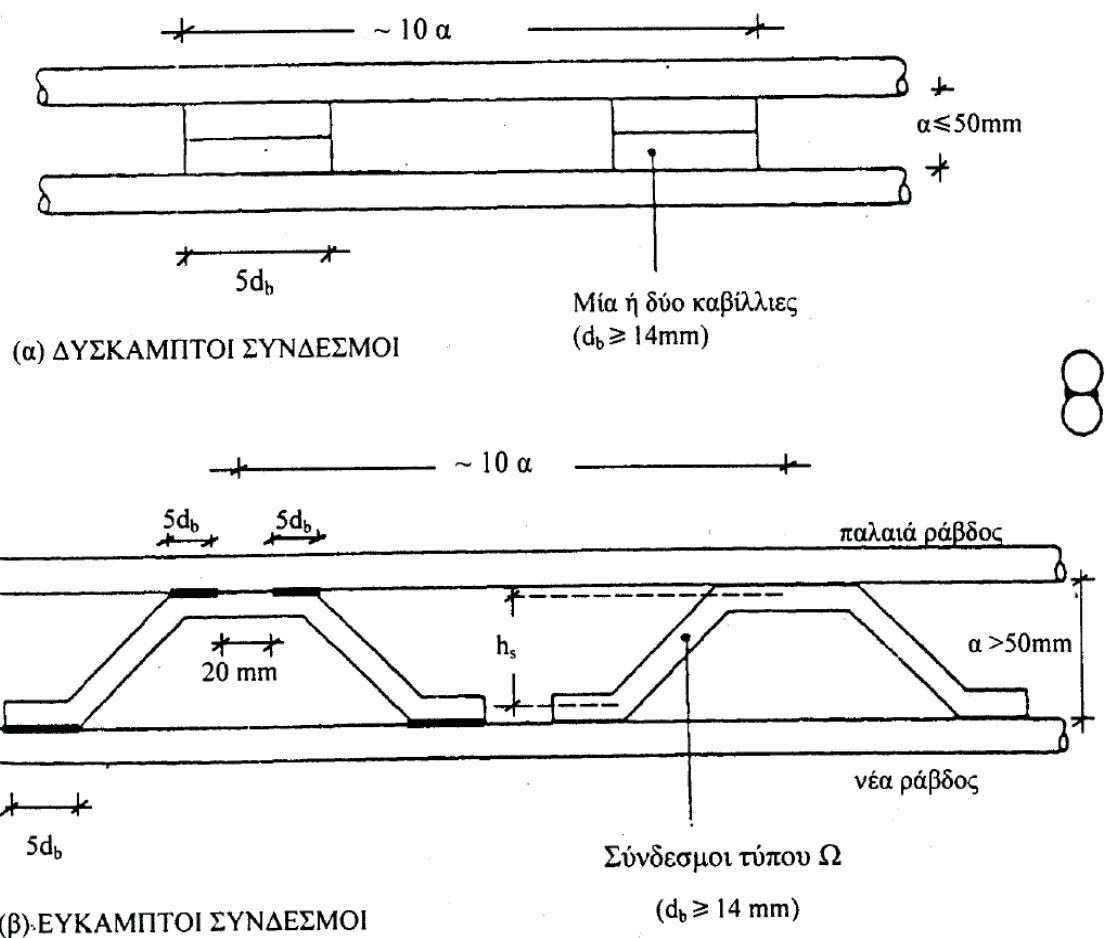
Σε όλες τις περιπτώσεις τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να είναι είτε με βασική επένδυση είτε με ολική επένδυση ρουτιλίου. Η διάμετρος των ηλεκτροδίων πρέπει να είναι σύμφωνη με τα προβλεπόμενα στον Κανονισμό Τεχνολογίας Χαλύβων και είναι της τάξεως του $1/5$ της διαμέτρου των προς συγκόλληση ράβδων. Στην περίπτωση που οι προς συγκόλληση ράβδοι βρίσκονται σε μικρή μεταξύ τους απόσταση αλλά όχι σε επαφή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σύνδεσμοι μεταλλικά παρεμβλήματα που θα ηλεκτροσυγκολληθούν στις εκατέρωθεν ράβδους και θα γεφυρώνουν την απόσταση.

Οι σύνδεσμοι αυτοί θα πρέπει να είναι από συγκολλησιμο χάλυβα, ή δυνατόν, της ίδιας ποιότητας χάλυβα με τις προς συγκόλληση ράβδους. Στην πράξη, ανάλογα με την απόσταση των ράβδων, χρησιμοποιούνται οι δύο τύποι συνδέσμων που φαίνονται στο **Σχήμα 4.37** :

α) οι «δύσκαμπτοι» σύνδεσμοι

β) οι «εύκαμπτοι» σύνδεσμοι.

Σε κάθε περίπτωση η διατομή των συνδέσμων δεν πρέπει να υπολείπεται της μικρότερης διατομής των συγκολλούμενων ράβδων. Στο **Σχήμα 4.37**, d_b είναι η μικρότερη από τις διαμέτρους των ράβδων.



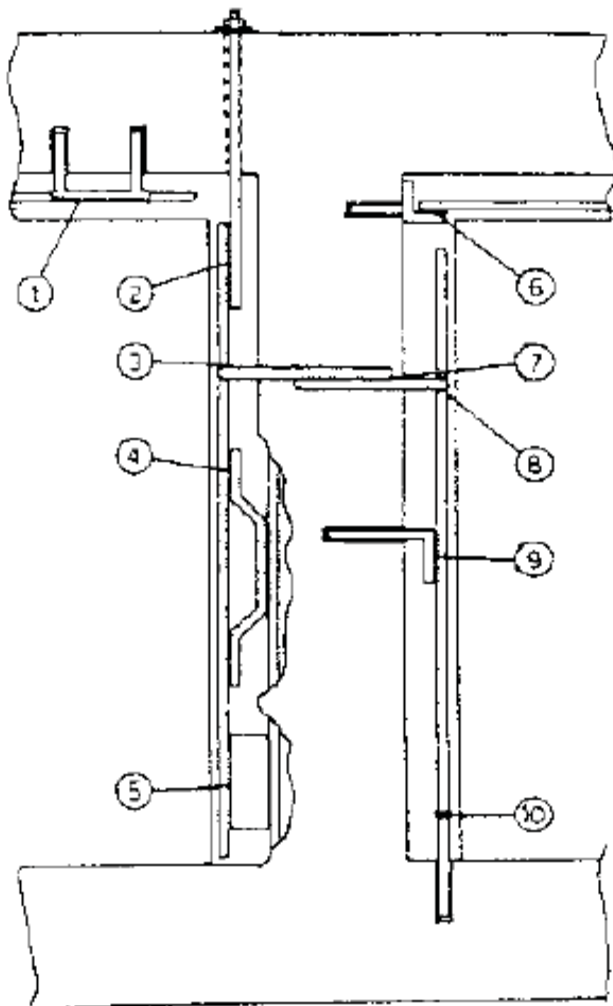
Σχήμα 4.37 Σύνδεσμοι παλαιών – νέων ράβδων οπλισμού

- α) Δύσκαμπτοι σύνδεσμοι
β) Εύκαμπτοι σύνδεσμοι

Οι «δύσκαμπτοι σύνδεσμοι» εφαρμόζονται όταν η καθαρή απόσταση μεταξύ των ράβδων δεν ξεπερνάει τα 50 mm. Συνήθως χρησιμοποιούνται τμήματα ράβδων οπλισμού («καβίλλιες»), μήκους της τάξεως του $5d_b$ με διάμετρο ανάλογο προς το υπάρχον κενό. Εάν το κενό δεν μπορεί να καλυφθεί από την διάμετρο μιας ράβδου, μπορούν να ηλεκτροσυγκολληθούν σε σειρά δύο τμήματα ράβδων. Η τελευταία περίπτωση απεικονίζεται στο **Σχήμα 4.37α**

Όταν η απόσταση είναι μεγαλύτερη από 50 mm, χρησιμοποιούνται οι «εύκαμπτοι» σύνδεσμοι, με μορφή Z ή Ω. Στο **Σχήμα 4.37β** παρουσιάζεται η περίπτωση εύκαμπτων συνδέσμων με μορφή Ω. Συχνά στη πράξη, οι σύνδεσμοι αυτού του τύπου, ονομάζονται "πάπιες", ενώ όταν χρησιμοποιούνται σε υποστυλώματα ονομάζονται και "αναρτήρες".

Στο **Σχήμα 4.38** απεικονίζονται διάφοροι τύποι συγκολλήσεων που είναι πιθανόν να χρησιμοποιηθούν στις επεμβάσεις. Ο τρόπος εκτέλεσης των συγκολλήσεων αυτών ποικίλει ανάλογα με τη θέση που βρίσκονται τα προς συγκόλληση τμήματα. Αυτό επηρεάζει την ικανότητα διεύθυνσης της «πάστας» του ηλεκτροδίου και ως εκ τούτου και την πρόσφυση της συγκόλλησης στο μέταλλο.



Σχήμα 4.38 Είδη συγκολλήσεων στις επεμβάσεις
 (1,8) "Ουρανός", (2,4,5,9) "Ανεβατό" (ή
 "Κατεβατό") (3) "Πλάκα", (6, 7) "Οριζόντιο",
 (10)"Κατά κεφαλή"

Η συγκόλληση «ανεβατό» (κατακόρυφη συγκόλληση με φορά προς τα πάνω) είναι πολύ δύσκολο να γίνει σωστά και απαιτεί επενδυμένα ηλεκτρόδια. Αν και έχει πολύ καλή διείδυση έχει δύο βασικά μειονεκτήματα :

- Το λειωμένο μέταλλο και η προστατευτική πάστα τείνουν να γυρίσουν προς τα πίσω λόγω της βαρύτητας, δημιουργώντας εγκλείσεις πάστας στη ραφή συγκόλλησης και μείωση της διατομής της.
- Στο τέλος της ραφής συγκόλλησης δημιουργείται ένας «κρατήρας» στο βασικό μέταλλο, πράγμα που μειώνει τη διατομή του. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί μόνο αν ο τεχνίτης είναι ειδικευμένος και προσεκτικός.

Η συγκόλληση «κατεβατό» (κατακόρυφη συγκόλληση με φορά προς τα κάτω) είναι δύσκολη κατασκευαστικά, απαιτεί επενδυμένα ηλεκτρόδια και το κυριότερο μειονέκτημα της είναι ότι έχει πολύ μικρή διείδυση άρα και μικρή ικανότητα μεταφοράς φορτίων.

Η συγκόλληση «ουρανός» (συγκόλληση στο κάτω μέρος στοιχείων τοποθετημένων στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο) καθώς και η συγκόλληση «οριζόντιο» (συγκόλληση οριζόντια σε στοιχεία τοποθετημένα στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο) εκτός της κατασκευαστικής τους δυσκολίας δεν έχουν άλλα μειονεκτήματα ενώ η συγκόλληση «πλάκα» (συγκόλληση στο πάνω μέρος στοιχείων τοποθετημένων στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο) είναι η πλέον εύκολη.

Από μία έρευνα που έγινε στο Πανεπιστήμιο Πατρών σε χάλυβες S400, των οποίων η περιεκτικότητα σε άνθρακα ξεπερνούσε το 0,24% μπορούν να επισημανθούν οι παρακάτω χρήσιμες οδηγίες για την εκτέλεση των συγκολλήσεων :

- Η ηλεκτροσυγκόλληση «κατεβατό», η οξυγονοσυγκόλληση και ηλεκτροσυγκόλληση «κατά κεφαλή», πρέπει να αποφεύγονται.
- Η συγκόλληση «ανεβατό» πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτικά κυρίως προς το τέλος της ραφής και αν υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης να γίνεται διακοπτόμενα.
- Μικρή προθέρμανση των προς συγκόλληση οπλισμών είναι χρήσιμη.
- Το μήκος των ραφών και ο τρόπος εκτέλεσης της ηλεκτροσυγκόλλησης πρέπει να συμφωνεί απόλυτα με τα οριζόμενα στους κανονισμούς.

Από την ίδια έρευνα προκύπτουν οι παρακάτω ιδιαίτερα σημαντικές διαπιστώσεις:

- Ο συγκολλημένος χάλυβας παρουσιάζει μικρότερη παραμόρφωση αστοχίας από τον ασυγκόλλητο χωρίς όμως αλλαγή στην τάση και την παραμόρφωση διαρροής.
- Οι συγκολλήσεις ράβδων οπλισμού στο εργοτάξιο πρέπει να γίνονται από τεχνίτες ειδικά εκπαιδευμένους για τέτοιου είδους συγκολλήσεις. Συγκολλήσεις που έγιναν από τεχνίτες που είχαν εμπειρία συγκολλήσεων μόνο από εργασίες σε μη φέροντα μεταλλικά στοιχεία (π.χ. μεταλλικές πόρτες, κάγκελα κ.λ.π.) αστόχησαν στην περιοχή συγκόλλησης σε ιδιαίτερα υψηλό ποσοστό. Είναι ιδιαίτερα ανησυχητικό ότι η μέχρι σήμερα εμπειρία από εργασίες μετασεισμικών επεμβάσεων στον ελληνικό χώρο δείχνει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των εργασιών ηλεκτροσυγκόλλησης γίνεται από τεχνίτες χωρίς την απαραίτητη ειδίκευση.

Τέλος από την μέχρι σήμερα επιστημονική γνώση επί του θέματος επισημαίνονται οι παρακάτω χρήσιμες πρακτικές πληροφορίες:

- Ηλεκτροσυγκόλληση ράβδων οπλισμού μπορεί να γίνει ακόμα και στην περίπτωση που οι παλαιές ράβδοι οπλισμού είναι οξειδωμένες. Προϋποτίθεται βέβαια ότι απομακρύνεται προηγουμένως επιμελώς η σκουριά και η ηλεκτροσυγκόλληση γίνεται πάνω στο υγιές τμήμα των ράβδων.
- Εάν οι παλαιές ράβδοι είναι St I (S220), τότε οι νέες ράβδοι μπορεί να είναι οποιοδήποτε τύπου αρκεί να είναι συγκολλησιμες δηλαδή S500s ή S400s. Του ίδιου τύπου θα πρέπει να είναι και τα τυχόν παρεμβλήματα.

Στην περίπτωση που οι παλαιές ράβδοι είναι St III (S400) συνιστάται όπως οι προς συγκόλληση νέες ράβδοι και τα τυχόν μεταλλικά παρεμβλήματα είναι από χάλυβα S400s διαφορετικά θα χρησιμοποιηθεί S500s. Γενικά για συγκολλήσεις ισχύει ο Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°

5.1 ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ – ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

5.1.1 ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ - ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

Οι επεμβάσεις στα υποστυλώματα είναι η πλέον συχνή πρακτική στον αντισεισμικό ανασχεδιασμό μιας υφιστάμενης κατασκευής. Όταν έχουν εμφανιστεί βλάβες, η λύση μπορεί να προβλέπει είτε την αποκατάσταση των αρχικών χαρακτηριστικών του υποστυλώματος (επισκευή) είτε την βελτίωση τους (ενίσχυση). Προφανώς η δεύτερη επιλογή μπορεί να εφαρμοστεί ανεξάρτητα από την ύπαρξη βλαβών ενώ όταν υπάρχουν βλάβες σχεδόν πάντοτε προηγείται η επισκευή.

5.1.1.1 ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

Η επισκευή ενός υποστυλώματος, που έχει φθορές ή βλάβες, αφορά την διαδικασία επέμβασης με την οποία αποκαθίστώνται τα αρχικά του χαρακτηριστικά.

1. ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΜΕ ΚΟΛΛΕΣ Ή ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Αποκαταστάσεις με κόλλες ή επισκευαστικά κονιάματα εφαρμόζονται όταν οι βλάβες είναι ελαφρές, όταν δηλαδή εμφανίζονται ρηγματώσεις ή αποφλοιώσεις σκυροδέματος χωρίς αποδιοργάνωση του περισφιγμένου τμήματος του υποστυλώματος και λύγισμα των ράβδων οπλισμού. Οι κόλλες χρησιμοποιούνται στην περίπτωση των ρηγματώσεων, ενώ τα επισκευαστικά κονιάματα στην περίπτωση των επιφανειακών αποφλοιώσεων του σκυροδέματος.

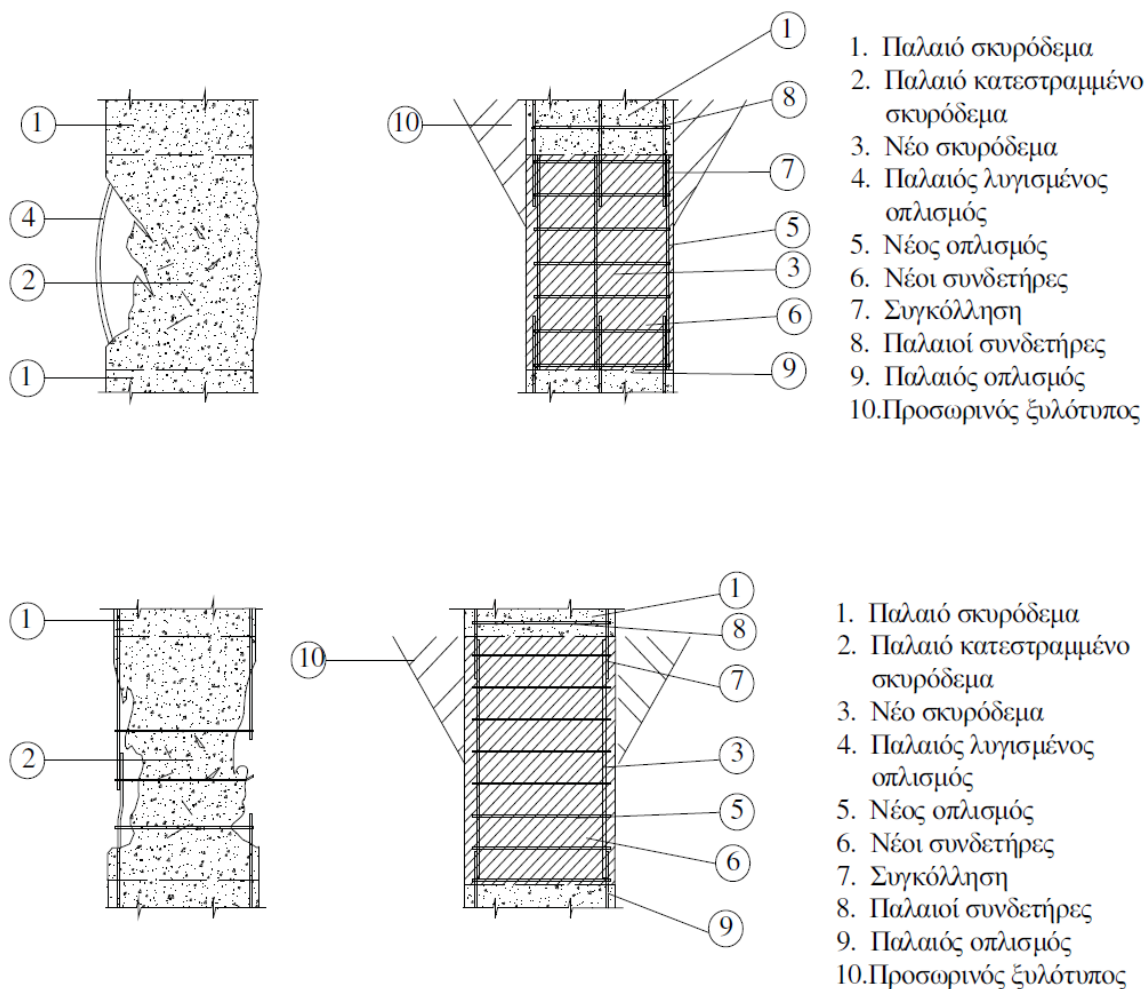
Από τα επισκευαστικά κονιάματα, τα ρητινοκονιάματα έχουν ευρύτερη εφαρμογή επειδή συνήθως οι αποφλοιώσεις είναι μικρού πάχους. Για μεγαλύτερο πάχος αποδιοργανωμένου σκυροδέματος, που σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να επεκτείνεται και στο εντός του συνδετήρος τμήμα της διατομής, χρησιμοποιούνται μη συρρικνούμενα κονιάματα με βάση το τσιμέντο.

Στην ανάλυση και στην διαστασιολόγηση οι συντελεστές μονολιθικότητας για την δυσκαμψία και την αντοχή λαμβάνονται ίσοι με την μονάδα:

$$k_k = k_r = 1,0$$

2. Τοπικές αποκαταστάσεις ίσης διατομής

Επεμβάσεις με καθαίρεση και αποκατάσταση ίσης διατομής εφαρμόζονται όταν οι βλάβες είναι σοβαρές, όταν δηλαδή εμφανίζεται αποδιοργάνωση του σκυροδέματος ή διάρρηξη που μπορεί να ακολουθείται από άνοιγμα ή διάρρηξη των συνδετήρων και λυγισμό των διαμηκών ράβδων. Συχνά μετά από μία επισκευή τέτοιου είδους ακολουθεί η ενίσχυση με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος.



Σχήμα 5.1 Αποκατάσταση υποστυλώματος, με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος της βλαβείσας περιοχής.

Στο **Σχήμα 5.1** απεικονίζονται δύο περιπτώσεις αποκατάστασης, στις οποίες παρουσιάζεται πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος της βλαβείσας περιοχής, λυγισμός των διαμηκών ράβδων οπλισμού και διάρρηξη των συνδετήρων.

Οι ενέργειες που απαιτούνται για την αποκατάσταση περιλαμβάνουν :

- Καθαίρεση και απομάκρυνση κάθε υλικού σκυροδέματος σε μήκος υποστυλώματος μεγαλύτερο από αυτό της βλαβείσας περιοχής, και καλό καθαρισμό.
- Απομάκρυνση συνδετήρων της περιοχής.
- Κόψιμο των τμημάτων των διαμηκών ράβδων που έχουν λυγίσει.

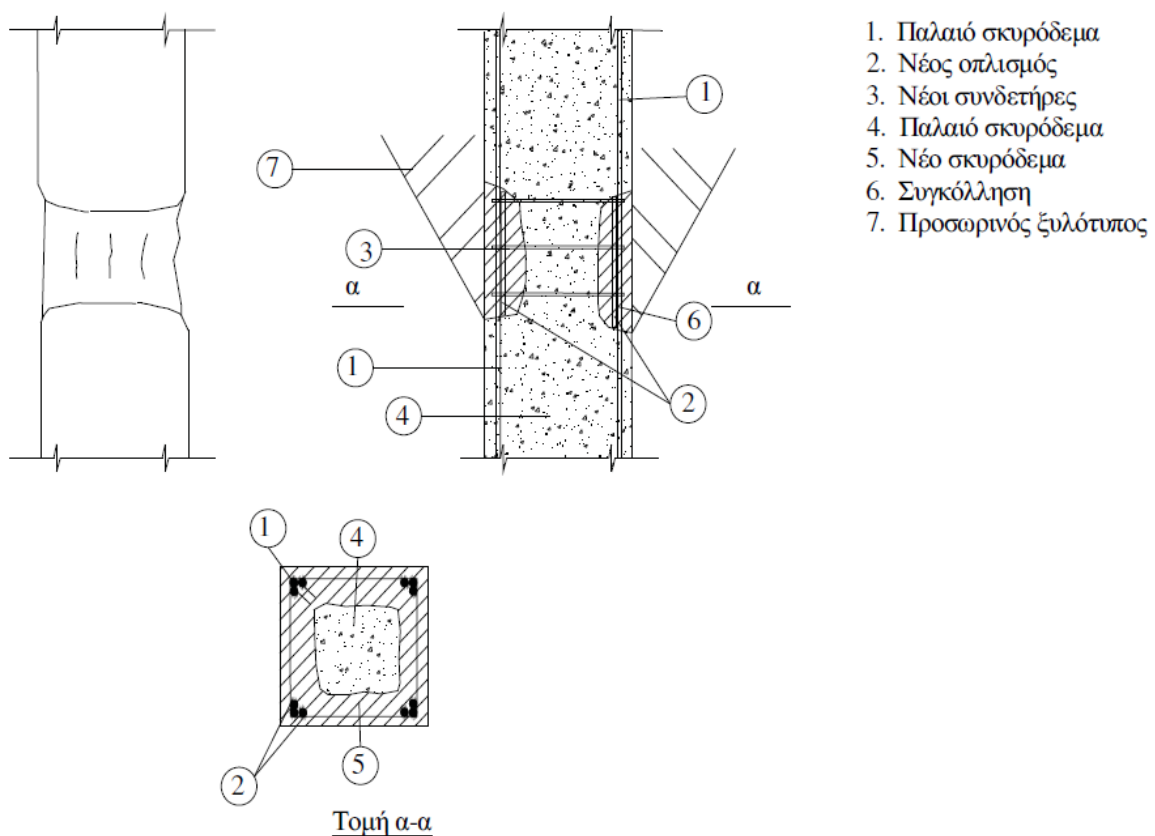
- Ηλεκτροσυγκόλληση νέων τμημάτων διαμηκών ράβδων.
- Τοποθέτηση νέων πυκνών συνδετήρων.
- Σκυροδέτηση του καθαιρεθέντος τμήματος.

Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή για να αντιμετωπιστεί η συστολή ξήρανσης του νέου σκυροδέματος. Για αυτό το λόγο, χρησιμοποιούνται είτε ειδικά πρόσμικτα είτε ειδικές συνθέσεις σκυροδέματος στις οποίες το τσιμέντο έχει αντικατασταθεί από μη συρρικνούμενες κονίες.

Σε κάθε περίπτωση η σύνθεση του σκυροδέματος πρέπει να περιλαμβάνει αδρανή με μέγιστο κόκκο ίσο με αυτό του υπάρχοντος και να ακολουθούνται αυστηρά οι οδηγίες των προμηθευτών για τα πρόσμικτα ή τις κονίες.

Για την διευκόλυνση της σκυροδέτησης και καλύτερη συμπίκνωση, ο ξυλότυπος καταλήγει προς τα πάνω σε χοάνη, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 5.2** και το επιπλέον πρισματικό τμήμα σκυροδέματος αφαιρείται την επόμενη ημέρα της σκυροδέτησης.

Η τεχνική αυτή, για να είναι επιτυχής, απαιτεί πλήρη αποφόρτιση της περιοχής των ορόφων που φορτίζουν το υποστύλωμα και σχολαστική υποστύλωση (ή δυνατόν με μικρή αρνητική φόρτιση) των δοκών που συντρέχουν σ' αυτό. Έτσι όταν μετά το πέρας της επέμβασης απομακρυνθεί η υποστύλωση και επιβληθούν τα φορτία, θα αναιρεθούν τυχόν παραμορφώσεις από συστολή ξήρανσης και το νέο στοιχείο θα αναλάβει θλιπτικό φορτίο.



Σχήμα 5.2 Αποκατάσταση υποστυλώματος με μερική αποδιοργάνωση της βλαβείσας περιοχής.

Στο **Σχήμα 5.2** απεικονίζεται η περίπτωση που το κεντρικό τμήμα της διατομής παρέμεινε αβλαβές και ως εκ τούτου δεν απομακρύνεται. Οι διαμήκεις ράβδοι οπλισμού δεν αντικαθίστώνται εφόσον δεν έχουν λυγίσει, αλλά πιθανότατα να απαιτηθεί η τοποθέτηση νέων συνδετήρων έτσι ώστε να πληρούνται οι κατασκευαστικές διατάξεις, του ισχύοντος κανονισμού.

Στις διεπιφάνειες παλαιού και νέου σκυροδέματος η ικανότητα μεταφοράς διατμητικού φορτίου εξασφαλίζεται μέσω του μηχανισμού της τριβής. Συνήθως το αξονικό φορτίο του υποστυλώματος και ο οπλισμός που διαπερνούν την διεπιφάνεια εξασφαλίζουν την ανάπτυξη της απαραίτητης διατμητικής αντίστασης. Οι συνθήκες είναι δυσμενέστερες στα υποστυλώματα των ανωτέρων ορόφων επειδή εκεί το αξονικό φορτίο των υποστυλωμάτων είναι μειωμένο.

Γενικότερα όμως, ο σχετικός έλεγχος στην διεπιφάνεια μπορεί να γίνει με τον ίδιο τρόπο που προβλέπεται στον Κανονισμό Σκυροδέματος για τους αρμούς διακοπής των τοιχωμάτων, όπου το ελάχιστο εμβαδόν διατομής του οπλισμού που πρέπει να διαπερνά την διεπιφάνεια προκύπτει από τις σχέσεις:

$$A_{s,tot}^{διεπ} \geq \frac{1}{f_{yk}} (1,3 f_{ctm} A_c - 0,7 N_d)$$

Και τον έλεγχο :

$$A_{s,tot}^{διεπ} \geq 0,0025 A_c$$

Όπου :

A_c : το εμβαδόν διατομής του υποστυλώματος

$A_{s,tot}^{διεπ}$: το εμβαδόν διατομής οπλισμού που διαπερνά την επιφάνεια

f_{ctm} : η μέση εφελκυστική αντοχή του ασθενέστερου σκυροδέματος

N_d : το θλιπτικό φορτίο του σχεδιασμού του υποστυλώματος

Εάν οι παραπάνω σχέσεις δεν ικανοποιούνται με τον υπάρχοντα οπλισμό, θα πρέπει να προστεθούν νέοι οπλισμοί που θα αγκυρωθούν στο παλαιό στοιχείο και θα διαπερνούν κάθετα την διεπιφάνεια.

5.1.1.2 Ενισχύσεις υποστυλωμάτων

Η ενίσχυση ενός υποστυλώματος, αφορά την διαδικασία επέμβασης με την οποία αυξάνεται η φέρουσα ικανότητα του ή γενικότερα βελτιώνεται η συμπεριφορά του. 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.

Στην 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.

Εν συνέχεια θα αναπτυχθούν οι παραπάνω δύο μορφές ενίσχυσης υποστυλωμάτων.

1. Ενίσχυση υποστυλωμάτων με περίσφιγξη

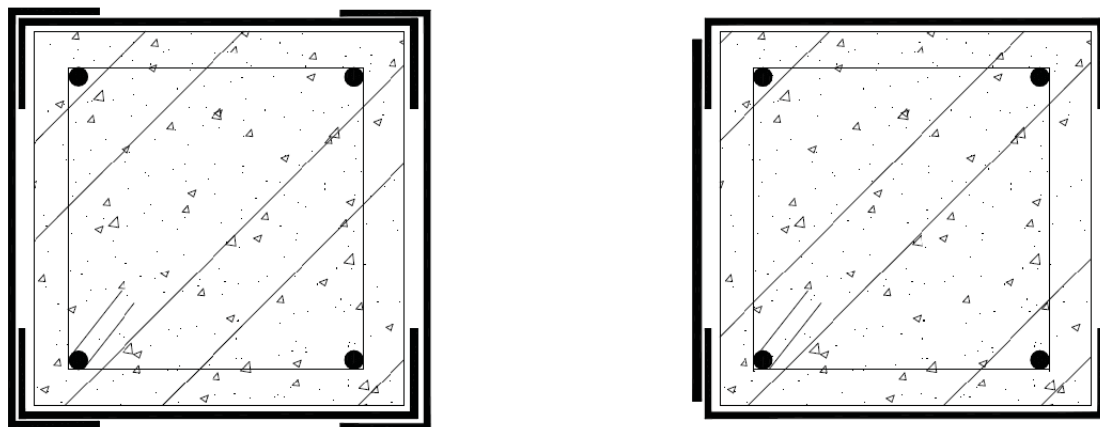
Η ενίσχυση των υποστυλωμάτων με εξωτερική περίσφιγξη προσφέρεται στις παρακάτω περιπτώσεις :

- Όταν απαιτείται αύξηση της πλαστιμότητας του υποστυλώματος.
- Όταν απαιτείται αύξηση της διατμητικής αντοχής του υποστυλώματος.
- Όταν μία αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μέχρι 30% το πολύ είναι επαρκής.
- Όταν υπάρχει κίνδυνος αστοχίας της συνάφειας των κατακόρυφων οπλισμών του υποστυλώματος στην περιοχή υπερκάλυψης τους.
- Όταν απαιτείται η μεταφορά ενός τμήματος των κατακόρυφων φορτίων του υποστυλώματος, η τεχνική συνδυάζεται με την εφαρμογή εξωτερικής σιδηροκατασκευής.

1.1 Διαδικασία επιβολής της περίσφιγξης

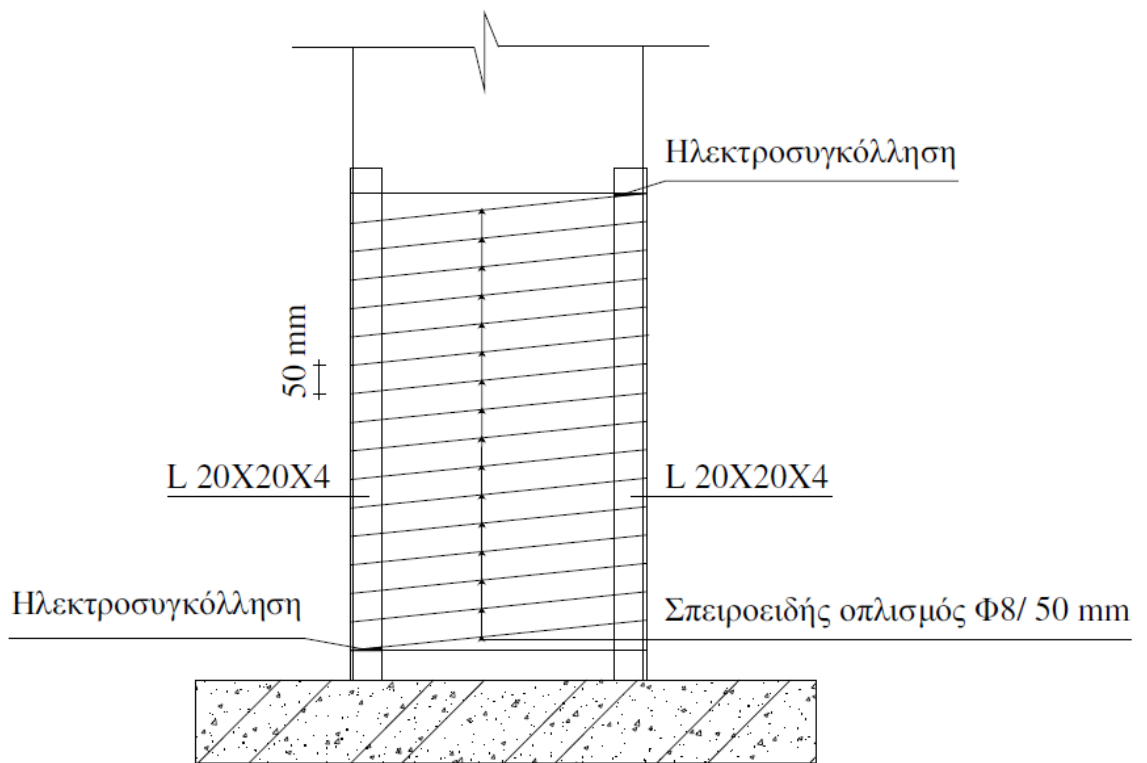
Η επιβολή εξωτερικής περίσφιγξης σε υποστυλώματα μπορεί να γίνει με τους παρακάτω τρόπους

- Με χρήση επικολλητών κολλάρων που μπορεί να είναι μεταλλικά ελάσματα συνήθους πάχους 1-2 mm (**Σχήμα 5.3**) ή λωρίδες από ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs).



Σχήμα 5.3 Περίσφιγξη με μεταλλικά επικολλητά ελάσματα

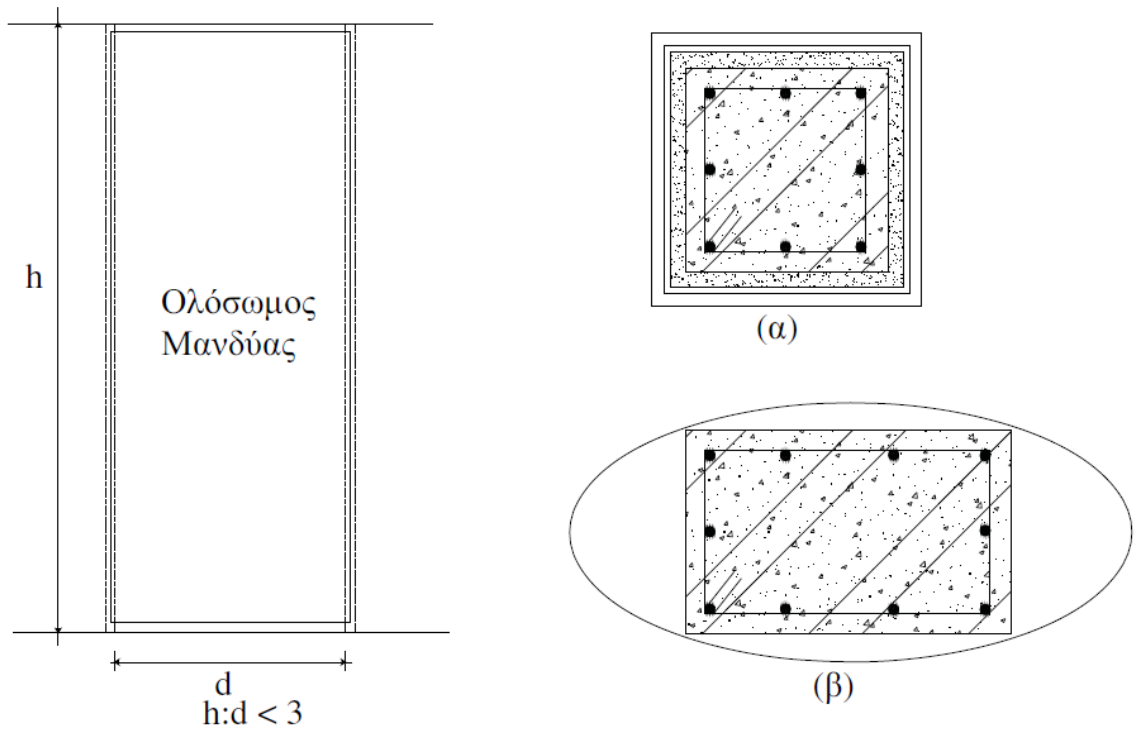
- Με χρήση προεντεταμένων κολλάρων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs) που μπορεί να έχουν την μορφή ταινιών "πακεταρίσματος".
- Με χρήση σπειροειδούς οπλισμού (**Σχήμα 5.4**) που μπορεί να είναι από μεταλλικό έλασμα ή από ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs).



Σχήμα 5.4 Περίσφιγξη με σπειροειδή οπλισμό

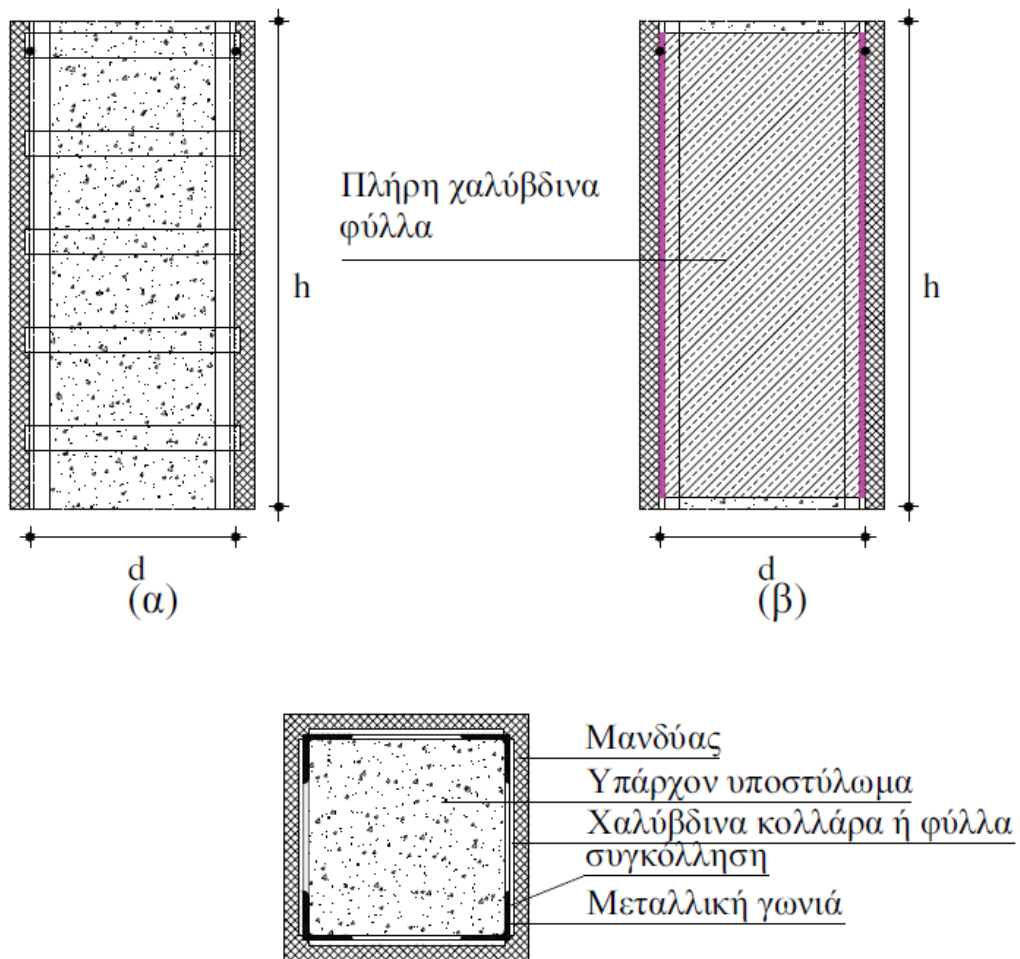
- Με χρήση ολόσωμου μανδύα από φύλλα χάλυβα ή ινοπλισμένο πολυμερές (FRP), επικολλητών επί των πλευρών του υποστυλώματος. Σήμερα, στην πράξη έχει αρχίσει να επεκτείνεται η εφαρμογή της τεχνικής με χρήση φύλλων FRPs.

Στην περίπτωση των μεταλλικών μανδύων η τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί τοποθετώντας τα χαλύβδινα φύλλα σε μικρή απόσταση από τις παρειές του υποστυλώματος και στην συνέχεια το κενό γεμίζεται με μη-συρρικνούμενο κονίαμα (**Σχήμα 5.5α**). Η τεχνική είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική όταν ο μεταλλικός μανδύας έχει ελλειπτική ή κυκλική μορφή (**Σχήμα 5.5β**).



Σχήμα 5.5 Περίσφιγξη με γενικό μεταλλικό μανδύα : α) Ορθογωνική
β) Ελλειπτική

- Με χρήση μεταλλικού κλωβού που δημιουργείται με κατακόρυφα γωνιακά ελάσματα και είτε οριζόντια μεταλλικά κολλάρα (Σχήμα 5.6α) είτε πλήρη χαλύβδινα φύλλα (Σχήμα 5.6β).



Σχήμα 5.6 Περίσφιγξη με μεταλλικό κλωβό

5.1.1.3 Τεχνικές – Είδη μανδύων και διαδικασία κατασκευής μανδύων

1. Μανδύες από ινοπλισμένα πολυμερή

Οι μανδύες με ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs) αποτελούν έναν εύχρηστο τρόπο επιβολής της περίσφιγξης.

Τα φύλλα εφαρμόζονται με τις ίνες τους σε οριζόντια διεύθυνση συμβάλλοντας έτσι, ιδιαίτερα στον εγκιβωτισμό του στοιχείου και στην αύξηση της διατμητικής του αντοχής. Εάν αυτοί μόνο είναι οι λόγοι της ενίσχυσης, τα φύλλα μπορούν να αντικατασταθούν από οριζόντιες λωρίδες ("κολλάρα"). Αυτή η εναλλακτική τεχνική έχει μεν οικονομία υλικού αλλά απαιτεί περισσότερα "εργατικά", και γι' αυτό η επιλογή θα πρέπει να εξαρτηθεί από την εκτίμηση του συνολικού κόστους.

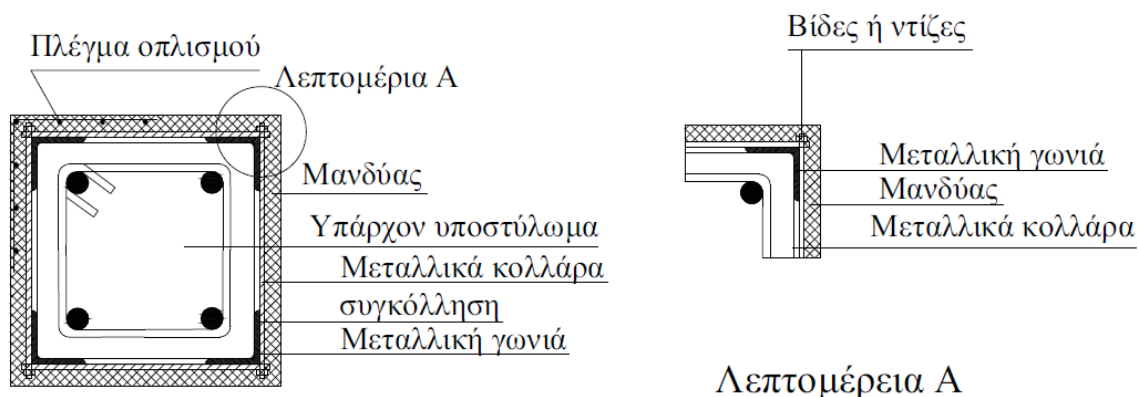
Εάν συγχρόνως επιδιώκεται και η αύξηση της καμπτικής αντοχής του στοιχείου, θα πρέπει προφανώς να χρησιμοποιηθούν και φύλλα με κατακόρυφη διεύθυνση ινών. Όμως, σ' αυτή την περίπτωση η τεχνική θα πρέπει να συνδυαστεί με ανάλογη εφαρμογή ενίσχυσης του κόμβου (δοκών-υποστυλωμάτων) επειδή τα άκρα του υποστυλώματος βρίσκονται σε περιοχές με αυξημένη καμπτική ένταση.

Η εφαρμογή της τεχνικής είναι απλούστερη και περισσότερο αποδοτική στα κυκλικά υποστυλώματα. Στα ορθογωνικά υποστυλώματα απαιτείται προηγουμένως κατάλληλη εξομάλυνση των γωνιών έτσι ώστε να αποκτήσουν καμπυλότητα με ακτίνα τουλάχιστον 30 ram. Η αποδοτικότητα της τεχνικής μπορεί να αυξηθεί εάν η εφαρμογή των φύλλων (ή των λωρίδων) γίνει με προένταση. Όμως, στην περίπτωση αυτή οι τεχνικές δυσκολίες του εγχειρήματος είναι αυξημένες και γι' αυτό η εφαρμογή της θα πρέπει να εξετάζεται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις.

2. Τεχνική του μεταλλικού κλωβού

Η τεχνική του μεταλλικού κλωβού είναι η πλέον διαδεδομένη διαδικασία επιβολής της περίσφιγξης. Τέσσερα μεταλλικά γωνιακά ελάσματα, προσαρμόζονται στις γωνίες του υποστυλώματος και οριζόντια μεταλλικά ελάσματα "κολλάρα" (ή ράβδοι από δομικό χάλυβα) συγκολλούνται πάνω στα γωνιακά (**Σχήμα 5.6**).

Πριν γίνει η συγκόλληση προηγείται σύσφιγξη των γωνιακών με ειδικά κλειδιά ή γίνεται προθέρμανση του οριζόντιου οπλισμού σε θερμοκρασία 200-400° C, έτσι ώστε να δημιουργηθεί περίσφιγξη με την συστολή που επέρχεται όταν γίνει απόψυξη. Εναλλακτικά αντί για συγκόλληση μπορεί να χρησιμοποιηθούν "βίδες" ή "ντίζες" (**Σχήμα 5.7**).



