## ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ

## ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ & ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ Ο.Α.Σ.Π.

## ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ

Αθήνα, Απρίλιος 2001

### προλογος

Η ασφάλεια των κτιρίων και γενικότερα των κατασκευών, αποτελεί αναμφισβήτητα τον κύριο και καθοριστικό παράγοντα για την προστασία της ζωής και της περιουσίας των πολιτών σε περίπτωση σεισμού.

Στη χώρα μας, η οποία παρουσιάζει την υψηλότερη σεισμικότητα στην Ευρώπη, το αρμόδιο Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων έχει θέσει ως πρώτη προτεραιότητα τη διαμόρφωση ενός σύγχρονου και αποτελεσματικού θεσμικού πλαισίου για την προστασία των κτιρίων από τον σεισμικό κίνδυνο.

Ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός ΕΑΚ-2000, ο Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος ΕΚΩΣ-2000, ο Προσεισμικός έλεγχος Δημοσίων κτιρίων, καθώς και μια σειρά από άλλους κανονισμούς και οδηγίες, αποτελούν τους βασικούς άξονες για την εξασφάλιση της αντισεισμικής επάρκειας των κατασκευών.

Το παρόν τεύχος με τίτλο ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΤΑ ΚΤΡΙΑ, έρχεται να συμπληρώσει το παραπάνω πλαίσιο κανονισμών και τεχνικών οδηγιών του ΥΠΕΧΩΔΕ στην κατεύθυνση της βελτίωσης της σεισμικής συμπεριφοράς και ασφάλειας των υφισταμένων κτιρίων.

Στο τεύχος αυτό περιλαμβάνονται οι κατευθυντήριες οδηγίες και προδιαγραφές (αποτίμηση φέρουσας ικανότητας, τεχνικές επεμβάσεων, υλικά) τόσο για την προσεισμική ενίσχυση κτιρίων, όσο και για την επισκευή των κτιρίων που έχουν υποστεί βλάβες από σεισμό.

Με την πεποίθηση ότι το τεύχος αυτό θα συμβάλλει ουσιαστικά στην αντιμετώπιση του σεισμικού κινδύνου, το παραδίδω στον τεχνικό κόσμο της χώρας και ευχαριστώ τον ΟΑΣΠ και τους διακεριμένους επιστήμονες που μόχθησαν γι' αυτό το σημαντικό έργο.

Νάσος Αλευράς Υφυπουργός ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Εισαγωγή		. 1
2	Περιοχή ισχύος - Ορισμοί		. 3
	2.1 Περιοχή ισχύος		. 3
	2.2 Ορισμοί		. 3
3	Κριτήρια σχεδιασμού επεμβάσ	εων	. 5
	<ul> <li>3.1 Κριτήρια και τύποι επεμβάσεων</li> <li>3.1.1 Κριτήρια επεμβάσεων</li> <li>3.1.2 Τύποι επεμβάσεων</li> </ul>		. 5 . 5 . 6
	3.2 Γενικές αρχές Ανασχεδιασμού		. 8
	3.3 Σύνταξη Μελέτης Επεμβάσεων		12
	3.4 Βιβλιογραφία		21
4	Μηχανισμοί μεταφοράς δυνάμ	EWV	23
	<ul> <li>4.1 Μεταφορά δυνάμεων από σκυρό <ul> <li>4.1.1 Θλίψη στην διεπιφάνεια μετ</li> <li>4.1.2 Θλίψη προρηγματωμένου στ</li> <li>4.1.3 Συνοχή μεταξύ παλαιού και</li> <li>4.1.4 Τριβή μεταξύ παλαιού και ν</li> <li>4.1.4.1 Λεία διεπιφάνεια</li> <li>4.1.5 Λειτουργία σφιγκτήρα του στ</li> <li>4.1.6 Μεταφορά δυνάμεων μέσω</li> <li>4.1.6.2 Εφελκυσμός</li> <li>4.1.6.3 Διάτμηση</li> </ul> </li> <li>4.2 Μεταφορά δυνάμεων από σκυρό</li> </ul>	δεμα σε σκυρόδεμα	23 23 23 24 24 25 26 26 26 26 26 27 27
	<ul> <li>4.3 Μεταφορά δυνάμεων από χάλυβ σκυρόδεμα μέσω βλήτρων και α</li> <li>4.3.1 Δράση βλήτρου των ράβδων (α) Μήκος βλήτρου (β) Τρόπος αστοχίας-ελάχια (γ) Αντοχή βλήτρου (δ) Αλληλεπίδραση μηχανια</li> <li>4.3.2 Μεταφορά δυνάμεων μέσω 4.3.2.1 Γενικοί κανόνες</li> </ul>	α σε σκυρόδεμα και από σκυρόδεμα σε ιγκυρίων ν του οπλισμού στες επικαλύψεις σμού βλήτρου και εξολκεύσεως μεταλλικών αγκυρίων	28 28 28 29 29 30 30