Σχήμα 5.7 Εναλλακτική εφαρμογή της τεχνικής του μεταλλικού κλωβού χρησιμοποιώντας “βίδες” ή “ντίζες”

Τα κενά που δημιουργούνται στην επαφή του μεταλλικού κλωβού και του σκυροδέματος, συμπληρώνονται με ένα μη-συρρικνούμενο κονίαμα ή κόλλα. Η τελική επιφάνεια μπορεί να δημιουργηθεί με μία ισχυρή τσιμεντοκονία οπλισμένη με ένα ελαφρύ πλέγμα ενώ δεν είναι απαραίτητη η χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Στις περιπτώσεις που το ύψος του υποστυλώματος είναι σχετικά μικρό ($h/d < 3$) επιλέγεται συχνά η αντικατάσταση των κολλάρων με χαλύβδινα φύλλα (**Σχήμα 5.6β**).

Σε σύγκριση με τις υπόλοιπες διαδικασίες, αποτελεί πλεονέκτημα της τεχνικής του μεταλλικού κλωβού η δυνατότητα μεταφοράς ενός τμήματος των κατακόρυφων φορτίων του υποστυλώματος. Σε συνδυασμό μάλιστα με την ταχύτητα με την οποία μπορεί να εφαρμοστεί η τεχνική σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, η τεχνική αποτελεί κατάλληλη προσωρινή λύση άμεσης ανάληψης κατακόρυφων φορτίων σε στοιχεία που υπέστησαν βλάβες και αδυνατούν πλέον να μεταφέρουν τα αξονικά τους φορτία (**Σχήμα 5.8**).

Εξ' άλλου στην περίπτωση τοπικής βλάβης του υποστυλώματος ο κλωβός μπορεί να εφαρμοστεί γύρω από την περιοχή που έχει βλαφτεί όπως ακριβώς εφαρμόζεται ο ' 'νάρθηκας" στην ορθοπεδική, στην "by pass" μεταφορά της έντασης.



Σχήμα 5.8 Επέμβαση με μεταλλικό κλωβό για προσωρινή ανάληψη κατακόρυφων φορτίων

Από τα μέχρι σήμερα περιορισμένα αναλυτικά και πειραματικά δεδομένα της έρευνας, μπορούν να προταθούν οι παρακάτω περιορισμοί για την εφαρμογή της τεχνικής του μεταλλικού κλωβού :

- Η διατομή των γωνιακών πρέπει να είναι τουλάχιστον 50X50X5 mm
- Η διατομή του οριζόντιου οπλισμού πρέπει να είναι τουλάχιστον 25X4 mm όταν χρησιμοποιούνται ελάσματα ή κατ' ελάχιστον $\Phi 10$ όταν χρησιμοποιούνται ράβδοι δομικού χάλυβα.
- Οι αποστάσεις του οριζόντιου οπλισμού συνίσταται να είναι μικρότερες από το μισό της μικρότερης διάστασης της διατομής και από 150 mm. Συνήθως επιλέγεται 100 mm.
- Για την περίπτωση τοπικής περίσφιγξης, ο μεταλλικός κλωβός επεκτείνεται πάνω και κάτω από την βλάβη σε απόσταση τουλάχιστον μιάμιση φορά στην μέση διάσταση της διατομής.
- Απαιτούνται πρόσθετα μέτρα πυροπροστασίας (αν απαιτείται).

Η συνηθισμένη εφαρμογή της τεχνικής αφορά υποστυλώματα μικρής διατομής με επαρκή διαμήκη οπλισμό. Για παράδειγμα ως μέγιστη διάσταση διατομής θα μπορούσε να θεωρηθεί η διάσταση των 400 mm και ως ελάχιστος οπλισμός του υποστυλώματος τα 4 Φ 18.

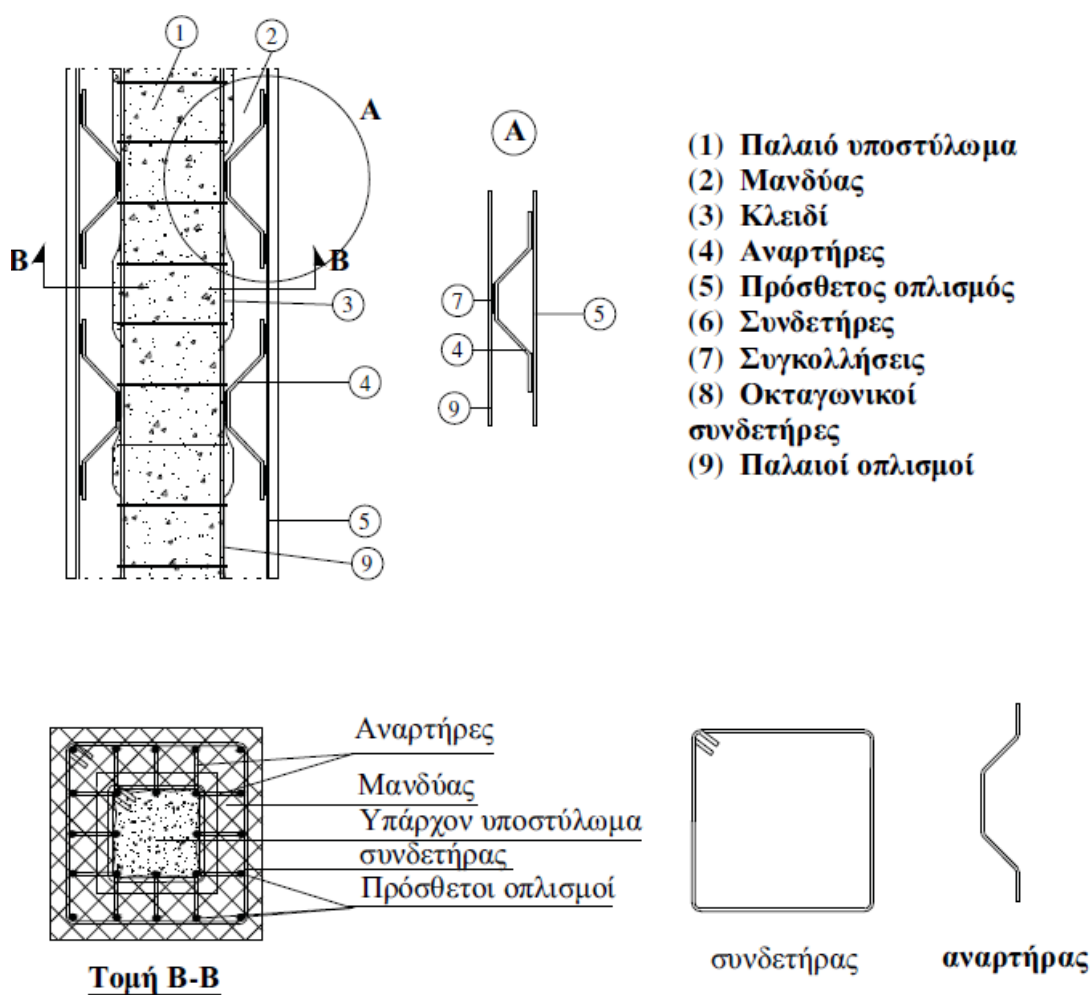
Σε περιπτώσεις μεγαλύτερων διαστάσεων απαιτούνται ενδιάμεσες διαμπερείς χαλύβδινες ράβδοι δομικού χάλυβα σε αποστάσεις της τάξης των 300 mm που

διαπερνούν μέσω οπών το πάχος του υποστυλώματος και ηλεκτροσυγκολλούνται στις απέναντι μεταλλικές λάμες. Το κενό μεταξύ των ράβδων και των τοιχωμάτων των οπών συμπληρώνεται με κόλλα.

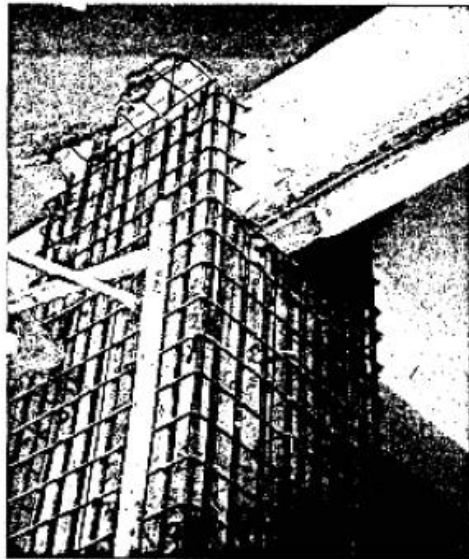
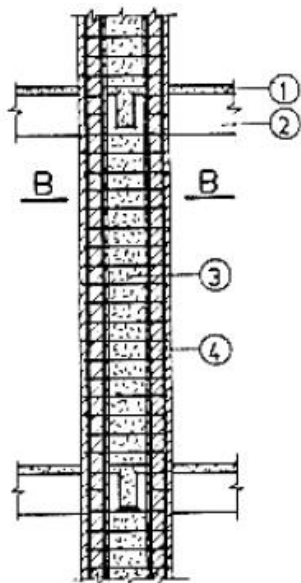
3. Μανδύες υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα

Η τεχνική της κατασκευής μανδύων σε υποστυλώματα οπλισμένου σκυροδέματος είναι η πλέον αποτελεσματική μέθοδος αύξησης της αντοχής, δυσκαμψίας και πλαστιμότητάς τους. Συνήθως εφαρμόζεται σε περιπτώσεις υποστυλωμάτων με σοβαρές βλάβες ή γενικότερα όταν διαπιστώνεται ιδιαίτερη ανεπάρκεια της αντοχής τους ή άλλων χαρακτηριστικών τους.

Η τεχνική περιλαμβάνει την αύξηση της διατομής του υποστυλώματος με νέο σκυρόδεμα και νέους διαμήκεις και εγκάρσιους οπλισμούς περιμετρικά του αρχικού στοιχείου (**Σχήμα 5.9**) και μπορεί να εκτείνεται είτε σε όλο το μήκος του υποστυλώματος (ολικός μανδύας **Σχήμα 5.10**) είτε σε ένα μόνο τμήμα του (τοπικός μανδύας).



Σχήμα 5.9 Μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος



- (1) Υφιστάμενη πλάκα
- (2) Υφιστάμενη δοκός
- (3) Υφιστάμενο υποστύλωμα
- (4) Μανδύας

Σχήμα 5.10 Ολικός μανδύας, διάτρηση δοκού στην περιοχή του κόμβου για διέλευση συνδετήρων.

Η κατασκευή των μανδύων συνηθίζεται στην πράξη να γίνεται από έγχυτο σκυρόδεμα ή από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ή από σκυροτσιμεντόπηγμα ή τέλος από ειδικά σκυροδέματα ή τσιμεντοκονιάματα.

3.1 Είδη μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος

Τα είδη των μανδύων είναι τα εξής :

α. Μανδύες από έγχυτο σκυρόδεμα

Έγχυτο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται για μανδύες μεγάλου πάχους ($d > 80$ mm) και απαιτείται ξυλότυπος. Η χύτευση πρέπει να γίνεται με χαμηλή πίεση. Το μέγεθος των αδρανών δεν πρέπει να είναι μεγάλο. Συνίσταται ιδιαίτερα η χρήση ρευστοποιητών, και πρόσμικτων που παρεμποδίζουν την συστολή ξήρανσης. Μειονέκτημα της τεχνικής είναι η δυσκολία σκυροδέτησης ιδιαίτερα στην κορυφή του υποστύλωματος.

β. Μανδύες από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Η χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος, ξηράς ανάμιξης, είναι η πιο συνηθισμένη πρακτική για την κατασκευή μανδύων μικρού πάχους ($d < 100$ mm) και δεν απαιτείται ξυλότυπος. Στην κατασκευή απαιτείται ιδιαίτερη μέριμνα και φροντίδα για τον έλεγχο κατακόρυφων επιφανειών (χρήση οδηγών).

γ. Μανδύες από σκυροτσιμεντόπηγμα

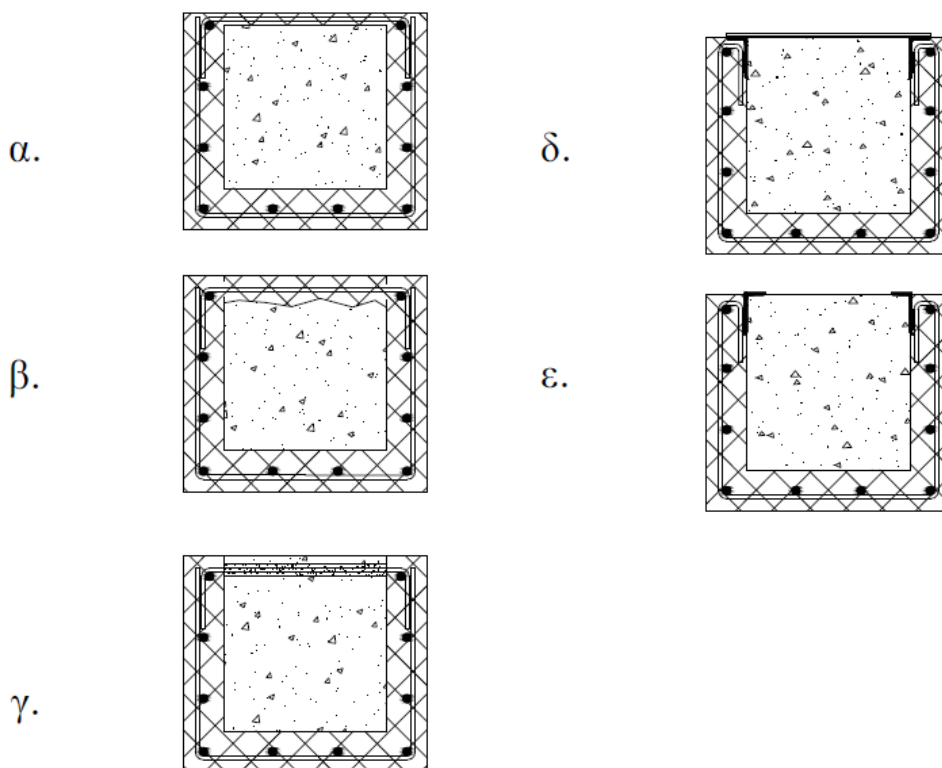
Η χρήση του σκυροτσιμεντοπήγματος για την κατασκευή μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος, έχει το βασικό πλεονέκτημα της απρόσκοπτης σκυροδέτησης παρουσία πυκνών οπλισμών. Θα μπορούσε ως εκ τούτου να θεωρηθεί πολύ κατάλληλη τεχνική, όμως η εφαρμογή της στην πράξη είναι περιορισμένη λόγω έλλειψης εμπειρίας.

δ. Μανδύες από ειδικά σκυροδέματα ή τσιμεντοκονιάματα.

Διάφορα σκυροδέματα ή τσιμεντοκονιάματα ειδικής σύνθεσης έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς σε επισκευές υποστυλωμάτων. Λόγω του αυξημένου τους κόστους χρησιμοποιούνται όταν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις. Τα ειδικά τσιμεντοκονιάματα χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει απαίτηση για μικρό πάχος μανδύα.

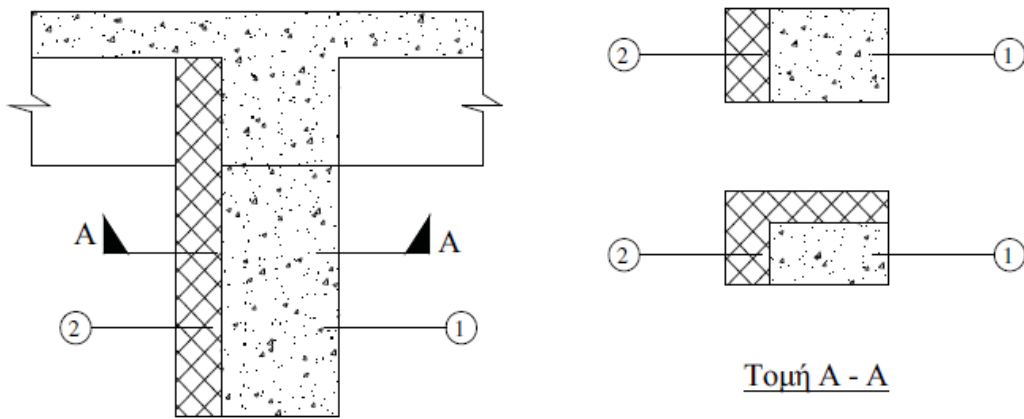
4. Ανοικτοί μανδύες

Στις περιπτώσεις που ο μανδύας δεν μπορεί να περιβάλλει ολόκληρη την διατομή όπως π.χ. σε υποστυλώματα που βρίσκονται στα όρια με άλλη οικοδομή, ο μανδύας λέγεται "ανοικτός". Στο **Σχήμα 5.11** παρουσιάζονται χρήσιμες διατάξεις που έχουν προταθεί για την περίπτωση που ο μανδύας περιβάλλει τρεις πλευρές του υποστυλώματος. Σε κάθε περίπτωση απαιτείται ιδιαίτερη φροντίδα για την προετοιμασία της διεπιφάνειας και την συγκόλληση παλαιών και νέων οπλισμών. Επίσης απαιτούνται ξεχωριστά μέτρα για την διασφάλιση της λειτουργίας των συνδετήρων και της ανθεκτικότητας τους στο χρόνο, ειδικότερα" στην περίπτωση που δεν εγκιβωτίζονται σε σκυρόδεμα. Όταν ο μανδύας περιβάλλει μόνο μία ή δύο πλευρές του υποστυλώματος (**Σχήμα 5.12**), στην πραγματικότητα πρόκειται πλέον για επέκταση του υποστυλώματος.



- α. Νέοι συνδετήρες με εξωτερική ράβδο ή λάμα και συγκόλληση
- β,γ. Νέοι συνδετήρες με διαμπερές χάντρωμα ή τρύπα και συγκόλληση
- δ. Νέοι συνδετήρες συγκολλημένοι σε δύο γωνιακά (π.χ. L 50X10X5 mm) και εξωτερική λάμα
- ε. Νέοι συνδετήρες συγκολλημένοι σε δύο γωνιακά (π.χ. L 50X10X5 mm) στερεωμένα στο υποστυλώμα με βλήτρα.

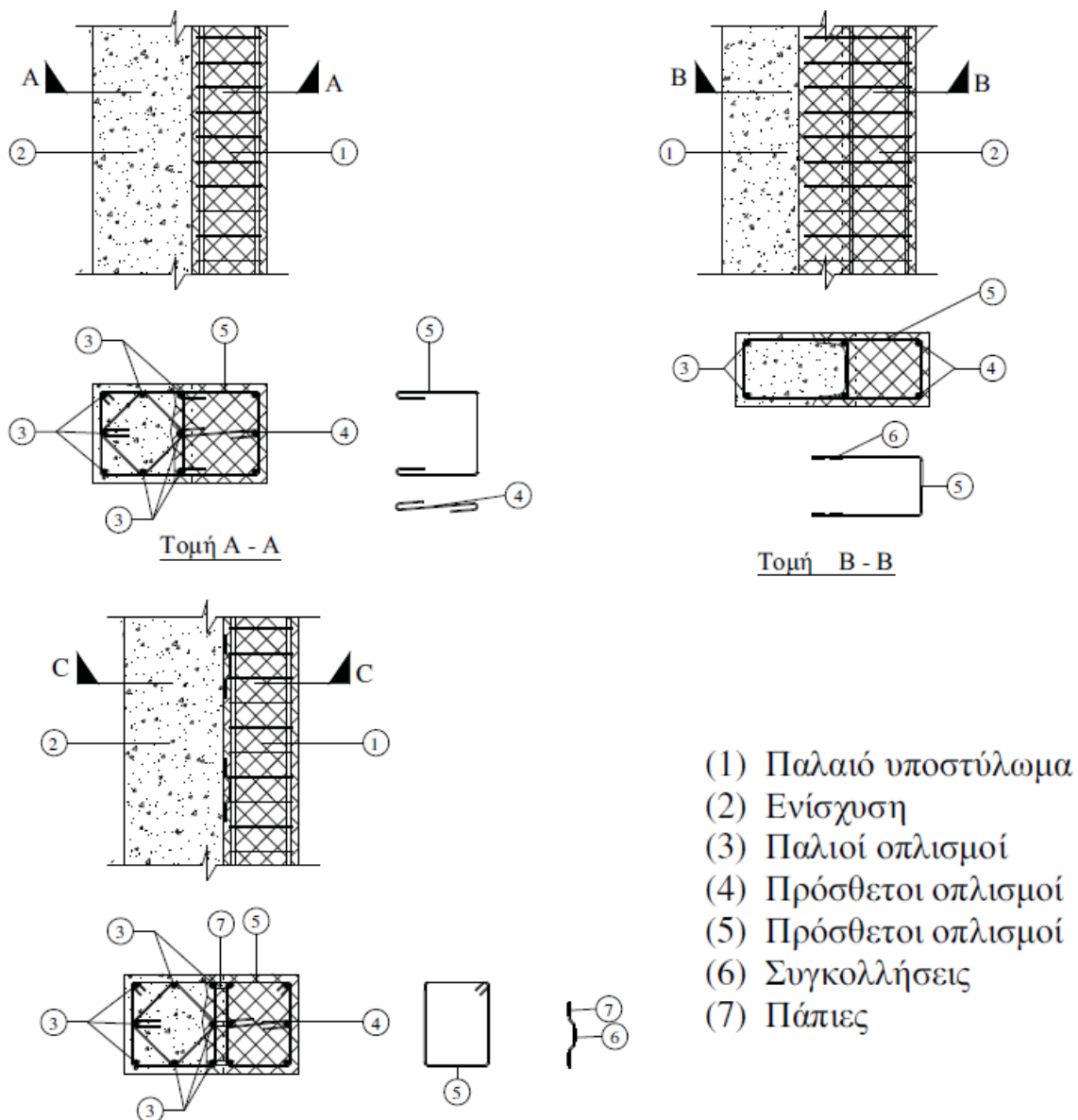
Σχήμα 5.11 Περιπτώσεις ανοικτών μανδυών



1. Υπάρχον υποστύλωμα
2. Επέκταση υποστυλώματος

Σχήμα 5.12 Μονόπλευρη ή δίπλευρη επέκταση υποστυλώματος

Στο **Σχήμα 5.13** παρουσιάζονται χρήσιμες διατάξεις για την περίπτωση μονόπλευρης επέκτασης. Ανάλογες διατάξεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για επέκταση του υποστυλώματος προς δύο πλευρές.



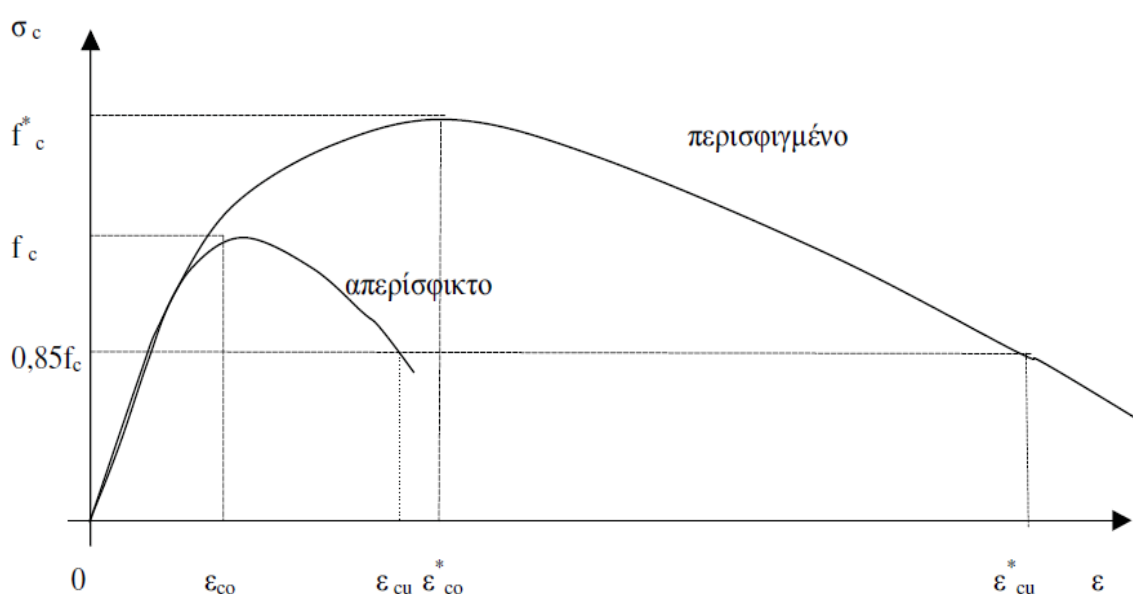
- (1) Παλιό υποστύλωμα
- (2) Ενίσχυση
- (3) Παλιοί οπλισμοί
- (4) Πρόσθετοι οπλισμοί
- (5) Πρόσθετοι οπλισμοί
- (6) Συγκολλήσεις
- (7) Πάπιες

Σχήμα 5.13 Λεπτομέρειες μονόπλευρης επέκτασης υποστυλώματος

5.1.1.4 Διαστασιολόγηση

Ανεξάρτητα από την ειδικότερη τεχνική που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση, κύρια δράση είναι η **τριαξονική θλίψη** που εισάγεται με την συμβολή της περισφιγξης. Ως εκ τούτου επιτυγχάνεται ιδιαίτερα σημαντική αύξηση της πλαστιμότητας του υποστυλώματος ενώ συγχρόνως αυξάνεται και η θλιπτική του αντοχή. Το διάγραμμα τάσεων- παραμορφώσεων του περισφιγμένου σκυροδέματος μπορεί να προκύψει από τις ίδιες ακριβώς σχέσεις που ισχύουν για την περισφιγξη του σκυροδέματος με συμβατικούς συνδετήρες.

Στο **Σχήμα 5.14** παρουσιάζεται για λόγους σύγκρισης μια ποιοτική απεικόνιση των καταστατικών νόμων για το περισφιγμένο και απερίσφικτο σκυρόδεμα.



Σχήμα 5.14 Τροποποιημένος καταστατικός νόμος περισφιγμένου σκυροδέματος

Χωρίς ιδιαίτερη διατριβή στα προσομοιώματα που έχουν προταθεί μέχρι σήμερα για το περισφιγμένο σκυρόδεμα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις παρακάτω σχέσεις, για την περισφιγξη σκυροδέματος με συμβατικούς συνδετήρες.

$$f_c^* = \beta f_c$$

$$\varepsilon_{co}^* = \beta^2 \varepsilon_{co}$$

$$\varepsilon_{cu}^* = 0,0035 + 0,1 \alpha \omega_{wd}$$

όπου :

f_c^* , f_c είναι η αντοχή του περισφιγμένου και του απερίσφικτου σκυροδέματος αντιστοίχως.

ε_{co}^* , ε_{co} είναι οι παραμορφώσεις στην κορυφή του διαγράμματος $\sigma^* - \varepsilon^*$ και $\sigma - \varepsilon$ αντιστοίχως ($\varepsilon_{co}=0,002$).

ε_{cu}^* , ε_{cu} είναι οι παραμορφώσεις στις οποίες θεωρείται ότι συμβαίνει η αστοχία στο περισφιγμένο και στο απερίσφικτο σκυρόδεμα αντιστοίχως.

$$\beta = \min(1+2,5 \alpha \omega_{wd}, \quad 1,125+1,25 \alpha \omega_{wd})$$

$\alpha = \alpha_s \alpha_n$ είναι ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιγξης. Αναλυτικότερα το θέμα αναπτύσσεται αλλού. Εδώ σημειώνεται ότι:

- στην περίπτωση του μεταλλικού κλωβού η τιμή του συντελεστή α_s πλησιάζει την μονάδα λόγω της σχετικά μεγάλης δυσκαμψίας των γωνιακών ελασμάτων. Για συνήθεις εφαρμογές μπορεί να θεωρηθεί $\alpha_s = 0,9$.
- στην περίπτωση ενίσχυσης κυκλικών υποστυλωμάτων με λωρίδες από ινοπλισμένα πολυμερή ή με χαλύβδινα ελάσματα ο συντελεστής α_n είναι ίσος με μονάδα ενώ αν χρησιμοποιηθεί ολόσωμος μανδύας λαμβάνεται $\alpha = \alpha_s \alpha_n = 1,0$.

ω_{wd} είναι το μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό των "συνδετήρων" δηλαδή των κολλάρων. Για ενίσχυση με ινοπλισμένα πολυμερή, το ω_{wd} προσδιορίζεται για τάση στο μανδύα ίση προς $f_{fd,c}$.

Επίσης για την περίπτωση μανδύων από ινοπλισμένα πολυμερή έχουν προταθεί και οι παρακάτω ημιεμπειρικές σχέσεις :

$$f_c^* = f_c + 6 f_r^{0,7} \quad (\text{MPa}) \qquad \epsilon_{cu}^* = \frac{f_c^* - f_o}{E_2}$$

$$f_r = 2 \frac{t_f}{D} f_{fd,c}$$

$$f_o = 0,872 f_c + 0,371 f_r + 6,258 \quad (\text{MPa})$$

$$E_2 = 245,61 \cdot f_c^{0,2} + 1,344 \frac{t_f}{D} E_f \quad (\text{MPa})$$

Όπου :

f_r είναι η μέγιστη τιμή της τάσης εγκιβωτισμού στο σκυρόδεμα.

t_f είναι το πάχος του μανδύα.

D είναι η διάμετρος της διατομής του υποστυλώματος.

E_f είναι το Μέτρο Ελαστικότητας του ινοπλισμένου πολυμερούς στην διεύθυνση των ινών.

$f_{fd,c}$ είναι η εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού του υλικού του μανδύα κατά την έννοια της περιμέτρου, που είναι πάντοτε μικρότερη από την αντίστοιχη αντοχή του υλικού που μετράται σε ευθύγραμμο δοκίμια.

Είναι προφανές ότι με δεδομένα τα μεγέθη f_c^* και ϵ_{cu}^* (π.χ για δεδομένες απαιτήσεις αντοχής και πλαστιμότητας), οι παραπάνω σχέσεις οδηγούν στον προσδιορισμό του πάχους του μανδύα.

- Προσεγγιστικά για ορθογωνικά υποστυλώματα διατομής $b \times h$ έχει προταθεί η χρήση των ίδιων σχέσεων που παρουσιάστηκαν προηγουμένως για τα κυκλικά υποστυλώματα θεωρώντας:

$$D = \frac{b^2}{2h} + \frac{h^2}{2b}$$

και ότι η αποδοτικότητα της περίσφιγξης (που εκφράζεται από τον συντελεστή α) είναι της τάξης του 50%. Δηλαδή:

$$f_r = 2 \alpha \frac{t_f}{D} f_{fd,c} = \frac{t_f}{D} f_{fd,c}$$

Η αποτελεσματικότητα της περίσφιγξης αυξάνει όσο περισσότερο "στρογγυλεύονται" οι γωνίες του υποστυλώματος. Για τις περιπτώσεις ενίσχυσης με την τεχνική του μεταλλικού κλωβού ή με χρήση ινοπλισμένων πολυμερών, αναλυτικές σχέσεις και αριθμητικές εφαρμογές για τον προσδιορισμό του οπλισμού περίσφιγξης, ανάλογα με τον επιδιωκόμενο δείκτη πλαστιμότητας του μέλους (μ_1/r) ή με την κλάση πλαστιμότητας της κατασκευής. Εξ' άλλου σημαντικές πρέπει να θεωρηθούν και οι παρακάτω δράσεις:

- Η **ανάληψη διατμητικού φορτίου** που εισάγεται με τους εγκάρσιους οπλισμούς που λειτουργούν ως πρόσθετοι συμβατικοί συνδετήρες. Η συνολική τέμνουσα που αναλαμβάνεται από τον οπλισμό διάτμησης μπορεί να εκτιμηθεί ως το άθροισμα των τεμνουσών που αναλαμβάνονται αφενός μεν από τους υπάρχοντες συνδετήρες του υποστυλώματος και αφετέρου από τους νέους "οπλισμούς". Οι σχέσεις που ισχύουν για τον συμβατικό οπλισμό διάτμησης στα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος εξακολουθούν να ισχύουν και εδώ για τους πρόσθετους "οπλισμούς".

Οι σχέσεις αυτές για την περίπτωση μανδύων από ινοπλισμένα πολυμερή μπορεί να γραφούν ως εξής :

Για κυκλικά υποστυλώματα :

$$V_{wf,d} = t_f E_f \varepsilon_{fu} \left(\frac{\pi}{2} \right) D \cot \theta / \gamma_f$$

Για υποστυλώματα ορθογωνικής διατομής :

$$V_{wf,d} = 2 t_f E_f \varepsilon_{fu} b \cot \theta / \gamma_f$$

Όπου :

b είναι το μήκος της πλευράς του υποστυλώματος στην διεύθυνση της τέμνουσας.

θ είναι η γωνία μεταξύ του άξονα του υποστυλώματος και της διεύθυνσης των αναμενόμενων λοξών ρωγμών. (Μπορεί να θεωρηθεί $\theta = 30^\circ$).

γ_f είναι ο συντελεστής υλικού του μανδύα, που συμπεριλαμβάνει και τον μειωμένο βαθμό "επιστράτευσης" της φέρουσας ικανότητας του. Λαμβάνεται ίσος με 2,5. Για ινοπλισμένα πολυμερή με ίνες άνθρακα μπορεί να θεωρηθεί $\varepsilon_{fu} / \gamma_f = 0,005$ ενώ για ΙΟΠ-Γυαλί ή Αραμίδιο $\varepsilon_{fu} / \gamma_f = 0,01$.

Ο συντελεστής 2, στην σχέση που αφορά υποστυλώματα ορθογωνικής διατομής, εκφράζει τις δύο απέναντι πλευρές του μανδύα που προσφέρουν στην ανάληψη τέμνουσας.

- Η **μείωση του κινδύνου αστοχίας της συνάφειας** των κατακόρυφων οπλισμών των υποστυλωμάτων στην περιοχή υπερκάλυψής τους, λόγω εφαρμογής της περίσφιγξης.

- Η **ανάληψη των κατακόρυφων φορτίων**, στην περίπτωση που η ενίσχυση περιλαμβάνει φέροντα κατακόρυφα στοιχεία όπως για παράδειγμα στην τεχνική του μεταλλικού κλωβού.

Μπορεί εν γένει να θεωρηθεί ότι επιτυγχάνεται πλήρης μονολιθική συμπεριφορά του ενισχυμένου υποστυλώματος. Έτσι οι διορθωτικοί συντελεστές προσομοιώματος για την δυσκαμψία και την αντοχή λαμβάνονται ίσοι προς την μονάδα:

$k_r = k_k = 1$ υπό την προϋπόθεση ότι η αύξηση της διαμητικής ή καμπτικής αντοχής του υποστυλώματος δεν θα ξεπερνάει την αντίστοιχη αρχική του και ότι στους υπολογισμούς ο συντελεστής ασφάλειας υλικού (γ_s) για όλα τα πρόσθετα μεταλλικά στοιχεία θεωρείται μεγαλύτερος κατά 50% από τον αντίστοιχο που χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό των συμβατικών μεταλλικών κατασκευών δηλαδή:

$\gamma_s = 1,5$ και $\gamma_\delta = 1,72$.

Όταν η τεχνική περιλαμβάνει την προσθήκη νέων κατακόρυφων φερόντων στοιχείων (όπως οι μεταλλικές γωνιακές λάμες στην περίπτωση του μεταλλικού κλωβού), στα οποία έχει ανατεθεί μέρος του αξονικού φορτίου, απαιτείται έλεγχος ικανότητας μεταφοράς των φορτίων από τον αρχικό φορέα. Εάν ο μηχανισμός τριβής που θα αναπτυχθεί λόγω της περίσφιξης είναι ανεπαρκής για τη μεταφορά των φορτίων απαιτούνται πρόσθετα μέτρα εξασφάλισης της σύνδεσης.

5.1.1.5 Διαδικασία κατασκευής μανδύων

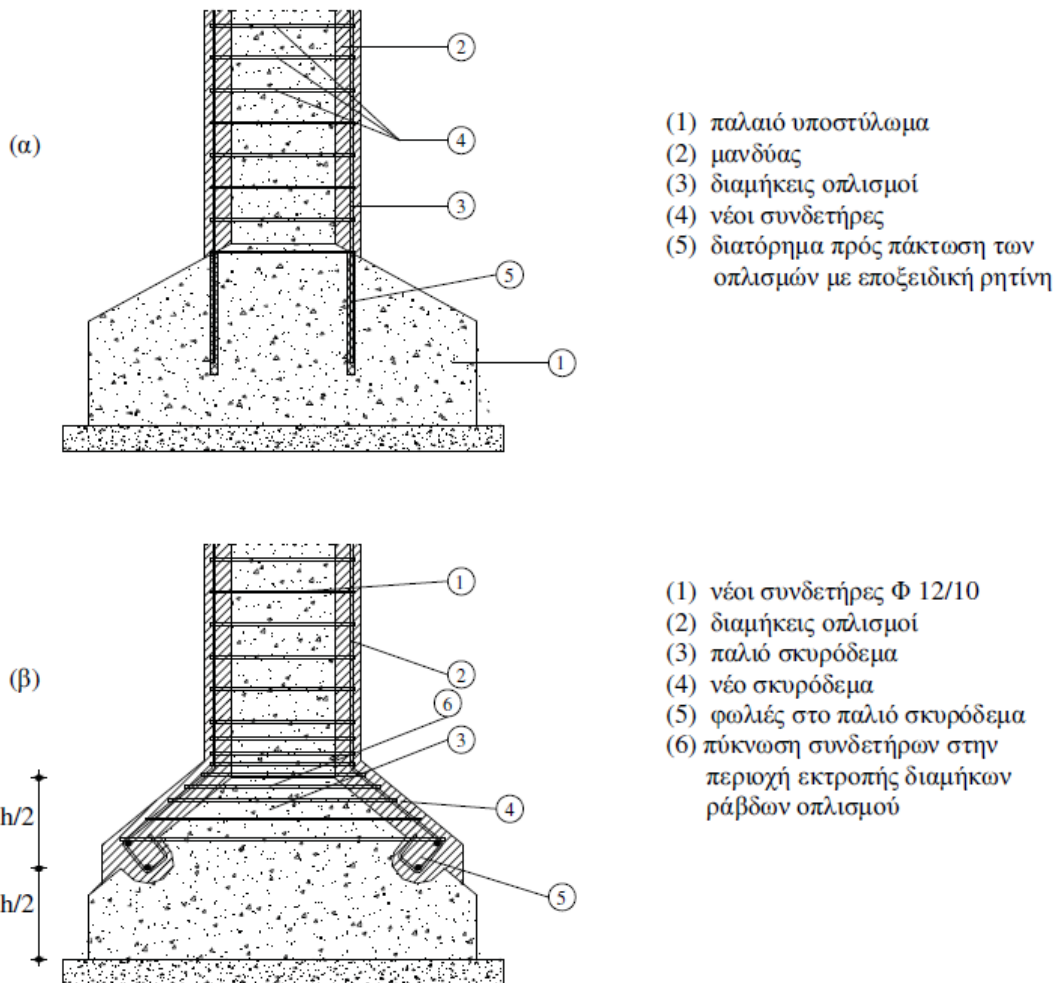
Μία συνήθης σειρά που απαιτείται για την κατασκευή μανδύων είναι η παρακάτω:

- Αποφορτίζονται και υποστυλώνονται οι πλάκες και οι δοκοί που συντρέχουν στο υποστύλωμα.
- Απομακρύνεται το αποδιοργανωμένο σκυρόδεμα και αποκαθίσταται η συνέχεια του υποστυλώματος επισκευάζοντας τις τυχόν προϋπάρχουσες τοπικές βλάβες (π.χ. λυγισμένες ράβδοι οπλισμού).
- Αποκαλύπτονται οι οπλισμοί σε θέσεις που έχουν προεπιλεγεί για συγκόλληση με νέους οπλισμούς (εφόσον προβλέπεται).
- Διανοίγονται και προετοιμάζονται οι οπές στις θέσεις αγκύρωσης των νέων ράβδων οπλισμού και στις θέσεις που προβλέπονται βλήτρα.
- Εκτραχύνεται η επιφάνεια του σκυροδέματος με επιμέλεια σε βάθος 6 mm με κατάλληλο μηχανικό εξοπλισμό (π.χ. με "ματσακόνι" όχι απλώς με σφυρί και καλέμι), ή με υδροαμμοβολή, έτσι ώστε να απομακρυνθεί η εξωτερική επιδερμική στρώση τσιμεντοπολτού και να αποκαλυφθούν τα αδρανή.
- Καθαρίζεται επιμελώς η επιφάνεια χρησιμοποιώντας αέρα υπό πίεση, και το εσωτερικό των οπών με αναρρόφηση από τον πυθμένα.
- Αγκυρώνονται στα άκρα τους οι διαμήκεις ράβδοι οπλισμού με χημική πάκτωση (χρήση κόλλας). Για κατασκευαστική ευκολία είναι δυνατόν να μην αγκυρωθούν απευθείας οι διαμήκεις ράβδοι οπλισμού, αλλά να

προηγηθεί η αγκύρωση μικρότερων τμημάτων ράβδων οπλισμού επί των οποίων στην συνέχεια θα "ματιστούν" οι νέες ράβδοι. Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί και για την αγκύρωση των ράβδων οπλισμού στα στοιχεία θεμελίωσης (**Σχήμα 5.15α**).

Στο **Σχήμα 5.15β** παρουσιάζεται εξ' άλλου μία εναλλακτική διαδικασία που έχει προταθεί [8] για την περίπτωση που η θεμελίωση είναι με πέδιλα. Προβλέπεται η συνέχεια του μανδύα γύρω από τον κώνο του πέδιλου σε μήκος τουλάχιστον ίσο προς το μισό του ύψους του, με διάταξη πυκνών κλειστών συνδετήρων σ' αυτή τη περιοχή της τάξεως Φ12/100 mm, και απόληξη του μανδύα σε μία περιμετρική "φωλιά" που έχει δημιουργηθεί στο πέδιλο.

Εάν ο διαμήκης οπλισμός του μανδύα είναι αρκετός (π.χ. περισσότερος από 4 ράβδοι) είναι προτιμότερο να γίνει μια μικτή εφαρμογή των δύο παραπάνω διαδικασιών. Στην περίπτωση που απαιτείται συγχρόνως και ενίσχυση των στοιχείων θεμελίωσης, η τεχνική προσαρμόζεται έτσι ώστε το θέμα να αντιμετωπιστεί συνολικά (βλ. Ενισχύσεις Στοιχείων Θεμελίωσης).



Σχήμα 5.15 Διαδικασίες απόληξης μανδύα στα στοιχεία θεμελίωσης

- Αγκυρώνονται τα μηχανικά ή χημικά βλήτρα (εφόσον και όπου προβλέπονται).
- Τοποθετούνται και ηλεκτροσυγκολλούνται τα χαλύβδινα παρεμβλήματα σύνδεσης παλαιών και νέων οπλισμών (αναρτήρες), εφόσον προβλέπονται συγκολλήσεις.
- Τοποθετούνται νέοι συνδετήρες.

- Γίνεται ο τελικός καθαρισμός των επιφανειών με αέρα και νερό υπό πίεση.
- Διαβρέχεται η επιφάνεια του παλαιού σκυροδέματος τουλάχιστον 6 ώρες πριν την σκυροδέτηση του νέου σκυροδέματος. Η διαβροχή πρέπει να γίνεται και στον ξυλότυπο (εφόσον υπάρχει) και στα αδρανή για την περίπτωση του σκυροτσιμεντοπήγματος.
- Σκυροδετείται ο μανδύας και ακολουθούν τα μέτρα συντήρησης σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται για την συντήρηση στην περίπτωση που χρησιμοποιείται εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, επειδή τότε η συστολή ξήρανσης είναι μεγαλύτερη.

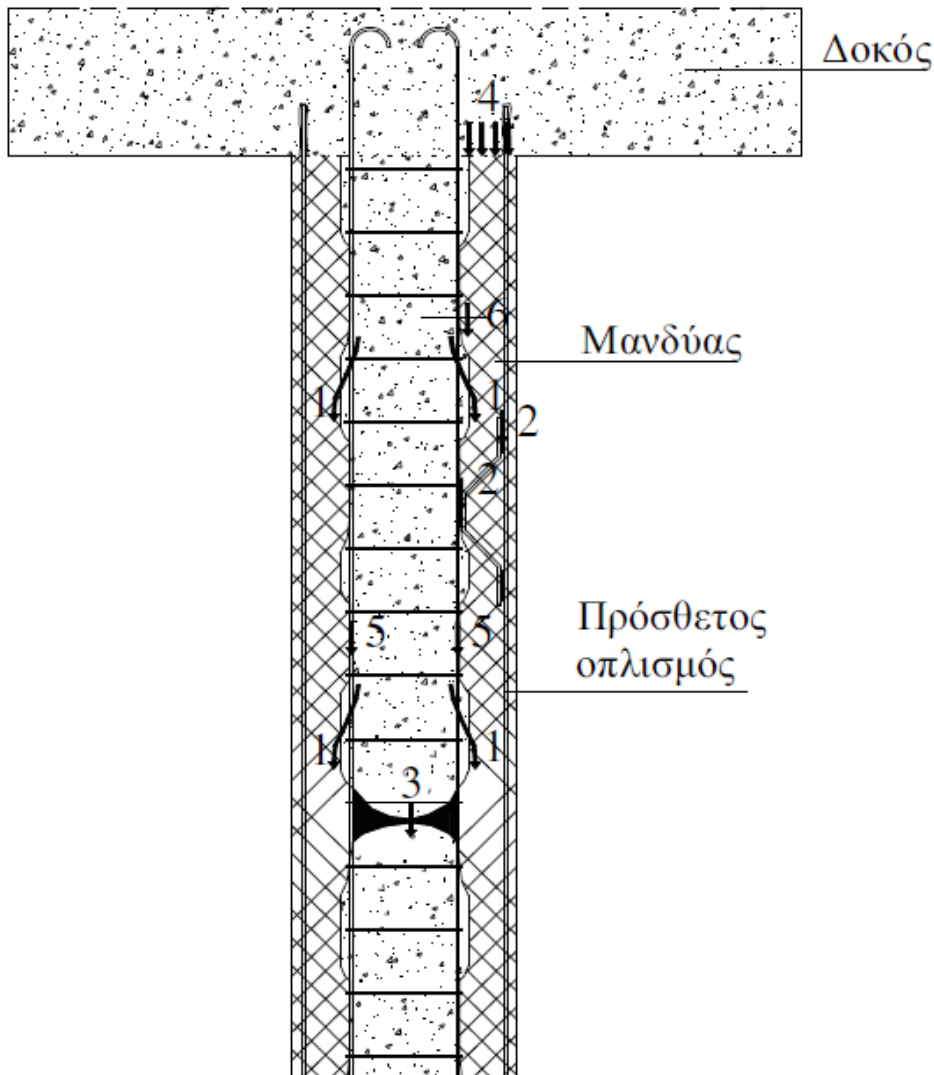
Στις περιπτώσεις που η ενίσχυση του υποστυλώματος στοχεύει στην αύξηση της διατμητικής αντοχής ή της πλαστιμότητας του, χωρίς αύξηση της καμπτικής αντοχής του (όπως π.χ. στην περίπτωση που επιδιώκεται επέμβαση με σκοπό να προηγηθεί η όλκιμη καμπτική αστοχία από την διατμητική), είναι σκόπιμο να εξετάζεται η περίπτωση κατασκευής μανδύα χωρίς σύνδεση με τις δοκούς των ορόφων. Τότε ο μανδύας τερματίζεται 30-50 mm χαμηλότερα από την στάθμη του πυθμένα των δοκών

5.1.1.6 Μεταφορά αξονικού φορτίου

Για την εκτίμηση του μεγέθους του αξονικού φορτίου που "μεταφέρεται" στους μανδύες υποστυλωμάτων όταν αφαιρεθεί η προσωρινή υποστυλωση ή όταν γενικά αυξηθεί το αξονικό φορτίο του παλαιού υποστυλώματος, έχει προταθεί ένα μαθηματικό προσομοίωμα απ' όπου μπορούν να υπολογισθούν οι δυνάμεις και οι αντίστοιχες σχετικές ολισθήσεις στην διεπιφάνεια παλαιού-νέου σκυροδέματος.

Οι υπολογιστικές σχέσεις που έχουν προταθεί μέχρι σήμερα αναφέρονται μόνο στην μεταφορά του αξονικού φορτίου του υποστυλώματος και είναι προσεγγιστικές αφού τα αποτελέσματα της έρευνας στον τομέα αυτό είναι ιδιαίτερα λίγα. Έτσι τα υπολογιστικά βοηθήματα που δίνονται παρακάτω μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο ως προσεγγιστική εκτίμηση των μεγεθών που προσδιορίζονται και οι κατασκευαστικές οδηγίες να θεωρηθούν προσωρινές.

Οι "οδοί" μεταφοράς δυνάμεων δείχνονται παραστατικά στο **Σχήμα 5.16** και μπορούν να περιγραφούν ως εξής :



Σχήμα 5.16 Οδοί μεταφοράς δυνάμεων

“Οδός” μεταφοράς 1 : Μεταφορά δυνάμεων μέσω του μηχανισμού τριβής.

“Οδός” μεταφοράς 2 : Μεταφορά δυνάμεων μέσω συγκολλημένων οπλισμών.

“Οδός” μεταφοράς 3 : Μεταφορά δυνάμεων μέσω της περιοχής βλάβης μετά από αποκατάσταση της συνέχειας.

“Οδός” μεταφοράς 4 : Μεταφορά δυνάμεων από τον υπερκείμενο όροφο απευθείας στον μανδύα.

“Οδός” μεταφοράς 5 : Μεταφορά δυνάμεων μέσω των παλαιών οπλισμών.

“Οδός” μεταφοράς 6 : Μεταφορά δυνάμεων μέσω του μηχανισμού δράσης βλήτρου.

Το αξονικό φορτίο N_f , που μεταβιβάζεται στον μανδύα μέσω του μηχανισμού τριβής πάνω από την βλάβη, όπως επίσης και αντίστοιχα κάτω από την βλάβη, μπορεί να εκτιμηθεί προσεγγιστικά :

$$\max N_f = 8 \mu f_{2t} t u_o$$

όπου :

μ είναι ο συντελεστής τριβής στην διεπιφάνεια παλαιού-νέου σκυροδέματος.

f_{2t} είναι η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος του μανδύα.

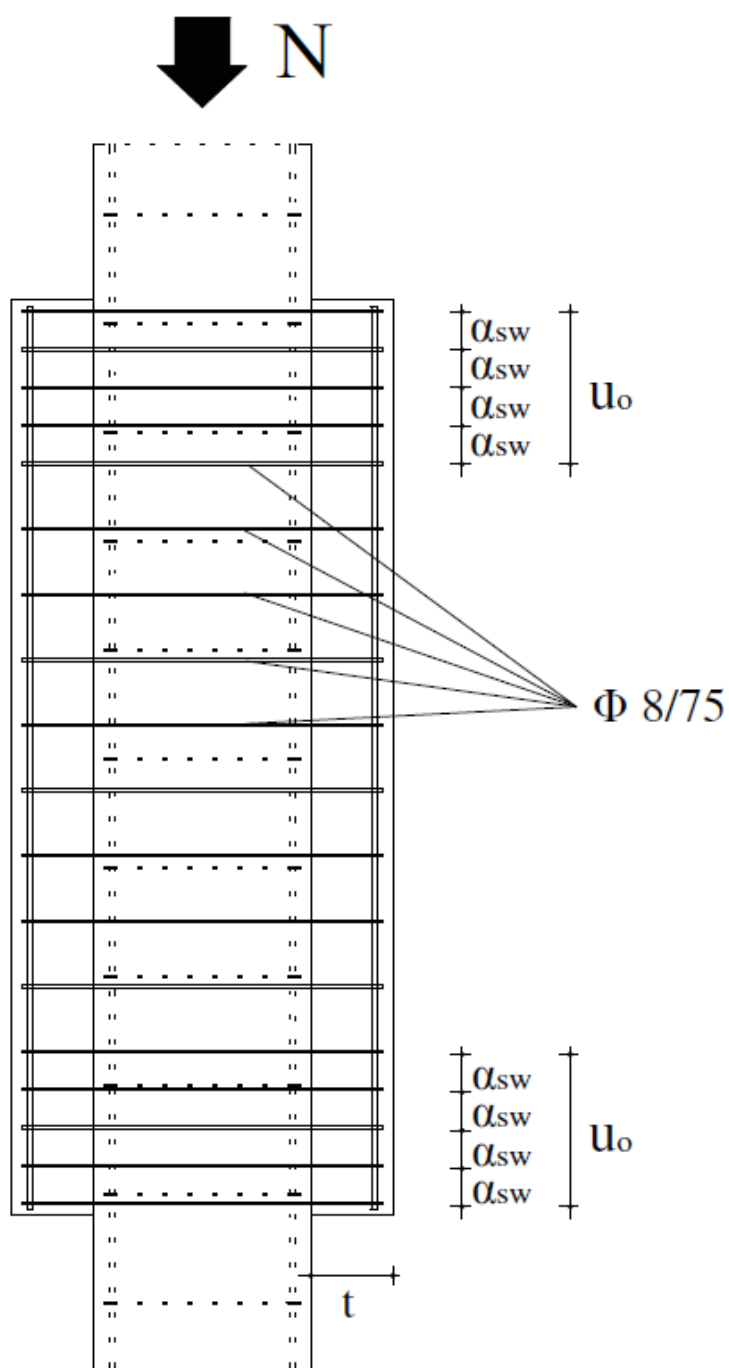
u_o είναι το μήκος του μανδύα που απαιτείται για να αναπτυχθεί η $\max N_f$.

Έτσι αν :

N_u είναι το ολικό θλιπτικό φορτίο του επισκευασμένου/ενισχυμένου υποστυλώματος μετά από την αφαίρεση της υποστύλωσης και την ανακατανομή της έντασης

N_r είναι το θλιπτικό φορτίο που εξακολουθεί να φέρει το αρχικό υποστύλωμα κατά την διάρκεια της επέμβασης το μήκος του μανδύα u_o (**Σχήμα 5.17**) που απαιτείται για να μεταφερθεί το φορτίο $N_u - N_r$ εξ' ολοκλήρου μέσω του μηχανισμού τριβής, μπορεί να προσδιοριστεί από την σχέση:

$$u_o = \frac{N_u - N_r}{8\mu f_{2t} t}$$



Σχήμα 5.17 Μόρφωση μανδύα

Η εξασφάλιση της δυνατότητας μεταφοράς φορτίου από τους παλαιούς οπλισμούς προς τους νέους κατακόρυφους οπλισμούς του μανδύα, με χρήση

ηλεκτροσυγκολλημένων συνδέσμων (αναρτήρων). Πάντως αυτό κρίνεται απαραίτητο κυρίως στις περιπτώσεις ανοικτού μανδύα (ή μονόπλευρης επέκτασης του υποστυλώματος) ή όταν ο μανδύας χρειάζεται για συνεισφορά στη μεταφορά της αξονικής έντασης.

Το κατακόρυφο φορτίο (T_s) που μεταφέρεται μέσω λοξών συνδέσμων εκτιμάται από την σχέση :

$$T_s = \frac{\sum A_s \cdot E_s}{\sqrt{2} h_s} S_{cr}$$

Όπου :

$\sum A_s$ είναι το εμβαδόν της συνολικής διατομής των λοξών σκελών των αναρτήρων

E_s είναι το Μέτρο Ελαστικότητας του χάλυβα (των αναρτήρων).

$\sqrt{2} \cdot h_s$ είναι το μήκος κάθε λοξού σκέλους αναρτήρα με κλίση 45° (**Σχ. 5.18**).

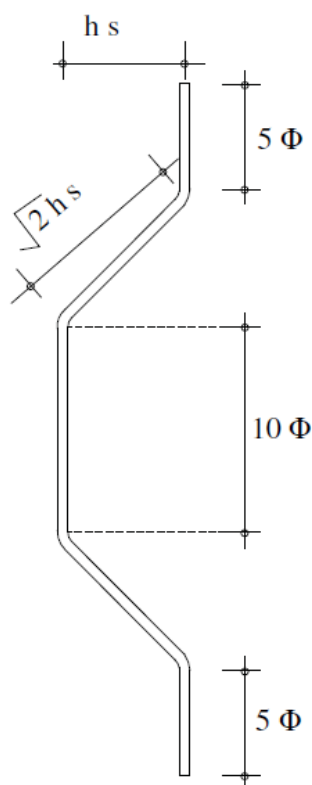
S_{cr} είναι η κρίσιμη τιμή της ολίσθησης στην διεπιφάνεια όταν μεγιστοποιείται η αντίσταση τριβής και μπορεί να ληφθεί ίση προς 0,15 mm.

Στις ακραίες περιοχές μήκους u_0 το πλήθος των απαιτούμενων αναρτήρων (n_a) μπορεί να εκτιμηθεί με βάση την φέρουσα ικανότητα τους.

$$N_u - N_r = n_a \left(14 \frac{A_s}{h_s} \right) \quad [\text{kN, mm}]$$

Πάντως η παραπάνω σχέση δίνεται και λιγότερο συντηρητικά :

$$N_u - N_r = n_a \left(20 \frac{A_s}{h_s} + 10 \right) \quad [\text{kN, mm}]$$



Σχήμα 5.18 Συνήθης μορφή αναρτήρων

5.1.1.7 Συνδετήρες μανδύα

Στις ακραίες περιοχές μήκους u_0 (Σχήμα 5.18) πρέπει να διατάσσονται πυκνοί συνδετήρες που να αναλαμβάνουν τουλάχιστον την δύναμη που αντιστοιχεί στην εγκάρσια εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος του μανδύα. Οι συνδετήρες που απαιτούνται γι' αυτό τον λόγο προσδιορίζονται από την σχέση:

$$\frac{A_{sw}^{\sigma}}{\alpha_{sw}} \geq \frac{t \cdot f_{2t}}{f_{ywd}}$$

Όπου :

A_{sw}^{σ} είναι το εμβαδόν της διατομής της ράβδου του συνδετήρα

α_{sw} είναι η απόσταση των συνδετήρων

f_{ywd} είναι το όριο διαρροής των συνδετήρων

Στην σχέση αυτή ως f_{2t} λαμβάνεται $f_{2t} = f_{ctk0,95}$.

Επίσης πυκνοί συνδετήρες $\Phi 8/75$ mm τοποθετούνται κατασκευαστικά στην περιοχή της βλάβης για να εξασφαλιστούν οι νέοι οπλισμοί από τοπικό λυγισμό.

5.1.1.8 Έλεγχος διεπιφάνειας

Ο έλεγχος της σύνδεσης στην διεπιφάνεια παλαιού-νέου σκυροδέματος γίνεται για κάθε πλευρά του υποστυλώματος θεωρώντας τον μανδύα ως ένα στοιχείο που συντίθεται από τέσσερις πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος (μια σε κάθε πλευρά). Για κάθε πλευρά εξασφαλίζεται ότι η διατμητική αντοχή στην διεπιφάνεια είναι μεγαλύτερη από την διατμητική ένταση.

5.1.1.9 Διαστασιολόγηση μανδυών

Στην περίπτωση ολόσωμων μανδυών οι διορθωτικοί συντελεστές προσομοιώματος (συντελεστές μονολιθικότητας) που προτείνονται είναι:

$$k_r = 0,80$$

$$k_k = 0,70$$

Υπό την προϋπόθεση ότι:

- Έχει αποκατασταθεί η συνέχεια του υποστυλώματος στην περιοχή της βλάβης, πριν την κατασκευή του μανδύα.
- Όλες οι νέες ράβδοι είναι καλά αγκυρωμένες στον αρχικό φορέα.
- Το εμβαδόν της διατομής του μανδύα δεν ξεπερνά το διπλάσιο της διατομής του αρχικού υποστυλώματος.

Όμως από πειραματικά αποτελέσματα έχει προκύψει ότι η συμπεριφορά υποστυλωμάτων ενισχυμένων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος δεν διαφέρει σε αντοχή και δυσκαμψία από εκείνη των αντίστοιχων μονολιθικών. Ως εκ τούτου, οι παραπάνω προτεινόμενοι συντελεστές k_r , k_k θα πρέπει να θεωρηθούν ότι καθορίζουν τα κατώτατα όρια αντοχής και δυσκαμψίας.

Έτσι είναι σκόπιμο να θεωρείται ορθότερα:

$k_r = 0,80 - 1,0$ και $k_k = 0,70 - 1,0$.

Σε κάθε περίπτωση, ένας συντηρητικός σχεδιασμός των φερόντων στοιχείων της κατασκευής μπορεί να γίνει με βάση τα δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν από δύο αναλύσεις.

Στην πρώτη ανάλυση η δυσκαμψία των ενισχυμένων υποστυλωμάτων εκτιμάται είτε θεωρώντας $k_k = 0,70$ είτε ακόμα αγνοώντας πλήρως την παλαιά διατομή δηλαδή λαμβάνοντας υπόψη μόνο τη διατομή του μανδύα.

Στην δεύτερη ανάλυση η δυσκαμψία των υποστυλωμάτων εκτιμάται με την παραδοχή πλήρους μονολιθικής σύνδεσης μανδύα και αρχικού υποστυλώματος, δηλαδή η τελική διατομή θεωρείται ενιαία και επομένως λαμβάνεται $k_k = 1,0$.

5.1.1.10 Κατασκευαστικές διατάξεις

Από τα μέχρι σήμερα αποτελέσματα της έρευνας και την εμπειρία της πράξης θα μπορούσαν να προταθούν οι παρακάτω συστάσεις:

- Ελάχιστο πάχος μανδύα
 - Με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, 50 mm.
 - Με έγχυτο σκυρόδεμα και μία σειρά νέων οπλισμών, 80-120 mm.
 - Με έγχυτο σκυρόδεμα και δύο σειρές νέων οπλισμών, 120 mm τουλάχιστον.

Σημειώνεται ότι για μικρά πάχη μανδύων (π.χ. μικρότερα από 75 mm) δεν μπορούν να ικανοποιηθούν οι διατάξεις του Κανονισμού Σκυροδέματος για τις επικαλύψεις ράβδων οπλισμού συγχρόνως με τις διατάξεις για την μορφή των αγκίστρων στα άκρα των συνδετήρων. Έτσι για μικρό πάχος μανδύα θα πρέπει τα άκρα των συνδετήρων να ηλεκτροσυγκολλούνται (**Σχήμα 5.19**) σε εναλλασσόμενες πλευρές του υποστυλώματος.

- Ελάχιστοι νέοι κατακόρυφοι οπλισμοί και ελάχιστοι συνδετήρες : Ισχύουν οι κατασκευαστικές διατάξεις υποστυλωμάτων σύμφωνα με Κανονισμό Μελέτης Κατασκευών Σκυροδέματος. Στην περιοχή της βλάβης τίθενται συνδετήρες τουλάχιστον $\Phi 8/75$ mm.
- Ως ελάχιστοι διατμητικοί σύνδεσμοι στη διεπιφάνεια παλαιού και νέου σκυροδέματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν βλήτρα από χάλυβα S500_s εμβαδού διατομής:

$$A_{sd} = \rho_{\delta, \min} A_{c\delta}$$

Όπου :

$$\rho_{\delta, \min} = \max(\rho_{w, \min}^{\text{οπλ. διατμ.}}, 0,12\%)$$

$\rho_{w, \min}^{\text{οπλ. διατμ.}}$ είναι το ελάχιστο ποσοστό διάτμησης δοκών που δίνεται από τον Κανονισμό για την Μελέτη και Κατασκευή Έργων από Σκυρόδεμα

$A_{c\delta}$ είναι το εμβαδόν της διατομής της διεπιφάνειας.

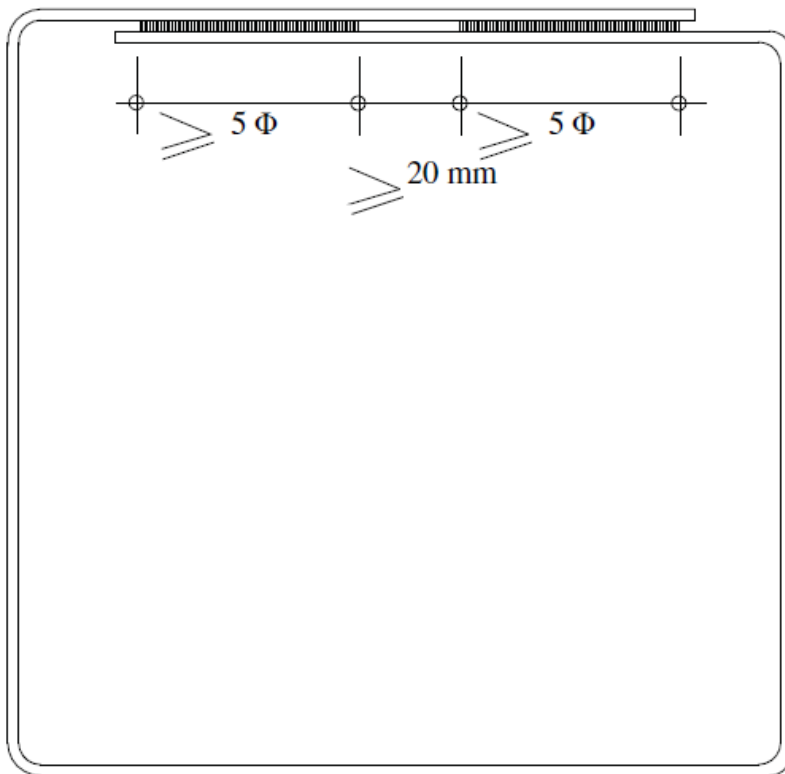
Οι αποστάσεις (S) των βλήτρων πρέπει να ικανοποιούν την σχέση :

$$S \leq \min(6h_{\min}, 800\text{mm})$$

Όπου :

h_{\min} είναι το μικρότερο από τα πάχη των δύο στοιχείων που έρχονται σε επαφή.

Εναλλακτικά μπορούν να γίνουν ηλεκτροσυγκολλήσεις των διαμηκών ράβδων με την προϋπόθεση ότι η διατμητική αντίσταση είναι ίδιου μεγέθους με αυτήν των ελαχίστων βλήτρων.



Σχήμα 4.19 Μορφή συνδετήρα με ηλεκτροσυγκολλημένα άκρα

- Η αντοχή του σκυροδέματος του μανδύα πρέπει να είναι τουλάχιστον μία κατηγορία μεγαλύτερη αυτής του παλαιού υποστυλώματος.
- Το εμβαδόν της διατομής του μανδύα δεν θα πρέπει να ξεπερνά το διπλάσιο το εμβαδού της διατομής του αρχικού υποστυλώματος ($A_{c2} \leq 2A_{c1}$).
- Τα όρια του μανδύα πρέπει να φθάνουν σε απόσταση από τα όρια της βλάβης τουλάχιστον μιάμιση φορά την μεγαλύτερη διάσταση του παλαιού υποστυλώματος.

- Στην περίπτωση που απαιτείται επισκευή του υποστυλώματος κοντά στον κόμβο, εξετάζεται η δυνατότητα επέκτασης του μανδύα στον γειτονικό όροφο.

5.1.2 Επισκευές – Ενισχύσεις τοιχωμάτων

Οι τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για επισκευές και ενισχύσεις τοιχωμάτων είναι αντίστοιχες αυτών που αναφέρθηκαν για τα υποστυλώματα.

5.1.2.1 Επισκευές τοιχωμάτων

Για τις επισκευές τοιχωμάτων ισχύουν οι ίδιες ακριβώς τεχνικές που αναπτύχθηκαν για τα υποστυλώματα, χωρίς καμία διαφοροποίηση, είτε αναφερόμαστε σε περιπτώσεις τοιχωμάτων με ελαφριές βλάβες, οπότε χρησιμοποιούνται κόλλες ή επισκευαστικά κονιάματα, είτε σε περιπτώσεις με βαριές βλάβες όπου χρησιμοποιείται η τεχνική της τοπικής αποκατάστασης ίσης διατομής.

Το επισκευασμένο τοίχωμα έχει ίδια περίπου αντοχή αλλά κάτι τι μικρότερη δυσκαμψία από αυτή του μονολιθικού.

Δηλαδή : $k_r = 1,0$, $k_k = 0,9 - 1,0$

Για την διαστασιολόγηση του τοιχώματος είναι σκόπιμο κατά την ανάλυση να θεωρείται συντηρητικά $k_k = 1,0$.

5.1.2.2 Ενισχύσεις τοιχωμάτων

Η τεχνική της περίσφιγξης και η τεχνική των μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος που περιγράψαμε για την ενίσχυση των υποστυλωμάτων, μπορούν να εφαρμοστούν και σε τοιχώματα μετά από κατάλληλες αναπροσαρμογές.

1. Ενίσχυση τοιχωμάτων με περίσφιγξη

Η τεχνική της περίσφιγξης μπορεί (τεχνικά) να εφαρμοστεί και σε τοιχώματα με τις ίδιες διαδικασίες που έχουν αναφερθεί για υποστυλώματα. Όμως ο μεγάλος λόγος πλευρών των τοιχωμάτων, δεν επιτρέπει αξιόλογη απόδοση της περίσφιγξης και για αυτό το λόγο η τεχνική αυτή εν γένει δεν συνιστάται.

Απ' όλες τις εφικτές διαδικασίες της τεχνικής περίσφιγξης θα μπορούσαμε πάντως να ξεχωρίσουμε την τεχνική των μανδύων με ινοπλισμένα πολυμερή και την τεχνική του μεταλλικού κλωβού. Η τεχνική των μανδύων από ινοπλισμένα πολυμερή έχει το πλεονέκτημα της ευκολίας εφαρμογής και της δυνατότητας ανάληψης διατμητικής και καμπτικής έντασης. Εξάλλου η τεχνική του μεταλλικού κλωβού μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη επειδή:

- Η μικρή απόδοση της περίσφιγξης μπορεί να αυξηθεί με την παρεμβολή διαμπερών μεταλλικών συνδέσμων (ράβδων) σχήματος Z ή Π που

ηλεκτροσυγκολλούνται στα απέναντι μεταλλικά ελάσματα των κλωβών. Η απόσταση των μεταλλικών συνδέσμων είναι της τάξης των 300 mm, και το κενό μεταξύ των συνδέσμων και των τοιχωμάτων των οπών συμπληρώνεται με κόλλα.

- Η τεχνική προσφέρει στην ανάληψη τεμνουσών δυνάμεων.
- Η τεχνική εξακολουθεί να αποτελεί αποτελεσματική λύση προσωρινής άμεσης ανάληψης κατακόρυφων φορτίων σε τοιχώματα που λόγω σοβαρής βλάβης τους αδυνατούν να μεταφέρουν τα αξονικά τους φορτία (**Σχήμα 5.8**).

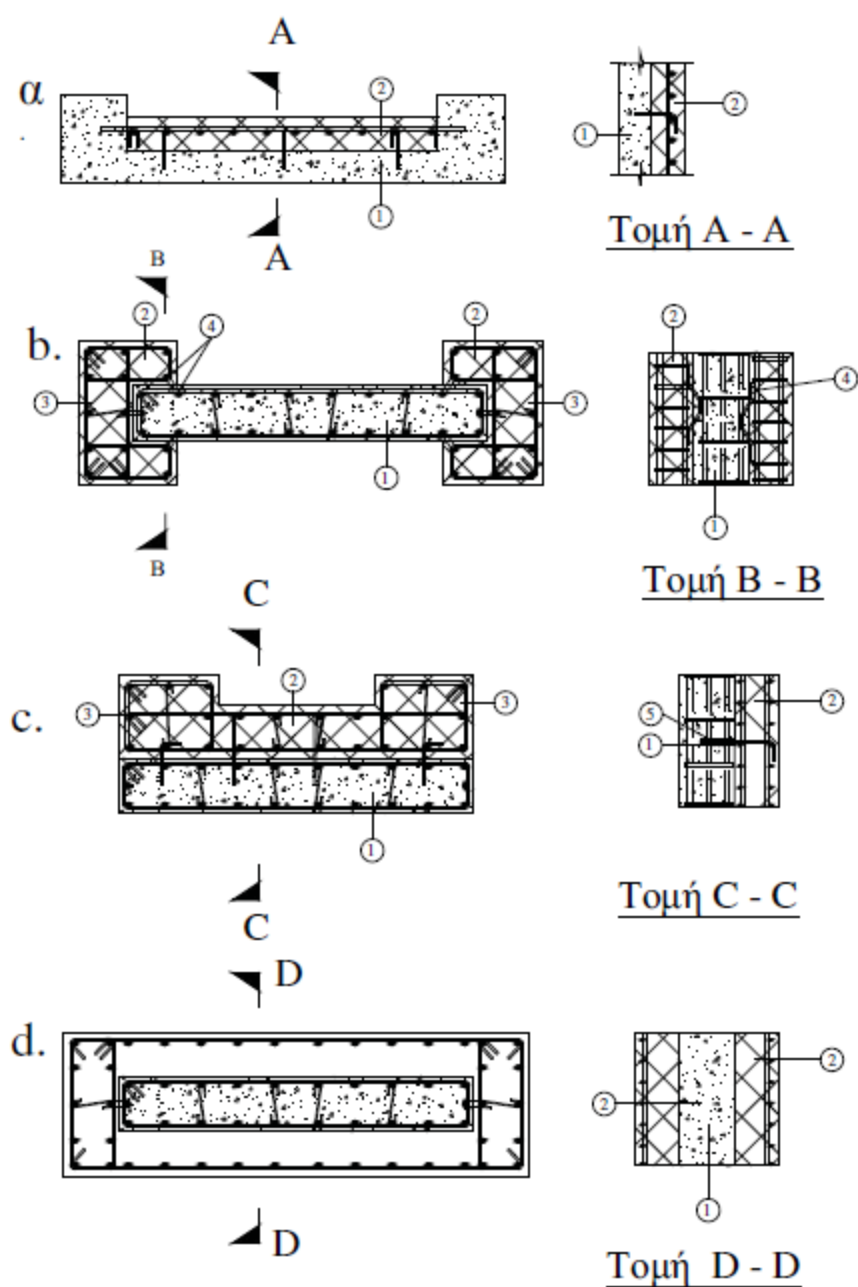
2. Ενίσχυση τοιχωμάτων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος

Η τεχνική των μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος είναι η περισσότερο διαδεδομένη και πλέον αποτελεσματική τεχνική ενίσχυσης των τοιχωμάτων. Όμως λόγω του μεγάλου μήκους της μιας διάστασης, συχνά ο μανδύας δεν έχει κλειστή μορφή και ουσιαστικά πρόκειται για μονόπλευρη ή δίπλευρη αύξηση του πάχους του τοιχώματος ή για ενίσχυση των άκρων τους. Η εφαρμογή της τεχνικής για την προετοιμασία της επιφάνειας και την τοποθέτηση των νέων οπλισμών είναι ακριβώς ίδια με ότι αναφέρθηκε για τα υποστυλώματα.

Επίσης, το νέο σκυρόδεμα μπορεί να είναι είτε έγχυτο επί τόπου είτε εκτοξευόμενο. Ανάλογα με τις απαιτήσεις του σχεδιασμού και τις κατασκευαστικές δυνατότητες μπορεί να επιλέγεται μία μορφή μανδύα από αυτές που εικονίζονται στο **Σχήμα 5.20**.

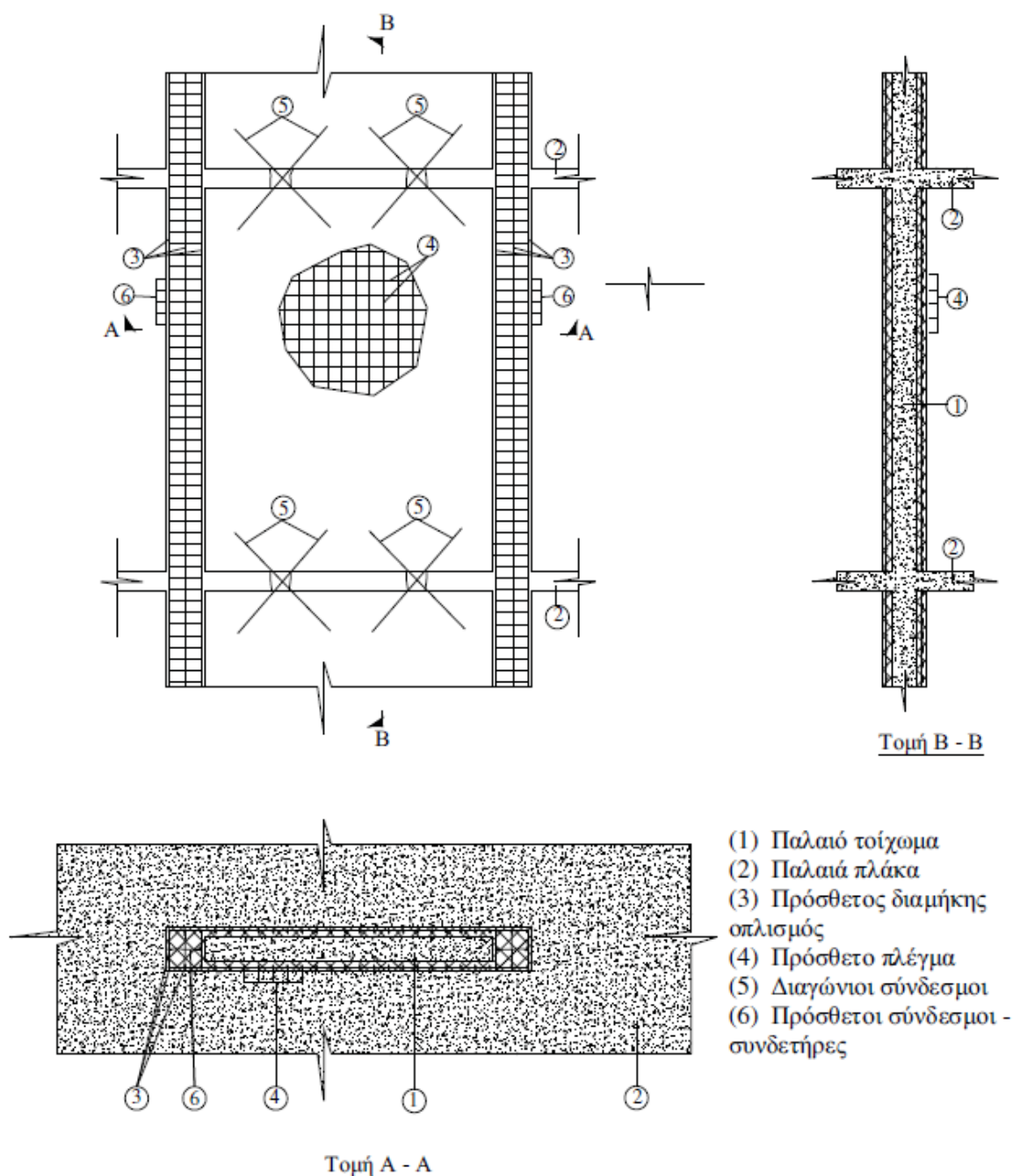
Η περίπτωση α) μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν επιδιώκεται ελαφρά διατμητική ενίσχυση του τοιχώματος, ενώ η περίπτωση β) χρησιμοποιείται όταν επιδιώκεται καμπτική ενίσχυση. Εξ' άλλου οι περιπτώσεις γ) και δ) εφαρμόζονται όταν επιδιώκεται συγχρόνως διατμητική και καμπτική ενίσχυση του τοιχώματος. Πάντως προτιμότερη μορφή είναι αυτή που ο μανδύας περιβάλλει το παλαιό τοίχωμα όπως η περίπτωση δ στο **Σχήμα 5.20**, γιατί έτσι μπορούν να ικανοποιηθούν οι περισσότερες από τις απαιτήσεις των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών.

Η γενική διάταξη ενίσχυσης τοιχωμάτων με αυτό τον τρόπο φαίνεται σε μία εφαρμογή στο **Σχήμα 5.21**.



- (1) Παλιό τοίχωμα
- (2) Νέα επένδυση Ο.Σ.
- (3) Ακραίες ενισχύσεις
- (4) Συγκολλήσεις
- (5) Αγκυρώσεις με εποξειδικές ρητίνες

Σχήμα 5.20 Ενίσχυση τοιχωμάτων με μανδύες



Σχήμα 5.21 Γενική διάταξη ενίσχυσης τοιχώματος με κλειστό μανδύα

Παρατηρείστε ότι για την εξασφάλιση της συνέχειας του τοιχώματος στις στάθμες των ορόφων διανοίγονται οπές στις πλάκες και τοποθετούνται διαγώνιοι σύνδεσμοι.

5.1.2.3 Διαστασιολόγηση επεμβάσεων σε τοιχώματα

Δεν προτείνονται διορθωτικοί συντελεστές προσομοιώματος για την περίπτωση ενίσχυσης των τοιχωμάτων. Διατηρώντας την αντιμετώπιση των ενισχυμένων τοιχωμάτων ως μονολιθικών στοιχείων, με χρήση διορθωτικών συντελεστών για την αντοχή και την δυσκαμψία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν οι τιμές που έχουν αναφερθεί για τους μανδύες υποστυλωμάτων.

Δηλαδή:

$$k_r = 0,80$$

$$k_k = 0,70-1,0$$

Υπό την προϋπόθεση ότι:

- a) Έχει αποκατασταθεί η συνέχεια του τοιχώματος στην περιοχή της βλάβης, πριν την κατασκευή του μανδύα.
- b) Όλες οι νέες ράβδοι είναι καλά αγκυρωμένες στον αρχικό φορέα .
- c) Το εμβαδόν της διατομής του μανδύα δεν ξεπερνά το διπλάσιο της διατομής του αρχικού τοιχώματος.

Σε κάθε περίπτωση, ένας συντηρητικός σχεδιασμός των φερόντων στοιχείων της κατασκευής μπορεί να γίνει με βάση τα δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν από δύο αναλύσεις.

Στην πρώτη ανάλυση η δυσκαμψία των ενισχυμένων τοιχωμάτων εκτιμάται θεωρώντας $k_k = 0,70$. Στην δεύτερη ανάλυση η δυσκαμψία των τοιχωμάτων εκτιμάται με παραδοχή μονολιθικής σύνδεσης μανδύα και αρχικού τοιχώματος, δηλαδή η τελική διατομή θεωρείται ενιαία και επομένως λαμβάνεται $k_k = 1,0$.

Προφανώς από τα αποτελέσματα της δεύτερης ανάλυσης προκύπτουν οι δυσμενέστερες τιμές για τις τέμνουσες σχεδιασμού των ενισχυμένων τοιχωμάτων. Γι' αυτό και οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται συντηρητικά για τον σχεδιασμό τους. Στην εκτίμηση της διατμητικής αντοχής του τοιχώματος λαμβάνεται υπόψη και η συνεισφορά του αρχικού τοιχώματος υπό την προϋπόθεση ότι οι συνδετήρες είναι κλειστοί και καλά αγκυρωμένοι.

Μία εκτίμηση της τέμνουσας που αναλαμβάνεται από το νέο στοιχείο (V_n) μπορεί να γίνει από την συνολική τέμνουσα του ενισχυμένου τοιχώματος, κατ' αναλογία των δυσκαμψιών των επιμέρους στοιχείων.

Έστω ότι K_{res} είναι η απομένουσα δυσκαμψία του υπάρχοντος τοιχώματος και K_n η δυσκαμψία του νέου στοιχείου. Οι τέμνουσες V_{res} και V_n που αναλαμβάνονται από το αρχικό τοίχωμα και το νέο στοιχείο αντίστοιχα μπορούν να προσδιοριστούν από τις σχέσεις :

$$V_{res} = \frac{K_{res}}{K_{res} + K_n} V_d$$

$$V_n = \frac{K_n}{K_{res} + K_n} V_d$$

Όπου :

V_d η τέμνουσα σχεδιασμού του ενισχυμένου τοιχώματος.

Στις περιπτώσεις τοιχωμάτων με βλάβες από σεισμό όπου εκτιμάται ότι η αβεβαιότητα στον προσδιορισμό της απομένουσας δυσκαμψίας του αρχικού τοιχώματος K_{res} είναι μεγάλη, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί η σχέση:

$V_n = V_d - V_{R,res}$, που είναι ακριβής σε επίπεδο πλαστικής κατάστασης, αλλιώς θα πρέπει να θεωρείται προσεγγιστική.

$V_{R,res}$ είναι η τέμνουσα που μπορεί να αναλαμβάνεται από ένα τοίχωμα που έχει υποστεί βλάβες από μία σεισμική καταπόνηση.

Μία εκτίμηση του μεγέθους της μπορεί να γίνει από την παρακάτω εμπειρική σχέση :

$$\frac{V_R - V_{R,res}}{V_R} = \frac{0,25 (1 - \omega_w)^{0,5} (1 - \rho_1) \delta^{0,7 + v_d} (n - 1)^{0,25}}{1 + 1,5 \alpha_s^2}$$

Όπου :

V_R είναι η διατμητική αντοχή του τοιχώματος χωρίς βλάβες.

ω_w είναι το μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό οπλισμού κορμού.

ρ_1 είναι το γεωμετρικό ποσοστό του κατακόρυφου οπλισμού των ακραίων ενισχύσεων ("κρυφών υποστυλωμάτων").

δ είναι η ανηγμένη πλαστική μετακίνηση του τοιχώματος που επιβλήθηκε από τον σεισμό που προκάλεσε την βλάβη: $\delta =$ μετακίνηση τοιχώματος/μετακίνηση στο όριο διαρροής.

n είναι ο αριθμός των ενεργών πλήρων κύκλων του σεισμού, σε μετακινήσεις μεγέθους δ .

v_d είναι το ανηγμένο αξονικό φορτίο του τοιχώματος :

$$v_d = \frac{N_d}{b_w \cdot I_w \cdot f_c}$$

α_s είναι ο λόγος διάτμησης του τοιχώματος :

$$a_s = \frac{M_d}{V_d \cdot I_w}$$

b_w, I_w είναι αντίστοιχα η μικρή και η μεγάλη διάσταση της διατομής του τοιχώματος.

Η πολυπλοκότητα της προηγούμενης σχέσης οδηγεί συχνά σε αναζήτηση προσεγγιστικών σχέσεων εκτίμησης. Έτσι για την συνήθη περίπτωση που το αρχικό τοίχωμα επισκευάζεται πριν από την ενίσχυση του (με κόλλες και επισκευαστικά κονιάματα) μπορεί να θεωρηθεί:

$$V_{R,res} = V_R$$

Χρησιμοποιώντας τους διορθωτικούς συντελεστές προσομοιώματος για την αντοχή, ο έλεγχος του επισκευασμένου/ενισχυμένου τοιχώματος σε τέμνουσα μπορεί να γίνει με τις παρακάτω σχέσεις :

- Έλεγχος λοξής θλίψης

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} = k_r V_{Rd2}^{monol}$$
- Έλεγχος οπλισμού διάτμησης

$$V_{sd} \leq V_{Rd3} = k_r V_{Rd3}^{monol} = k_r (V_{cd}^{monol} + V_{wd}^o + V_{wd}^n)$$

Όπου τα μεγέθη :

$V_{Rd2}^{monol}, V_{Rd3}^{monol}$ και V_{cd}^{monol} αναφέρονται στη μονολιθική διατομή.

V_{wd}^o, V_{wd}^n είναι οι τέμνουσες που αναλαμβάνονται από τον οπλισμό διάτμησης στο υπάρχον τοίχωμα και στο νέο στοιχείο αντιστοίχως.

Ο απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης προκύπτει από την δεύτερη εξίσωση. Επειδή μάλιστα η V_{wd}^n δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από V_{sd} , τελικά δίνεται :

$$V_{wd}^n \geq \min \left(\frac{V_{sd}}{k_r} - V_{cd}^{monol} - V_{wd}^o, V_{sd} \right)$$

5.1.2.4 Κατασκευαστικές διατάξεις

Ισχύει ότι :

- Το ελάχιστο πάχος του μανδύα για την περίπτωση που χρησιμοποιείται εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι 50 mm, ενώ όταν χρησιμοποιείται έγχυτο σκυρόδεμα είναι 80 mm.
- Η αντοχή του σκυροδέματος του μανδύα πρέπει να είναι μία κατηγορία υψηλότερη απ' αυτήν του αρχικού τοιχώματος.
- Ο ελάχιστος κατακόρυφος και οριζόντιος οπλισμός προσδιορίζεται με βάση τις διατάξεις του Κανονισμού Σκυροδέματος.
- Ως ελάχιστοι διατμητικοί σύνδεσμοι στη διεπιφάνεια παλαιού και νέου σκυροδέματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν βλήτρα από χάλυβα S500_s εμβαδού διατομής:

$$A_{sd} = \rho_{\delta, \min} A_{c\delta}$$

όπου :

$$\rho_{\delta, \min} = \max (\rho_{w, \min}^{οπλ. διατμ.}, 0,12\%)$$

$\rho_{w, \min}^{οπλ. διατμ.}$ είναι το ελάχιστο ποσοστό διάτμησης δοκών που δίνεται από τον Κανονισμό για την Μελέτη και Κατασκευή Έργων από Σκυρόδεμα.

$A_{c\delta}$ είναι το εμβαδόν της διατομής της διεπιφάνειας.

Οι αποστάσεις (**S**) των βλήτρων πρέπει να ικανοποιούν την σχέση :

$$S \leq \min (6h_{\min}, 800mm)$$

όπου :

h_{\min} είναι το μικρότερο από τα πάχη των δύο στοιχείων που έρχονται σε επαφή.

Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλοι διατμητικοί σύνδεσμοι ίσης διατμητικής αντίστασης.

Σε μονόπλευρους μανδύες είναι προτιμότερο να τίθενται δίμητα βλήτρα μορφής Π. Σε αμφίπλευρους μανδύες τα βλήτρα πρέπει να είναι διαμπερή. Ευθύγραμμα τμήματα ράβδων χάλυβα τοποθετούνται στις οπές που έχουν διανοίγει στο τοίχωμα και στην συνέχεια εάν (ως συνήθως) το πάχος του μανδύα είναι μικρότερο από το 10πλάσιο της διαμέτρου τους, κάμπτονται τα άκρα τους κατά 90°, λαμβάνοντας έτσι μορφή Π ή Ζ. Τα κενά μεταξύ των ράβδων και των παρειών των οπών του τοιχώματος πληρώνονται με κόλλα.

5.1.3 Επισκευές – Ενισχύσεις δοκών και πλακών

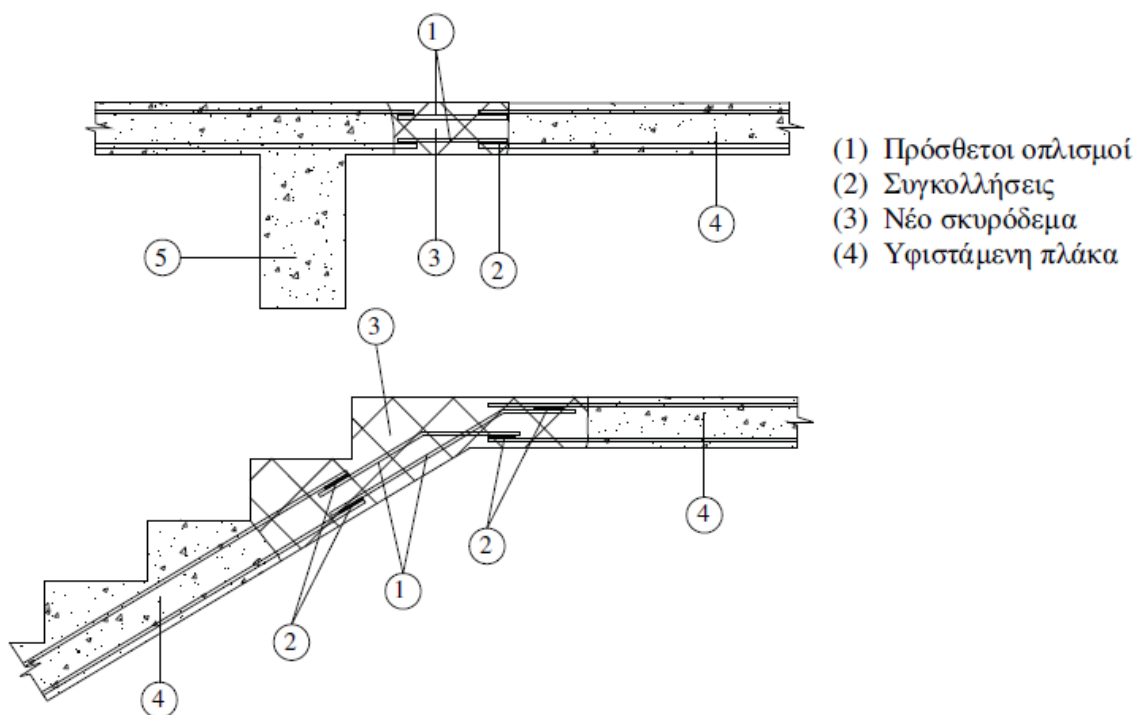
Οι επισκευές και οι ενισχύσεις δοκών και πλακών, ακολουθούν αντίστοιχες τεχνικές με αυτές που αναφέρθηκαν για τα υποστυλώματα και τα τοιχώματα.

Στην περίπτωση σεισμικής έντασης οι βλάβες συνήθως συγκεντρώνονται στην περιοχή του κόμβου υποστυλώματος δοκού. Έτσι η επέμβαση στις δοκούς αποτελεί συνήθως μέρος μιας συνολικής επέμβασης που κυρίως αφορά τα κατακόρυφα στοιχεία και τον κόμβο.

5.1.3.1 Επισκευή δοκών και πλακών

Για τις επισκευές δοκών και πλακών, χρησιμοποιούνται ανάλογα με το βαθμό βλάβης είτε η τεχνική των ενέσεων κόλλας και των επισκευαστικών κονιαμάτων (για ελαφρές βλάβες) είτε η τεχνική της αποκατάστασης ίσης διατομής (για βαριές βλάβες).

Στο **Σχήμα 5.22** παρουσιάζονται δύο χαρακτηριστικές περιπτώσεις της δεύτερης περίπτωσης.



Σχήμα 5.22 Επισκευή με την τεχνική αποκατάστασης ίσης διατομής

Οι διαδικασίες εφαρμογής των παραπάνω τεχνικών έχουν ήδη περιγραφεί για την περίπτωση των υποστυλωμάτων και δεν θα επαναληφθούν. Η δυσκαμψία και η αντοχή της επισκευασμένης δοκού αποκαθίσταται σχεδόν πλήρως. Έτσι οι διορθωτικοί συντελεστές προσομοιώματος μπορούν να θεωρηθούν ίσοι με την μονάδα. Δηλαδή : $k_r = k_k = 1,0$.

5.1.3.2 Ενίσχυση δοκών και πλακών – Κατηγορίες ενισχύσεων

Οι τεχνικές ενίσχυσης των δοκών διακρίνονται ανάλογα με τον επιδιωκόμενο στόχο, σε αυτές που στοχεύουν είτε στην αύξηση της καμπτικής αντοχής (που

χρησιμοποιούνται και στις περιπτώσεις πλακών) είτε στην αύξηση της διατμητικής αντοχής είτε και στα δύο.