	4.3.2.2 Σχεδιασμός διογκούμενων αγκυρίων και αγκυρίων διογκούμενης	
	κεφαλής έναντι εφελκυσμού	. 31
	(1) Διαρροή του αγκυρίου	. 31
	(2) Εξόλκευση του αγκυρίου	. 31
	(3) Αστοχία του σκυροδέματος	. 31
	(4) Απόσχιση του σκυροδέματος	. 32
	4.3.2.3 Σχεδιασμός διογκούμενων αγκυρίων και αγκυρίων διογκούμενης	
	κεφαλής έναντι τέμνουσας	. 32
	(1) Αστοχία του αγκυρίου	. 32
	(2) Αστοχία του σκυροδέματος λόγω αποσχίσεως	. 33
	(3) Πλευρική εκτίναξη του σκυροδέματος	. 33
	4.3.2.4 Αγκύρια υποβαλλόμενα σε ανακυκλιζόμενη τέμνουσα	. 33
	4.3.2.5 Αγκύρια υποβαλλόμενα ταυτοχρόνως σε εφελκυσμό και σε διάτμηση	ן 34
	4.3.2.6 Σχεδιασμός πακτωμένων αγκυρίων	. 34
	(1)Αγκύρια υποβαλλόμενα σε εφελκυσμό	. 34
	(2) Αγκύρια υποβαλλόμενα σε διάτμηση	. 35
	4.4 Αγκύρωση νέου οπλισμού	. 35
	4.4.1 Ανκύρωση σε υπάργοντα οπλισμό	. 35
	4.4.2 Αγκύρωση σε υπάργον σκυρόδεμα	. 36
	4.4.3 Αγκύρωση σε νέο σκυρόδεμα	. 36
	4.5 Βιβλιογραφία	. 36
5	Φέρων οργανισμός από Οπλισμένο σκυρόδεμα	. 37
	5.1 Τυπικοί βαθμοί βλάβης	. 37
	5.2 Ημι-εμπειρικός τρόπος εκτίμησης απομένουσας αντοχής και δυσκαμψίας	40
	5.3 Διορθωτικοί συντελεστές προσομοιώματος	. 41
	5.4 Επισκευές-ενισχύσεις δομικών στοιχείων	42
	5.4.1 Επισκευές – ενισχύσεις υποστυλωμάτων	42
	5.4.1.1 Επισκευές υποστυλωμάτων	. 42
	5.4.1.1.1 Επισκευές με κόλλες ή επισκευαστικά κονιάματα	42
	5.4.1.1.2 Τοπικές αποκαταστάσεις ίσης διατομής	. 43
	5.4.1.2 Ενισχύσεις υποστυλωμάτων	. 45
	5.4.1.2.1 Ενίσχυση υποστυλωμάτων με περίσφιγξη	46
	Διαδικασίες επιβολής περίσφιγξης	. 46
	Μανδύες από ινοπλισμένα πολυμερή	. 48
	Τεχνική μεταλλικού κλωβού	. 49
	Διαστασιολόγηση	. 50
		50
	5.4.1.2.2 Μανδυες υποστυλωματων από οπλισμενο σκυροδεμα	. 33
	Ειοη μανούων οπλισμένου σκυροδεματος	. 33