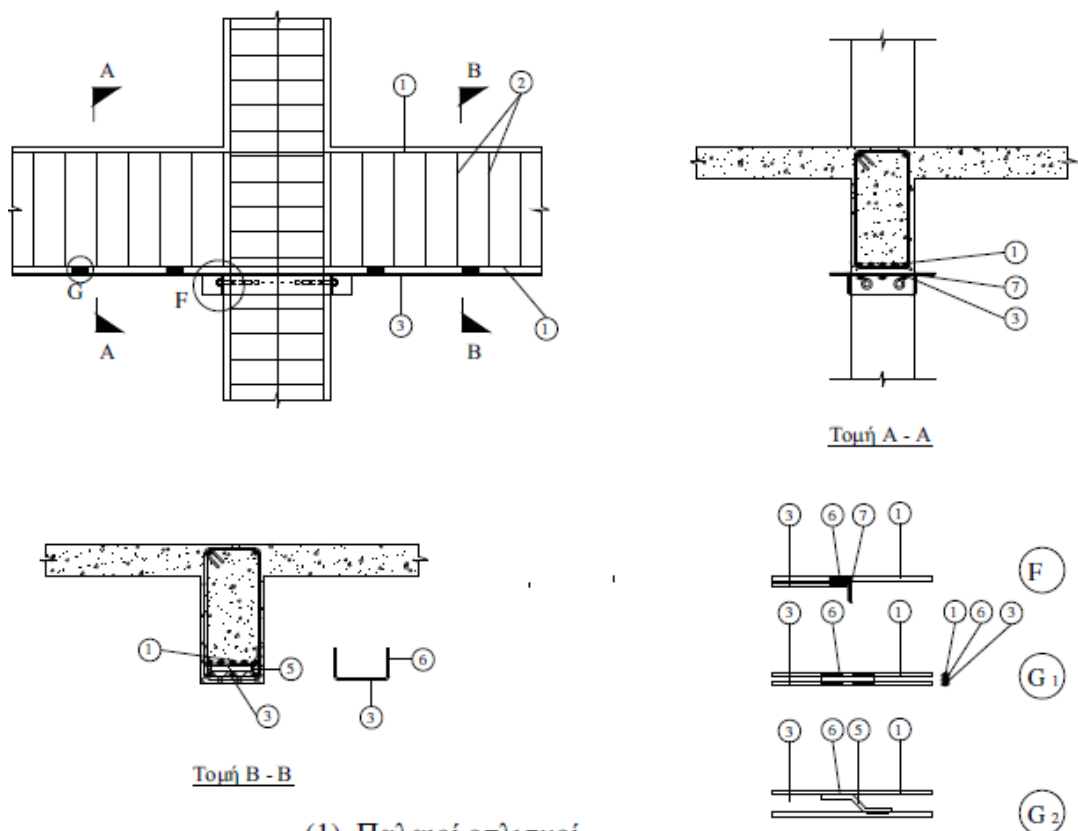
1. Καμπτική ενίσχυση με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος

Η τεχνική αυτή, εφαρμόζεται συχνά για ισχυρές ενισχύσεις δοκών ή πλακών στο εφελκόμενο πέλμα. Μερικές φορές επίσης εφαρμόζεται και για ενισχύσεις στο θλιβόμενο πέλμα.

Η ενίσχυση στο εφελκόμενο πέλμα γίνεται με νέους οπλισμούς που καλύπτονται από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, με πάχος συνήθως 50-100 mm, σε όλο το πλάτος της δοκού. Στις ενισχύσεις στο θλιβόμενο πέλμα, που μπορεί να γίνουν και χωρίς πρόσθετους οπλισμούς, χρησιμοποιείται είτε εκτοξευόμενο είτε έγχυτο σκυρόδεμα.

Η συνεργασία της νέας στρώσης σκυροδέματος με την δοκό γίνεται με χρήση διατμητικών συνδέσμων που συνήθως είναι χαλύβδινα βλήτρα (με ένα ή δύο σκέλη) ή ηλεκτροσυγκολλήσεις νέων και παλαιών ράβδων οπλισμού μέσω παρεμβλημάτων. Επισημαίνεται πάντως ότι η χρήση των βλήτρων προτιμάται εν γένει έναντι των ηλεκτροσυγκολλήσεων λόγω των αρνητικών επιδράσεων των τελευταίων στα χαρακτηριστικά του χάλυβα. Εξ' άλλου η επιφάνεια της δοκού, καθ' όλο το μήκος επαφής της με την νέα στρώση σκυροδέματος πρέπει να έχει εκτραχυνθεί επιμελώς με υδροβολή ή χρήση ειδικού μηχανικού εξοπλισμού, για να αποκαλυφθούν τα αδρανή.

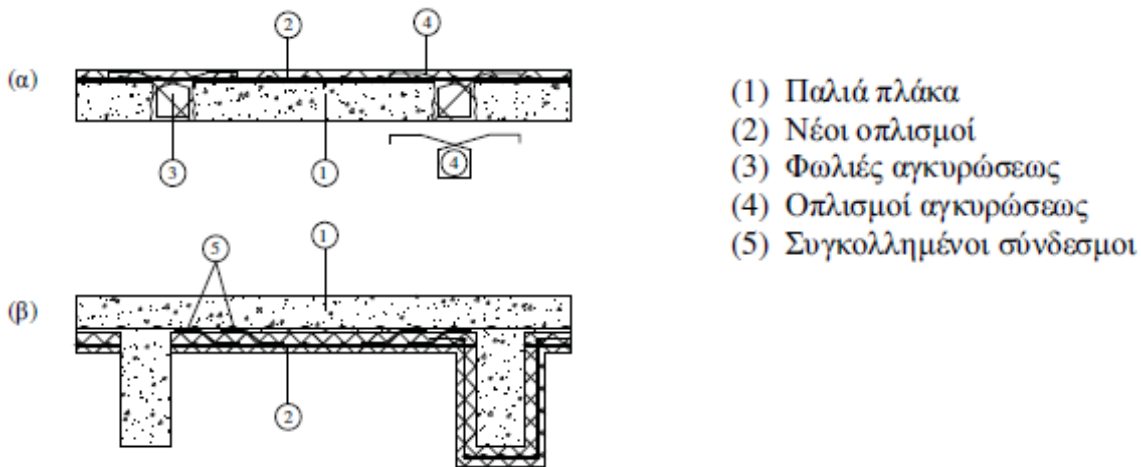
Στο **Σχήμα 5.23** παρουσιάζεται μία εφαρμογή της τεχνικής για ενίσχυση στο κάτω πέλμα μίας δοκού, όπου γίνεται χρήση παρεμβλημάτων. Ανάλογα με το πάχος της νέας στρώσης τα παρεμβλήματα μπορεί να είναι είτε απλές καβίλιές (**λεπτομέρεια G1**) είτε ράβδοι σε σχήμα Z (**λεπτομέρεια G2**).



- (1) Παλαιοί οπλισμοί
- (2) Παλαιοί συνδετήρες
- (3) Πρόσθετος διαμήκης οπλισμός
- (4) Πρόσθετοι συνδετήρες
- (5) Παρεμβλήματα (καβίλια ή σχήματος Z)
- (6) Συγκόλληση
- (7) Κολλάρο απο γωνιακά

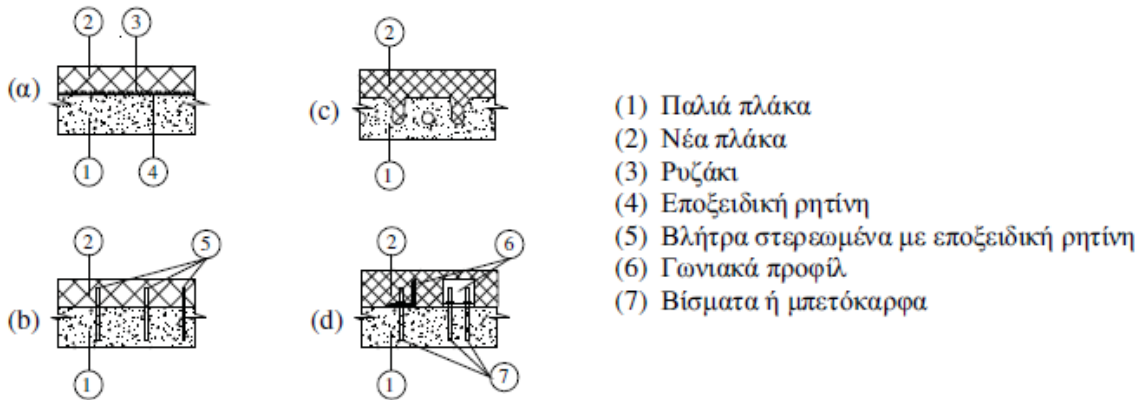
Σχήμα 5.23 Ενίσχυση κάτω πέλματος δοκού

Στα **Σχήματα 5.24** και **5.25** παρουσιάζονται εναλλακτικοί τρόποι εφαρμογής της τεχνικής για περιπτώσεις ενίσχυσης πλακών.



- (1) Παλιά πλάκα
- (2) Νέοι οπλισμοί
- (3) Φωλιές αγκυρώσεως
- (4) Οπλισμοί αγκυρώσεως
- (5) Συγκολλημένοι σύνδεσμοι

Σχήμα 5.24 Ενίσχυση πλακών με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος α) στο πάνω πέλμα β) στο κάτω πέλμα.



Σχήμα 5.25 Ενίσχυση πλακών με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος. Εναλλακτικοί τρόποι σύνδεσης στην διεπιφάνεια.

1.1 Διαστασιολόγηση μεθόδου

Η δοκός διαστασιολογείται ως εάν ήταν μονολιθική, λαμβάνοντας υπόψη τους παρακάτω μειωτικούς συντελεστές προσομοιώματος :

$$k_r = 0,9 \quad , \quad k_k = 0,85$$

Για πλάκες λαμβάνεται $k_k = k_r = 1,0$

Για τον έλεγχο της σύνδεσης στην διεπιφάνεια παλαιού-νέου σκυροδέματος αγνοείται η ολίσθηση και εξασφαλίζεται ότι η διατμητική αντοχή είναι μεγαλύτερη από την διατμητική ένταση. Αναλυτικότερα το θέμα αναπτύσσεται αλλού [2].

Μία αναλυτική διαδικασία κατά την οποία λαμβάνεται υπόψη, η σχετική ολίσθηση στην διεπιφάνεια παλαιού-νέου σκυροδέματος όπως έχει αναλυθεί σε άλλο κεφάλαιο.

1.2 Κατασκευαστικές διατάξεις

Ισχύουν εν γένει οι κατασκευαστικές διατάξεις, όπως αναφέρονται στον Κανονισμό Σκυροδέματος. Τα χαρακτηριστικά αντοχής και παραμόρφωσης των νέων υλικών δεν πρέπει να υπολείπονται των χαρακτηριστικών του αρχικού στοιχείου. Προτείνεται όπως η αύξηση της καμπτικής αντοχής της δοκού ή της πλάκας να μην ξεπερνάει την αρχική αντοχή του στοιχείου.

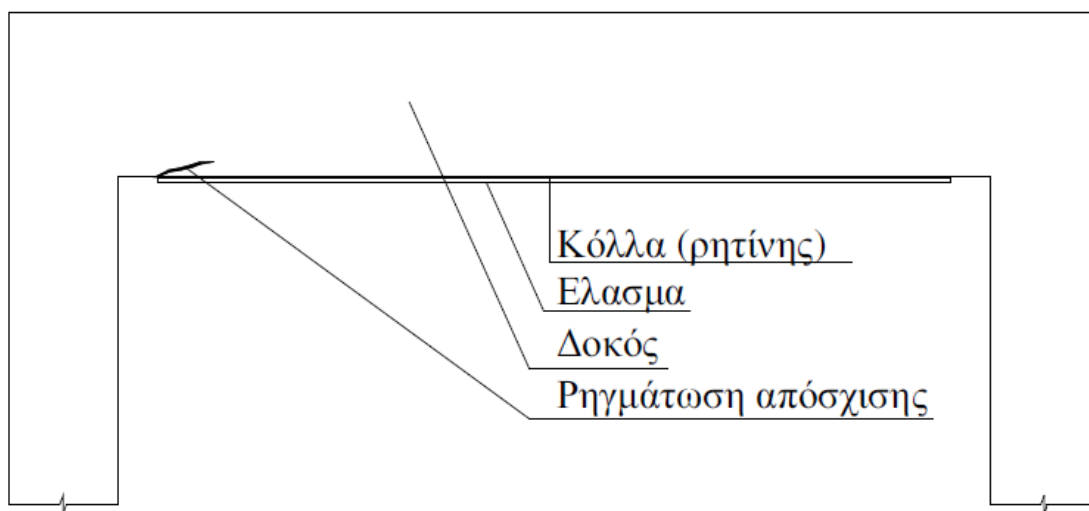
Ως ελάχιστοι διατμητικοί σύνδεσμοι στην διεπιφάνεια τοποθετούνται χαλύβδινα βλήτρα σύμφωνα με ότι αναφέρθηκε στην περίπτωση των υποστυλωμάτων ή γίνονται ηλεκτροσυγκολλήσεις ράβδων με ίση αντίσταση.

2. Καμπτική ενίσχυση με επικολλητά φύλλα από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή

Η χρήση επικολλητών φύλλων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή (FRP), ως εξωτερικού οπλισμού στο εφελκόμενο πέλμα δοκών ή πλακών, είναι μία πρακτική τεχνική με την οποία επιτυγχάνεται η αύξηση της καμπτικής αντοχής των παραπάνω στοιχείων. Επιπλέον επιτυγχάνεται σημαντική αύξηση της καμπτικής ακαμψίας και μείωση των παραμορφώσεων και της αναμενόμενης ρηγμάτωσης.

Η κυριότερη αδυναμία της τεχνικής βρίσκεται στην περιοχή αγκύρωσης των άκρων των φύλλων. Η πρόωρη αστοχία των άκρων με απόσχιση στη γειτονική προς το έλασμα περιοχή σκυροδέματος (**Σχήμα 5.26**) και η ευαισθησία διάβρωσης τους στην περίπτωση χρήσης χάλυβα είναι τα βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου που οφείλονται στην υψηλή συγκέντρωση τάσεων στην περιοχή.

Εδώ συνοψίζοντας τις σχετικές αναφορές, μπορούν να διακριθούν δύο βασικοί έλεγχοι που αφορούν την περιοχή αγκύρωσης στα άκρα των επικολητών φύλλων. Ο πρώτος στοχεύει στην εξασφάλιση επαρκούς μήκους αγκύρωσης πέραν της περιοχής που απαιτείται καμπτική ενίσχυση.



Σχήμα 5.26 Εικόνα αστοχίας ακραίας περιοχής δοκού ενισχυμένης με επικολητά φύλλα

Ο δεύτερος αφορά τον έλεγχο της συγκέντρωσης καμπτικών και διατμητικών τάσεων στην περιοχή των άκρων, λόγω της ύπαρξης πέρατος, δηλαδή λόγω της ασυνέχειας του επικολητού φύλλου. Συνήθως ελέγχονται οι διατμητικές τάσεις της περιοχής. Όμως επειδή στην πραγματικότητα υπάρχουν συγχρόνως καμπτικές και διατμητικές τάσεις φαίνεται πιο λογικό να πρέπει να ελεγχθεί η αλληλεπίδραση των δύο εντάσεων.

Η χρήση φύλλων από ινοπλισμένα πολυμερή αντί για χαλύβδινα ελάσματα διαφοροποιεί την συμπεριφορά του ενισχυμένου στοιχείου, αφού ο νέος οπλισμός έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά από τον ήδη υπάρχοντα με τον οποίο καλείται, από κοινού, να αναλάβει τις εφελκυστικές δυνάμεις.

Σημειώνεται ότι πρόσφατα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η πλαστιμότητα, των ενισχυμένων στοιχείων σε όρους καμπυλοτήτων και σε όρους ενέργειας, είναι σε πολλές περιπτώσεις σημαντικά μικρότερη από την αντίστοιχη των αρχικών στοιχείων. Ως εκ τούτου η παραπάνω τεχνική δεν συνιστάται εν γένει για την ενίσχυση στοιχείων που συμμετέχουν στην ανάληψη σεισμικής έντασης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο μετά από ειδική μελέτη που θα εξασφαλίζει ότι η πλαστιμότητα του ενισχυμένου μέλους βρίσκεται εντός των αποδεκτών ορίων σχεδιασμού.

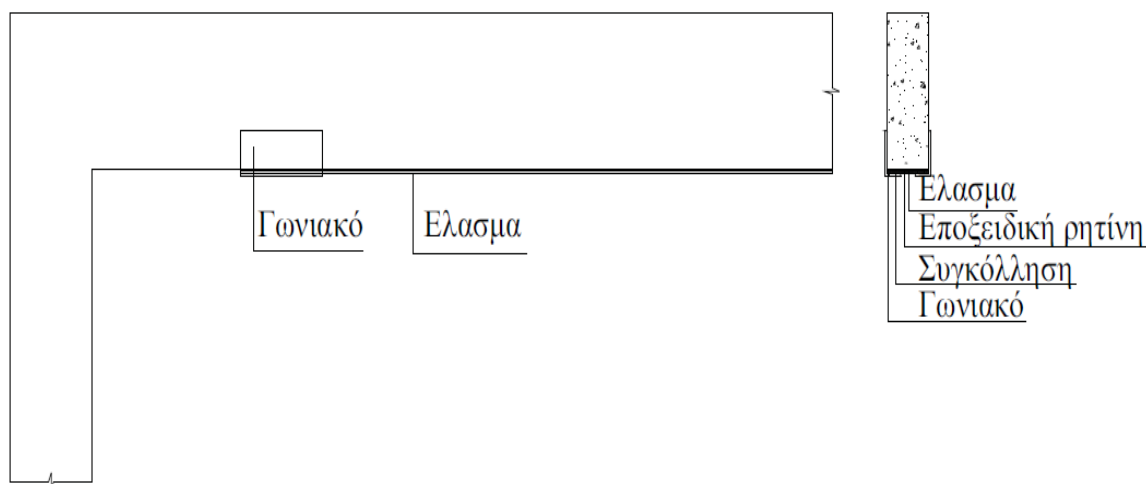
2.1 Διαστασιολόγηση επικολητών ελασμάτων

Η διαστασιολόγηση δομικών στοιχείων ενισχυμένων με επικολητά ελάσματα γίνεται όπως και στα συμβατικά στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος. Στην περίπτωση αυτή συνυπολογίζονται οι "παλαιοί" υπάρχοντες οπλισμοί και οι "νέοι" (υπό μορφήν ελασμάτων) πρόσθετοι, χρησιμοποιώντας ένα μέσο στατικό ύψος.

2.2 Κατασκευαστικές διατάξεις

Συνοψίζοντας κατασκευαστικές διατάξεις που έχουν διατυπωθεί για τα επικολητά ελάσματα, προτείνονται τα εξής:

- Το μήκος αγκύρωσης του ελάσματος δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το $\max (200\text{mm}, 140/b_1, 200 t_1)$ όπου b_1 και t_1 το πλάτος και το πάχος του ελάσματος σε mm.
- Το πάχος των ελασμάτων ενίσχυσης να είναι μικρό για να αποφεύγεται η πρόωρη αστοχία στην διεπιφάνεια επικόλλησης του ελάσματος, ιδιαίτερα στην ακραία περιοχή αγκύρωσης του. Γενικά προτείνεται να μην ξεπερνά τα 4 mm και επίσης να είναι μικρότερο από 2% του πλάτους του ελάσματος. Εξάλλου η χρήση ελασμάτων με μικρό πάχος επιτρέπει την καλύτερη σύνδεση με την δοκό αφού μπορεί να παρακολουθήσει κάθε αλλαγή της επιπεδότητας του πέλματος, χωρίς να εισάγονται πρόσθετες τοπικές τάσεις στο έλασμα. Αυτός είναι ο λόγος που πολλές φορές χρησιμοποιούνται ελάσματα σε περισσότερες στρώσεις, αντί για ελάσματα μεγάλου πάχους.
- Το αδιάστατο ύψος της θλιβόμενης ζώνης $\xi = \chi / d$ να είναι μικρότερο από 0,40.
- Απαιτείται η χρήση κατάλληλων ειδικών διατάξεων αγκύρωσης των άκρων. Ικανοποιητικά πειραματικά αποτελέσματα προέκυψαν όταν χρησιμοποιήθηκαν ειδικά επικολητά γωνιακά αγκύρωσης, συγκολλημένα στα ελάσματα και στις παρειές της δοκού (**Σχήμα 4.27**).



Σχήμα 5.27 Ειδικά επικολητά γωνιακά αγκύρωσης

- Οι αγκυρώσεις των άκρων να είναι κοντά στις στηρίξεις. Όμως το συμπέρασμα αυτό έχει προκύψει από έρευνα που αφορούσε αμφιερείστους δοκούς, και δεν έχει αξιολογηθεί περισσότερο. Είναι επομένως πιθανό, γενικεύοντας, να σημαίνει ότι χρειάζεται να γίνονται κοντά στα σημεία μηδενισμού των ροπών.
- Η χρησιμοποιούμενη κόλλα σύνδεσης να έχει πλαστική συμπεριφορά. Έτσι επιτρέπεται καλύτερη κατανομή των τάσεων στην περιοχή αγκύρωσης.

- Ο βαθμός ενίσχυσης του στοιχείου (AM_{d0} / M_{d0}) συνιστάται να μην ξεπερνάει τη μονάδα.

2.3 Ενίσχυση με ινοπλισμένα πολυμερή

Η διαδικασία ανάλυσης και διαστασιολόγησης δομικών στοιχείων ενισχυμένων με επικολλητά φύλλα από ινοπλισμένα πολυμερή βασίζεται στις αρχές για τη μελέτη στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα, λαμβάνοντας υπόψη τα παρακάτω δύο βασικά σημεία :

- Στην κατάσταση οριακής φέρουσας ικανότητας ο οπλισμός ενίσχυσης (σύνθετων υλικών) δεν "διαρρέει" όπως ο χάλυβας, αλλά παραμορφώνεται ελαστικά, φθάνοντας σε μεγάλη παραμόρφωση. Η παραμόρφωση αυτή εξαρτάται βασικά από την ικανότητα του σκυροδέματος (δηλαδή υποστρώματος) να μεταφέρει μέσω διάτμησης τις εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στα σύνθετα υλικά, και είναι, κατά κανόνα, μικρότερη από τη μέγιστη εφελκυστική παραμόρφωση (θραύσης) των σύνθετων υλικών.
- Ο "δεσμός" σύνθετων υλικών-σκυροδέματος μπορεί να αστοχήσει πρόωρα, δηλαδή πριν εξαντληθεί η καμπτική αντοχή του ενισχυμένου στοιχείου.

Η διαδικασία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο κάμψης, στοιχείων (δοκών ή πλακών) που έχουν ενισχυθεί με σύνθετα υλικά (**FRP**) στο εφελκυσμένο πέλμα, είναι ίδια με αυτή που χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό (συμβατικών) διατομών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Όμως τώρα, επιπλέον θα πρέπει να θεωρηθεί ότι τα σύνθετα υλικά δεν μπορούν να ξεπεράσουν μία οριακή παραμόρφωση $\epsilon_{f,lim}$ τάξεως του 50% της παραμόρφωσης θραύσης τους.

Συχνά λαμβάνεται $\epsilon_{f,lim} = 6\%$. Πάντως η τιμή αυτή δεν θα πρέπει να θεωρηθεί οριστική επειδή το θέμα είναι ακόμα υπό διερεύνηση.

Επομένως, οι δύο οριακές καταστάσεις αστοχίας για διατομές σκυροδέματος $\epsilon_{c2} = 3,5\%$ και $\epsilon_{s1} = 20\%$ που προβλέπονται στον Κανονισμό Σκυροδέματος αντικαθίστανται από τις $\epsilon_{c2} = 3,5\%$ και $\epsilon_f = 6\%$.

Η παραπάνω διαδικασία προϋποθέτει ότι τα άκρα των εξωτερικών οπλισμών εξασφαλίζονται έναντι πρόωρης αποκόλλησης. Προς τον σκοπό αυτό απαιτείται επαρκές μήκος αγκύρωσης (l_b) των εξωτερικών οπλισμών.

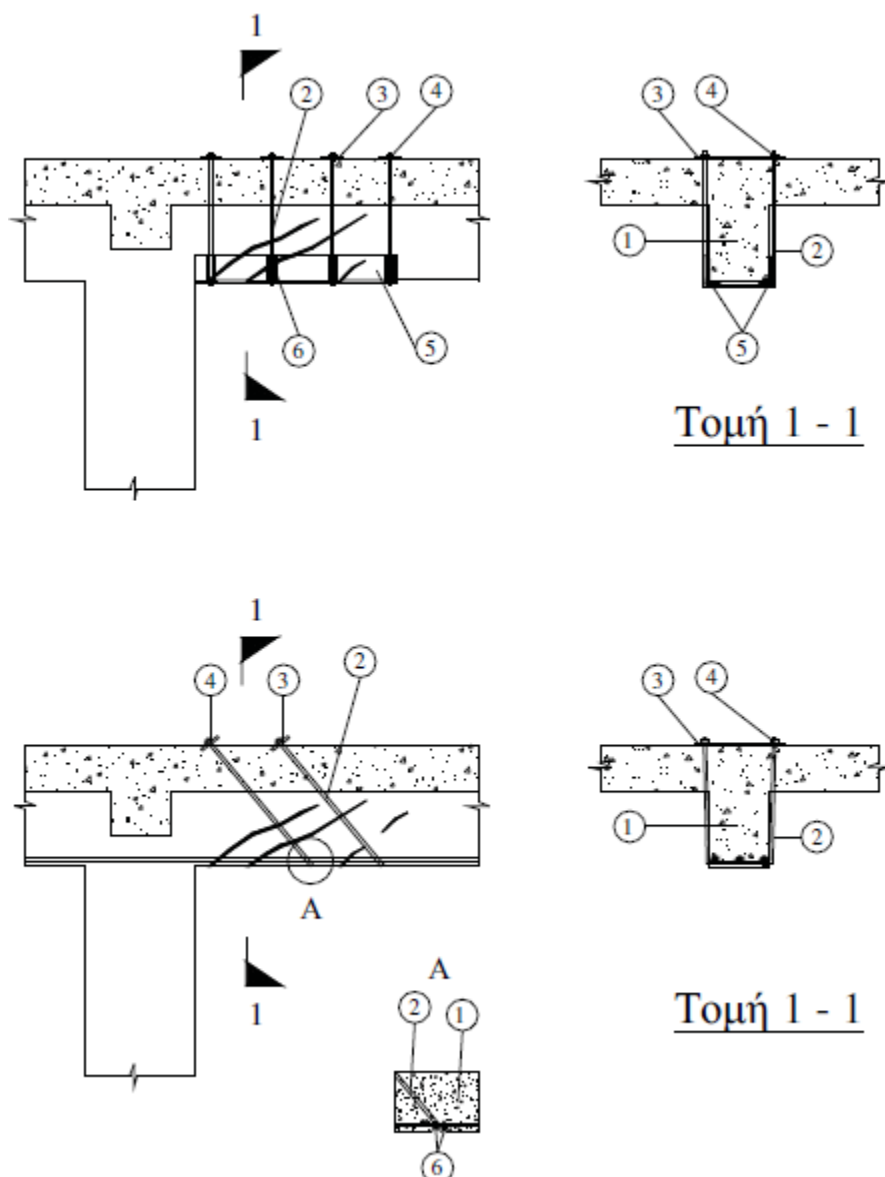
2.4 Κατασκευαστικές διατάξεις - συστάσεις

Ειδικά μέτρα εξασφάλισης της αγκύρωσης, ανάλογα με αυτά που χρησιμοποιούνται για τα επικολλητα ελάσματα (**Σχήμα 5.27**) μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση ανεπάρκειας του μήκους αγκύρωσης.

Η εφαρμογή της τεχνικής ενίσχυσης στοιχείων με επικολλητά φύλλα από ινοπλισμένα πολυμερή, προϋποθέτει ότι το στοιχείο χωρίς οπλισμό ενίσχυσης μπορεί να φέρει ασφαλώς τον συνδυασμό των οιονεί-μονίμων φορτίων ($G+\psi_2Q$) για να μην αστοχήσει σε περίπτωση απρόβλεπτης έντονης δράσης (π.χ. πυρκαγιά).

3. Διατμητική ενίσχυση δοκών με εξωτερικά στοιχεία

Στην πράξη, πολλές φορές, εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές διατμητικής ενίσχυσης δοκών χρησιμοποιώντας είτε μεταλλικά στοιχεία που περισφίγγουν εξωτερικά την δοκό όπως φαίνεται στο **Σχήμα 5.28** είτε επικολλητά φύλλα από χάλυβα.



Σχήμα 5.28 Διατμητική ενίσχυση με εξωτερικά μεταλλικά στοιχεία

Σήμερα έχει αρχίσει να επεκτείνεται η χρήση των επικολλητών φύλλων από ινοπλισμένα πολυμερή. Η τεχνική μπορεί να εφαρμόζεται είτε με επικόλληση των φύλλων στις δύο απέναντι παρειές της δοκού όπως φαίνεται στα **Σχήματα 5.29** και **5.30α**, είτε ακόμη καλύτερα, με την μορφή μανδύων που συνήθως είναι ανοικτής μορφής (**Σχήμα 5.30β,γ**). Σημειώνεται, πάντως ότι η τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί υπό την προϋπόθεση ότι το στοιχείο γωρίς οπλισμό ενίσχυσης μπορεί να φέρει ασφαλώς τον συνδυασμό των οιονεί-μονίμων φορτίων ($G+\Psi_2Q$).

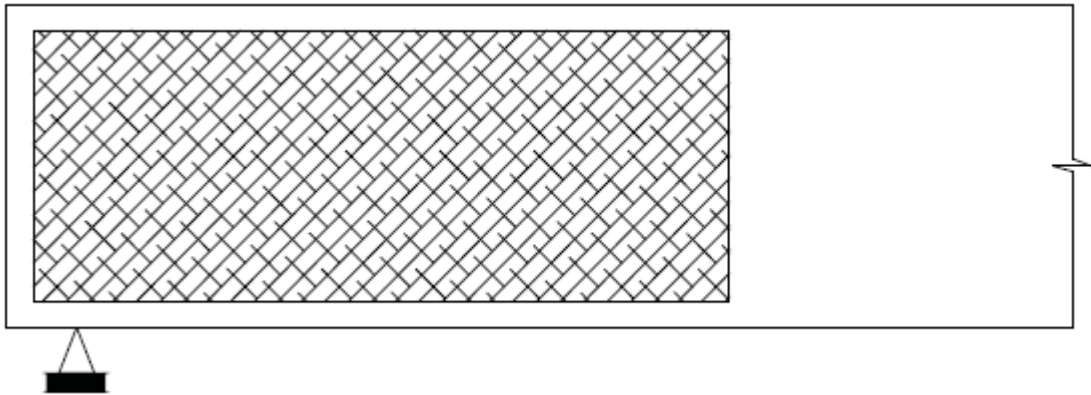
Η διαστασιολόγηση σε διάτμηση γίνεται με τις ίδιες διαδικασίες που χρησιμοποιούνται σε δοκούς με συμβατικό οπλισμό διάτμησης. Όμως τώρα θεωρείται:

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd} + V_{fd}$$

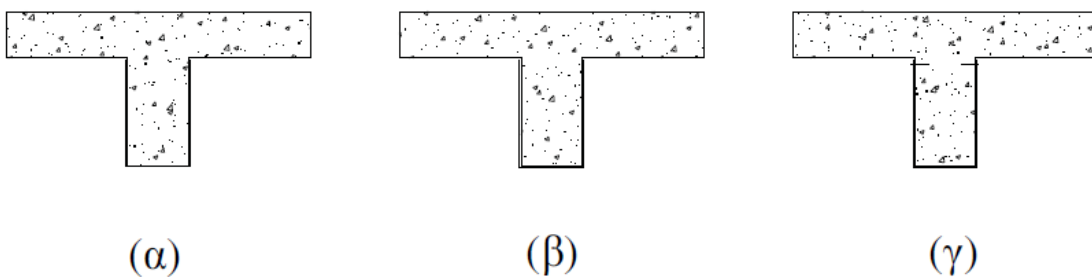
όπου V_{fd} είναι η τέμνουσα που αναλαμβάνεται από τους εξωτερικούς οπλισμούς.

Για τον προσδιορισμό του V_{fd} , στην περίπτωση χρήσης επικολλητών φύλλων από ινοπλισμένα πολυμερή, χρησιμοποιείται η ίδια μεθοδολογία

ανάλυσης που είναι γνωστή για το V_{wd} . Όμως τώρα η τάση διαρροής του χάλυβα αντικαθίσταται από μία "ενεργή" τάση που αντιστοιχεί στην μέγιστη παραμόρφωση των φύλλων την στιγμή της διατμητικής αστοχίας του στοιχείου. Εδώ σημειώνεται, ότι η παραπάνω "ενεργή" τάση είναι σημαντικά μικρότερη από την παραμόρφωση θραύσης του σύνθετου υλικού, επειδή σχεδόν πάντοτε προηγείται η αποκόλληση των φύλλων από την επιφάνεια του σκυροδέματος.



Σχήμα 5.29 Ενίσχυση δοκών σε διάτμηση με ινοπλισμένα πολυμερή



Σχήμα 5.30 Ενδεικτικοί τρόποι ενίσχυσης σε διάτμηση

Με βάση τα παραπάνω, το απαιτούμενο πάχος του φύλλου (t_f), τοποθετούμενου με τις ίνες κάθετες προς τον άξονα της δοκού προκύπτει :

$$t_f = \frac{V_{fd}}{1,2 \varepsilon_{f,e} E_f d}$$

Για την περίπτωση ινοπλισμένων πολυμερών από ίνες άνθρακα η "ενεργή" παραμόρφωση $\varepsilon_{f,e}$ δίνεται από την σχέση :

$$\varepsilon_{f,e} = \min \left[0,17 \varepsilon_{fu} \left(f_{cm}^{2/3} / E_f \rho_f \right)^{0,3} , 0,65 \times 10^{-3} \left(f_{cm}^{2/3} / E_f \rho_f \right)^{0,56} , 0,006 \right]$$

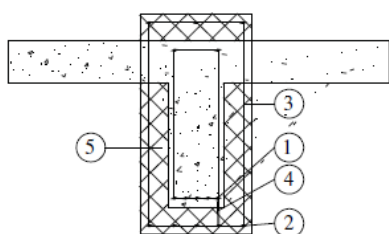
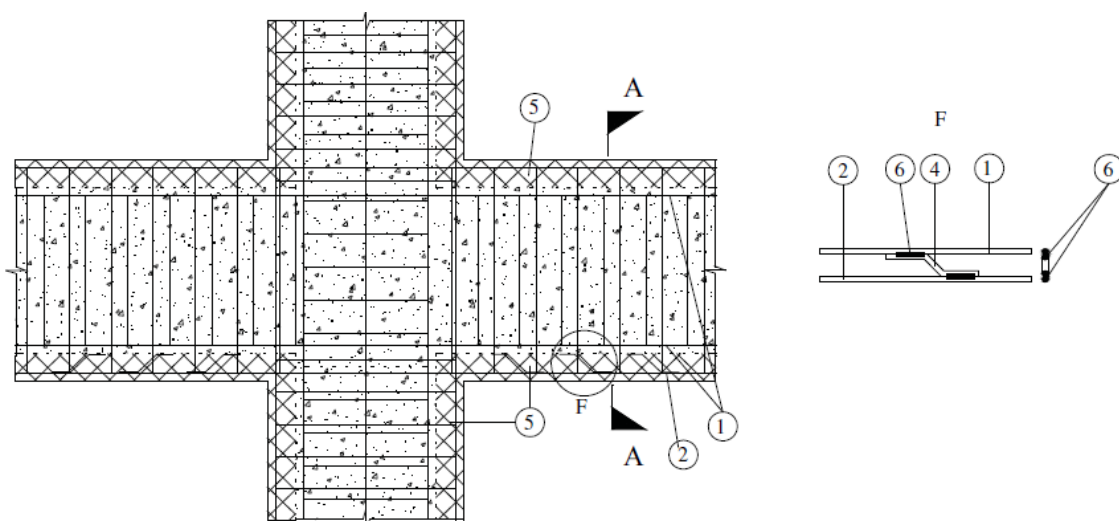
Στην παραπάνω σχέση f_{cm} είναι η (μέση) θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος (σε MPa), το μέτρο ελαστικότητας E_f τίθεται σε GPa και ε_{fu} είναι η παραμόρφωση θραύσης των σύνθετων υλικών.

4. Ενίσχυση με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος

Η τεχνική κατασκευής μανδυνών σε δοκούς από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η πλέον αποτελεσματική μέθοδος αύξησης της διατμητικής και καμπτικής τους αντοχής. Η τεχνική περιλαμβάνει την αύξηση της διατομής της δοκού με νέο σκυρόδεμα, νέους διαμήκεις οπλισμούς και νέους συνδετήρες περιμετρικά του αρχικού στοιχείου. Για κατασκευαστική ευκολία συνήθως επιλέγεται η χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Η τεχνική εφαρμόζεται κυρίως όταν υπάρχει ανάγκη διατμητικής ενίσχυσης της δοκού, επειδή όταν απαιτείται μόνο αύξηση της καμπτικής αντοχής της δοκού επιλέγεται η απλούστερη τεχνική της ενίσχυσης με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος.

Στο **Σχήμα 5.31** παρουσιάζεται ενδεικτικά μία εφαρμογή της τεχνικής. Βασικό κατασκευαστικό πρόβλημα της τεχνικής είναι η δημιουργία του κλειστού μανδύα στο πάνω μέρος της δοκού, λόγω της ύπαρξης των πλακών. Γι' αυτό πολλές φορές στην πράξη επιλέγεται η λιγότερο αποτελεσματική τεχνική της κατασκευής ανοικτού μανδύα.

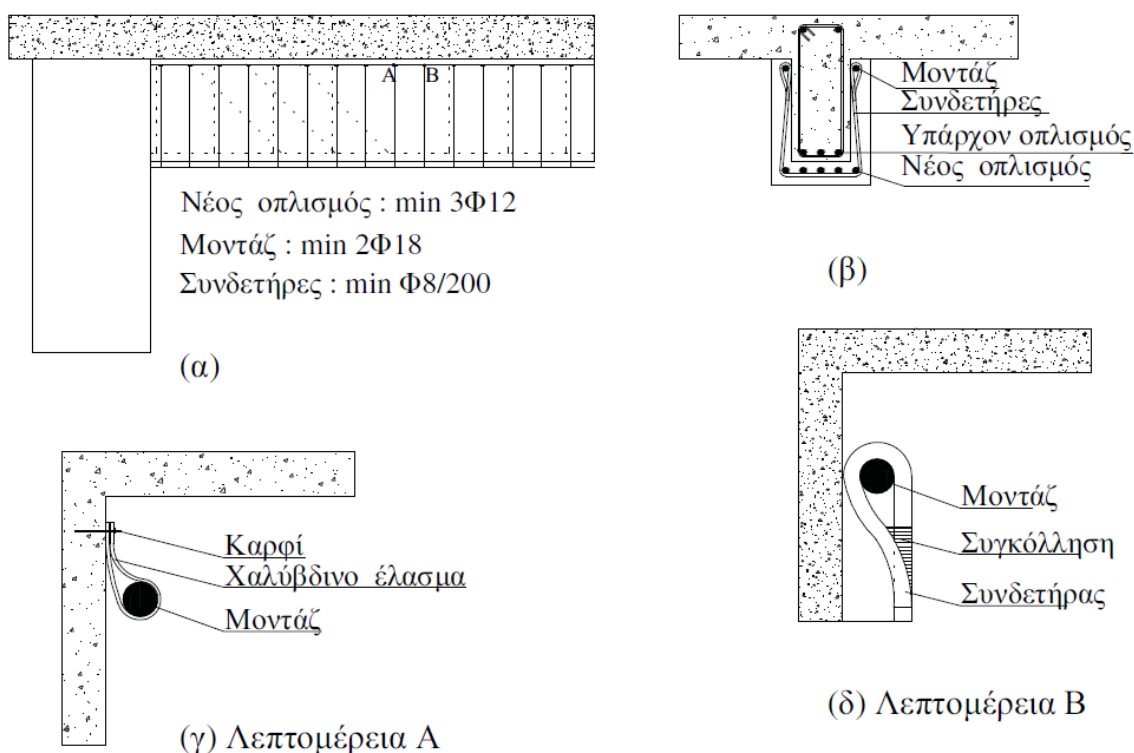
Στο **Σχήμα 5.32** παρουσιάζεται μία ενδεικτική εφαρμογή ανοικτού μανδύα. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή για την εξασφάλιση της αγκύρωσης των συνδετήρων.



- (1) Παλιός οπλισμός
- (2) Πρόσθετος οπλισμός
- (3) Πρόσθετοι συνδετήρες
- (4) Ράβδοι συνδέσεως
- (5) Μανδύας σκυροδέματος
- (6) Συγκόλληση

Τομή Α - Α

Σχήμα 5.31 Κλειστός μανδύας δοκού



Σχήμα 5.32 Ανοικτός μανδύας δοκού

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

4.1 Διαστασιολόγηση

Προτείνεται η αύξηση της καμπτικής αντοχής της δοκού να είναι μικρότερη από την αρχική και η αύξηση της διατμητικής αντοχής μικρότερη από το διπλάσιο της αρχικής. Επίσης:

- Ο διορθωτικός συντελεστής προσομοιώματος για την δυσκαμψία λαμβάνεται $k_k = 0,75$.
- Η διαστασιολόγηση σε κάμψη γίνεται όπως και στην περίπτωση των πρόσθετων στρώσεων σκυροδέματος θεωρώντας διορθωτικό συντελεστή προσομοιώματος για την αντοχή $k_{r,M} = 0,90$.
- Η διαστασιολόγηση σε διάτμηση γίνεται θεωρώντας διορθωτικό συντελεστή προσομοιώματος για την διατμητική αντοχή $k_{r,v} = 0,80$.
- Ο έλεγχος της συνέχειας στις οριζόντιες διεπιφάνειες παλαιού και νέου σκυροδέματος γίνεται με τον ίδιο τρόπο που αναφέρθηκε στην περίπτωση ενίσχυσης δοκών με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος. Στις κατακόρυφες παρειές τοποθετούνται οι ελάχιστοι διατμητικοί σύνδεσμοι.

4.2 Κατασκευαστικές διατάξεις

Ισχύουν τα αναφερόμενα στην περίπτωση ενίσχυσης δοκών με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος, με την παρατήρηση ότι οι αναφερόμενοι ελάχιστοι διατμητικοί σύνδεσμοι αφορούν πλέον κάθε πλευρά του μανδύα.

5.1.4 Επισκευή – Ενίσχυση κόμβων δοκών υποστυλωμάτων

Όπως έχει φανεί από αποτελέσματα καταστρεπτικών σεισμών στην χώρα μας, οι κόμβοι, ιδιαίτερα οι εξωτερικοί, αποτελούν ένα από τα πλέον ευπαθή στοιχεία των υφιστάμενων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Αυτό οφείλεται κυρίως στους εξής λόγους:

- Η διατμητική ένταση στους κόμβους είναι ιδιαίτερα υψηλή.
- Ο σχεδιασμός των κόμβων, μέχρι και σήμερα, δεν αποτελεί αντικείμενο μελέτης της τοπικής έντασης.
- Οι κόμβοι είναι συχνά περιοχές κακής σκυροδέτησης λόγω μεγάλης πυκνότητας οπλισμών.
- Οι βλάβες στους κόμβους είναι από τις πλέον κρίσιμες για την ασφάλεια της ακεραιότητας του φορέα.

Υπενθυμίζεται ότι κάθε ρηγμάτωση κόμβου, έστω και πολύ μικρού ανοίγματος ρωγμών, εξετάζεται ως επικίνδυνη και αντιμετωπίζεται ως σοβαρότερη βλάβη σε σύγκριση με άλλα δομικά στοιχεία που έχουν την ίδια εικόνα ρηγμάτωσης. Στην βαθμονόμηση των βλαβών, οι βλάβες στους κόμβους είναι κατά μία κατηγορία υψηλότερη από αυτήν που αντιστοιχεί σε υποστυλώματα με την ίδια εικόνα (εύρος, κατεύθυνση κ.τ.λ.) ρηγμάτωσης.

Οι επισκευές και οι ενισχύσεις στην περιοχή των κόμβων αποτελούν ίσως την δυσκολότερη κατασκευαστική διαδικασία στο τομέα των επεμβάσεων επειδή εκεί συντρέχουν πολλά στοιχεία του φορέα.

Στην συνέχεια οι τεχνικές επέμβασης διακρίνονται, ανάλογα με τον στόχο της επέμβασης, σε επεμβάσεις που στοχεύουν είτε σε επισκευή είτε σε ενίσχυση των κόμβων.

5.1.4.1 Επισκευή κόμβων

Οι τεχνικές επισκευής των κόμβων, είναι οι ίδιες με αυτές που εφαρμόζονται και για άλλα δομικά στοιχεία. Δηλαδή για ελαφρές ρηγματώσεις εφαρμόζεται η **τεχνική των ενέσεων κόλλας**, και των **επισκευαστικών κονιαμάτων** ενώ για βαριές βλάβες εφαρμόζεται η **τεχνική της αποκατάστασης ίσης διατομής**.

Αμφότερες οι παραπάνω τεχνικές έχουν αναπτυχθεί εκτενώς για τα υποστυλώματα και γι' αυτό δεν επαναλαμβάνονται εδώ. Επισημαίνεται πάντως ότι η αποκατάσταση του κόμβου με την τεχνική της ίσης διατομής, τις περισσότερες φορές, περιλαμβάνει και την διόρθωση ελαττωμάτων στην όπλιση. Δηλαδή συχνά τοποθετούνται πυκνότεροι συνδετήρες και βελτιώνονται οι αγκυρώσεις των ράβδων (ηλεκτροσυγκολλώντας νέα τμήματα). Γι' αυτό η τεχνική, θα έπρεπε να θεωρείται μάλλον ως τεχνική ενίσχυσης παρά ως επισκευή.

Χρήσιμο είναι εξ' άλλου να επισημανθεί ότι και στις δύο τεχνικές η αποτελεσματικότητα της επέμβασης εξασφαλίζεται μόνο με συνθήκες αυστηρού ποιοτικού ελέγχου και επίβλεψης. Παρακάτω επισημαίνονται μερικά χρήσιμα συμπεράσματα που έχουν προκύψει από πειραματικές έρευνες για το θέμα.

- Σε επισκευές με κόλλες :

- Αποκαθίσταται πλήρως η αντοχή των κόμβων.
 - Αποκαθίσταται σχεδόν πλήρως η δυσκαμψία.
 - Αποκαθίσταται η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας και μάλιστα μπορεί ακόμη και να αυξηθεί.
- Σε αποκαταστάσεις κόμβων με την τεχνική της ίσης διατομής, όπου περιλαμβάνονται και διορθωτικές παρεμβάσεις στην όπλιση, τα χαρακτηριστικά του κόμβου μπορούν να βελτιωθούν σημαντικά. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η αποτελεσματικότητα της τεχνικής αυξάνεται όσο χειρότερος είναι ο κόμβος.

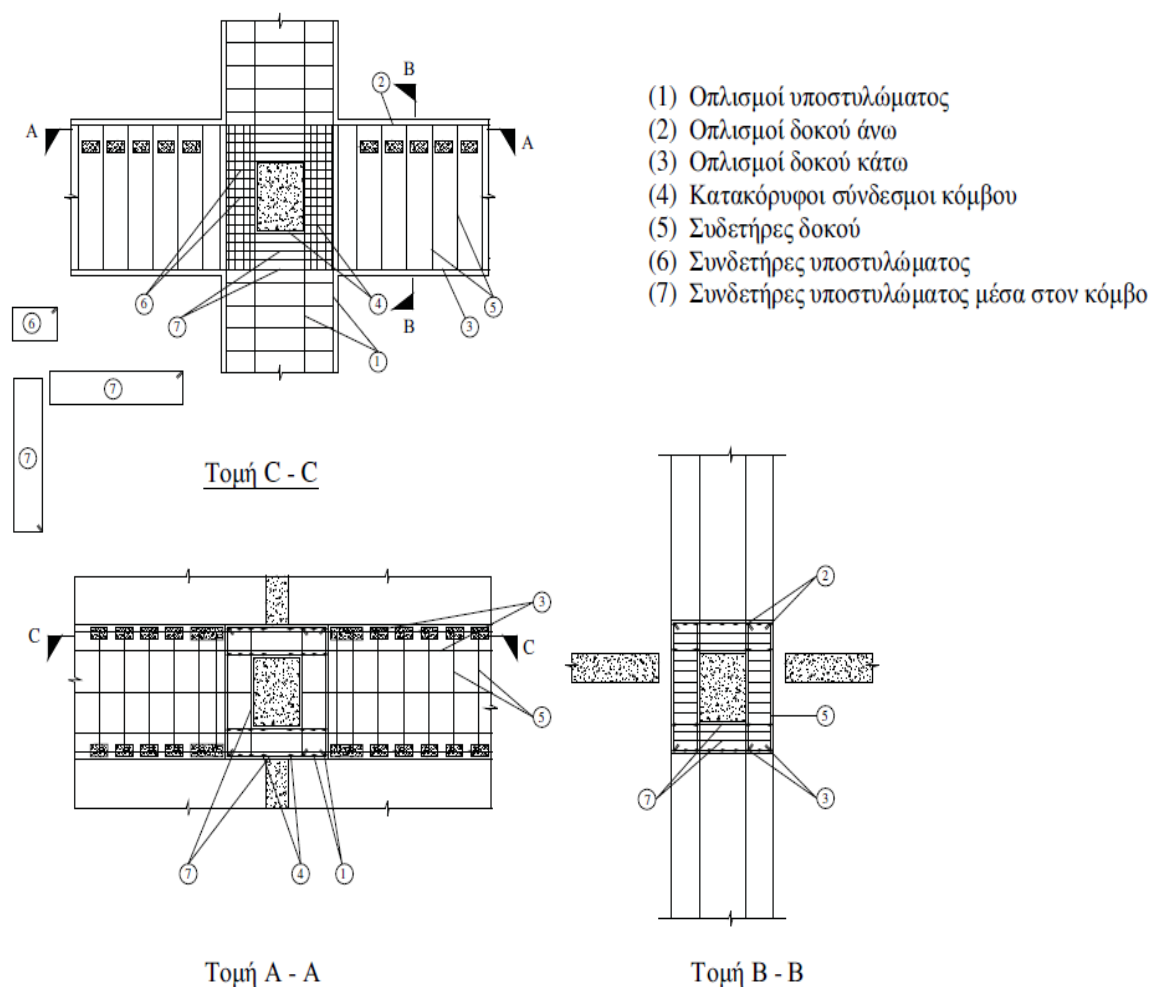
5.1.4.2 Ενίσχυση κόμβων

Τρεις είναι οι βασικές μορφές ενίσχυσης κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων. Η πρώτη είναι με μανδύα σκυροδέματος που κατασκευάζεται με την διαδικασία που έχει αναφερθεί για υποστυλώματα και δοκούς. Η δεύτερη είναι με χρήση χιαστί κολλάρων, και η τρίτη με χρήση επικολλητών φύλλων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή.

1. Μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος σε κόμβους

Ο πλέον αποτελεσματικός τρόπος ενίσχυσης των κόμβων είναι η κατασκευή μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Συνήθως ο μανδύας αυτός αποτελεί συνέχεια του μανδύα που έχει χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση του υποστυλώματος. Όμως η τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί και τοπικά μόνο στην περιοχή των κόμβων.

Μια τυπική μορφή μανδύα στην περιοχή του κόμβου φαίνεται στο **Σχήμα 5.33**, όπου ο μανδύας επεκτείνεται στα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς. Όταν όμως ο σχεδιασμός της περιοχής στοχεύει σε ικανοποίηση κριτηρίων ικανότητας, ο μανδύας μπορεί να μην επεκταθεί στην περιοχή της δοκού ή να επεκταθεί σε τόσο μήκος όσο είναι απαραίτητο. Στην περίπτωση αυτή, η τεχνική προσφέρει το πλεονέκτημα να μπορεί να τροποποιήσει τον μηχανισμό αστοχίας του φορέα μεταθέτοντας τις βλάβες από τις κρίσιμες περιοχές των υποστυλωμάτων σ' αυτές των δοκών.



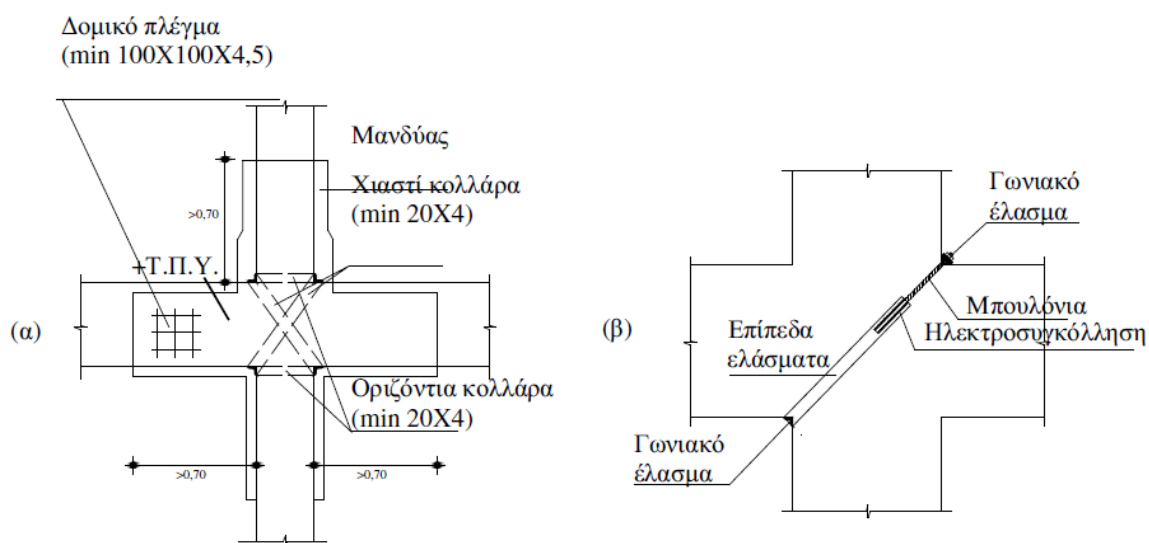
Σχήμα 4.33 Ενίσχυση κόμβου με μανδύα

2. Ενίσχυση των χιαστί κολλάρων

Ένας άλλος πρακτικός τρόπος ενίσχυσης κόμβων είναι με την χρήση χιαστί κολλάρων. Οι λεπτομέρειες εφαρμογής της τεχνικής φαίνονται στα **Σχήματα 5.34** και **5.35**. Τα χιαστί κολλάρια τοποθετούνται και εντείνονται με μηχανικό τρόπο, περισφίγγοντας έτσι την περιοχή του κόμβου. Επίσης τοποθετούνται δύο οριζόντια κολλάρια στις διατομές παρειάς των υποστυλωμάτων τα οποία συγκολλούνται πάνω στα χιαστί κολλάρια, σταθεροποιώντας έτσι το σύστημα περισφίγξης.

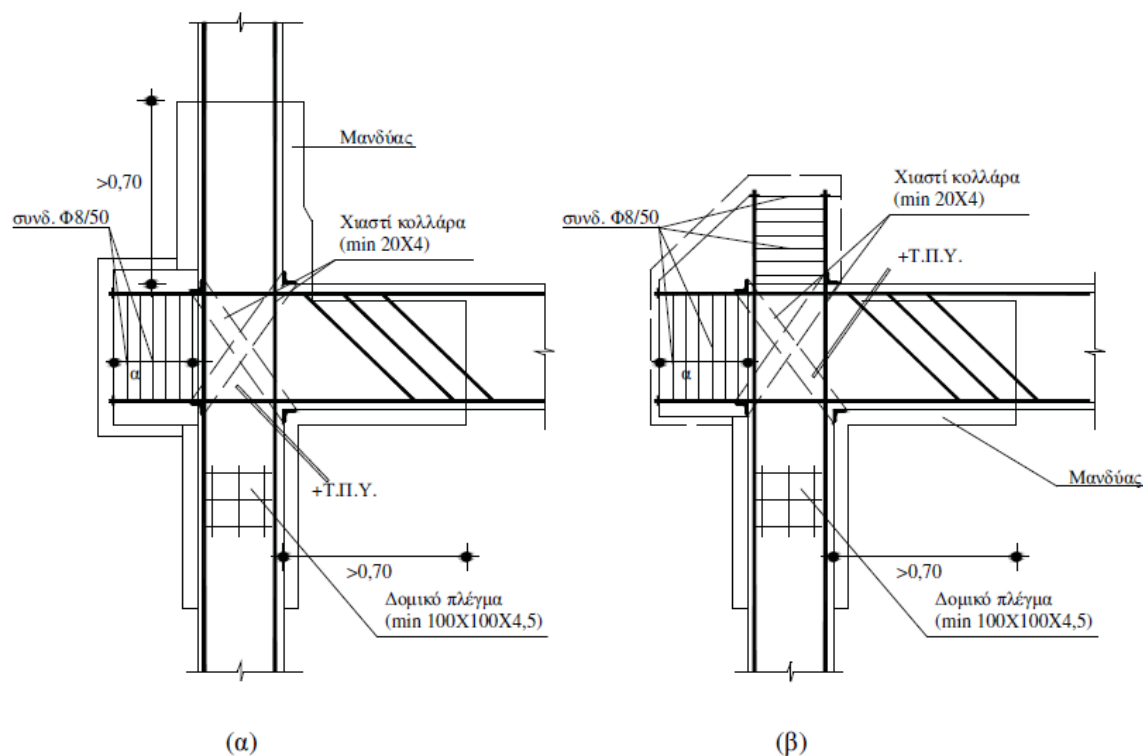
Πολλές φορές η όλη περιοχή των κόμβων καλύπτεται με έναν μανδύα από έγχυτο ή κατά προτίμηση εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, οπλισμένο με ένα ελαφρύ ανοξείδωτο πλέγμα. Άλλες φορές η τεχνική συνδυάζεται με την τεχνική του μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος. Αυτός ο συνδυασμός έχει διερευνηθεί πειραματικά και τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν έναν ιδιαίτερα υψηλό βαθμό ενίσχυσης του κόμβου.

Η εφαρμογή της τεχνικής είναι ιδιαίτερα προβληματική όταν στον κόμβο συντρέχουν τέσσερις δοκοί, επειδή η διέλευση των χιαστί διαγωνίων θα πρέπει να γίνει με διάτρηση των εγκαρσίων δοκών και η διατομή των κολλάρων να μετατραπεί σε κυκλικές ράβδους. Γι' αυτό σ' αυτές τις περιπτώσεις η τεχνική δεν φαίνεται να έχει πεδίο εφαρμογής.



Σχήμα 5.34 Ενίσχυση με χιαστί κολλάρα,

- α) Γενική διάταξη
- β) Λεπτομέρεια εφαρμογής



Σχήμα 5.35 Εφαρμογή χιαστί κολλάρων σε εξωτερικούς κόμβους

- α) Με υποστύλωμα στον ανώτερο όροφο
- β) Χωρίς υποστύλωμα στον ανώτερο όροφο

Για την εφαρμογή της τεχνικής σε εξωτερικούς κόμβους, όπου συχνότερα απαντάται το πρόβλημα, η εφαρμογή της τεχνικής συνιστάται με επέκταση της δοκού ή στην περίπτωση ανωτάτου ορόφου με επέκταση της δοκού και του υποστυλώματος.

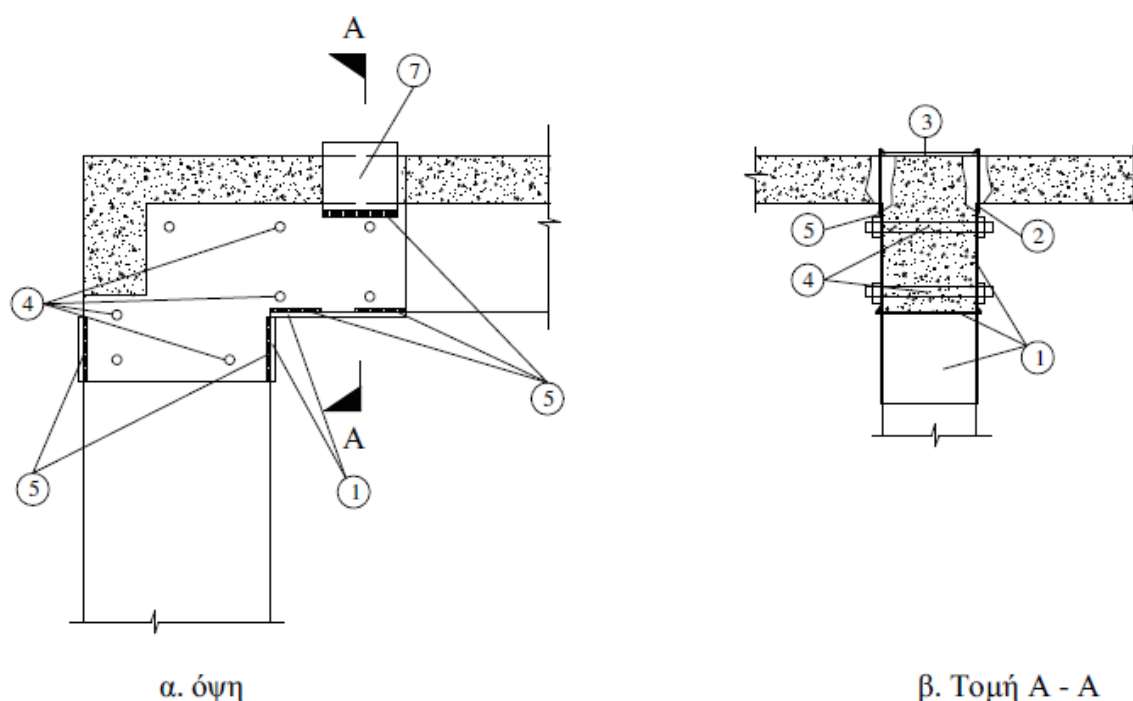
Τα άκρα των διαμηκών οπλισμών της δοκού ή/και του υποστυλώματος αποκαλύπτονται και επί αυτών ηλεκτροσυγκολλούνται νέα τμήματα οπλισμών σε μήκος τουλάχιστον 200 mm πέραν από τις εξωτερικές παρειές του κόμβου. Στην συνέχεια τοποθετούνται πυκνοί συνδετήρες S500_s της τάξεως Φ8/50.

Στην πράξη έχει επικρατήσει η ονομασία της τεχνικής ως "τεχνική της καμπούρας", λόγω του σχήματος που δημιουργείται. Λεπτομέρειες εφαρμογής της τεχνικής παρουσιάζονται στο **Σχήμα 5.35**. Είναι εξάλλου προφανές ότι η

επέκταση της δοκού ή/και του υποστυλώματος δεν εξυπηρετεί μόνο την σταθεροποίηση των κολλάρων σε θέση αλλά επιπλέον βελτιώνει την αγκύρωση των ράβδων των δοκών και των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στον κόμβο.

3. Η τεχνική των επικολλητών φύλλων σε κόμβους

Η χρήση των επικολλητών φύλλων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή (FRP) είναι μία τεχνική που χωρίς αμφιβολία προσφέρει σημαντικά στην ενίσχυση του κόμβου. Στο **Σχήμα 5.36** παρουσιάζεται η εφαρμογή της τεχνικής με χαλύβδινα ελάσματα, όπως προτείνεται από το εγχειρίδιο της. Τα ελάσματα προεκτείνονται εκατέρωθεν του κόμβου, στις συντρέχουσες δοκούς και τα υποστυλώματα, σε μήκος τουλάχιστον ίσο με το αντίστοιχο πλάτος του κόμβου.

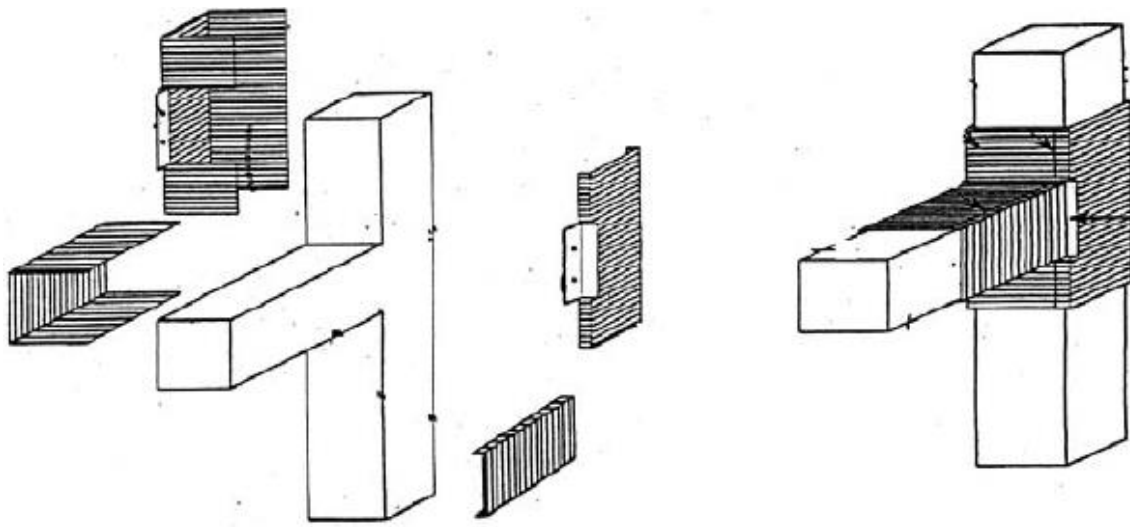


- (1) Μεταλλικά ελάσματα
- (2) Μεταλλικό έλασμα
- (3) Μεταλλική ταινία
- (4) Προεντεταμένοι κοχλίες
- (5) Συγκολλήσεις

Σχήμα 5.36 Ενίσχυση κόμβου με επικολλητά ελάσματα

Εξάλλου όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο σχήμα, η σύνδεση των ελασμάτων με τον υπάρχοντα φορέα, δεν επαφίεται μόνο στην κόλληση μέσω κόλλας αλλά χρησιμοποιούνται και βίδες ή ντίζες που συσφίγγουν τα ελάσματα των απέναντι παρειών.

Σε μία πρόσφατη πειραματική έρευνα, που χρησιμοποιήθηκαν χαλύβδινα κυματοειδή ελάσματα, η βελτίωση της συμπεριφοράς των κόμβων ήταν αξιοσημείωτη. Όχι μόνο αυξήθηκε η διατμητική αντοχή των κόμβων αλλά και βελτιώθηκε δραστικά η πλαστιμότητά τους. Στο **Σχήμα 5.37** παρουσιάζονται λεπτομέρειες εφαρμογής της τεχνικής έτσι όπως εφαρμόστηκε στην πειραματική διαδικασία. Είναι προφανές ότι τα κυματοειδή ελάσματα προσφέρουν καλύτερη περίσφιξη από τα επίπεδα λόγω της μεγαλύτερης δυσκαμψίας τους στην εγκάρσια διεύθυνση.



Σχήμα 5.37 Ενίσχυση κόμβου με χαλύβδινα κυματοειδή ελάσματα

Η εφαρμογή επικολλητών φύλλων από ινοπλισμένα πολυμερή (FRP), έχει και πλεονέκτημα της μεγάλης ευκολίας τοποθέτησης των φύλλων στην δύσκολη περιοχή του κόμβου. Τα φύλλα επικολλούνται με κόλλα όχι μόνο στον κόμβο αλλά και στα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως και για την αντίστοιχη περίπτωση εφαρμογής με χαλύβδινα ελάσματα.

Αν και η πειραματική έρευνα βρίσκεται ακόμα σε εξέλιξη, τα μέχρι σήμερα αποτελέσματα είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά. Παρ' όλα αυτά οι τεχνικές δυσκολίες εφαρμογής της τεχνικής στην πράξη λόγω της παρουσίας πλακών και εγκάρσιων δοκών, σε συνδυασμό με την έλλειψη επαρκούς επιστημονικής τεκμηρίωσης, ιδίως για ένταση από σεισμικές δράσεις, δεν ενθαρρύνουν προς το παρόν την εφαρμογή της τεχνικής.

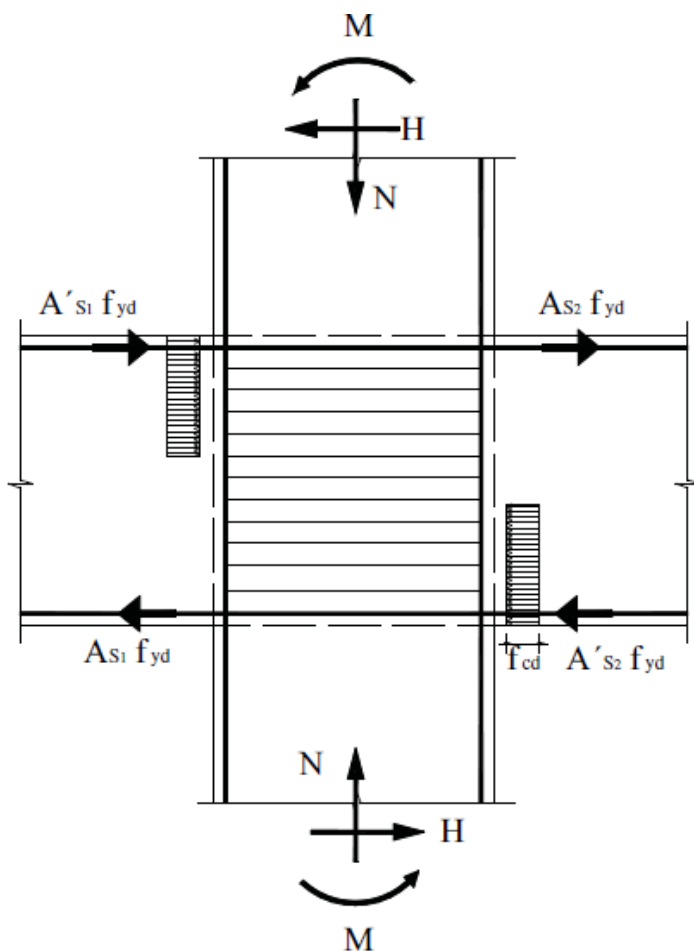
5.1.4.3 Διαστασιολόγηση κόμβων

Η διαστασιολόγηση των επισκευασμένων/ενισχυμένων κόμβων χρησιμοποιώντας διορθωτικό συντελεστή αντοχής:

$k_r = 0,9$ για την περίπτωση επισκευής με κόλλες

$k_r = 0,8$ για κάθε άλλη περίπτωση επισκευής/ενίσχυσης

Στο **Σχήμα 5.38** δίνεται η σχηματική παράσταση των εσωτερικών δυνάμεων ενός κόμβου. Οι μηχανισμοί μεταφοράς τέμνουσας στους κόμβους και οι κανόνες διαστασιολόγησης τους, αναπτύσσονται αναλυτικότερα αλλού.



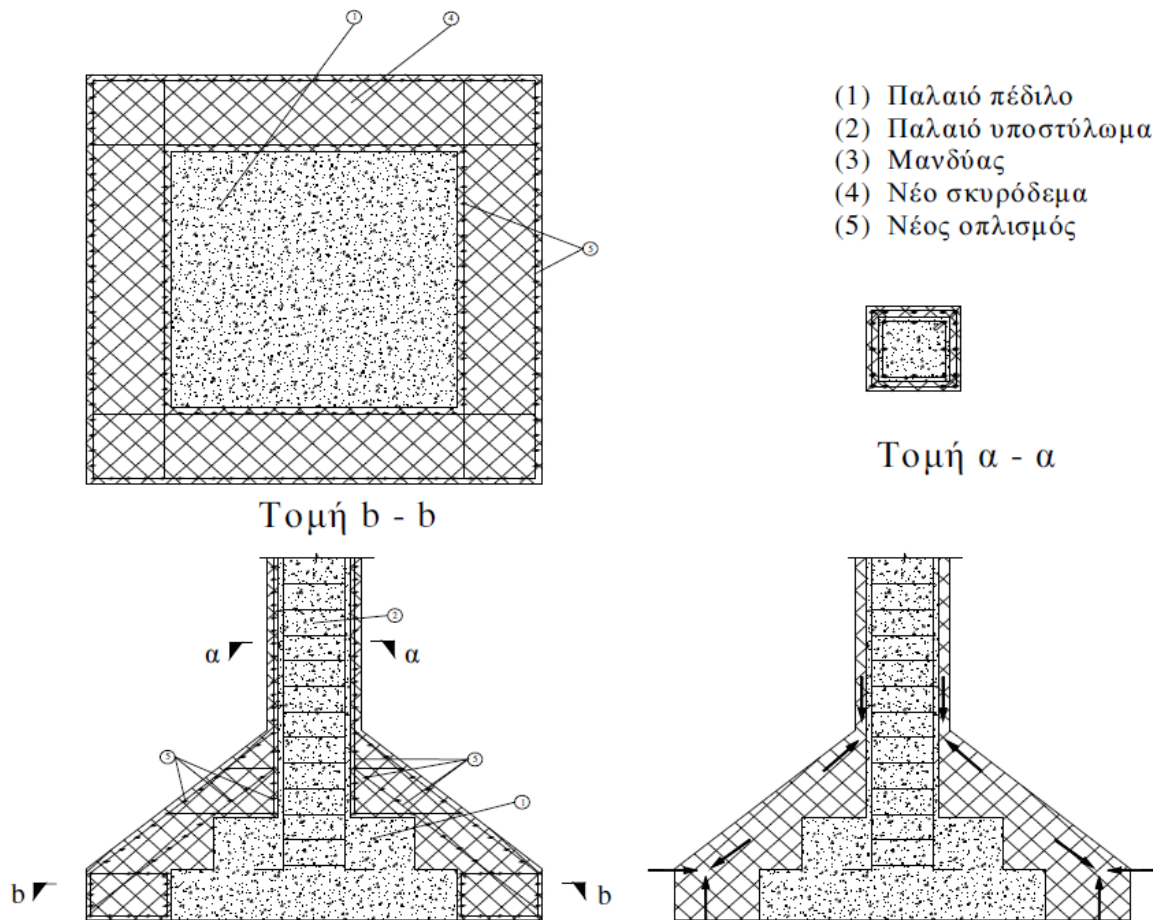
Σχήμα 5.38 Εσωτερικές δυνάμεις κόμβου

5.1.5 Ενισχύσεις στοιχείων θεμελίωσης

Τα θέματα που αφορούν εν γένει την ενίσχυση της θεμελίωσης μιας κατασκευής είναι κυρίως θέματα της εδαφομηχανικής και ως εκ τούτου δεν αποτελούν αντικείμενο του παρόντος αφού τις περισσότερες φορές η λύση ενίσχυσης περιλαμβάνει επεμβάσεις στο έδαφος θεμελίωσης όπως π.χ. ενίσχυση του εδάφους με τσιμεντενέσεις, κατασκευή ριζοπασσάλων κ.α. Μπορούμε όμως να αναφερθούμε 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 πέλδων ή των πεδιλοδοκών μιας κατασκευής. Δύο διατάξεις που έχουν προταθεί αναπαριστώνται στα **Σχήματα 5.39** και **5.40**.

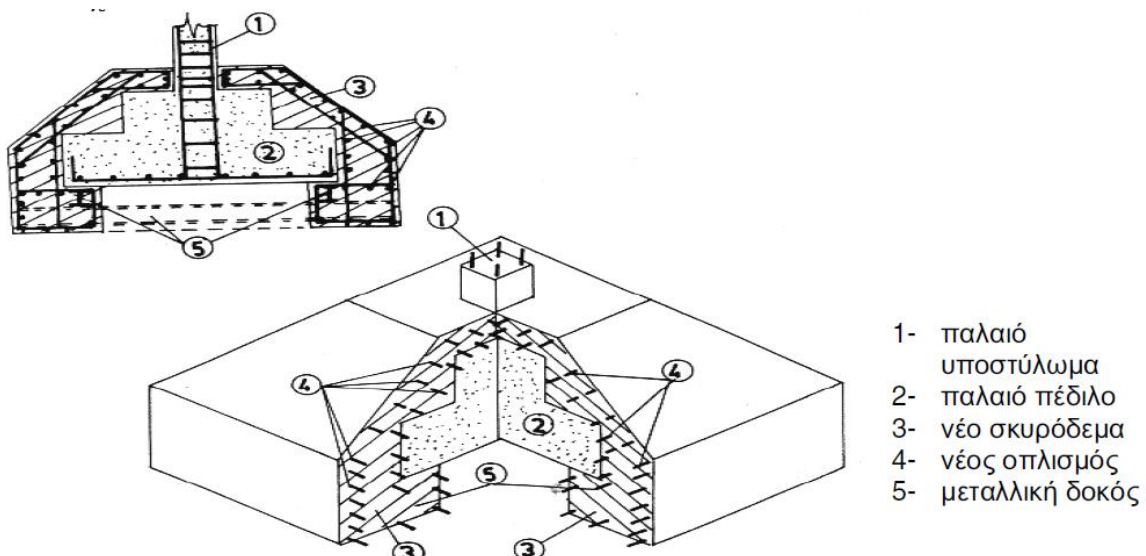
Η πρώτη διάταξη (**Σχήμα 5.39**) προτείνεται στην περίπτωση θεμελίωσης με πέλδια όταν εκτός από την αύξηση της βάσης του πέλδου, η επέμβαση περιλαμβάνει και ενίσχυση του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου (υποστυλώματος ή τοιχώματος) με την τεχνική των μανδύων. Όπως φαίνεται στο σχήμα η επέκταση του πέλδου υλοποιείται στη βάση του πέλδου με την μορφή ενός περιμετρικού δακτυλίου με κλειστούς συνδετήρες που λόγω του μεγάλου μήκους τους κατασκευάζονται με τμήματα υπερκαλυπτόμενα στα άκρα τους. Με τον τρόπο αυτό παραλαμβάνονται οι δυνάμεις εκτροπής που δημιουργούνται για την μεταφορά των αξονικών δυνάμεων του μανδύα στο έδαφος ή αντιστρόφως των εδαφικών πιέσεων προς τον μανδύα (**Σχήμα 5.40**).

Όμως εφόσον εξασφαλιστούν επαρκή μέτρα διατμητικής σύνδεσης (π.χ. βλήτρα) στις διεπιφάνειες παλιού και νέου πέλδου, η ανάγκη για παραλαβή των δυνάμεων εκτροπής είναι μειωμένη.



Σχήμα 5.39 Ενίσχυση πεδίων με την τεχνική των μανδύων, όταν η επέμβαση περιλαμβάνει και ενίσχυση του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου.

Η δεύτερη διάταξη (**Σχήμα 5.40**) προτείνεται στην περίπτωση θεμελίωσης με πέδιλα όταν η επέμβαση δεν περιλαμβάνει ενίσχυση με μανδύες του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου. Επίσης μπορεί να εφαρμοστεί και στην περίπτωση θεμελίωσης με πεδילוδοκούς, ανεξάρτητα της κατασκευής ή όχι μανδύων στα κατακόρυφα στοιχεία. Όπως φαίνεται στο σχήμα, τώρα το νέο τμήμα του πέδιλου επεκτείνεται και κάτω από το παλαιό πέδιλο /πεδילוδοκό, έτσι ώστε οι εδαφικές πιέσεις να μεταφερθούν απ' ευθείας στο παλαιό πέδιλο/πεδילוδοκό. Είναι προφανές ότι η διάταξη αυτή έχει αρκετές δυσκολίες για την εφαρμογή της αφού απαιτείται η περιμετρική εκσκαφή κάτω από το παλαιό πέδιλο και επιπλέον χρειάζεται προσωρινή στήριξη σ' αυτήν την περιοχή με μεταλλικές διατομές I οι οποίες τελικά ενσωματώνονται στο νέο στοιχείο.



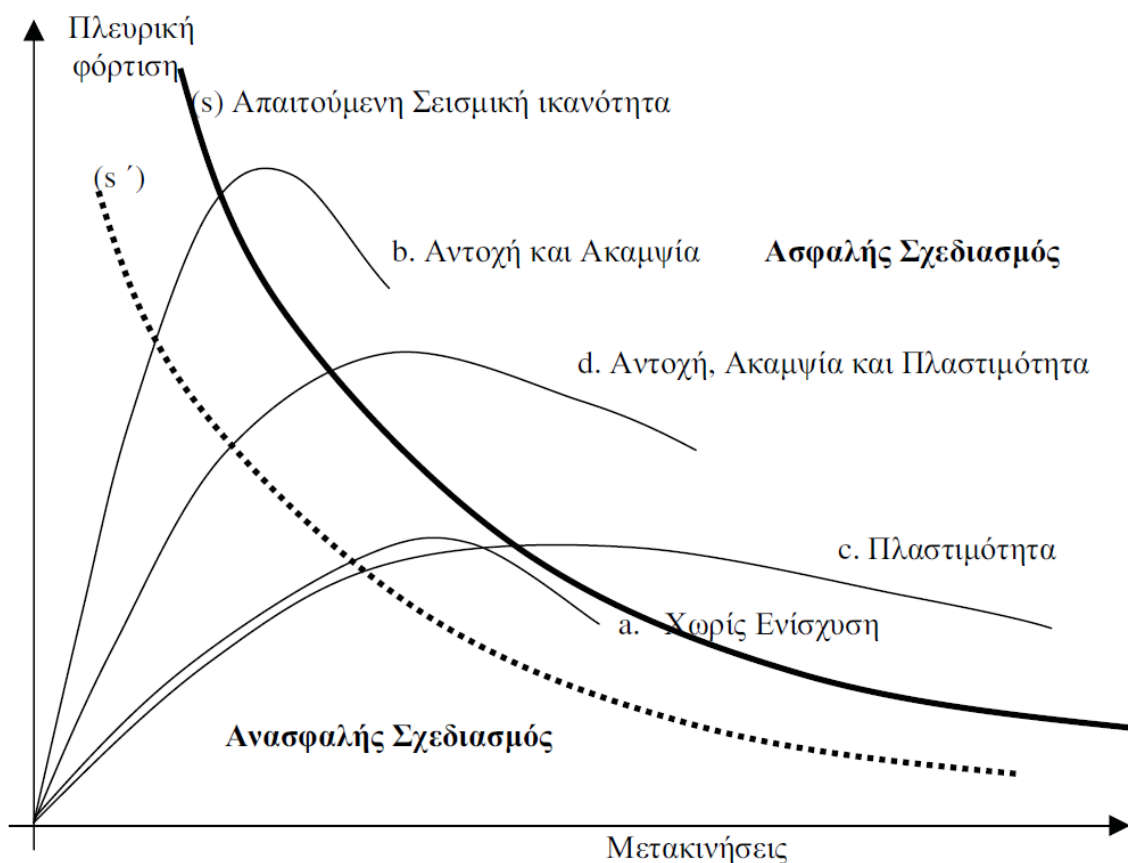
Σχήμα 5.40 Ενίσχυση πεδίων, όταν η επέμβαση δεν περιλαμβάνει ενίσχυση του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου.

Συνδυάζοντας τα παραπάνω και εκτιμώντας τις κατασκευαστικές δυσκολίες της δεύτερης διάταξης, θα μπορούσε να προταθεί η χρήση της πρώτης διάταξης για κάθε περίπτωση που απαιτείται αύξηση της επιφανείας βάσης των στοιχείων θεμελίωσης, ανεξάρτητα δηλαδή της μορφής των (πέδιλο ή πεδιλοδοκός) και της ύπαρξης ή όχι μανδύα στα φέροντα κατακόρυφα στοιχεία. Στην περίπτωση αυτή το σύνολο της εδαφικής πίεσης που ασκείται στο νέο στοιχείο θεμελίωσης πρέπει να μεταφερθεί στο παλιό στοιχείο με διατμητικούς συνδέσμους που κατανέμονται ομοιόμορφα στις διεπιφάνειες παλαιού-νέου σκυροδέματος.

5.1.6 Ενίσχυση κατασκευής ως σύνολο

Στην συνέχεια των όσων αναφέρθηκαν, στο **Σχήμα 5.41** παρουσιάζονται ποιοτικά διαγράμματα Πλευρικών Δυνάμεων-Μετακινήσεων, για τις τρεις βασικές στρατηγικές που αντιστοιχούν σε τρεις κατηγορίες μεθόδων αντισεισμικής ενίσχυσης.

Στο παρακάτω σχήμα η καμπύλη υπερβολικής μορφής (**s**) αναπαριστά την απαιτούμενη σεισμική ικανότητα της κατασκευής. Ως εκ τούτου, η καμπύλη αυτή υποδηλώνει το όριο μεταξύ της ασφαλούς και της ανασφαλούς επιλογής της λύσης ενίσχυσης. Δηλαδή μία κατασκευή θεωρείται ασφαλής μόνο εφόσον η καμπύλη που αναπαριστά τη συμπεριφορά της επεκτείνεται στην περιοχή πάνω από την καμπύλη (**s**) που απεικονίζει τον ασφαλή σχεδιασμό. Διαφορετικά απαιτείται ενίσχυση της κατασκευής.



Σχήμα 5.41 Στρατηγικές ενίσχυσης

Επεξήγηση κάθε καμπύλης στο διάγραμμα :

- Η καμπύλη **(a)** αναπαριστά τη συμπεριφορά της κατασκευής πριν την ενίσχυση.
- Η καμπύλη **(b)** αναπαριστά τη συμπεριφορά της κατασκευής μετά την ενίσχυση της, όταν επιτυγχάνεται η αύξηση της πλευρικής αντίστασης και της δυσκαμψίας του φορέα.
- Η καμπύλη **(c)** αναπαριστά τη συμπεριφορά της κατασκευής μετά την ενίσχυση της, όταν επιτυγχάνεται η αύξηση της πλαστιμότητας του φορέα.
- Η καμπύλη **(d)** αναπαριστά τη συμπεριφορά της κατασκευής μετά την ενίσχυση της, όταν συγχρόνως επιτυγχάνεται η αύξηση της πλευρικής αντίστασης, της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητας του φορέα.
- Η καμπύλη **(s')** αναπαριστά την απαιτούμενη σεισμική ικανότητα της κατασκευής μετά την ενίσχυση της, όταν επιτυγχάνεται μείωση της εισαγόμενης σεισμικής έντασης, του φορέα.

Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου και της επιμέρους κατασκευαστικής τεχνικής που θα ακολουθηθεί δεν είναι πάντα εύκολη. Αρχικά χρειάζεται να αξιολογηθούν όλες οι εναλλακτικές διαδικασίες λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές συνθήκες του έργου και ακόμη νομικούς, πολεοδομικούς, και άλλους τυχόν περιορισμούς.

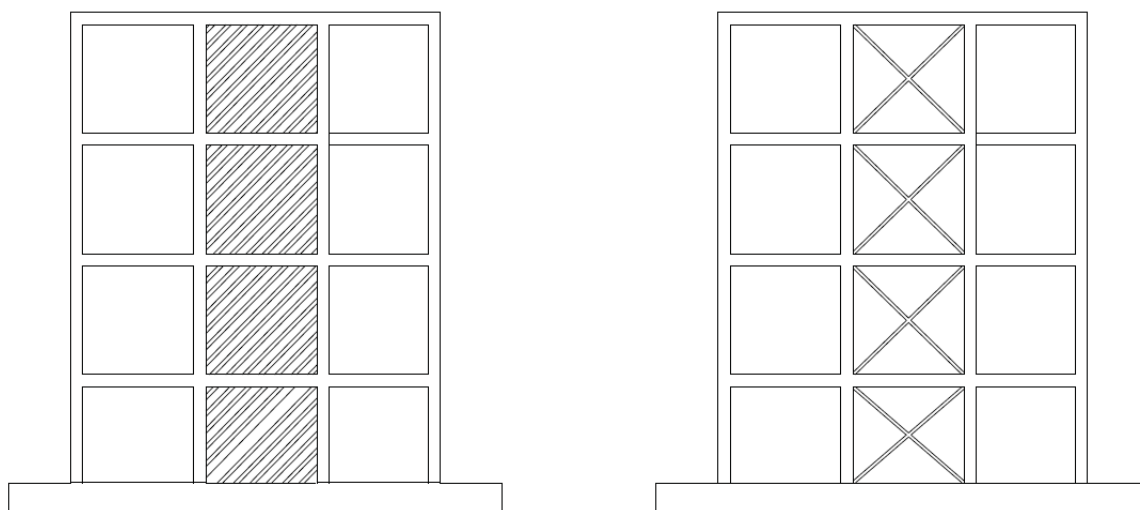
Στη συνέχεια θα πρέπει να αξιολογηθούν άλλοι σημαντικοί παράγοντες όπως το κόστος και η διάρκεια της επέμβασης, το μέγεθος της ενόχλησης των ενοίκων, και η διαθεσιμότητα κατάλληλου εξειδικευμένου προσωπικού.

Διάφορες μέθοδοι και τεχνικές χρησιμοποιούνται σήμερα στην πράξη για την αντισεισμική ενίσχυση μίας κατασκευής ως σύνολο. Ειδικότερα όσον αφορά τις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, θα μπορούσε κανείς να διακρίνει έξι κύριες μεθόδους επέμβασης, ανάλογα με το είδος των πρόσθετων στοιχείων που χρησιμοποιείται σε κάθε μέθοδο. Εξάλλου ένα πλήθος εναλλακτικές τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα πλαίσια κάθε μίας από αυτές τις μεθόδους.

Οι μέθοδοι αυτές είναι οι εξής :

- Κατασκευή τοιχωμάτων εντός των πλαισίων του φέροντα, οργανισμού της κατασκευής (**Σχήμα 5.42α**). Στοχεύει σε μεγάλη αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής, της κατασκευής.
- Κατασκευή δικτυωτών συστημάτων εντός των πλαισίων του φέροντα οργανισμού της κατασκευής (**Σχήμα 5.42β**). Στοχεύει σε μέτρια αύξηση της αντοχής και κυρίως σε αύξηση της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητας της κατασκευής.
- Κατασκευή πλευρικών, τοιχωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα σε συνέχεια και σύνδεση με υπάρχοντα υποστυλώματα της κατασκευής. Στοχεύει στη βελτίωση της πλαστιμότητας της κατασκευής και σε μερική αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας.
- Κατασκευή μανδύων σε κατακόρυφα στοιχεία της κατασκευής. Στοχεύει βασικά στην αύξηση της πλαστιμότητας της κατασκευής.

- Προσθήκη νέων κατακόρυφων στοιχείων στην κατασκευή. Στοχεύει σε μεγάλη αύξηση της δυσκαμψίας, αντοχής και πλαστιμότητας της κατασκευής.
- Ενσωμάτωση στην κατασκευή συστημάτων απορρόφησης ενέργειας, ιξώδους ή υστερητικής συμπεριφοράς. Στοχεύει στην μείωση της εισαγόμενης σεισμικής έντασης της κατασκευής.



Σχήμα 5.42 α) Τοιχώματα εντός πλαισίων

β) Δικτυωτά συστήματα

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, σε όλες τις παραπάνω μεθόδους προβλέπεται η προσθήκη νέων στοιχείων που προσαρμόζονται πάνω στην υφιστάμενη κατασκευή. Απαιτούνται ως εκ τούτου ειδικοί έλεγχοι στις θέσεις αλληλεπίδρασης που θα επιβεβαιώνουν τις ικανότητες των συνδέσεων για τη μεταφορά δυνάμεων μεταξύ των νέων στοιχείων και της υφισταμένης κατασκευής.

Πρέπει πάντως να επισημανθεί ιδιαίτερα ότι αυτού του είδους οι επεμβάσεις αλλάζουν ριζικά το αρχικό στατικό σύστημα της κατασκευής και γι' αυτό θα πρέπει να αποφασίζονται με σύνεση. Απαιτείται πλέον ένας εξολοκλήρου νέος σχεδιασμός της κατασκευής που πιθανότατα θα απαιτήσει εκτεταμένες επεμβάσεις σε πολλές περιοχές της κατασκευής, όπως π.χ. στη θεμελίωση.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, θα μπορούσε κανείς, ανάλογα με τον κύριο επιδιωκόμενο στόχο, να ταξινομήσει τις μεθόδους αντισεισμικής ενίσχυσης των κατασκευών ως εξής:

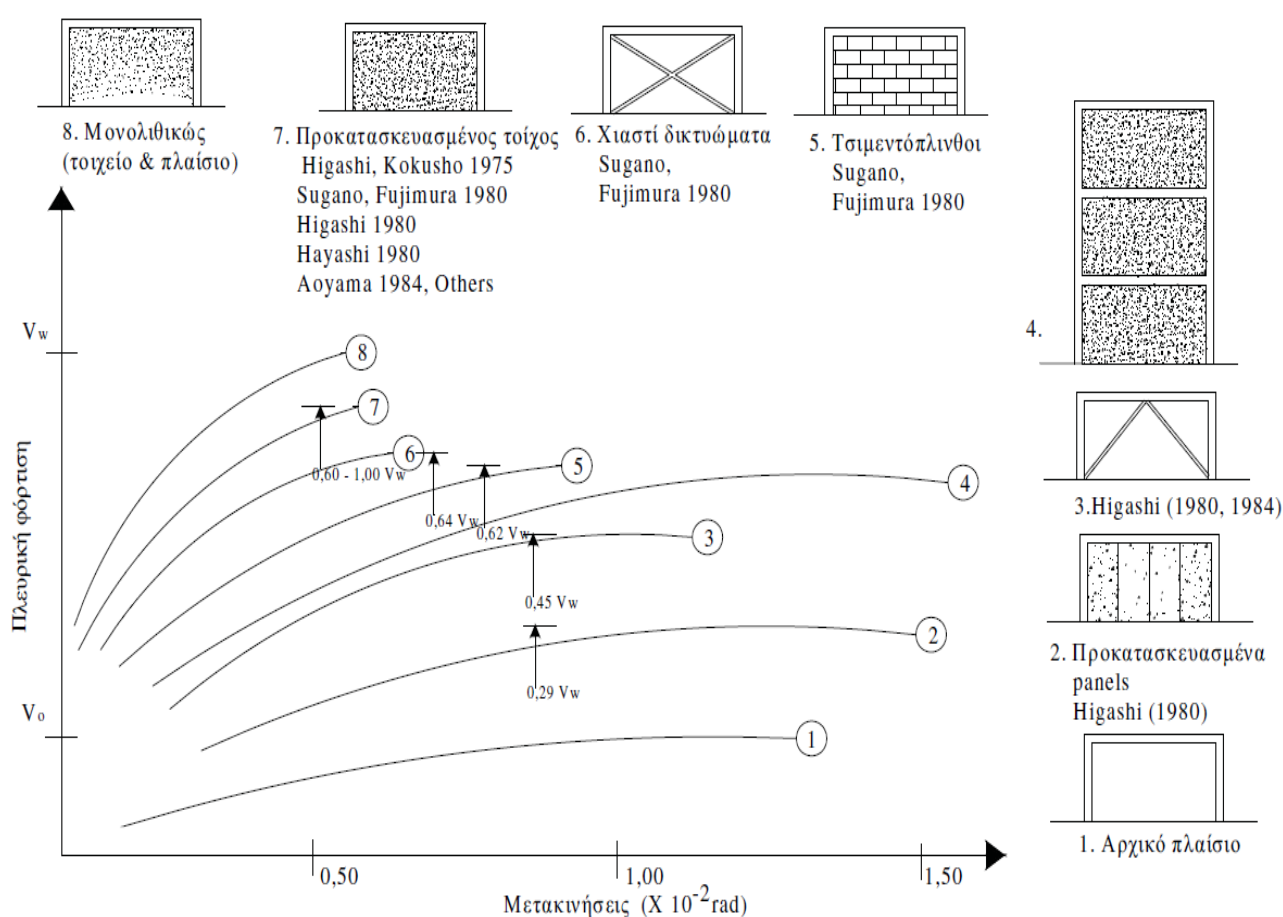
- Αν ο κύριος επιδιωκόμενος στόχος είναι η αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής της κατασκευής, τότε η πλέον αποτελεσματική μέθοδος είναι η κατασκευή τοιχωμάτων εντός των πλαισίων του φορέα, ακολουθεί η μέθοδος της προσθήκης δικτυωτών συστημάτων και στην συνέχεια έπεται η μέθοδος της προσθήκης τοιχωμάτων κατ' επέκταση υφισταμένων υποστυλωμάτων της κατασκευής.
- Αν ο κύριος επιδιωκόμενος στόχος είναι η αύξηση της πλαστιμότητας της κατασκευής, τότε η πλέον αποτελεσματική μέθοδος είναι η κατασκευή μανδύων σε ένα πλήθος επιλεγμένων υποστυλωμάτων της κατασκευής, και ακολουθεί η μέθοδος της προσθήκης τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστυλωμάτων.

- Αν ο επιδιωκόμενος στόχος είναι η σύγχρονη αύξηση αντοχής, δυσκαμψίας και πλαστιμότητας της κατασκευής τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε από τις μεθόδους αντισεισμικής ενίσχυσης που ήδη έχουν αναφερθεί και η επιλογή της ειδικότερης τεχνικής θα γίνει λαμβάνοντας υπόψη τον επιθυμητό βαθμό αύξησης του μεγέθους καθενός από τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Στην περίπτωση που η απαιτούμενες αυξήσεις είναι ιδιαίτερα υψηλές και για τα τρία χαρακτηριστικά, η λύση πιθανότατα θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει και την προσθήκη νέων κατακόρυφων στοιχείων.

Τέλος πρέπει να επισημανθεί ότι συχνά είναι σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί ένας συνδυασμός μεθόδων ή επί μέρους τεχνικών έτσι ώστε να προκύψει η βέλτιστη τεχνοοικονομική λύση.

Στο **Σχήμα 5.43** παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα από πειραματικές έρευνες που έγιναν στην Ιαπωνία και αφορούν μία σειρά από μεθόδους και τεχνικές που διερευνήθηκαν για την ενίσχυση δίστηλων πλαισίων από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Συγκριτικά αποτελέσματα από πειραματικές έρευνες διαφορετικών ερευνητών για διάφορες μεθόδους αντισεισμικής ενίσχυσης πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος, με προσθήκη νέων στοιχείων εντός των πλαισίων, παρουσιάζονται στον **Πίνακα 1.2** Εύκολα μπορεί να παρατηρηθεί ότι μεγάλες αυξήσεις αντοχής και δυσκαμψίας συνοδεύονται συνήθως από μικρές ανελαστικές παραμορφώσεις της κατασκευής, και το αντίστροφο ισχύει για μικρές αυξήσεις αντοχής.



Σχήμα 5.43 Αποτελεσματικότητα διάφορων μεθόδων ενίσχυσης

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ	Αντοχή		Δυσκαμψία		Πλαστιμότητα	
	$V_u'/V_{u,m}$	$V_u'/V_{u,f}$	K'/K_m	K'/K_f	μ'/μ_m	μ'/μ_f
Τοιχώματα από έγχυτο σκυρόδεμα	0.50~1.0	3.5~5.5	0.75~1.0	12.5~25.5	0.85~0.95	0.90
Προκατασκ.. τοιχώματα	0.20~0.80	1.20~4.20	0.15~0.85	3.5~20.5	0.70~3.95	0.70~3.80
Οπλισμένη τοιχοποιία	0.60	3.50	0.35	7.30	0.50	–
Μεταλλικά πλαίσια και δικτυώματα	0.35~0.65	1.70~3.70	0.05~0.30	1.60~6.50	0.50~4.35	1.45~4.25

Πίνακας 1.2 Ενίσχυση πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος

Όπου :

V_u' , K' και μ' είναι αντιστοίχως η τέμνουσα αντοχής, η ελαστική δυσκαμψία και η πλαστιμότητα του ενισχυμένου πλαισίου.

V_u , K και μ είναι αντιστοίχως η τέμνουσα αντοχής, η ελαστική δυσκαμψία και η πλαστιμότητα των πλαισίων αναφοράς.

Ο δείκτης f υποδηλώνει το αρχικό πλαίσιο.

Ο δείκτης m υποδηλώνει ένα πλαίσιο αναφοράς όπου το τοίχωμα έχει σκυροδετηθεί συγχρόνως (δηλαδή έχει μονολιθική σύνδεση) με το πλαίσιο.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, μπορούμε να διακρίνουμε έξι κύριες μεθόδους συνολικής ενίσχυσης μιας κατασκευής:

- Κατασκευή τοιχωμάτων εντός πλαισίων.
- Προσθήκη δικτυωτών συστημάτων εντός πλαισίων.
- Κατασκευή πλευρικών τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστυλωμάτων.
- Κατασκευή μανδύων σε κατακόρυφα στοιχεία της κατασκευής.
- Προσθήκη νέων κατακόρυφων στοιχείων στην κατασκευή.
- Ενσωμάτωση στην κατασκευή συστημάτων απορρόφησης ενέργειας (σεισμική μόνωση).

Στην συνέχεια αναπτύσσονται οι τεχνικές και οι διαδικασίες εφαρμογής των τριών πρώτων μεθόδων. Η τέταρτη μέθοδος, που αφορά τους μανδύες, είναι η συνήθης μέθοδος ενίσχυσης μεμονωμένων υποστυλωμάτων ή τοιχωμάτων και για το λόγο αυτόν η ανάπτυξη του σχετικού αντικείμενου δεν επαναλαμβάνονται εδώ.

Οι δύο τελευταίες μέθοδοι, δημιουργούν ισχυρότατη μεταβολή του στατικού συστήματος της , κατασκευής και δεν αποτελούν συνήθεις επιλογές στην πράξη. Εφαρμόζονται σε ειδικές περιπτώσεις και δεν θα αναπτυχθούν περαιτέρω.

5.1.6.1 Κατασκευή τοιχωμάτων εντός πλαισίων

Η προσθήκη νέων τοιχωμάτων εντός υφισταμένων πλαισίων της κατασκευής θεωρείται η πλέον αποτελεσματική μέθοδος για την αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας του φορέα. Η μέθοδος εφαρμόζεται επίσης για να διορθωθούν σφάλματα σχεδιασμού που σχετίζονται με την μόρφωση του φορέα και ειδικότερα όταν διαπιστώνεται ασυμμετρία κατανομής δυσκαμψίας καθ' ύψος ή εκκεντρότητες δυσκαμψίας σε κάτοψη.

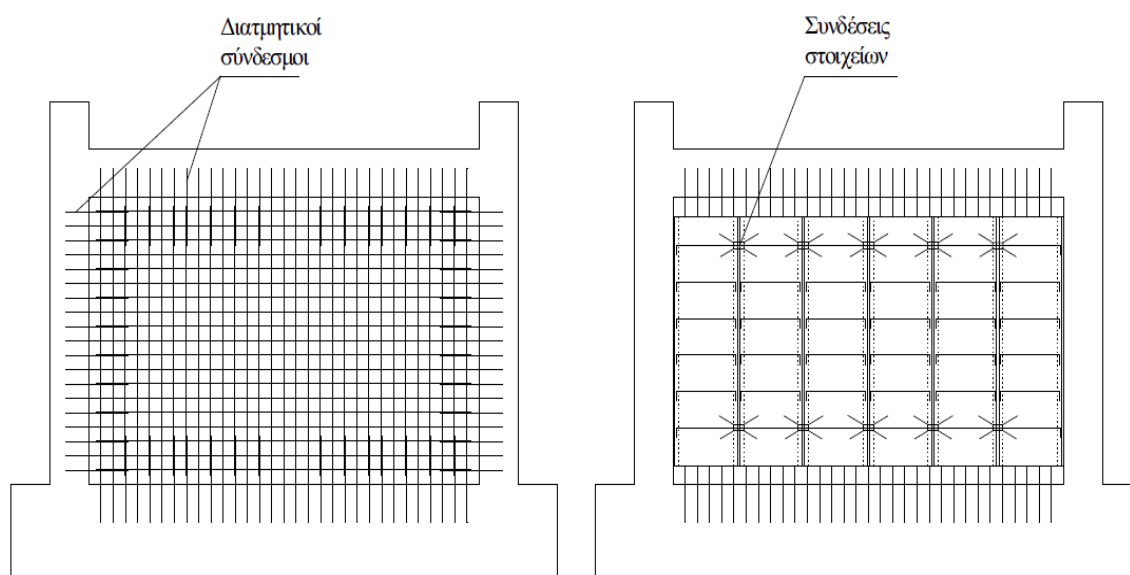
Είναι προφανές ότι ο καθορισμός του απαραίτητου πλήθους και της σωστής θέσης των τοιχωμάτων αποτελεί κρίσιμο στοιχείο αποτελεσματικότητας της μεθόδου. Στη μόρφωση του νέου φορέα, λαμβάνονται οπωσδήποτε υπόψη οι περιορισμοί που προβλέπονται στον αντισεισμικό κανονισμό για την αποφυγή απότομης μεταβολής της δυσκαμψίας καθ' ύψος της κατασκευής.

Οι τεχνικές προσθήκης τοιχωμάτων, που χρησιμοποιούνται σήμερα στην πράξη μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο του τοιχώματος που χρησιμοποιείται:

- Τοιχώματα από σκυρόδεμα κατασκευαζόμενα στον τόπο του έργου.
- Προκατασκευασμένα τοιχώματα (panels).
- Τοιχοποιία από συμπαγείς οπτόπλινθους ή τσιμεντοπλίνθους.

1.Τοιχώματα από έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

Τοιχώματα από έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατασκευάζονται σε κατάλληλα επιλεγμένα πλαίσια του φέροντος οργανισμού της κατασκευής και συνδέονται κατά μήκος της περιμέτρου τους με τα υπάρχοντα υποστυλώματα και τις δοκούς (**Σχήμα 5.44**)



Σχήμα 5.44 Τεχνικές κατασκευής τοιχωμάτων εντός πλαισίων

- α) Με έγχυτο σκυρόδεμα και περιμετρική σύνδεση
- β) Με προκατασκευασμένα τοιχώματα χωρίς πλευρική σύνδεση

Στις περιπτώσεις που επιδιώκεται μία περισσότερο πλάσטיμη συμπεριφορά της κατασκευής, η σύνδεση γίνεται μόνο στις δοκούς, δηλαδή στο πάνω και κάτω

μέρος του τοιχώματος, ενώ στα πλάγια, μεταξύ του τοιχώματος και των υποστυλωμάτων δεν γίνεται σύνδεση και αφήνεται ένα μικρό κενό.

Η θεμελίωση των νέων τοιχωμάτων συνδέεται πάντοτε με την υπάρχουσα θεμελίωση, ακόμα και στην περίπτωση που τα τοιχώματα δεν συνδέονται με τα υποστυλώματα του πλαισίου.

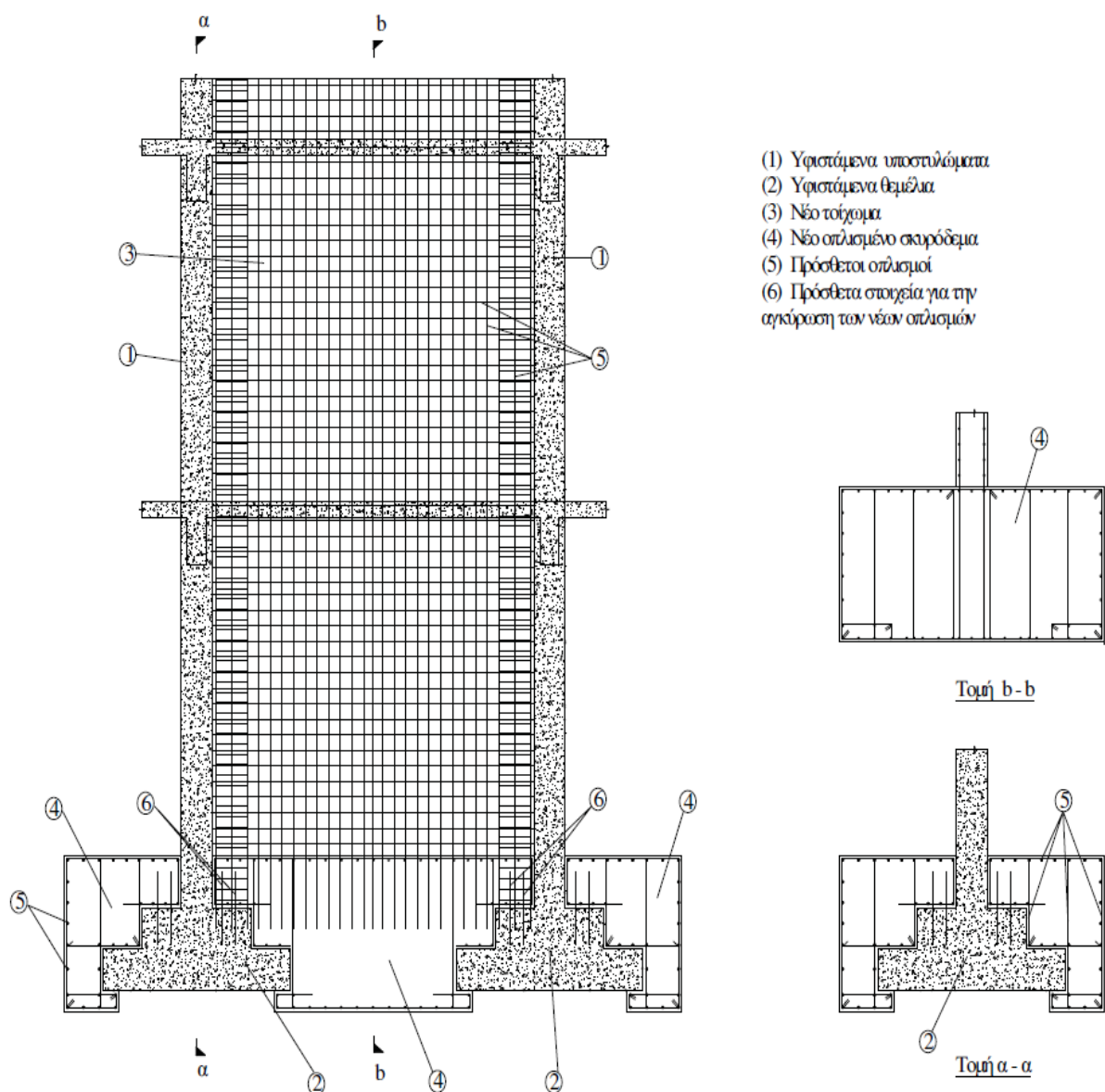
Στο **Σχήμα 5.45** παρουσιάζονται, από τη βιβλιογραφία, οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες της θεμελίωσης από μία εφαρμογή της μεθόδου. Είναι άξιο προσοχής ότι στη συνήθη περίπτωση σύνδεσης των νέων τοιχωμάτων με τα υποστυλώματα, τα τελευταία αποτελούν πλέον τα άκρα ενός νέου τοιχώματος όπου προφανώς αναμένεται ιδιαίτερα αυξημένη ένταση. Ως εκ τούτου τις περισσότερες φορές τα άκρα του νέου τοιχώματος επεκτείνονται σε ένα μανδύα γύρω από τα υποστυλώματα, ενισχύοντας έτσι και αυτήν την περιοχή.

Κρίσιμο σημείο εφαρμογής της μεθόδου είναι η εξασφάλιση της μεταφοράς των οριζοντίων δράσεων στα νέα τοιχώματα. Απαιτείται δηλαδή έλεγχος στις στάθμες των ορόφων ότι οι δοκοί που συντρέχουν στο τοίχωμα (**με διεύθυνση τον ισχυρό άξονα του τοιχώματος**) έχουν επαρκή διαμήκη οπλισμό για την μεταφορά των οριζοντίων δράσεων του ορόφου. Αν ο οπλισμός αυτός είναι ανεπαρκής η ενίσχυση περιλαμβάνει και την προσθήκη νέων οριζοντίων στοιχείων σύνδεσης. Ένας τρόπος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί γι' αυτήν τη σύνδεση είναι ο εξής:

Αρχικά νέες οριζόντιες διαμήκεις ράβδοι οπλισμού αγκυρώνονται στο νέο τοίχωμα στις στάθμες των ορόφων με διεύθυνση τον ισχυρό άξονα του τοιχώματος. Στη συνέχεια οι οπλισμοί αυτοί συγκολλούνται επάνω σε ισχυρές μεταλλικές πλάκες που έχουν αγκυρωθεί πάνω στις δοκούς, που συντρέχουν στο τοίχωμα και έχουν την ίδια ως άνω διεύθυνση.

Τελικά οι οπλισμοί καλύπτονται με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μετά από κατάλληλη προεργασία (**εκτράχυνση και καθαρισμό**) της επιφάνειας της δοκού. Ειδικά μέτρα λαμβάνονται πάντοτε για την εξασφάλιση της συνέχειας στις διεπιφάνειες παλαιού και νέου σκυροδέματος με κατάλληλους διατμητικούς συνδέσμους. Συνήθως χρησιμοποιούνται μηχανικά ή χημικά χαλύβδινα βλήτρα αφού προηγουμένως εκτραχυνθεί και καθαριστεί η επιφάνεια των παλαιών στοιχείων.

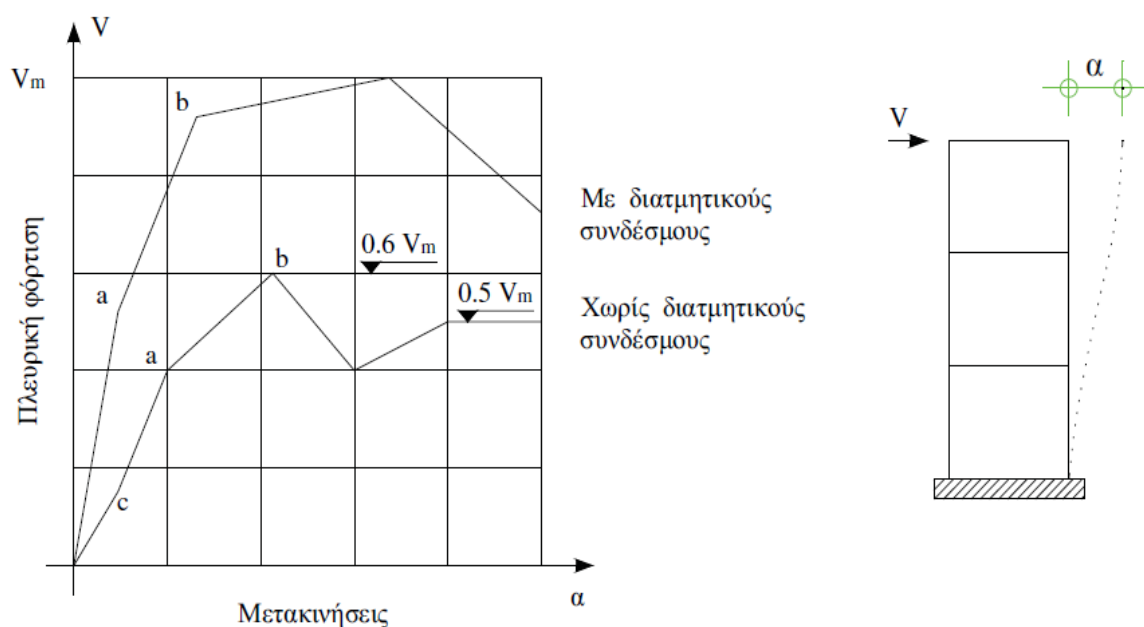
Ο έλεγχος που γίνεται στις διεπιφάνειες πρέπει να εξασφαλίζει ότι η διατμητική ένταση που αναπτύσσεται σ' αυτές τις διατομές μπορεί να αναληφθεί μέσω των μηχανισμών ανάληψης φορτίου που θα αναπτύξει η σύνδεση. Η εκτίμηση του διατμητικού φορτίου της διεπιφάνειας συνήθως γίνεται θεωρώντας μονολιθική σύνδεση του νέου τοιχώματος με το πλαίσιο, δηλαδή αγνοείται η ολίσθηση μεταξύ των δύο στοιχείων.



Σχήμα 5.45 Παράδειγμα θεμελίωσης νέου τοιχώματος εντός υφιστάμενου πλαισίου

Από μία εκτεταμένη θεωρητική και πειραματική, ερευνά για το θέμα έχουν προκύψει τα παρακάτω χρήσιμα συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητα των διατμητικών συνδέσμων στη σύνδεση τοιχωμάτων και περιμετρικών πλαισίων.

- Η αντοχή και η δυσκαμψία των τοιχοπληρωμένων πλαισίων είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται διατμητικοί σύνδεσμοι. Στο **Σχήμα 5.46** παρουσιάζονται αποτελέσματα που επιβεβαιώνουν την παραπάνω παρατήρηση.
- Η συγκέντρωση τάσεων στις γωνίες ως και οι καμπτικές ροπές και οι διατμητικές δυνάμεις των μελών των περιμετρικών πλαισίων, είναι μικρότερες στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται διατμητικοί σύνδεσμοι.
- Η ύπαρξη ανοιγμάτων στα τοιχοπληρωμένα πλαίσια μειώνει δραστικά την αποτελεσματικότητα της μεθόδου όταν δεν χρησιμοποιούνται διατμητικοί σύνδεσμοι. Η αντοχή και η δυσκαμψία που επιτυγχάνεται είναι ιδιαίτερα μικρές συγκρινόμενες με αυτές του αντίστοιχου μονολιθικού τοιχώματος. Αντιθέτως, όταν χρησιμοποιούνται διατμητικοί σύνδεσμοι, η ύπαρξη των ανοιγμάτων έχει μικρή επίδραση στην μείωση της αντοχής και της δυσκαμψίας και είναι ανάλογη με αυτή που παρατηρείται στην αντίστοιχη περίπτωση για μονολιθικά τοιχώματα.



Σχήμα 5.46 Αποτελεσματικότητα διατμητικών συνδέσμων στην σύνδεση νέων τοιχωμάτων με τα υπάρχοντα πλαίσια

Δύο προβλήματα που αφορούν τη σύνδεση των τοιχωμάτων με τα περιβάλλοντα πλαίσια απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή :

- Το πρώτο πρόβλημα οφείλεται στα αποτελέσματα της συστολής ξήρανσης του νέου σκυροδέματος, και εκδηλώνεται με ρηγμάτωση της διεπιφάνειας, εκεί όπου το υψηλότερο τμήμα του τοιχώματος εφάπτεται στον πυθμένα της δοκού του πλαισίου. Εδώ η συστολή ξήρανσης αντιμετωπίζεται συνήθως με σκυρόδεμα ειδικής σύνθεσης, όπου έχουν χρησιμοποιηθεί ειδικά πρόσμικτα. Εναλλακτικά, πολλές φορές το τοίχωμα σκυροδετείται μέχρι ύψος 20cm περίπου χαμηλότερα από τον πυθμένα της δοκού και μετά πάροδο ικανού χρόνου από την ημέρα σκυροδέτησης, συμπληρώνεται το υπόλοιπο (δηλαδή το τμήμα του τοιχώματος κοντά στον πυθμένα της δοκού) με εποξειδικό ή πολυεστερικό κονίαμα. Μερικές φορές ανάλογα με τις ειδικές συνθήκες του έργου το τοίχωμα μπορεί να σκυροδετηθεί μέχρι ύψος 5-7 mm χαμηλότερα από τον πυθμένα της δοκού, οπότε πλέον το κενό συμπληρώνεται με ρητινοειδή κόλλα χρησιμοποιώντας την τεχνική των ρητινενέσεων.
- Το δεύτερο πρόβλημα αφορά μόνο την περίπτωση των έγχυτων τοιχωμάτων και ειδικότερα την δυσκολία σκυροδέτησης του υψηλότερου τμήματος του τοιχώματος λόγω ανεπαρκούς πρόσβασης από την κορυφή. Γι' αυτό η χρήση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, αποτελεί έναν πρόσθετο λόγο προτίμησης.

Μερικές φορές η ενίσχυση με πρόσθετα τοιχώματα μπορεί να γίνει **εξωτερικά του φορέα**. Συχνά αυτό οφείλεται σε λειτουργικούς λόγους, όπως π.χ. σε περιπτώσεις που στα επιλεγμένα πλαίσια του φορέα προϋπάρχουν τοιχοπληρώσεις των οποίων η διατήρηση κρίνεται απαραίτητη. Όμως σ' αυτήν την περίπτωση απαιτούνται πρόσθετα μέτρα εξασφάλισης της μεταφοράς δυνάμεων μεταξύ των νέων τοιχωμάτων και του υφισταμένου φορέα. Επίσης, στην περίπτωση που απαιτείται η διατήρηση των τοιχοπληρώσεων η ενίσχυση μπορεί να γίνει με την μορφή μονόπλευρων ή αμφίπλευρων μανδυών από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αποφεύγοντας έτσι τη χρήση ξυλοτύπου.

2. Προκατασκευασμένα τοιχώματα (panels)

Η τεχνική της προσθήκης προκατασκευασμένων τοιχωμάτων (panels) εντός πλαισίων της κατασκευής έχει αρκετά κατασκευαστικά πλεονεκτήματα και είναι οικονομικότερη λύση συγκρινόμενη με αυτήν της προσθήκης νέων τοιχωμάτων από έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Όμως η προσφορά τους στην συνολική δυσκαμψία και αντοχή του φορέα είναι μικρότερη όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο **Σχήμα 5.43** και τον **Πίνακα 1.2**.

Η τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλυφθεί το σύνολο του ανοίγματος του πλαισίου ή τμήμα του. Τα προκατασκευασμένα στοιχεία μπορεί να συνδέονται μεταξύ τους και με τα υποστυλώματα του πλαισίου ή όχι (**Σχήμα 5.42β**). Η σύνδεση με το περιβάλλον πλαίσιο γίνεται με ειδικές τεχνικές αγκύρωσης, που επιδρούν σημαντικά στην αποτελεσματικότητα της τεχνικής. Πολλές φορές πάντως, όταν επιδιώκεται μία περισσότερο πλάστιμη συμπεριφορά του φορέα, η σύνδεση γίνεται μόνο με τις δοκούς και δεν υπάρχει επαφή με τα υποστυλώματα.

Τα προκατασκευασμένα τοιχώματα μπορεί να είναι είτε **συμπαγή από οπλισμένο σκυρόδεμα** είτε **τύπου "σάντουιτς"** με εξωτερικούς φλοιούς από οπλισμένο σκυρόδεμα ή ενισχυμένα μεταλλικά φύλλα, και εσωτερικό γέμισμα είναι κάποιο υλικό με μονωτικές ιδιότητες. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται εξωτερικά μεταλλικά φύλλα, απαιτείται ιδιαίτερη μέριμνα για προστασία από οξείδωση και φωτιά.

3. Τοιχώματα από οπλισμένη ή άοπλη τοιχοποιία

Η χρησιμοποίηση οπλισμένης ή άοπλης τοιχοποιίας από συμπαγή τούβλα ή τσιμεντοπλίνθους επαρκούς αντοχής, είναι μία δημοφιλής πρακτική λιγότερο αποτελεσματική αλλά αρκετά οικονομική που συμβάλλει σημαντικά στην κατανάλωση της σεισμικής ενέργειας που εισάγεται στην κατασκευή. Στην περίπτωση της οπλισμένης τοιχοποιίας, οι οπλισμοί αγκυρώνονται στο περιμετρικό πλαίσιο με ειδικές κόλλες αγκύρωσης ή με ειδικά αγκύρια και ηλεκτροσυγκόλληση των οπλισμών.

Βασικό μειονέκτημα της τεχνικής είναι ότι στην συνήθη αναλυτική εργασία ρουτίνας των μελετητών εφαρμογής, οι αβεβαιότητες των χαρακτηριστικών της τοιχοπλήρωσης καθώς επίσης και των χαρακτηριστικών της σύνδεσης στις διεπιφάνειες τοιχοπλήρωσης-πλαισίου δεν επιτρέπουν μία αξιόπιστη πρόβλεψη της συμπεριφοράς του φορέα στον ίδιο βαθμό αξιοπιστίας που ισχύει για τα αποτελέσματα της ανάλυσης στον γυμνό φορέα οπλισμένου σκυροδέματος.

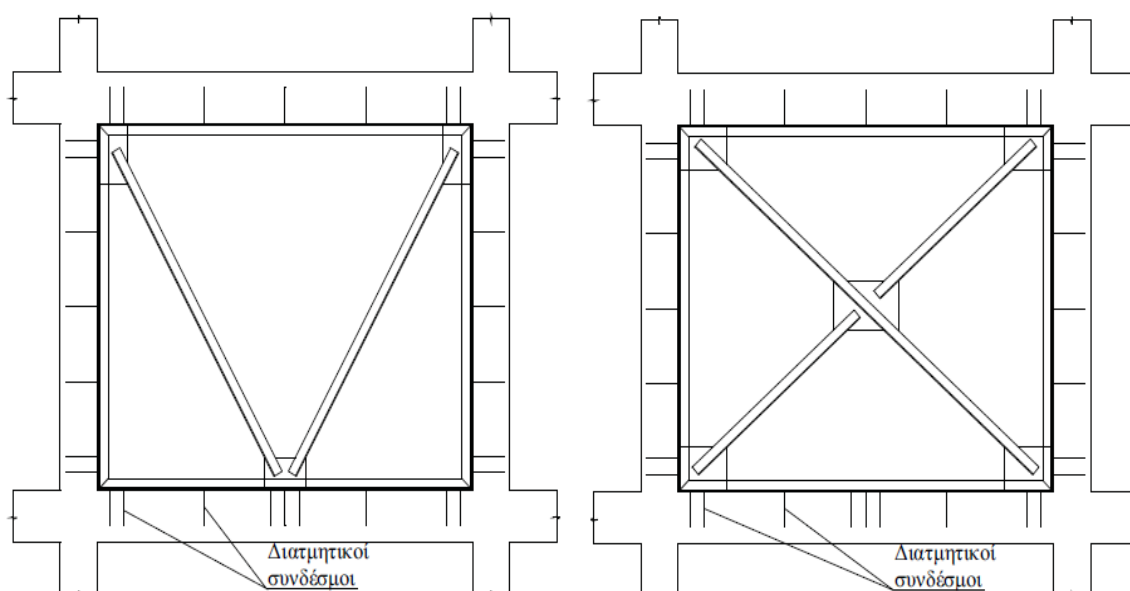
Ως εκ τούτου η χρησιμοποίηση της τεχνικής γίνεται στην πράξη με εμπειρικό τρόπο για να εξισορροπηθούν υφιστάμενες έντονες ασυμμετρίες κατανομής των τοιχοπληρώσεων ή και άλλων δύσκαμπτων στοιχείων της κατασκευής όπως π.χ. κλιμακοστασίων, σε κάτοψη ή καθ' ύψος της κατασκευής.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι είναι μειονέκτημα της τεχνικής το μεγάλο ίδιο βάρος της τοιχοποιίας, που όμως στις περιπτώσεις ισογείων μαλακών ορόφων, όπου αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται συχνότερα, αντιμετωπίζεται χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα.

5.1.6.2 Προσθήκη δικτυωτών συστημάτων εντός πλαισίων

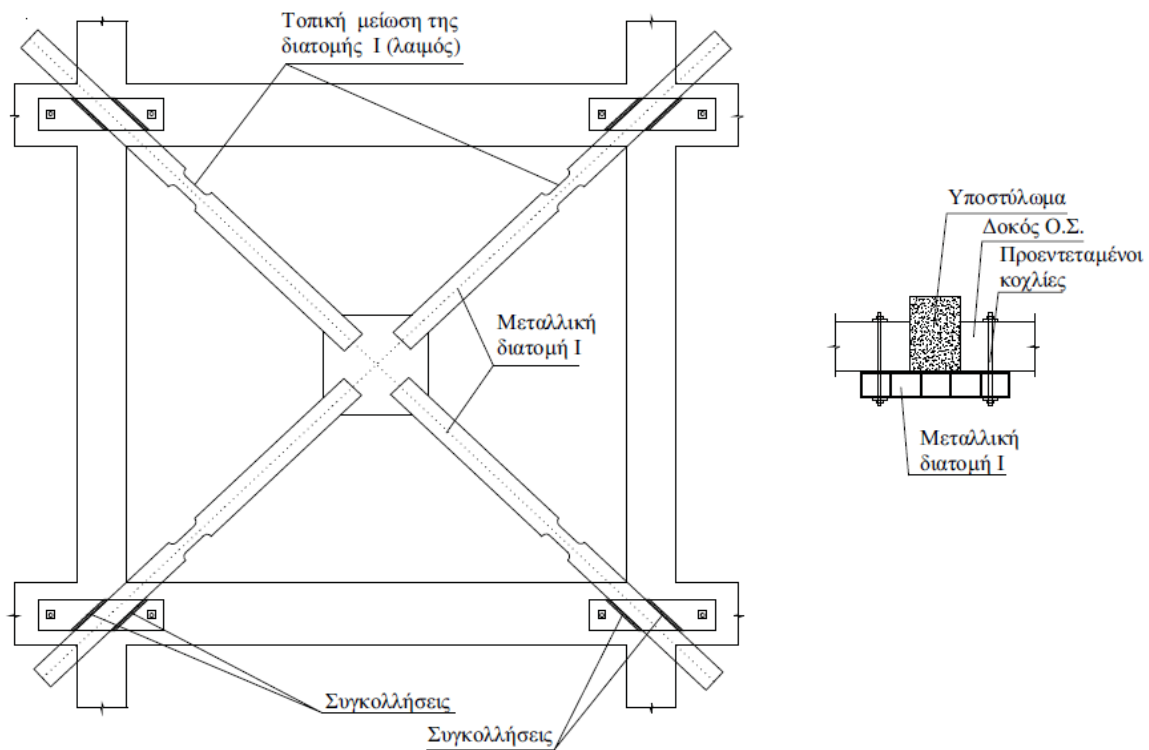
Η μέθοδος της κατασκευής δικτυωτών συστημάτων εντός των πλαισίων του φέροντος οργανισμού μίας κατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος μπορεί να προσφέρει ιδιαίτερα σημαντική αύξηση στην αντοχή και στη δυσκαμψία της κατασκευής ενώ συγχρόνως μπορεί να συνεισφέρει και στην πλαστιμότητα της (βλ. **Σχήμα 5.43**). Τα συστήματα αυτά συνήθως είναι μεταλλικά και σπανίως είναι από οπλισμένο σκυροδέμα. Ως εκ τούτου η ανάπτυξη που ακολουθεί αφορά την πρώτη περίπτωση. Εξάλλου η δυνατότητα ανελαστικής παραμόρφωσης των μεταλλικών στοιχείων προσφέρει ένα σημαντικό παράγοντα απορρόφησης σεισμικής ενέργειας.

Χρησιμοποιείται με παρόμοιο τρόπο όπως στις μεταλλικές κατασκευές και εφαρμόζεται εύκολα σε βιομηχανικούς χώρους και σε ισόγειους μαλακούς ορόφους κτιρίων. Έχει το πλεονέκτημα του μικρού ίδιου βάρους και της ταχύτητας κατασκευής ενώ δεν εμποδίζεται ο φωτισμός των χώρων. Πολλές φορές η εφαρμογή γίνεται εξωτερικά των πλαισιωμάτων της κατασκευής για κατασκευαστική διευκόλυνση, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που προϋπάρχουν τοιχοπληρώσεις εντός των πλαισίων. Διάφορες διατάξεις δικτυωμάτων έχουν χρησιμοποιηθεί στην πράξη όπως π.χ. με σχήμα Κ, ρόμβου ή χιαστί διαγωνίων που είναι και η πλέον συνήθης διάταξη (**Σχήμα 5.47**).



Σχήμα 5.47 Μεταλλικά δικτυώματα εντός πλαισίων

Σε μερικές περιπτώσεις η επαφή στον φέροντα οργανισμό της κατασκευής γίνεται με συνεχή σύνδεση ενός μεταλλικού πλαισίου, πάνω στο οποίο συνδέονται οι ράβδοι του δικτυώματος (**Σχήμα 5.47**). Σε άλλες περιπτώσεις οι ράβδοι του δικτυώματος προσαρμόζονται με ειδικές διατάξεις, απευθείας επάνω στον φέροντα οργανισμό (**Σχήμα 5.48**).



Σχήμα 5.48 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες σύνδεσης μεταλλικών δικτυωμάτων

Κρίσιμα σημεία εφαρμογής της μεθόδου είναι :

- Οι κατασκευαστικές διατάξεις σύνδεσης των μεταλλικών στοιχείων με τον φέροντα οργανισμό της κατασκευής. Στο **Σχήμα 5.47** απεικονίζονται σχετικές διατάξεις.
- Ο λυγισμός των μεταλλικών ράβδων των δικτυωμάτων. Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα μίας πειραματικής διερεύνησης της μεθόδου για ανακυκλιζόμενες δράσεις, ο λυγισμός των ράβδων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα αποτελεσματικότητας της μεθόδου. Στην περίπτωση χιαστί διαγωνίων μπορούν να θεωρηθούν συνθήκες αμφίπακτου στύλου. Για την μείωση των κινδύνων λυγισμού των μεταλλικών ράβδων, στην περίπτωση των χιαστί διαγωνίων, έχει προταθεί ένα τοπικό "αδυνάτισμα" της διατομής κοντά στα σημεία σύνδεσης με τα πλαίσια (**Σχήμα 5.48**), που μειώνει τον κίνδυνο λυγισμού από εκκεντρότητες φορτίου.
- Η ανακατανομή της έντασης στον φορέα. Νέα εντατικά μεγέθη εισάγονται πλέον στον φορέα ιδιαίτερα στα στοιχεία του περιβάλλοντος πλαισίου. Επαρκής αντοχή των κόμβων (δοκών-υποστυλωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος) είναι απαραίτητη, επειδή αποτελούν τις περιοχές αλληλεπίδρασης του παλαιού φορέα με τα νέα στοιχεία. Πιθανή ανεπάρκεια των κόμβων συνεπάγεται την τροποποίηση της κατασκευαστικής διάταξης σύνδεσης των μεταλλικών στοιχείων στον φέροντα οργανισμό της κατασκευής, έτσι ώστε να περιλαμβάνονται στην ενίσχυση και οι κόμβοι.

5.1.6.3 Κατασκευή πλευρικών τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστυλωμάτων

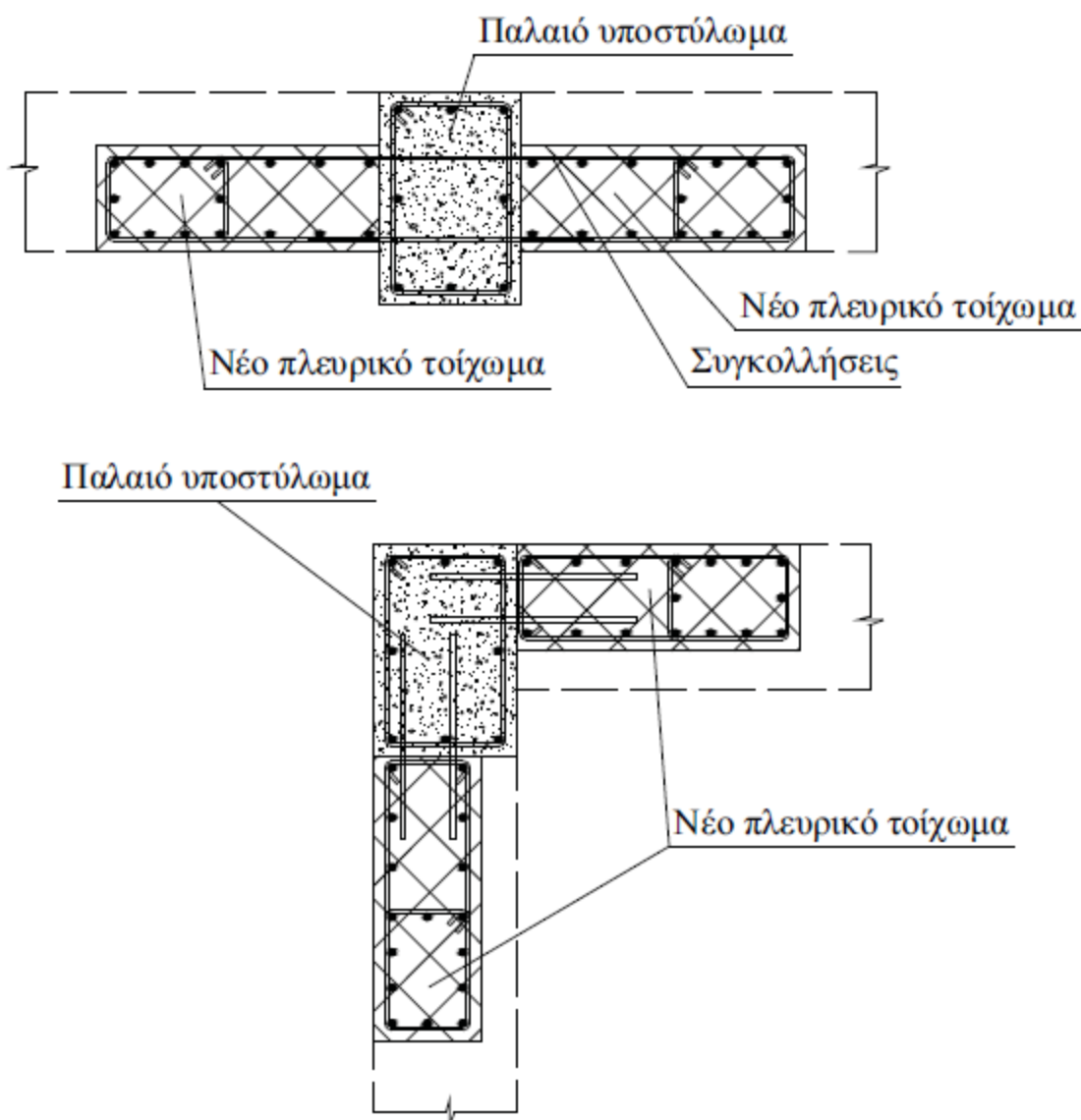
Η προσθήκη τοιχωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος σε συνέχεια και σύνδεση με τα υπάρχοντα υποστυλώματα της κατασκευής, αποτελεί μία αποτελεσματική μέθοδο αύξησης της πλαστιμότητας της κατασκευής με παράλληλη μέτρια αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας της (**Σχήμα 5.43**). Εφαρμόζεται σε κατάλληλα επιλεγμένες θέσεις του φορέα συνδυαζόμενη συνήθως με την ενίσχυση μεμονωμένων υποστυλωμάτων που έχουν ανεπαρκή αντοχή ή/και πλαστιμότητα.

Η προσθήκη του τοιχώματος γίνεται προς την επιδιωκόμενη διεύθυνση αύξησης της αντίστασης της κατασκευής. Πολλές φορές σε γωνιακά υποστυλώματα, γίνεται προσθήκη τοιχωμάτων σε δυο διευθύνσεις (**Σχήμα 5.49**). Τα τοιχώματα κατασκευάζονται συνήθως από έγχυτο σκυρόδεμα ή μπορούν να χρησιμοποιηθούν και προκατασκευασμένα στοιχεία. Σκόπιμο είναι να προηγηθεί αποφόρτιση και υποστύλωση πλακών και δοκών, έτσι ώστε, μετά την επέμβαση, τα νέα στοιχεία να παραλάβουν μέρος των κατακόρυφων φορτίων.

Η μέθοδος αυτή έχει τύχει ευρείας εφαρμογής στην Ελλάδα, κυρίως επειδή δεν απαιτεί ιδιαίτερα εξειδικευμένο προσωπικό. Επιπλέον οι αβεβαιότητες των μοντέλων ανάλυσης είναι πολύ μικρότερες απ' ό,τι στις μεθόδους που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες υποενότητες, του παρόντος κεφαλαίου.

Κρίσιμα σημεία εφαρμογής της μεθόδου είναι η σύνδεση των παλαιών και των νέων στοιχείων και η ανακατανομή της έντασης στην γειτονία της επέμβασης. Ειδικότερα:

- Η σύνδεση των παλαιών και των νέων στοιχείων γίνεται μετά από εκτράχυνση της επιφανείας επαφής των παλαιών στοιχείων και χρήση διατμητικών συνδέσμων όπως αυτά αναλυτικότερα αναφέρθηκαν προηγουμένως στην μέθοδο κατασκευής τοιχωμάτων εντός πλαισίων. Εξάλλου προβλήματα όπως τα σχετιζόμενα με την συστολή ξήρανσης του νέου σκυροδέματος και την δυσκολία σκυροδέτησης αντιμετωπίζονται με τους ίδιους τρόπους που ήδη αναφέρθηκαν στην παραπάνω περίπτωση (**τοιχώματα εντός πλαισίων**).
- Πέραν από το γενικότερο θέμα της ανακατανομής της έντασης στο σύνολο του φορέα, αξίζει ιδιαίτερη προσοχή η περιοχή σύνδεσης των νέων στοιχείων με τις γειτονικές δοκούς. Η καμπτική ένταση στις δημιουργούμενες νέες παρειές στήριξης των δοκών είναι πολύ υψηλότερη από την προηγούμενη (πριν την επέμβαση). Ως εκ τούτου είναι απαραίτητη επαρκής αντοχή ή πλαστιμότητα της περιοχής για την αντιμετώπιση της έντασης.



Σχήμα 5.49 Προσθήκη τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστυλωμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

6. ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΠΛΗΡΩΣΕΩΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

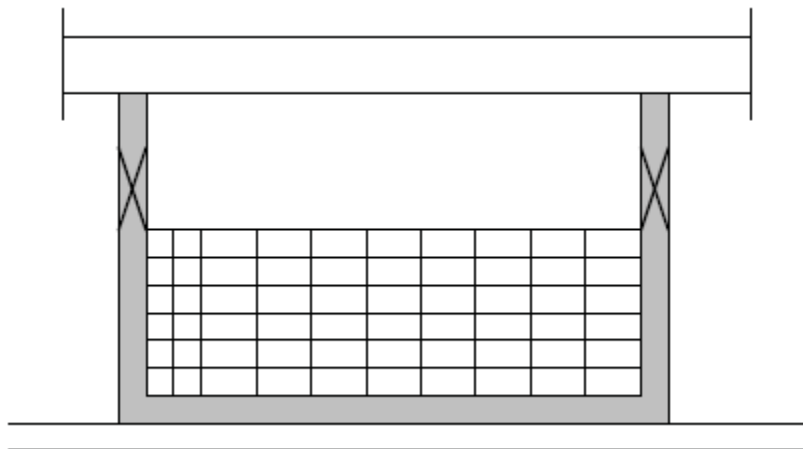
6.1 Αλληλεπίδραση φέροντος οργανισμού και τοιχοπληρώσεων-στοιχεία κανονισμών

Στην Ελλάδα δεν εφαρμόζονται με συστηματικό τρόπο προδιαγραφές τοιχοπληρώσεων, αλλά και των συνιστώντων στοιχείων (κονίαμα, πλίνθοι, τσιμεντόλιθοι). Οι πλίνθοι και οι τσιμεντόλιθοι είναι βιομηχανικό προϊόν και θεωρούνται ως δομικά στοιχεία ότι καλύπτουν τις ελάχιστες απαιτούμενες αντοχές. Είναι γνωστό ότι τόσο κατά την διάρκεια της κατασκευής, όσο και κατά την χρήση γίνονται εκτεταμένες μετατροπές των τοιχοπληρώσεων, κάτι που έχει δυσμενή επίπτωση σε περίπτωση σεισμικής καταπόνησης, εφόσον ο μελετητής Μηχανικός έχει κάνει σωστή διάταξη των τοιχοπληρώσεων κατά την μελέτη του κτιρίου.

Η τοιχοποιία έχει γενικά ψαθυρό χαρακτήρα που εάν συνδυασθεί και με τον κυκλικό χαρακτήρα της σεισμικής καταπόνησης, τότε η αξιοπιστία της για συνυπολογισμό στην ανάληψη σεισμικών φορτίσεων είναι γενικά μειωμένη. Αυτό

δεν σημαίνει ότι οι τοιχοποιίες πράγματι σε ισχυρούς σεισμούς δεν παίζουν καθοριστικό ρόλο, με το να συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στη διάσωση πολλών κατασκευών. Όταν μάλιστα εμφανιστούν αστοχίες στο φέροντα οργανισμό, τότε οι τοιχοποιίες ενεργούν ως δεύτερη γραμμή άμυνας για να μην καταρρεύσει το κτίριο. Βέβαια αυτό είναι χρήσιμο για ισχυρούς σεισμούς μικρής διάρκειας, επειδή οι περισσότεροι κύκλοι φόρτισης αποδιοργανώνουν την τοιχοποιία, λόγω του ψαθυρού της χαρακτήρα.

Έτσι τόσο ο Ελληνικός Αντισεισμικός κανονισμός (NEAK)-EAK2000 όσο και οι διεθνείς κανονισμοί δεν λαμβάνουν υπόψη την τοιχοποιία στην ανάληψη σεισμικών δράσεων. Επιβάλλουν όμως να αντιμετωπισθούν οι ενδεχόμενες δυσμενείς επιδράσεις των τοιχοπληρώσεων στον φέροντα οργανισμό.



Σχήμα 6.1 Επικίνδυνη διακοπή τοιχοπλήρωσης καθ' ύψος

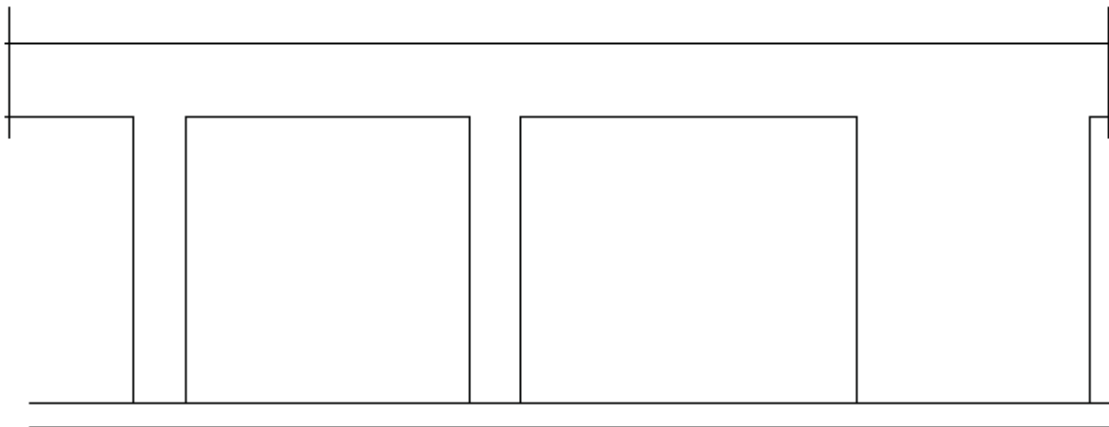
Οι τοιχοπληρώσεις είναι δυνατόν να διαθέτουν πολύ μεγάλη αρχική διατμητική ακαμψία που μπορεί να μεταβάλλει ριζικά την κατανομή των οριζόντιων σεισμικών δυνάμεων, σε σχέση με εκείνη που προκύπτει από θεώρηση γυμνού σκελετού, στα πρώτα στάδια της σεισμικής απόκρισης.

Η κατανομή αυτή μπορεί να εκτιμηθεί με κάποιο βαθμό αξιοπιστίας, αλλά αυτό δεν ωφελεί ιδιαίτερα, επειδή στο στάδιο αυτό η ανακουφιστική δράση της τοιχοπλήρωσης είναι έντονη, ώστε η καταπόνηση του σκελετού να είναι πολύ χαμηλή. Στα επόμενα στάδια απόκρισης σε μια ισχυρή σεισμική δράση, προκαλείται προοδευτική εξουδετέρωση της αντίστασης των έντονα καταπονούμενων στοιχείων της τοιχοπλήρωσης, που αρχίζει από τα ασθενέστερα και μπορεί να επεκταθεί στο σύνολο των στοιχείων ενός ορόφου. Η διαγώνια μορφή αστοχίας της τοιχοπλήρωσης πλεονεκτεί έναντι οριζόντιας.

Έτσι, προκαλούνται νέες μεταβολές της κατανομής των δυνάμεων, που είναι ιδιαίτερα έντονες στους ορόφους που υπόκεινται σε σημαντική διατμητική παραμόρφωση. Η φάση αυτή είναι η πιο επικίνδυνη, επειδή έχει μειωθεί σημαντικά η ανακουφιστική δράση των τοιχοπληρώσεων, ενώ μπορεί να προκαλείται έντονη παραμορφωτική επιρροή στην κατανομή των δυνάμεων. Συνέπεια της επιρροής αυτής των τοιχοπληρώσεων είναι η σημαντική αύξηση της αβεβαιότητας στην ελαστική και κυρίως στην μετελαστική συμπεριφορά του κτιρίου.

Μια από τις δυσμενέστερες περιπτώσεις είναι εκείνη της αφαίρεσης-των τοιχοπληρώσεων από ένα μόνο όροφο, (συνήθως στο ισόγειο), στον οποίο και περιορίζεται, στην συνέχεια η δημιουργία του ελαστοπλαστικού μηχανισμού του σκελετού, με συνέπεια την εμφάνιση μαλακού ορόφου. Στην περίπτωση αυτή, ο ικανοτικός υπολογισμός των υποστυλωμάτων (πρόβλεψη πλαστικών

αρθρώσεων στις δοκούς), όπως προδιαγράφεται στο ΝΕΑΚ και ΕΑΚ 2000, δεν εξασφαλίζει επαρκώς την αποφυγή δημιουργίας μαλακού ορόφου.



Σχήμα 6.2 Απουσία τοιχοπληρώσεων από το ισόγειο

Η πιθανότητα εμφάνισης τέτοιων φαινομένων είναι ιδιαίτερα μεγάλη, όταν ο οργανισμός πλήρωσης έχει εκ σχεδιασμού (ή είναι δυνατόν να αποκτήσει ύστερα από μετατροπές) ασυνέχεια σε ένα όροφο (PILOTIS ή καταστήματα χωρίς τοιχοπληρώσεις στο ισόγειο). Η επιλογή μικτού συστήματος τοιχωμάτων και πλαισίων, σύμφωνα με το ΝΕΑΚ και ΕΑΚ 2000 είναι σε αυτές τις περιπτώσεις το μοναδικό αξιόπιστο μέσο εξασφάλισης ικανοποιητικής μετελαστικής συμπεριφοράς.

Ο ρόλος της τοιχοποιίας περιγράφεται και στο κεφ. 4 του ΝΕΑΚ, παρ.4.1.7.1, όπου αναφέρεται ότι:

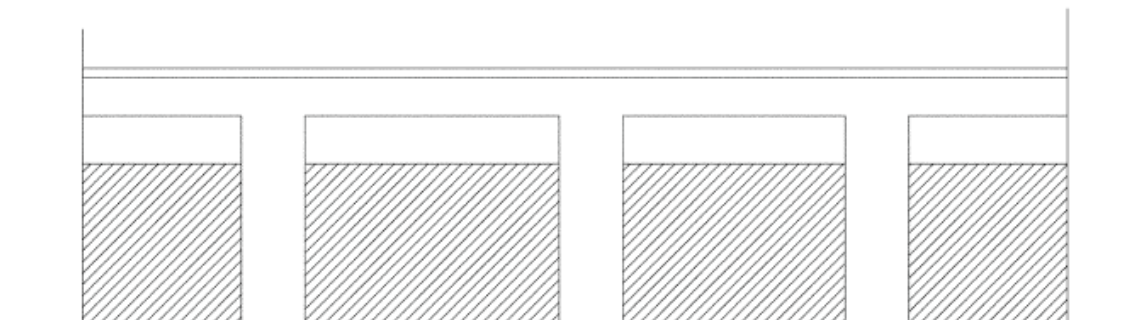
«Για την ελαχιστοποίηση των αβεβαιοτήτων στη μετελαστική αλληλεπίδραση του φέροντα οργανισμού με οργανισμό πλήρωσης που διαθέτει σημαντική ακαμψία, είναι σκόπιμη η επιλογή μικτού συστήματος πλαισίων και τοιχωμάτων σύμφωνα με το ΝΕΑΚ (κεφ. 4). Η επιλογή αυτή είναι υποχρεωτική σε κτίρια με 4 και πλέον ορόφους όταν ο οργανισμός πλήρωσης έχει εκ σχεδιασμού ή είναι δυνατό να αποκτήσει στο μέλλον, ασυνέχεια σε έναν όροφο (π.χ. Pilotis ή καταστήματα χωρίς τοιχοπληρώσεις στο ισόγειο)».

Στον όροφο που εμφανίζεται η ασυνέχεια και στις περιπτώσεις που επιτρέπεται να μην χρησιμοποιηθούν τοιχώματα η υπολογιστική σεισμική ένταση θα αυξάνεται κατά 50%. Επίσης ο κανονισμός συστήνει να υπάρχει συνεχής και κανονική (συμμετρική) κατανομή της μάζας και των τοιχοπληρώσεων κατά την διαμόρφωση τόσο καθ' ύψος όσο και κατά επιφάνεια ορόφου.

Ακόμη λόγω του ότι η διακοπή των τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος είναι δυνατό να προκαλέσει τη **δημιουργία κοντών υποστυλωμάτων**, τα οποία είναι πολύ δύσκολο να «επιβιώσουν» σε περίπτωση ισχυρού σεισμού, γι' αυτό ο αντισεισμικός κανονισμός συστήνει ότι πρέπει να αποφεύγεται η διακοπή καθ' ύψος των τοιχοπληρώσεων σε φανώματα μεταξύ υποστυλωμάτων κατά τρόπο που η διατμητική δράση των τοιχοπληρώσεων να δημιουργεί ενδιάμεση πλευρική αντιστήριξη του υποστυλώματος.

Σε περίπτωση που για αρχιτεκτονικούς λόγους αυτό είναι απαραίτητο τότε το υποστυλώμα υπολογίζεται με σεισμική ροπή διπλάσια από αυτή που προκύπτει από τη ανάλυση ή τις ικανοτικές απαιτήσεις, καθώς επίσης και ο σπλισμός πρέπει να διατηρείται σταθερός στο ύψος του ορόφου και να γίνεται περίσφιξη του υποστυλώματος σε μήκη **2b** εκατέρωθεν της διακοπής (**b = πλάτος υποστυλώματος**).

Ο προηγούμενος αντισεισμικός κανονισμός του 1985 θεωρούσε ότι ο κανόνας όπλισης του κρίσιμου μήκους με πυκνούς συνδετήρες ($\alpha < 10$ cm για ζώνες II, III) πρέπει να εφαρμόζεται σε όλο το μήκος του υποστυλώματος, όταν «δημιουργείται» κοντό υποστύλωμα.



Σχήμα 6.3 Δημιουργία κοντών υποστυλωμάτων λόγω διακοπής της τοιχοποιίας καθ' ύψος

Οι παραπάνω είναι μερικές από τις διατάξεις που διατυπώνονται σε σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς για να μειώσουν τις δυσμενείς επιδράσεις της τοιχοποιίας πάνω στο πλαίσιακό σύστημα απλό ή μικτό. Εφόσον οι επιδράσεις αυτές μηδενισθούν τότε οι τοιχοποιία ως οργανισμός πλήρωσης θα συμβάλλει θετικά στην συνολική αντίσταση του κτιρίου σε ισχυρό σεισμό.

Στην Ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία για σεισμικά συμβάντα αναφέρεται ότι, παρόλο που τα σεισμικά φορτία πολλές φορές υπερβαίνουν σημαντικά τους σεισμικούς συντελεστές των κανονισμών, όμως οι βλάβες των κατασκευών είναι σημαντικά μικρότερες από αυτές που αναμενόταν. Αυτό κυρίως οφείλεται στην ευνοϊκή επίδραση των τοιχοποιιών πλήρωσης του φέροντα οργανισμού, με τη σημαντική απόσβεση της κινητικής ενέργειας που επιτυγχάνεται.

6.2 Επίδραση της συμπεριφοράς της τοιχοπλήρωσης στη μορφή αστοχίας των πλαισίων

Είναι σήμερα κοινά αποδεκτό ότι τα στατικά και δυναμικά χαρακτηριστικά ενός πλαίσιακού φορέα αλλάζουν σημαντικά από την ύπαρξη των τοιχοποιιών πλήρωσης. Το γεγονός αυτό οδήγησε σε δυο λογικές σχεδιασμού των κατασκευών.

Η πρώτη απαιτεί τον αποχωρισμό της τοιχοποιίας από τον φέροντα οργανισμό ώστε η επίδραση των τοίχων στη συμπεριφορά της κατασκευής να είναι αμελητέα ενώ η δεύτερη θέλει την τοιχοποιία να έχει τέλεια σύνδεση με το φέροντα οργανισμό ώστε να μετέχει στην αντίσταση της κατασκευής στο σεισμό και να λαμβάνεται έμμεσα υπόψη στο σχεδιασμό και στον υπολογισμό των κτιρίων.

Η πρακτική απέδειξε ότι η δεύτερη λογική ήταν σωτήρια για πολλές περιπτώσεις ισχυρών σειμών για τον περιορισμό των καταρρεύσεων. Η συμπεριφορά της τοιχοποιίας σε σεισμικά φορτία καθορίζεται από πολλές παραμέτρους όπως η ανομοιογένεια, η ανισοτροπία των υλικών, οι διαφορετικές τοπικές συνθήκες κατασκευής, οι διαφορετικές πειραματικές διατάξεις κλπ.

Κατά κανόνα η ενίσχυση του τοίχου πλήρωσης επιτυγχάνεται είτε με αύξηση της αντοχής του είτε με αύξηση των γεωμετρικών του διαστάσεων, οδηγεί

σε αύξηση της αντοχής των τοιχοπληρωμένων πλαισίων. Η αύξηση όμως της αντοχής των τοιχοπληρωμένων πλαισίων έχει σαν επακόλουθο την ανάπτυξη στους στύλους των πλαισίων υψηλών διατμητικών τάσεων που είναι δυνατό να προκαλέσουν διατμητική αστοχία ψαθυρής μορφής. Τέτοιες μορφές αστοχίας είναι γενικά ανεπιθύμητες και πολύ περισσότερο για τα κατακόρυφα στοιχεία μιας κατασκευής.

Η κατασκευή ισχυρού πλαισίου σε σχέση με τον τοίχο είναι λογικό να αποτρέπει τις προηγούμενες ανεπιθύμητες αστοχίες, δεν υπάρχουν όμως αρκετές εκφράσεις στη διεθνή βιβλιογραφία που να προσδιορίζουν ποσοτικά αυτή τη σχέση μεταξύ τοίχου και πλαισίου. Μερικά από αυτά τα πορίσματα δίδονται στο Παράρτημα αυτής της ενότητας. Αποτελέσματα ερευνητικών εργασιών αποδεικνύουν ότι :

- Η μορφή αστοχίας του τοίχου πλήρωσης επηρεάζει άμεσα τη μορφή αστοχίας των στύλων του πλαισίου.
- Η μορφή αστοχίας του τοίχου πλήρωσης εξαρτάται από την αντοχή του σε σύνθλιψη και σε διάτμηση καθώς και από τον λόγο των αρχικών ακαμψιών του τοίχου προς το πλαίσιο.
- Γενικά πρέπει να επιδιώκεται η διαγώνια ρηγμάτωση του τοίχου, επειδή η αστοχία του τοίχου από ολίσθηση στο μέσο του ύψους του ή από σύνθλιψη στην περιοχή των κόμβων του πλαισίου, είναι πολύ πιθανό να οδηγήσει σε τελείως ανεπιθύμητες μορφές αστοχίας των στύλων.

Υπάρχει αναμφισβήτητη συνεισφορά των τοίχων πλήρωσης στην αύξηση της αντοχής και της ακαμψίας, οι οποίες είναι δυνατό να αυξηθούν πολύ περισσότερο με απλές μορφές ενίσχυσης της τοιχοποιίας, όπως π.χ. με οπλισμένο επίχρισμα. Αναμφισβήτητη είναι και η μείωση του δείκτη πλαστιμότητας λόγω των τοιχοπληρώσεων.

Επομένως οι διάφορες μορφές τοιχοπλήρωσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν **ευρύτατα και στη διαδικασία της προσεισμικής ή μετασεισμικής ενίσχυσης** των κτιρίων με την επισήμανση όμως των εξής προϋποθέσεων:

1. Να υπολογίζεται η διαφοροποίηση της συμπεριφοράς των πλαισιακών κατασκευών από την παρουσία της τοιχοπλήρωσης. Επειδή μέχρι σήμερα δεν υπάρχει γενικά αποδεκτή μέθοδος που να περιγράφει τη συμπεριφορά των τοιχοπληρωμένων πλαισίων, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται απλοποιημένα μοντέλα.
2. Να υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ της μορφής αστοχίας του τοίχου πλήρωσης και της μορφής αστοχίας των στύλων του πλαισίου. Η αστοχία του τοίχου πλήρωσης από ολίσθηση στο μέσο του ύψους του ή από σύνθλιψη στην περιοχή των κόμβων του πλαισίου είναι πιθανόν να οδηγήσει σε διατμητική αστοχία των στύλων. Γι' αυτό πρέπει να επιδιώκεται η διαγώνια ρηγμάτωση του τοίχου. Αυτό επιτυγχάνεται με σχετικά ασθενή στοιχεία πλήρωσης και ταυτόχρονα ισχυρά και καλοσχεδιασμένα πλαίσια. Υπάρχει βιβλιογραφία με ποσοτικές σχέσεις για μηχανισμούς θραύσης και αντίστοιχες αναλυτικές σχέσεις.
3. Στην περίπτωση ισχυρών τοίχων πλήρωσης συνιστάται η κατασκευή επιμελημένης σύνδεσης του τοίχου με το πλαίσιο. Η σύνδεση τοίχου-πλαισίου αποτρέπει τοπικές αστοχίες του τοίχου, διατμητικές αστοχίες των

στύλων και αυξάνει σημαντικά την πλαστιμότητα και την ικανότητα απόσβεσης ενέργειας.

4. Η επισκευή με ενέσεις κόλλας των ορατών ρωγμών των πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος που έπαθαν ζημιές από σεισμό αποκαθιστά με κάποια μικρή υστέρηση τα αρχικά χαρακτηριστικά των πλαισίων (αντοχή, ακαμψία, πλαστιμότητα, δυνατότητα απόσβεσης ενέργειας). Η υστέρηση αυτή πολύ εύκολα μπορεί να υπερκαλυφθεί με κατάλληλη τοιχοπλήρωση.
5. Να υπάρχει μία αξιοσημείωτη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας από τα τοιχοπληρωμένα πλαίσια που οφείλεται στη ρηγμάτωση των τοίχων και στην τριβή που αναπτύσσεται κατά το μήκος των ρηγμάτων καθώς και στην διεπιφάνεια τοίχου - πλαισίου.
6. Πρέπει να γίνεται κατάλληλος σχεδιασμός ώστε να αποφεύγεται ο κίνδυνος πρόωρης αστοχίας του πλαισίου.
7. Τοπική αστοχία μπορεί να εμφανιστεί στα μέλη του πλαισίου (ή κοντά στους κόμβους ή στα μέσα περίπου των στύλων) που οφείλεται στην αλληλεπίδραση τοίχου -πλαισίου .
8. Ο συνδυασμός εύκαμπτου πλαισίου με άκαμπτο αλλά χαμηλής ποιότητας τοίχο μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρη αστοχία. Η αστοχία των άοπλων τοίχων είναι συνήθως εκρηκτικού τύπου.

6.3 Στάδια παραμόρφωσης τοιχοπληρωμένων πλαισίων υπό οριζόντια φορτία

Λόγω της μεγάλης ποικιλίας των χρησιμοποιημένων διατάξεων και υλικών οι μορφές αστοχίας δεν είναι πάντα ίδιες. Σε γενικές γραμμές όταν δεν υπάρχει σύνδεση του στοιχείου πλήρωσης με το περιβάλλον πλαίσιο διακρίνονται τα παρακάτω στάδια παραμόρφωσης :

1. Κάτω από πολύ μικρά οριζόντια φορτία, που συνακόλουθα προκαλούν πολύ μικρές μετατοπίσεις, το σύστημα συμπεριφέρεται σαν δίσκος. Το στάδιο αυτό είναι κατά κανόνα αμελητέο.
2. Μόλις η οριζόντια δύναμη υπερβεί το παραπάνω όριο παρατηρείται αποκόλληση στην διεπιφάνεια στοιχείου πλήρωσης - πλαισίου εκτός από τις περιοχές όπου, εξ αιτίας της οριζόντιας φόρτισης, οι διαγωνίως απέναντι κόμβοι τείνουν να πλησιάσουν. Είναι φανερό ότι το στοιχείο πλήρωσης ενεργοποιείται υπό μορφή θλιβόμενης διαγωνίου μεταξύ των κόμβων αυτών. Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού αρχίζει η ρηγμάτωση του πλαισίου που συνεπάγεται διαδοχική μείωση ακαμψίας του συστήματος.
3. Το επόμενο στάδιο αρχίζει με τη ρηγμάτωση του στοιχείου πλήρωσης. Η ρηγμάτωση αυτή είναι είτε διαγώνια κατά τη διεύθυνση της θλιβόμενης διαγωνίου, είτε οριζόντια, είτε μεικτής μορφής. Η ύπαρξη οπλισμού στο στοιχείο πλήρωσης μειώνει το εύρος και κατανέμει καλύτερα τα ρήγματα. Η περίσφιξη επίσης του τοίχου από το περιβάλλον πλαίσιο προκαλεί το ίδιο αποτέλεσμα. Έτσι η παρουσία του οπλισμού στο στοιχείο πλήρωσης δεν είναι τόσο αισθητή όσο θα περίμενε κανείς έχοντας υπόψη τη μεγάλη

διαφοροποίηση στη συμπεριφορά των οπλισμένων από τους άοπλους φέροντες τοίχους. Στο στάδιο αυτό η ρηγμάτωση του πλαισίου και η μείωση ακαμψίας συνεχίζονται.

4. Με την περαιτέρω επιβολή μετατόπισης τα ρήγματα του στοιχείου πλήρωσης διευρύνονται και πληθαίνουν ενώ στο πλαίσιο σχηματίζονται πλαστικές αρθρώσεις μέχρι σχηματισμού μηχανισμού κατάρρευσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι στο στάδιο αυτό δεν είναι δυνατόν να προκαθορισθεί με ακρίβεια αν η δύναμη που απαιτείται για να προκαλέσει αύξηση μετατόπισης μεγαλώνει ή μικραίνει. Αυτό συμβαίνει γιατί η διαδοχική αποδιοργάνωση του στοιχείου πλήρωσης συνεπάγεται μείωση της φέρουσας ικανότητας του ενώ το πλαίσιο, μέχρι να σχηματισθεί μηχανισμός κατάρρευσης είναι σε θέση να αυξάνει τη φέρουσα ικανότητα του. Γενικά όταν το πλαίσιο είναι ισχυρό σε σχέση με το στοιχείο πλήρωσης ο κλάδος του διαγράμματος δυνάμεων μετατοπίσεων είναι ανερχόμενος ενώ στην αντίθετη περίπτωση είναι κατερχόμενος.
5. Με την επιβολή ακόμη μεγαλύτερης μετατόπισης ο κλάδος του διαγράμματος δυνάμεων μετατοπίσεων καθίσταται κατερχόμενος καθώς το στοιχείο πλήρωσης αποδιοργανώνεται συνεχώς ενώ το πλαίσιο, με την προϋπόθεση ότι είναι προσχεδιασμένο για μεγάλες πλαστιμότητες και κατασκευασμένο με επιμέλεια, παραμορφώνεται υπό σταθερό σχεδόν φορτίο.

Όταν υπάρχουν ισχυροί σύνδεσμοι μεταξύ στοιχείου πλήρωσης και πλαισίου το σύστημα συμπεριφέρεται διαφορετικά. Ο αποχωρισμός που παρατηρήθηκε προηγουμένως δεν εμφανίζεται πάντα ενώ η ρηγμάτωση του στοιχείου πλήρωσης είναι γενικά εκτεταμένη, εκτός εάν πρόκειται για στοιχείο χάλυβα. Στην τελευταία περίπτωση συνήθως αστοχούν οι σύνδεσμοι χωρίς όμως να αποκλείεται, ιδίως όταν οι σύνδεσμοι είναι πολύ ισχυροί, η αστοχία του πλαισίου στις περιοχές αλληλεπίδρασης συνδέσμων - πλαισίου.

6.4 Επίδραση της τοιχοπλήρωσης στα δυναμικά χαρακτηριστικά των πλαισίων

Η ύπαρξη της τοιχοπλήρωσης αλλάζει σημαντικά τα δυναμικά χαρακτηριστικά των γυμνών πλαισίων. Τα συμπεράσματα από πειραματικές και θεωρητικές αναλύσεις σε πολύωροφα κυρίως και πολλών ανοιγμάτων πλαίσια είναι τα εξής :

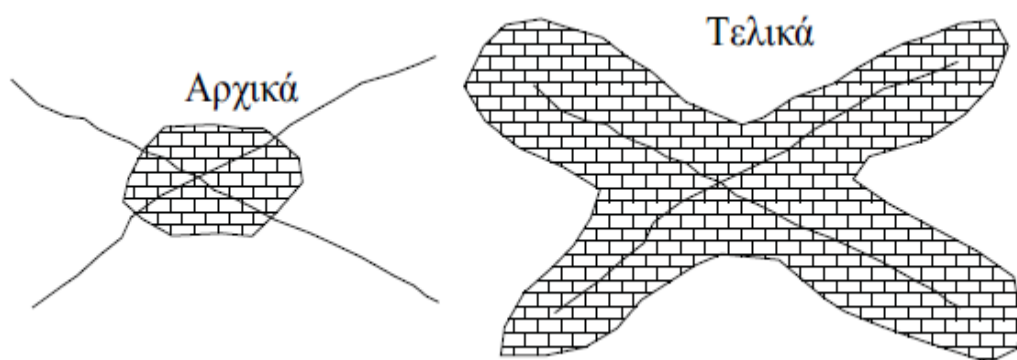
- Η προσθήκη τοίχων πλήρωσης, ενώ πολλαπλασιάζει την ακαμψία δεν προκαλεί και την αντίστοιχη αύξηση στη μάζα της κατασκευής. Συγκεκριμένα σε 11 όροφο κτίριο αποτελούμενο από 11 παράλληλα πλαίσια τριών ανοιγμάτων (συνεπώς χωρίς στροφή), ενώ η μάζα αυξήθηκε κατά 10%, η αύξηση της ακαμψίας ήταν από 366 - 994% όταν τοιχοπληρώθηκαν και τα 11 πλαίσια και από 136 - 353% όταν τοιχοπληρώθηκαν μόνο τα 4.
- Στην ίδια κατασκευή η ιδιοπερίοδος μειώθηκε κατά 40% με την τοιχοπλήρωση των 4 από τα 11 πλαίσια. Σημαντικό ρόλο στη μεταβολή της ιδιοπεριόδου έχει και η θέση των τοίχων πλήρωσης στην κατασκευή.

- Η ιδιοπερίοδος του τοιχοπληρωμένου πλαισίου αυξάνεται με τη ρηγμάτωση του τοίχου κατά 2 - 3 φορές περισσότερο από την ιδιοπερίοδο που είχε η κατασκευή πριν από τη ρηγμάτωση.

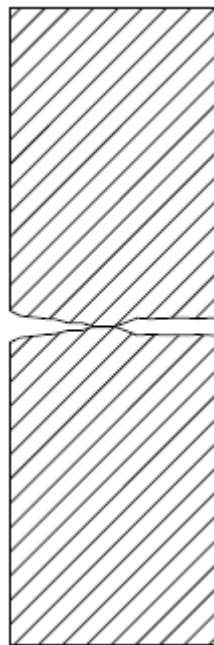
6.5 Απλή ρηγμάτωση τοίχων

Πρόκειται για ρωγμές ανοίγματος λίγων χιλιοστών (<10 mm). Η επισκευή απλών ρωγμών εξαρτάται από τη διατιθέμενη τεχνολογία και πείρα. Οι διαδοχικές φάσεις εργασίας είναι οι εξής :

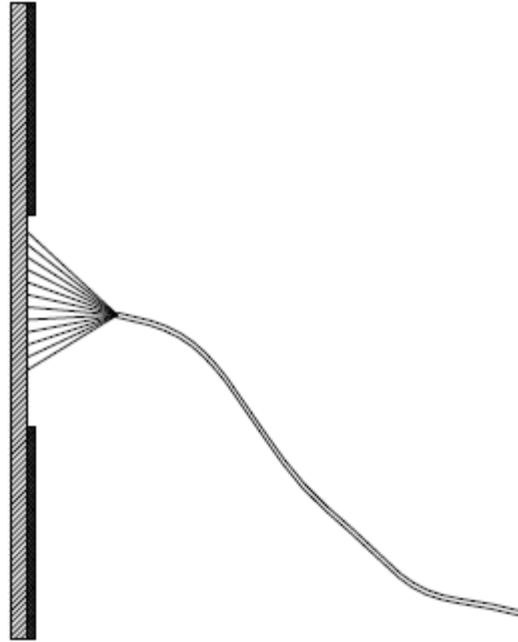
1. Καθαίρεση επιχρίσματος σε μεγάλο πλάτος γύρω από τις ρωγμές (συνολικά 50 cm περίπου).



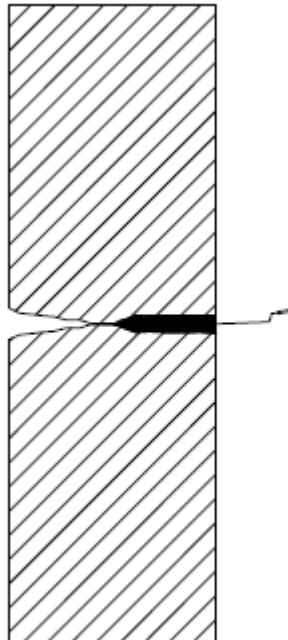
2. Διεύρυνση των χειλιών των ρωγμών (τοπικό σπάσιμο πλίνθων)



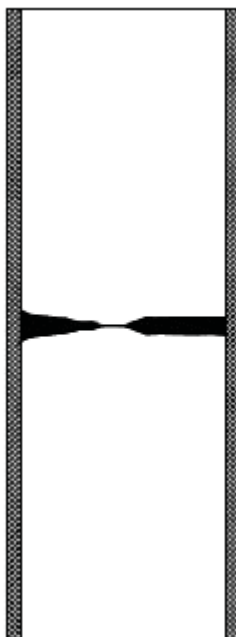
3. Πλύσιμο με νερό υπό πίεση (μάνικα ή στην ανάγκη τενεκέδες νερό με ορμή)



4. Εισαγωγή πλούσιου τσιμεντοκονιάματος (με φιλό μυστρί) όσο γίνεται βαθύτερα μέσα στη ρωγμή



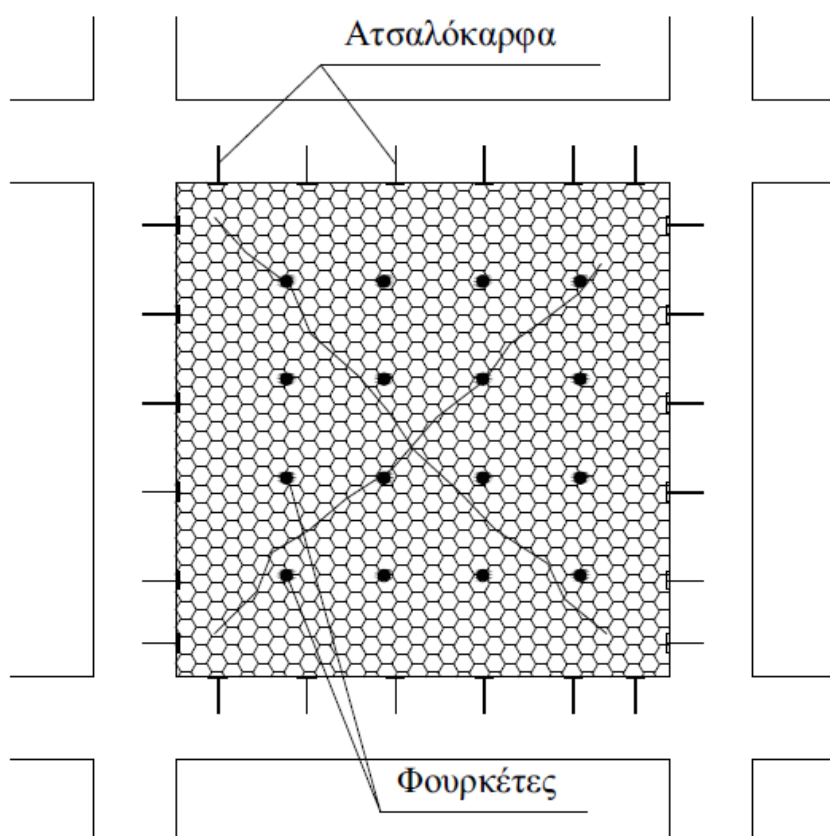
5. Εξωτερικό αρμολόγημα και τελικό επίχρισμα



6.6 Έντονη ρηγμάτωση τοίχων

Πρόκειται για ρωγμές μεγάλες και ανοιχτές. Στην περίπτωση αυτή επειδή δεν μπορεί να δοθεί εμπιστοσύνη στο υλικό πληρώσεως για την μεταφορά ορθών και ιδίως διατμητικών τάσεων, ακολουθείται η παραπάνω τεχνική με την προϋπόθεση βέβαια ότι συμφέρει σε σύγκριση με το ενδεχόμενο καθαιρέσεως και ανακατασκευής:

- 1) Καθολική καθαίρεση επιχρίσματος
- 2) Διεύρυνση των χειλιών της ρωγμής (τοπικό σπάσιμο πλίνθων)
- 3) Πλύσιμο με νερό υπό πίεση (μάνικα ή στην ανάγκη τενεκέδες νερό με ορμή)
- 4) Εισαγωγή πλούσιου τσιμεντοκονιάματος (με φιλό μυστρί) όσο γίνεται βαθύτερα μέσα στη ρωγμή
- 5) Τοποθέτηση σύρματος πολύ τεντωμένου σε επαφή με τον τοίχο, το οποίο καρφώνεται πάνω στον σκελετό με ατσαλόκαρφα και πάνω στον τοίχο με φουρκέτες μπηγμένες στο κονίαμα των αρμών του
- 6) Κάλυψη του συνόλου με πηχτό τσιμεντοκονίασμα



6.7 Αποσύνδεση οργανισμού πληρώσεως και σκελετού

Στην περίπτωση αποσυνδέσεως οργανισμού πληρώσεως και σκελετού (υποστυλωμάτων) η επισκευή εφόσον η απότμηση δεν επιβάλλεται για λόγους

ανάγκης μείωσης της ακαμψίας του κτιρίου (ιδιοπερίοδος κτιρίου γειτονική προς μικρή δεσπόζουσα περίοδο σεισμού), γίνεται με την ακόλουθη τεχνική:

- 1) Καθαίρεση επιχρίσματος σε μεγάλο πλάτος γύρω από τις αποτμήσεις (συνολικά 50 cm περίπου)
- 2) Διεύρυνση των χειλιών της ρωγμής (τοπικό σπάσιμο πλίνθων)
- 3) Πλύσιμο με νερό υπό πίεση (μάνικα ή στην ανάγκη τενεκέδες νερό με ορμή)
- 4) Εισαγωγή πλούσιου τσιμεντοκονιάματος (με φιλό μυστρί) όσο γίνεται βαθύτερα μέσα στην απότμηση
- 5) Τοποθέτηση κοτετσούρατος πολύ καλά τεντωμένου σε επαφή με τον τοίχο και το υποστύλωμα, το οποίο καρφώνεται πάνω στον σκελετό με ατσαλόκαρφα και πάνω στον τοίχο με φουρκέτες μπηγμένες στο κονίαμα των αρμών του
- 6) Κάλυψη του συνόλου με πηχτό πεταχτό τσιμεντοκονίασμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

ΤΕΧΝΙΚΕΣ – ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΩΡΙΝΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΣΕΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όταν ένα κτίριο υποστεί κατά τη διάρκεια ενός σεισμού σοβαρές βλάβες των φερόντων στοιχείων του και κυρίως των κατακόρυφων (θραύση υποστυλωμάτων, σοβαρή ρηγματώση φερόντων τοίχων κ.τ.λ.) σε βαθμό που να γίνεται προβληματική η ασφαλής λειτουργία του φέροντος οργανισμού του, το κτίριο πρέπει να υποστυλώνεται άμεσα. Με την υποστύλωση αυτή προκαλείται ελάφρυνση των βλαμμένων στοιχείων από τα φορτία τους μέσω προσθέτων προσωρινών στοιχείων, τα οποία πρέπει να τοποθετηθούν κατάλληλα ώστε να αναλαμβάνουν μέρος ή το σύνολο των φορτίων του βλαμμένου στοιχείου.

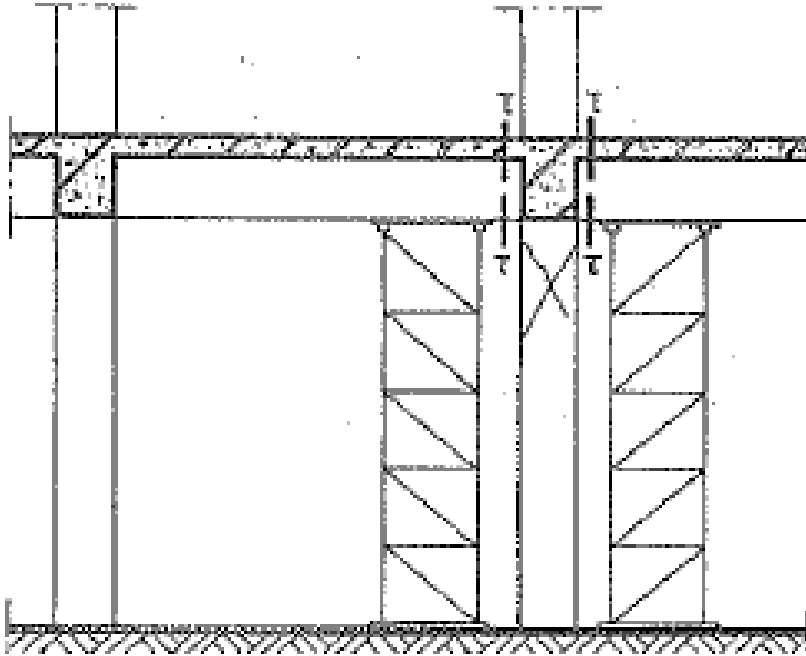
7.1 Κριτήρια – Ευστάθεια – Τεχνογνωσία προσωρινών υποστυλώσεων

Τα κριτήρια προσωρινών υποστυλώσεων είναι τα εξής :

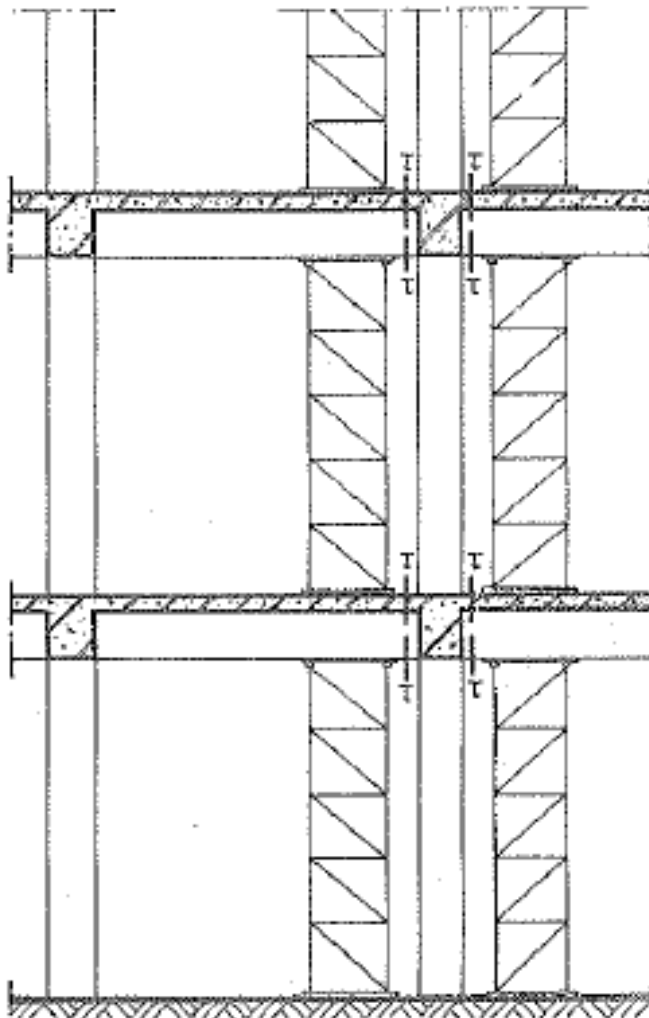
- Η υποστύλωση πρέπει να γίνεται οπωσδήποτε στον όροφο του βλαμμένου κατακόρυφου στοιχείου. Μια υποστύλωση πάντως σε περισσότερους ή και σε όλους τους ορόφους, δημιουργεί ευνοϊκότερη κατάσταση στο πρόβλημα της κατανομής των φορτίων του βλαμμένου στοιχείου από τα άλλα υγιή στοιχεία του φέροντος οργανισμού. Έπιπλέον διάταξη με την υποστύλωση σε όλους τους ορόφους μετριάζει πάρα πολύ τη διατμητική καταπόνηση στις διατομές **T-T** εκατέρωθεν του στοιχείου που έχει βλαφθεί, σε σύγκριση με τη περίπτωση υποστυλώσεως ενός ορόφου και συνίσταται ιδιαίτερα. Εφόσον πάντως προτιμηθεί ή υποστύλωση ενός ορόφου πρέπει οπωσδήποτε να γίνεται έλεγχος της

επάρκειας της διατομής T-T σε διάτμηση.

- Όσον αφορά την απόσταση των υποστηρίξεων από το βλαμμένο στοιχείο, αυτή πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη, υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι δεν θα δημιουργεί προβλήματα για τη διεξαγωγή της εργασίας επισκευής ή αντικατάστασης του υποστυλώματος (ή της φέρουσας τοιχοποιίας).

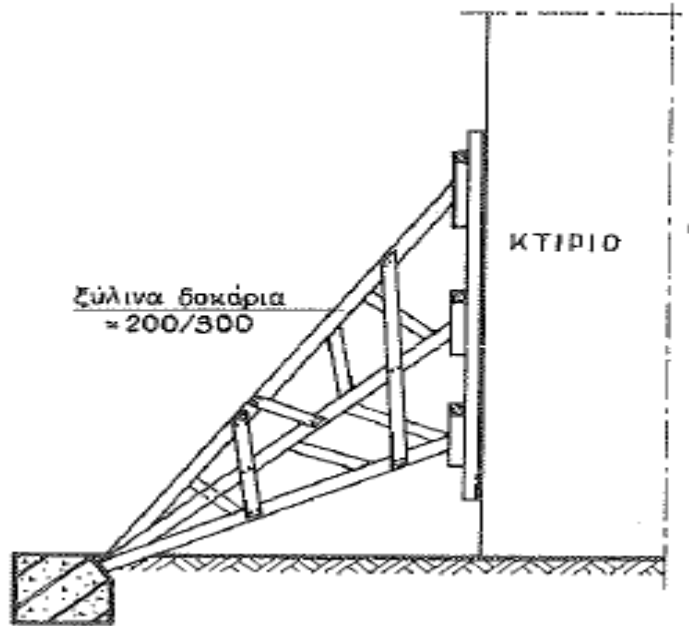


Σχήμα 7.1 Υποσύλωμα ή φέρουσα τοιχοποιία για αντικατάσταση ή επισκευή



Σχήμα 6.2 Υποσύλωμα ή τοιχοποιία για αντικατάσταση ή επισκευή

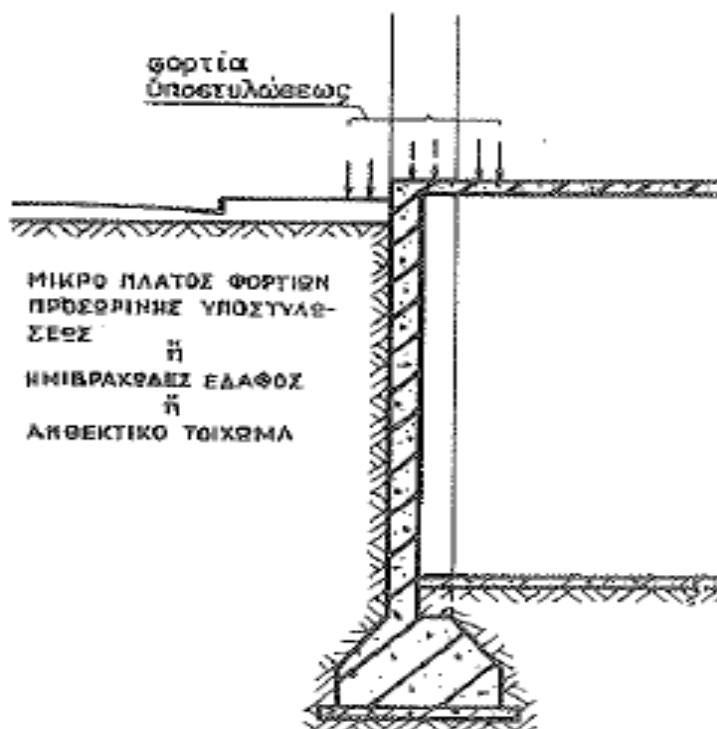
- Σε περιπτώσεις αμφιβολιών ως προς την ευστάθεια της κατασκευής έναντι οριζοντίων δυνάμεων, πρέπει να προβλέπεται και λοξή αντιστήριξη, όπως σχεδιάζεται στο σχήμα τελείως ενδεικτικά.



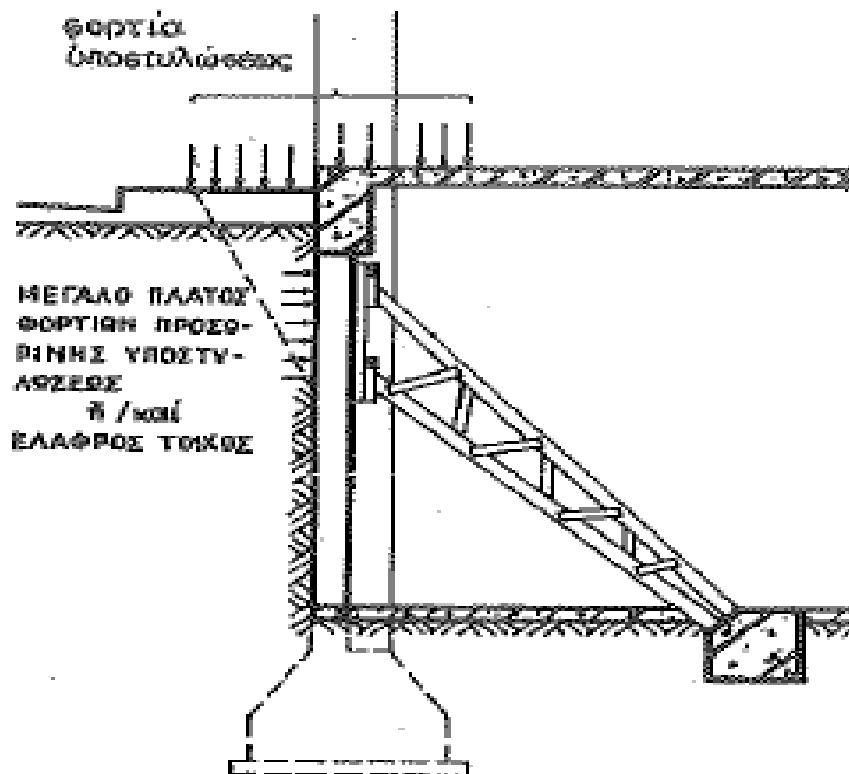
Σχήμα 7.3 Παράδειγμα λοξής αντιστήριξη

- Ο Μελετητής πρέπει να μελετήσει ιδιαίτερα την μεταφορά στο έδαφος των φορτίων της προσωρινής υποστυλώσεως στην περίπτωση που υπάρχει υπόγειο: από το τμήμα της υποστυλώσεως που δεν πατάει απευθείας σε υποκείμενες δοκούς, προκύπτουν οριζόντιες ωθήσεις πάνω στην κατακόρυφη παρειά του υπογείου, οι οποίες ενδέχεται να προκαλέσουν παραμορφώσεις ή θραύση τού αντιστοιχού τοίχου της παρειάς αυτής, με αποτέλεσμα (μικρή έστω) υποχώρηση της υποστυλώσεως (ή όποια, σε μια τέτοια περίπτωση, παύει να λειτουργεί αποτελεσματικά). Έτσι, θα υπάρξουν περιπτώσεις κατά τις οποίες :

- δεν θα χρειάζεται η λήψη άλλων μέτρων
- θα χρειαστεί η λήψη ορισμένων πρόσθετων μέτρων προστασίας.



Σχήμα 7.4 Μικρό πλάτος φορτίων προσωρινής υποστυλώσεως



Σχήμα 7.5 Μεγάλο πλάτος φορτίων προσωρινών υποστυλώσεως

- Στην περίπτωση που απαιτείται να επισκευασθούν περισσότερα από ένα υποστυλώματα, πρέπει ή επισκευή - ενίσχυση (κυρίως όταν ο βαθμός βλάβης επιβάλλει την καθαίρεση) να γίνεται σταδιακά δηλαδή :
 - κατάλληλη υποστύλωση όλων των βλαμμένων υποστυλωμάτων
 - επισκευή – ενίσχυση ενός υποστυλώματος και μετά τη σκλήρυνση, σταδιακή επισκευή – ενίσχυση των υπολοίπων υποστυλωμάτων.

7.2 Τεχνικές - Μέθοδοι υποστυλώσεων

Για την υποστύλωση κατά τα αναφερθέντα στην παράγραφο 7.1 και ανάλογα με τα διατιθέμενα μέσα, τη σοβαρότητα της ζημιάς και το μέγεθος τού έργου, μπορεί μεταξύ άλλων να επιλεγεί ή κατάλληλη μέθοδος υποστυλώσεως όπως :

- Βιομηχανικά ικριώματα
- κορμοί δέντρων
- σιδηρές διατομές
- τακαριές

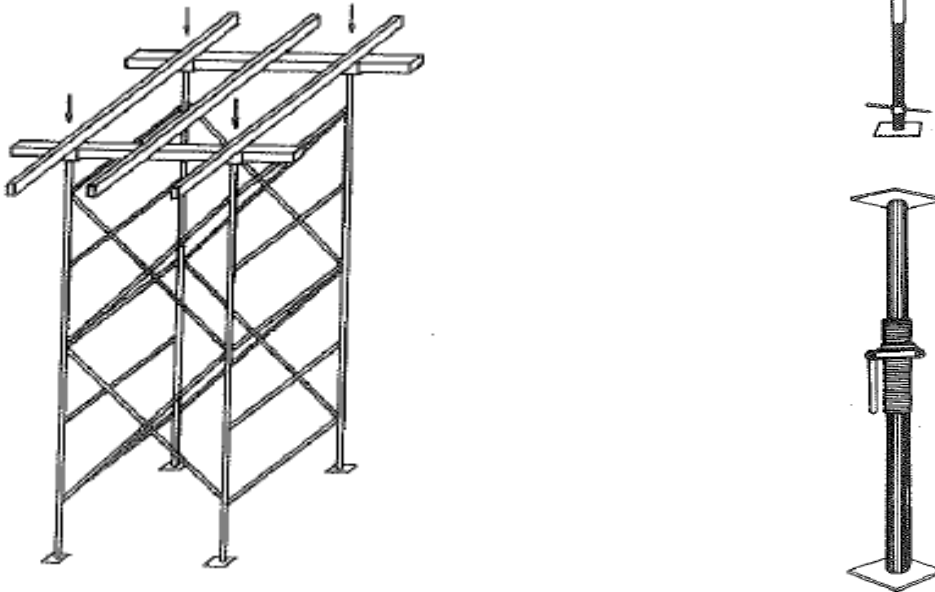
Οι περιγραφές που ακολουθούν έχουν ως στόχο να διευκολύνουν και να βοηθήσουν τον Μηχανικό στην επιλογή, τον συνδυασμό ή και την έμπνευση της καταλληλότερης κατά περίπτωση μεθόδου.

7.2.1 Υποστύλωση με τη μέθοδο των βιομηχανικών ικριωμάτων

Τα βιομηχανικά ικριώματα χρησιμοποιούνται για υποστύλωση μόνο σε περίπτωση ελαφρών ζημιών και για μικρά φορτία, ή σε περίπτωση ανακουφίσεως καμπτόμενων

στοιχείων (δοκών ή κυρίως πλακών).

Για τη σύνθεση ενός πύργου μπορούν να χρησιμοποιηθούν τυποποιημένα στοιχεία. Για ορισμένους συνήθεις τύπους τέτοιων στοιχείων, ύψους περίπου τριών μέτρων, αναφέρεται ενδεικτικά ότι μπορούν να αναλάβουν, όταν είναι καινούργια, μέχρι 4 tn φορτίο, ενώ ανάλογα με την παλαιότητά τους, η ικανότητα τους μπορεί να μειωθεί πάρα πολύ.



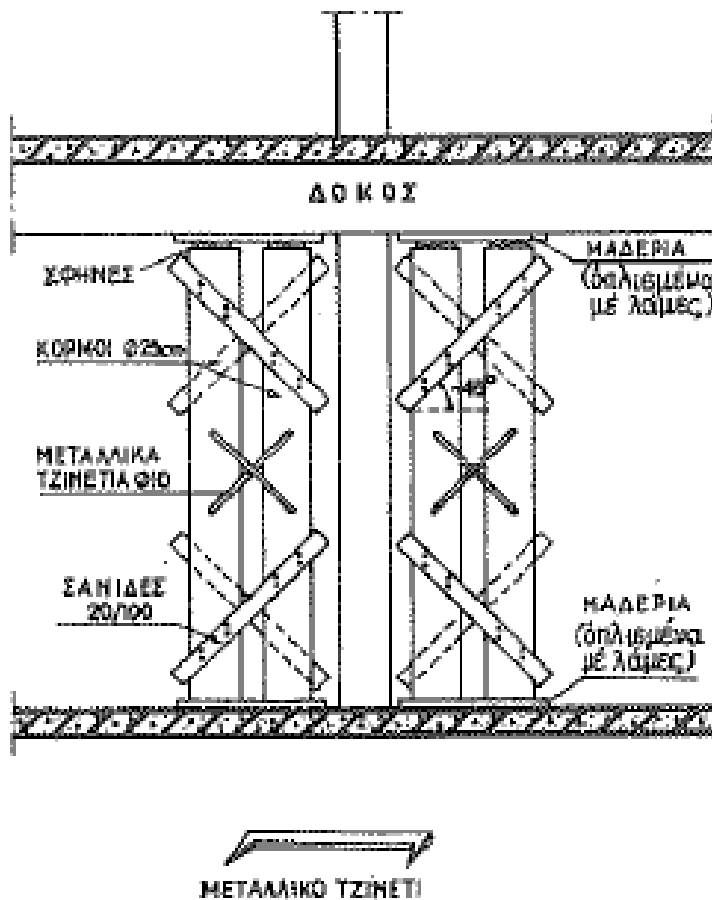
Σχήμα 7.6 Τύποι βιομηχανικών ικριωμάτων

Η σφήνωση γίνεται με τη βοήθεια ειδικών κοχλιών που διαθέτει το κάθε σύστημα βιομηχανοποιημένων ικριωμάτων. Αντί για τα βιομηχανικά ικριώματα μπορούν, για πολύ ελαφρές περιπτώσεις να χρησιμοποιηθούν και αυτοτελή λατάκια με φέρουσα ικανότητα μέχρι 2tn το καθένα, για ύψος περίπου 3,00 m.

7.2.2 Υποστύλωση με τη χρήση κορμών δέντρων

Κατά την υποστύλωση με τη βοήθεια κορμών δένδρων θα πρέπει να τοποθετούνται τουλάχιστον δύο κορμοί διαμέτρου τουλάχιστον 25 cm εκατέρωθεν του βλαμμένου στοιχείου.

Οι κορμοί της κάθε ομάδας, συνδέονται μεταξύ τους με 4 τουλάχιστον σανίδες (πάχους τουλάχιστον 2 cm και πλάτους 10 cm) που καρφώνονται υπό γωνία 45° περίπου στους κορμούς, και με τζινέτια, τουλάχιστον Φ10, τοποθετούμενα κατά προτίμηση ανά δύο χιαστί.



Σχήμα 7.7 Διάταξη κορμών

Στη βάση των κορμών τοποθετούνται μαδέρια ελαχίστου πάχους 4 cm, ικανά πάντως να εξασφαλίσουν το ανέκδοτο της βάσεως της υποστυλώσεως. Άπαγορεύεται ή τοποθέτηση μαδεριών σε περισσότερες της μιας στρώσεις. Ίδια μαδέρια τοποθετούνται και στο άνω μέρος της υποστυλώσεως. Μεταξύ των μαδεριών και της κεφαλής των ξύλινων στύλων γίνεται ή σφήνωση με μια από τις τεχνικές.

Οι κορμοί πρέπει να είναι ευθύγραμμοι (κατά το δυνατό σταθερής διατομής), να προέρχονται από δένδρα τα όποια να έχουν ξύλο υψηλής αντοχής σε θλίψη, να είναι υγιείς (να μην έχουν ρόζους, κουφάλες κ.λ.π.) και να είναι αυτοτελή τμήματα του δένδρου (να μη προέρχονται από συγκολλημένα μικρότερα τμήματα).

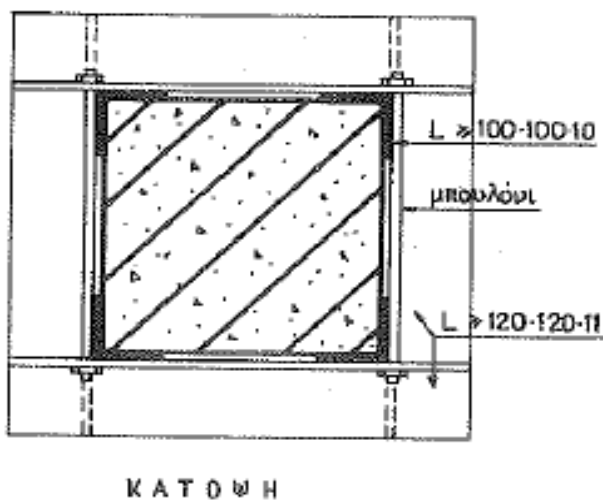
Ή επάρκεια της διατομής των κορμών πρέπει να ελέγχεται αφού εκτιμηθούν χονδρικά το φορτίο το οποίο καλείται ό κορμός να αναλάβει και η επιτρεπόμενη τάση του ξύλου κατά τη διεύθυνση της φορτίσεως του στύλου η όποια και θα εκτιμηθεί ανάλογα με την ποιότητα της ξυλείας και το βαθμό παλαιότητάς της (σύμφωνα με τα όσα ορίζονται στη σχετική βιβλιογραφία περί ξύλινων κατασκευών).

Αντί για κορμούς μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν, εφόσον υπάρχουν, κολώνες του ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) ή του τηλεφώνου (ΟΤΕ), με την προϋπόθεση ότι θα ενισχυθούν προηγουμένως στα δύο άκρα με δύο κολλάρια από λαμαρίνα.

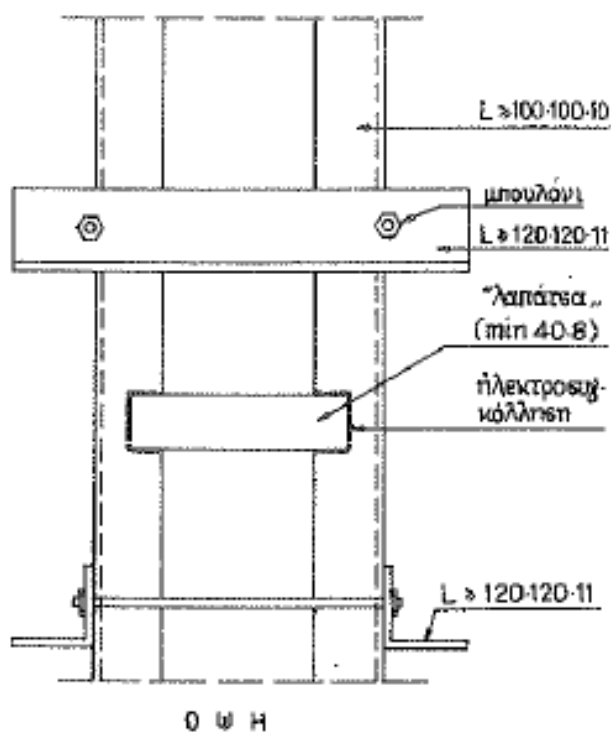
7.2.3 Υποστύλωση με τη χρήση σιδηρών διατομών

Κατά την υποστύλωση με τη βοήθεια σιδηρών διατομών, θα τοποθετούνται τέσσερα γωνιακά τουλάχιστον 100x100x10 στις τέσσαρις γωνίες του βλαμμένου υποστυλώματος. Από έξω απ' τις γωνίες και σ' αποστάσεις 60cm θα

τοποθετούνται ζευγάρια από εγκάρσιες γωνίες ($L > 120 \times 120 \times 11$) κατά τη μία κατεύθυνση του υποστυλώματος. Τα ίδια, πάλι κάθε 60 cm, κατά την άλλη κατεύθυνση (στα μέσα των διαστημάτων των προηγούμενων εγκάρσιων γωνιακών). Τα ζευγάρια των γωνιακών αυτών συσφίγγονται μεταξύ τους με μπουλόνια (προεντεταμένοι κοχλίες) όπως στα **Σχήματα 7.8, 7.9.**

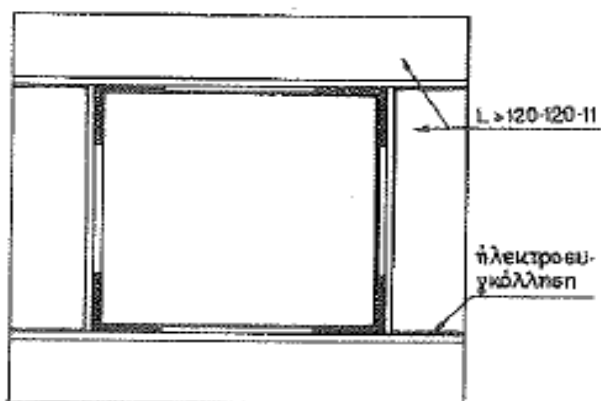


Σχήμα 7.8 Κάτοψη τυπικής μορφής σιδήρου διατομής



Σχήμα 7.9 Όψη τυπικής μορφής σιδήρου διατομής

Μετά την πρώτη αυτή σύσφιγξη των μπουλονιών, συγκολλούνται λαπάτσες πάνω στα κατακόρυφα γωνιακά (ανά 30 cm - 60 cm) και ξανασφίγγονται τα μπουλόνια. Λεπτομέρειες για την έδραση φαίνονται στο **Σχήμα 7.10.**



Ε Δ Ρ Α Σ Η
(από κάτω τριμειτωκονία σε κατάλληλο πάχος και βάθος.)

Σχήμα 7.10 Λεπτομέρειες έδρασης

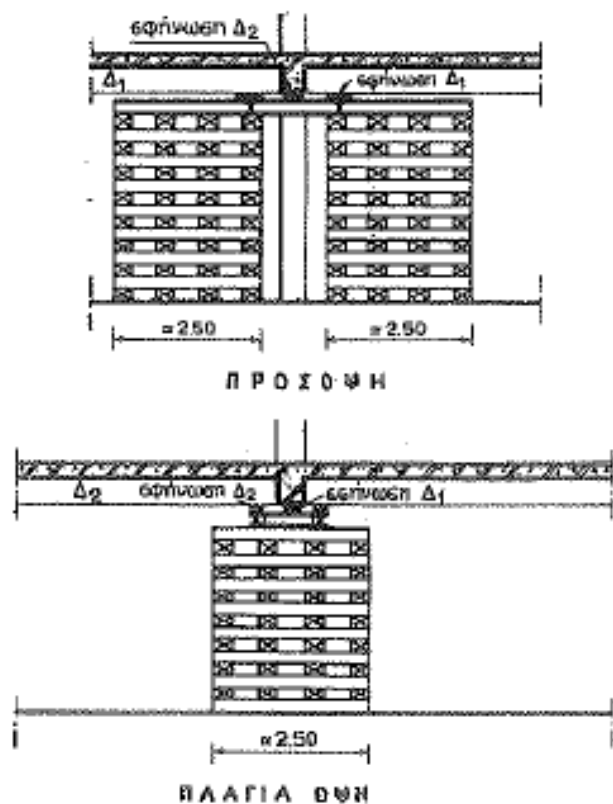
Η σφήνωση στο πάνω μέρος γίνεται με όσα λεπτά επίπεδα ελάσματα χρειαστεί. Η προσωρινή αυτή υποστύλωση μπορεί να μετατραπεί σε μονιμότερη, αν σκυροδετηθεί με την προϋπόθεση μεγάλου πάχους έγχυτου σκυροδέματος.

Τα μπουλόνια θα σφίγγονται επαρκώς κατά τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργείται ισχυρή τριβή μεταξύ των εσωτερικών ελασμάτων και του σκυροδέματος του βλαμμένου στοιχείου, ικανή (σε περίπτωση υποχωρήσεως) να μεταβιβάσει το φορτίο του βλαμμένου στοιχείου ή τουλάχιστον ένα μέρος αυτού διαμέσου της τριβής στα σιδηρά ελάσματα .

Η επιπρεπόμενη τάση του χάλυβα, εφόσον χρησιμοποιείται δομικός χάλυβας του εμπορίου, μπορεί να λαμβάνεται κατά τον υπολογισμό ίση με 1000 kg/cm, ενώ ο συντελεστής τριβής μεταξύ χάλυβα - σκυροδέματος δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να λαμβάνεται μεγαλύτερος του 0.40 .

7.2.4 Υποστύλωση με τη χρήση τακαριών

Εφόσον υπάρχουν διαθέσιμοι ξύλινοι στρωτήρες σιδηροδρόμων ή άλλα ανάλογα είδη ξυλείας, η υποστύλωση μπορεί να γίνει και με τακαρίες. Οι στρωτήρες τοποθετούνται στην περίπτωση αυτή με τον τρόπο που φαίνεται στο **Σχήμα 7.11**. Στο άνω μέρος εδράζονται 4 πλατύπελμα σιδερένια I, και από τις δύο πλευρές του υποστυλώματος. Ανάμεσα στην πάνω πλευρά του I και στην κάτω παρειά των δοκών, γίνεται η σφήνωση.



Σχήμα 7.11 Τυπική διάταξη τακαριών

7.3 Τεχνικές – μεθοδολογία σφηνώσεως

Για τη σφήνωση των κάθε είδους υποστυλώσεων μπορούν μεταξύ άλλων να χρησιμοποιηθούν οι εξής τεχνικές :

- α) κλασσικές ξύλινες σφήνες με κατάλληλη εξασφάλιση
- β) μηχανικοί γρύλλοι
- γ) υδραυλικοί γρύλλοι
- δ) επίπεδοι υδραυλικοί γρύλλοι (Verins Plats)

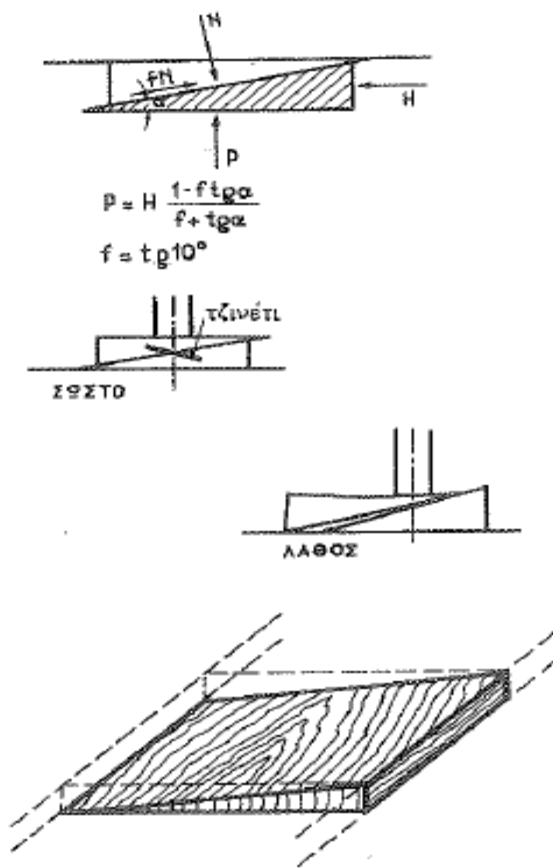
7.3.1 Τεχνική ξύλινων σφηνών

Οι ξύλινες σφήνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάληψη θλιπτικών δυνάμεων όταν ή κρουστική επιβολή του φορτίου δεν δημιουργεί προβλήματα για την ασφάλεια της κατασκευής και των συνεργείων εργασίας.

Οι δύο σφήνες πρέπει να έχουν ακριβώς την ίδια γωνία (μικρότερη των 10°) και το ίδιο μήκος, ενώ το πάχος της σφήνας που εισάγεται με κρούση πρέπει να είναι λίγο μικρότερο από το πάχος της ήδη τοποθετημένης, ώστε να αποφεύγεται ή καμπτική καταπόνηση της σφήνας αυτής κατά τη φάση της εισαγωγής.

Οι σφήνες πρέπει να κόβονται από ξερή και όχι μαλακή ξυλεία, να μην έχουν ρόζους, και σε τρόπο ώστε οι ίνες του ξύλου να είναι κάθετες προς τον διαμήκη άξονα σφηνώσεως. Οι σφήνες πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο εφόσον υπάρχει βεβαιότητα ότι δεν επενεργούν οριζόντιες δυνάμεις στην κατασκευή. Ειδάλλως οι δυνάμεις τριβής δεν επαρκούν να συγκρατήσουν τη σφήνα και η σφήνωση αχρηστεύεται.

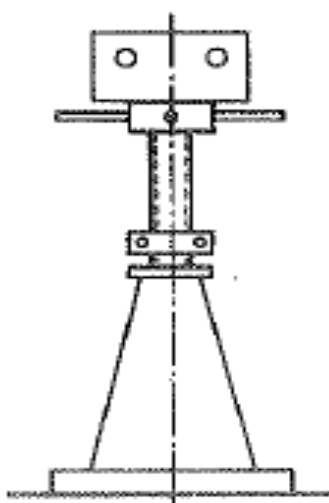
Οι σφήνες πρέπει επίσης να χρησιμοποιούνται μόνο για την περίπτωση στατικών φορτίσεων. Είναι απαραίτητο το να εξασφαλιστούν οι σφήνες. Αυτό μπορεί να γίνει με κάρφωμα των σφηνών μεταξύ τους ή με άλλη διάταξη ώστε να αποκλεισθεί ή δυνατότητα ολισθήσεως.



Σχήμα 6.12 Διάταξη ξύλινων σφηνών

7.3.2 Τεχνική μηχανικών γρύλλων – υδραυλικών γρύλλων

Για την επιβολή σημαντικότερων φορτίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν μηχανικοί ή υδραυλικοί γρύλλοι που εξασφαλίζουν ομοιομορφότερη φόρτιση και αποφόρτιση. Οι γρύλλοι πρέπει να έχουν ικανοποιητική επιφάνεια εδράσεως, ανάλογα με το διαβιβαζόμενο φορτίο, ώστε να αποκλείεται ο κίνδυνος να ενδώσει ή να υποστεί διάτρηση ή βάση. Η επιφάνεια αυτή πρέπει να είναι ανάλογη και με το ύψος του γρύλλου, ώστε να εξασφαλίζεται η ευστάθεια του γρύλλου έναντι ανατροπής.



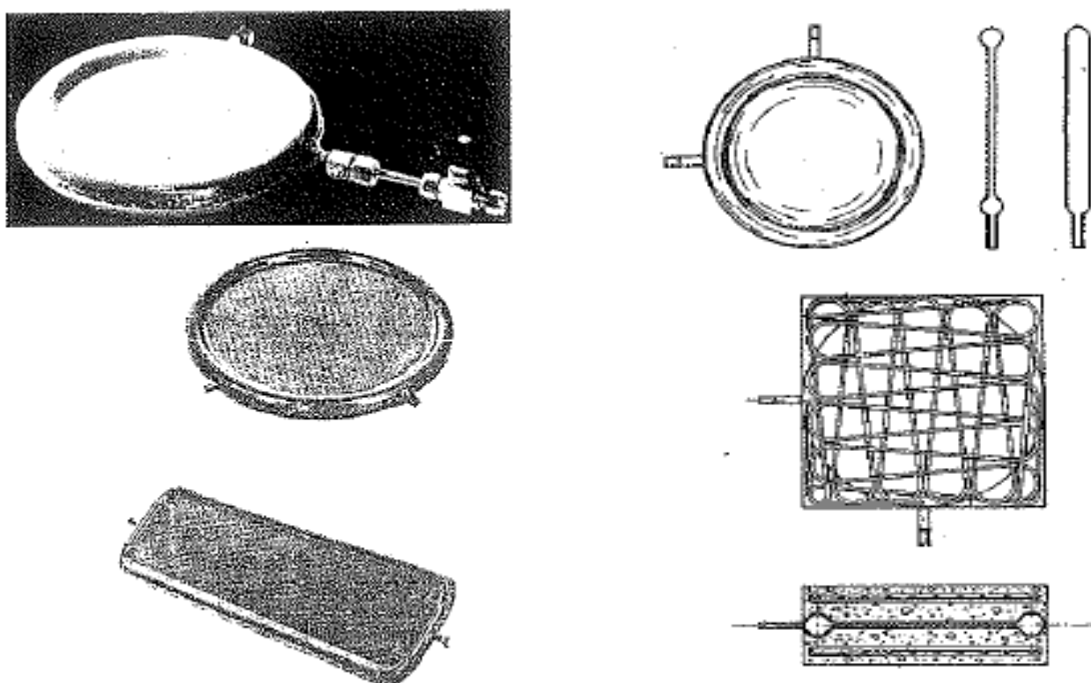
Σχήμα 7.13 Μηχανικοί – Υδραυλικοί γρύλλοι

Ενδεικτικά αναφέρονται για την μεν πλάκα εδράσεως επιφάνεια 50 cm² ανά διαβιβαζόμενο τη φορτίου, ενώ για το δε ελεύθερο μήκος τού κοχλία τού γρύλλου μέγιστο μήκος 20 cm. Για τους υδραυλικούς γρύλλους, ο εξοπλισμός πρέπει να περιλαμβάνει και μία αντλία λαδιού, καθώς επίσης και ένα χειριστήριο εφόσον πρόκειται να συνδεθούν πολλές αντλίες μαζί.

Όπως και για την περίπτωση σφηνών, έτσι και για τούς γρύλλους, η χρησιμοποίησή τους για την υποσύλωση ενός κτιρίου προϋποθέτει σχετική επάρκεια της αντοχής του κτιρίου για την ανάληψη των δυνάμεων σφηνώσεως, ώστε να εξασφαλίζεται και η ασφάλεια του συνεργείου που θα εργαστεί για την υποσύλωση. Είναι ασφαλέστερη η επιβολή των φορτίων με τηλεχειρισμό υδραυλικού συστήματος από μία απόσταση ασφαλείας από την υποστελλόμενη κατασκευή.

Μετά τη σφήνωση (ανάληψη φορτίου) και εφόσον το σύνολο ελέγχεται ως σταθερό, γίνεται ή τελική (μονιμότερη) σφήνωση σε διπλανές θέσεις με τάκους, σφήνες, κ.λ.π.

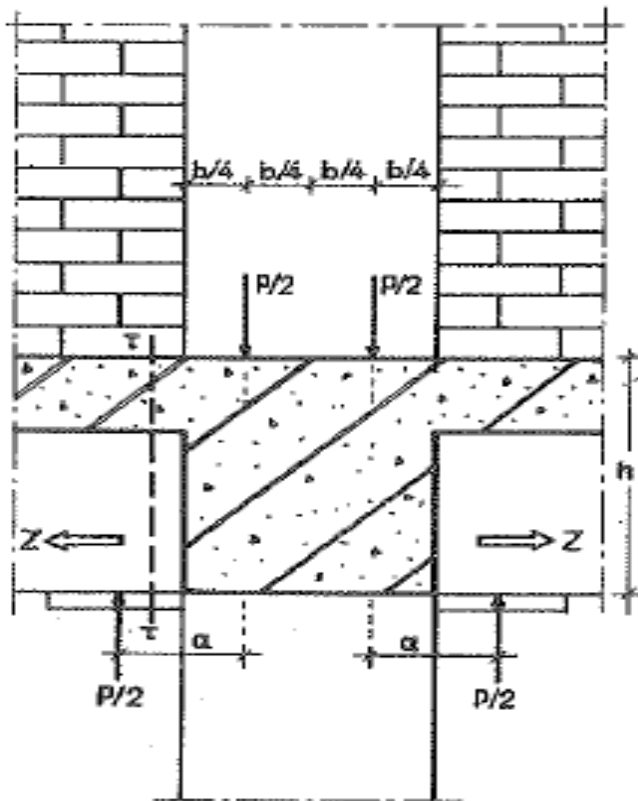
Να αναφερθεί επίσης ότι μέσα στο πνεύμα της ασφάλειας της προηγούμενης παραγράφου μπορούν να χρησιμοποιηθούν και **επίπεδοι γρύλλοι**. (verins plats), ενδεχομένως τηλεχειριζόμενοι. Η είσπτιση των επιπέδων γρύλλων γίνεται συνήθως με νερό ή λάδι. Για μια μόνιμη διατήρηση της παραμορφώσεως του γρύλλου είναι δυνατόν να γίνει είσπτιση τσιμεντοπολτού, «στραγγάλισμα» πιέσεως και τελική (αργή) σκλήρυνση του τσιμεντοπολτού.



Σχήμα 7.14 Τυπικοί επίπεδοι γρύλλοι

7.4 Έλεγχος στις θέσεις σφηνώσεως (τοπική διάτμηση)

Ανεξάρτητα από την χρησιμοποιούμενη τεχνική υποσυλώσεως και την τεχνική της σφηνώσεως, είναι απαραίτητο (κυρίως όταν ή υποσύλωση γίνεται σε ένα μόνον όροφο) να γίνεται λογιστικός έλεγχος διαμήσεως στη διατομή **T-T** (μεταξύ παρειάς υποσυλώματος και σημείου επιβολής του φορτίου της σφηνώσεως).



Σχήμα 7.15 Ανάλυση δυνάμεων – έλεγχος στις θέσεις σφηνώσεως

Θεωρούμε ότι :

b, το πλάτος του υποστυλώματος

a, η απόσταση του θεωρητικού σημείου επιβολής του φορτίου σφηνώσεως από το τέταρτον του πλάτους του υποστυλώματος

P, η δύναμη που εκτιμάται ότι θα αναλάβει η υποστύλωση

σ_{bz} , η αναπτυσσόμενη εφελκυστική τάση του σκυροδέματος

β_b , η αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη

Θεωρώντας επίσης ότι ένα μικρό μέρος του φορτίου έχει ήδη παραληφθεί από τους υπάρχοντες σπλισμούς τότε η δύναμη **z** πηγαίνει ολόκληρη στο άοπλο σκυρόδεμα. Σύμφωνα με αυτές τις μεταβλητές η εφελκυστική δύναμη **z** μπορεί να υπολογιστεί ενδεικτικά από τον προσεγγιστικό τύπο :

$$z = \frac{1}{2} P \frac{a}{h}$$

Ενώ η αναπτυσσόμενη εφελκυστική τάση σκυροδέματος από τον επίσης προσεγγιστικό τύπο :

$$\sigma_{bz} = \frac{3}{2} \frac{P}{h^2} \frac{a}{b_0}$$

Η εφελκυστική αυτή τάση δεν πρέπει να υπερβαίνει το όριο :

$$\sigma_{bz, \epsilon\pi} = \frac{1}{15} \beta_d$$

Η προηγούμενη έκφραση για την εφελκυστική δύναμη z ισχύει για την περίπτωση όπου δύο δοκοί μόνο συντρέχουν στον κόμβο που εξετάζεται. Όταν τρεις δοκοί υποστυλώνονται θα λαμβάνεται υπόψη ο εξής τύπος :

$$z' = \frac{2}{3} z$$

Ενώ όταν τέσσερις συντρέχουσες δοκοί υποστυλώνονται θα λαμβάνεται :

$$z' = \frac{1}{2} z$$

Όταν ο παραπάνω λογιστικός έλεγχος αποδείξει ότι δεν είναι εφικτή ή σφήνωση ολόκληρου του φορτίου, είναι δυνατόν να γίνουν οι παρακάτω ενέργειες :

- Εκτιμάται μήπως οι υπερκείμενοι τοίχοι πληρώσεως μπορούν να μεταφέρουν τμήμα του φορτίου σφηνώσεως απευθείας προς τούς πάνω ορόφους χωρίς ένταση της δοκού όπου γίνεται η σφήνωση.
- Επέκταση υποστυλώσεως και στους παραπάνω ορόφους.
- Εφαρμογή μερικής σφηνώσεως στο σύστημα υποστυλώσεως.
- Εφαρμογή της τεχνικής του άμεσου μανδύα.

Επειδή η στατική επάρκεια της σφηνώσεως εξαρτάται από την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος της δοκού, είναι αναγκαίο ή σφήνωση να εφαρμόζεται αργά - αργά και να παρακολουθείται προσεκτικά ή συμπεριφορά της δοκού στη θέση σφηνώσεως.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

8. ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΩΝ

8.1 Κριτήρια κοστολόγησης – μέθοδος κοστολόγησης

Όπως προαναφέραμε, κάθε κτίριο που έχει σοβαρές βλάβες από σεισμό, πρέπει να εξετασθεί με κριτήρια τεχνικά, οικονομικά και κοινωνικά, για να αποφασισθεί αν συμφέρει να επισκευασθεί ή να ανακατασκευασθεί.

Τα βασικά οικονομικά κριτήρια είναι:

- Το εκτιμώμενο κόστος επισκευής K_{ϵ}

- Το κόστος αντικαταστάσεως K_{α}
- Τα εκτιμώμενα χρόνια ζωής του κτιρίου E_z
- Η ηλικία του κτιρίου σε χρόνια H_{λ}

Γίνεται δεκτό, σαν κριτήριο, ότι το κόστος επισκευής πρέπει να είναι μικρότερο από το 80% της απομένουσας αξίας του κτιρίου. Η απομένουσα αξία του κτιρίου υπολογίζεται από το κόστος αντικαταστάσεως, μειωμένο αναλογικά κατά τα χρόνια της ζωής του, σε σχέση προς την κατ' εκτίμηση συνολική διάρκεια ζωής. Δηλαδή το κριτήριο εκφράζεται ως εξής :

$$K_{\varepsilon} \leq 0,80 \cdot K_{\alpha} \cdot \frac{E_z - H_{\lambda}}{E_z}$$

Το κριτήριο αυτό είναι συμβουλευτικό, γιατί υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την τελική απόφαση, και συγκεκριμένα :

- Η σημασία που έχει το κτίριο για την ζωή της πόλεως, εν σχέση με το χρόνο που χρειάζεται η επισκευή ή η ανακατασκευή (π.χ. δημόσια κτίρια, νοσοκομεία, αεροστάθμη κ.λπ.).
- Κοινωνικοί, πολιτιστικοί, και αισθητικοί λόγοι.
- Βελτίωση της πολεοδομίας της πόλεως κ.λπ.

Στην εκτίμηση του οικονομικού κριτηρίου του κόστους επισκευής (K_{ε}) υπεισέρχονται τα χρόνια ζωής του κτιρίου που έχουν εκτιμηθεί (E_z). Η διάρκεια αυτή καθορίζεται συμβατικά σε 100 χρόνια για οικοδομές κατοικιών. Για κτίρια ειδικών χρήσεων, ή και για οποιαδήποτε κτίρια σε ειδικές περιοχές, η συμβατική διάρκεια ζωής των κτιρίων που εκτιμάται θα καθορίζεται με Υπουργικές αποφάσεις.

Τέλος, με βάση τα ανωτέρω κριτήρια, ο μελετητής κρίνει αν τα κτίριο μπορεί να επισκευαστεί ή είναι κατεδαφιστέο. Στην τελευταία περίπτωση, δηλαδή όταν ο μελετητής προτείνει την κατεδάφιση του κτιρίου, πρέπει να υποβάλει έκθεση με όλα τα δικαιολογητικά στοιχεία στην Υπηρεσία Αποκαταστάσεως Σεισμόπληκτων Βορείου Ελλάδος του υπουργείου Δημόσιων Έργων. Η τελική απόφαση ανήκει στον υπουργό Δημόσιων Έργων ή τα τυχόν εξουσιοδοτημένα όργανα της υπηρεσίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο

9. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΜΕΝΗΣ – ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

9.1 Γενικά

Οι κατασκευές πρέπει να συντηρούνται με ευθύνη του κυρίου του έργου έτσι ώστε να εξασφαλίζεται εν χρόνο η αντοχή και η λειτουργικότητα για την οποία μελετήθηκαν.

Για ενημέρωση εκείνων που χρησιμοποιούν ένα έργο μπορεί να είναι σκόπιμο να τοποθετούνται σε κατάλληλες θέσεις των κτιρίων ή άλλων κατασκευών πινακίδες, οι οποίες να δείχνουν τα μέγιστα επιτρεπόμενα φορτία (ή και άλλες δράσεις). Πρέπει να επισύρεται η προσοχή εκείνων που χρησιμοποιούν ένα έργο στις καταστάσεις οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε απαράδεκτους κινδύνους κατά την διάρκεια χρήσης του.

9.2 Ενδείξεις βλαβών

Αλλαγές χρώματος, διάρρηξη - εκτίναξη του σκυροδέματος, διαρροές, σκουριά, ρωγμές ή υπερβολικές παραμορφώσεις, μπορούν να είναι ενδείξεις σοβαρής βλάβης. Αν υπάρχουν υπόνοιες σοβαρής βλάβης, είναι αναγκαία η συνδρομή εμπειρογνώμονα για να αναλυθεί η αιτία, να αποτιμηθούν οι βλάβες και να δοθούν οδηγίες για την επέμβαση, αν χρειάζεται.

9.3 Περιοδικές επιθεωρήσεις

Η μεγάλη ευαισθησία των διεπιφανειών που δημιουργούνται με την επισκευή - ενίσχυση, καθώς και η χρήση μη συμβατικών υλικών, απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή ως προς τις συνθήκες των έργων επέμβασης κατά τη διάρκεια ζωής τους, έτσι διενεργούνται περιοδικές επιθεωρήσεις ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Οι επιθεωρήσεις έχουν σκοπό να ανιχνεύσουν την ενδεχόμενη εμφάνιση φθορών και βλαβών κατά τη διάρκεια ζωής του έργου, ιδιαίτερα στις θέσεις των επισκευών - ενισχύσεων. Έργα μεγάλης σημασίας που βρίσκονται σε ειδικό περιβάλλον, πρέπει να επιθεωρούνται τακτικότερα, και αν είναι απαραίτητο με ειδικά όργανα ελέγχου που θα έχουν ενσωματωθεί κατά τις εργασίες επισκευής - ενίσχυσης.

Στις συνήθεις περιπτώσεις (μέση διαβρωτικότητα περιβάλλοντος και μέση χρήση), κατάλληλα χρονικά διαστήματα μεταξύ επιθεωρήσεων είναι:

- Για κατοικίες : 10 έτη
- Για βιομηχανικά ή βιοτεχνικά κτίρια : 5 – 10 έτη

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αδράσκελα, Π. (2015). *Επισκευή αποσαθρωμένων επιφανειών σκυροδέματος δομικών στοιχείων κτιρίων με σύνθετα υλικά στο ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας*. (Διπλωματική Εργασία). ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας. Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.

Γαρυφαλής, Α. (2000). *Βλάβες σε κόμβους οπλισμένου σκυροδέματος, αίτια εμφάνισης αυτών και μέθοδοι αποκατάστασης και ενίσχυσης των αντοχών τους*. 6^ο Φοιτητικό Συνέδριο Επισκευές Κατασκευών 2000, Εργασία Νο. 18. Πολυτεχνείο Πάτρας. Πάτρα.

Γιαννόπουλος, Ι. (2005). *Βλάβες από το Σεισμό της Αθήνας 1999*. Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ.

Γραβάλος, Α. (2020). *Προηγμένες μέθοδοι διάγνωσης βλαβών γεωργικού μηχανολογικού εξοπλισμού*. Κεφ. 8. Kallipos. Διαθέσιμο στο URL: https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/1497/3/02_chapter_08.pdf Ημερ. Πρόσβασης: 29/10/2020.

Δημοσθένους, Α. (2009). *Μέθοδοι και Υλικά Αποκατάστασης και Ενίσχυσης Διατηρητέων Κτιρίων από Φέρουσα Τοιχοποιία*.

Δρίτσος, Σ. (2005). *Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα*. 3^η έκδοση Πανεπιστήμιο Πατρών. Πάτρα.

Δρίτσος, Σ. (2007). *Ενισχύσεις/Επισκευές Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα. Διαδικασίες – Τεχνικές και Διαστασιολόγηση*. 3^η Εκδ. Πανεπιστήμιο Πατρών.

EN 197-1 (2001). *Τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα Τσιμέντου ΕΛΟΤ EN 197*. ΤΕΕ. Γραφείο Τεκμηρίωσης. Αθήνα.

Καρέλα, Ν., Δρίτσος, Σ., Ματζιάρης, Π. και Καμπιτάκη, Μ. (2001). *Τεχνικές αποκατάστασης κτιρίων στην Πάτρα μετά το Σεισμό του 1993*. 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας. Τόμος Β. 437-444. Θεσσαλονίκη.

Κυριαζόπουλος, Α. (2015). *Επισκευή και Ενίσχυση Στοιχείων από Ο.Σ με Παραδοσιακές Μεθόδους*. Διδακτικές Σημειώσεις. Μεταπτυχιακό Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. ΤΕΙ Πειραιά.

Κυριάκου, Π. (2016). *Ενίσχυση κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα*. Πτυχιακή Διατριβή. Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, Σχολή Μηχανικής και Τεχνολογίας. Κύπρος.

Μοροπούλου, Α. και Λαμπρόπουλος, Κ. (2020). *Τσιμέντο και Σκυρόδεμα, Δομικά Υλικά*. Διδακτικές Σημειώσεις 9^{ου} εξαμήνου, Τμήμα Χημικών Μηχανικών. ΕΜΠ.

Νικητόπουλος, Γ. και Σταματόπουλος, Ι. (2012). *Επισκευή και ενίσχυση υποστυλωμάτων με παραδοσιακές μεθόδους*. Εργασία Εξαμήνου. Τμήμα Πολιτικών Δομικών Έργων. Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών. ΑΤΕΙ Πειραιά.

Παπαγιάννη, Ι. και Οικονόμου Ν. (2020). *Δομικά Υλικά Ι – Ενότητα 4: Τεχνολογία Τσιμέντου*. Διδακτικές Σημειώσεις, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. ΑΠΘ.

Πενέλης, Γ. και Κάππος, Α. (1990). *Κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα*. Εκδ. Ζήτη. Θεσσαλονίκη.

Σαρριγιάννη. Α. (2020). *Βλάβες Τοιχοποιίας*. Διδακτικές Σημειώσεις. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. ΕΜΠ. Αθήνα.

Σπυράκος, Κ. (2004). *Ενίσχυση Κατασκευών για Σεισμικά Φορτία*. ΤΕΕ. Αθήνα

Σταυρανίδου, Ε. (2018). *Αποτίμηση και Ενίσχυση Κατασκευής από Οπλισμένο Σκυρόδεμα*. Πτυχιακή Διατριβή. Σχολή Μηχανικής και Τεχνολογίας. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής. Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου.

Σταματούλης, Σ. (2013). *Μη καταστροφικοί έλεγχοι σε υφιστάμενες κατασκευές*. Πτυχιακή Εργασία. Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών - Τμήμα Πολιτικών Δομικών Έργων Δομοστατικός Τομέας.

Ταταγιώτη. Δ. (2011). *Μελέτη του χρόνου ζωής κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα υπό εναλλασσόμενες διαβρωτικές συνθήκες*. (Διδακτορική Διατριβή). Σχολή Μηχανικών Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής Υλικών. ΕΜΠ. Αθήνα.

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. (2020). Κεφ. 6.1: Επισκευαστικά Κονιάματα – Γενικά. Διαθέσιμο στο URL: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_KONIAMATA/ko6.1.htm , Ημερ. Πρόσβασης: 02/10/2020.

Τριανταφύλλου, Α. *Δομικά Υλικά – Τεχνικές Διαστασιολόγησης* . 7^η Έκδ. Πάτρα.

Τσίμας, Σ. και Τσιβιλής. Σ. (2001). *Επιστήμη και Τεχνολογία του Τσιμέντου*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ. Αθήνα.

Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών. (2016). *Παραδοτέα Μελετών Κτιριακών Έργων*. Συγκρότηση Ομάδων Εργασίας για τη σύνταξη «προσχεδίου» της ΥΑ της παρ.2 του άρθρου 196 του ν. 4412/2016, περί εξειδίκευσης του είδους των παραδοτέων

στοιχείων ανά στάδιο και ανά κατηγορία μελέτης (ΑΔΑ: 6^{ΕΞ}7465ΧΘΞ-2ΥΘ). Διαθέσιμο στο URL: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjyIrk2_sAhXCGewKHcVEAJJoQFjAMegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.ggde.gr%2Findex.php%3Foption%3Dcom_k2%26view%3Ditem%26task%3Ddownload%26id%3D1536_c1cb8587d69e22f63de935220138da42%26Itemid%3D173&usq=AOvVaw35WXcHchd58FI7CO8vzZSfm, Ημερ. Πρόσβασης: 12/11/2020.

Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας. (1999). *Συνοπτικές Οδηγίες για την Επισκευή του Φέροντος Οργανισμού Κτιρίων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με Βλάβες από Σεισμό*. Αθήνα.

Φαρδής, Μ. (2008). *Μαθήματα οπλισμένου σκυροδέματος III*.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Dritsos, S. (1995). Seismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings in Greece. *Journal of Structural Engineering*. Vol. 22(1). 11-22.

Dritsos, S. (1997). Jacket retrofitting of reinforced concrete columns. *Journal of Construction Repairs*. Vol. 11. (4). 35-44.

Guadagnini, M., Pilakoutas, K., Neocleous, I., Hajirasouliha., I and Matthys, S. (2009). *FRP reinforcement for durable concrete structures*. 11th annual International fib Symposium : Concrete : 21st Century Superhero : building a sustainable future. p.1-8.

Frangou, M., Pilakoutas, K. and Dritsos, S. (1993). *Repair/strengthening of columns by a simple localized strengthening technique*. Proc. Of the 5th International Conference on Structural Faults and Repair. Vol. 3, 205-11. Edinburgh.

Kim, J. & La Fave, J. (2008). *Joint shear behavior prediction in RC beam-column connections subjected to seismic lateral loading*. Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering. October 12-17, 2008, Beijing, China.

Mehta, P. and Monteiro, P. (1993). *Concrete, Microstructure, Properties and Materials*. New York. McGraw-Hill.

Neville, A. (2002). *Properties of Concrete*. London. Pearson Education Limited.

UNIDO/UNDP. (1983). *Repair and Strengthening of Reinforced Concrete, Stone and Brick-Masonry Buildings*. Project RER/79/015: Building Construction Under Seismic Conditions in the Balkan Region. UNIDO. Vol. 5. Vienna. Austria.