	Διαδικασία κατασκευής μανδυών	55
	Ανοικτοί μανδύες	57
	Μεταφορά αξονικού φορτίου	59
	Συνδετήρες μανδύα	62
	Έλεγχος διεπιφάνειας	62
	Διαστασιολόγηση	62
	Κατασκευαστικές διατάξεις	63
5.4.2 Επισκευές- ενισγι	όσεις τοιγωμάτων	64
5.4.2.1 Επισκευές	ς τοιγωμάτων	64
5.4.2.2 Ενισχύσει	ς τοιγωμάτων	64
5.4.2.2.1 I	Ενίσχυση τοιχωμάτων με περίσφιγξη	64
5.4.2.2.2 1	Ενίσχυση τοιχωμάτων με μανδύες οπλισμένου	
	σκυροδέματος	65
	Διαστασιολόνηση	67
	Κατασκευαστικές διατάξεις	69
543 Επισκευές-ενισχύ	σεις δοκών και πλακών	70
5.4.3.1 Επισκευή	δοκών και πλακών	70 70
5 4 3 2 Evíoruon	δοκών και πλακών	70 71
54321	Καμπτική ενίσνυση με ποόσθετες στοώσεις σκυοοδέμο	71 170c71
5.7.5.2.1	Αιαστασιολόνηση	73
	Κατασκευαστικές διατάξεις	75 73
51322	Καιπτική ενίσνυση με επικολλητά σύλλα από χάλυβα	13
5.4.5.2.2	ή μοπλισμένα πολυμερή	73
	η τνολλισμένα κολομέρη	75 71
	Ενίσχοση με ινοπλητιά ελασματά	75
5 1 2 2 2	Ενιοχυση με ινολλισμενα πολυμερη	75 76
5 4 3 2 4	Διατμητική ενιοχούη σοκών με εςωτερικά στοιχεία	70 79
5.4.5.2.4	Ενιοχυση με μανούες σπλισμένου σκυροσεμαίος	0 / مە
		00 00
	Κατασκευαστικές οιατάζεις	80
5.4.4 Επισκευή – ενίσχ	υση κόμβων δοκών - υποστυλωμάτων	80
5.4.4.1 Επισκευές	; κόμβων	81
5.4.4.2 Ενίσχυση	κόμβων	81
5.4.4.2.1	Μανδύες οπλισμενού σκυροδεματος	81
5.4.4.2.2	Η Τεχνική των χιαστί κολλάρων	82
5.4.4.2.3	Η Τεχνική των επικολλητών φύλλων	84
5.4.4.3 Διαστασια	λόγηση κόμβων	85
5.4.5 Ενισχύσεις στοιχε	είων θεμελίωσης	86
5.5 Ενίσχυση κατασκευής	ως σύνολο	88
5.5.1 Κατασκευή τοιχω	μάτων εντός πλαισίων	92
Τοιχώματα από έ	γχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	92
Προκατασκευασμ	ιένα τοιχώματα (panels)	96
Τοιχώματα από ο	πλισμένη ή άοπλη τοιχοποιία	96
5.5.2 Προσθήκη δικτυα	οτών τοιχωμάτων εντός πλαισίων	96
5.5.3 Κατασκευή πλευρ	οικών τοιχωμάτων σε συνέχεια υποστυλωμάτων	99

	5.6 Βιβλιογραφία	101
6	Κτίρια με φέροντα οργανισμό από Τοιχοποιία	105
	6.1 Πεδίο εφαρμογής	105
	6.2 Σύνθεση φέροντος οργανισμού	105
	6.2.1 Εισαγωγή	105
	6.2.2 Τύποι πατωμάτων και στεγών	105
	6.2.3 Τύποι φερουσών τοιχοποιιών	108
	6.2.4 Διαζώματα - Ελκυστήρες	109
	6.3 Παθολογία φέροντος οργανισμού	114
	6.3.1 Εισαγωγή	114
	6.3.2 Παθολογία κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία υπό κατακόρυφα φορτία	114
	6.3.3 Παθολογία κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία υπό σεισμική καταπόνηση	116
	6.4 Κριτήρια και αρχές επεμβάσεων	122
	6.4.1 Κριτήρια επεμβάσεων	122
	6.4.2 Αρχές επεμβάσεων	122
	6.5 Τεχνικές επεμβάσεων μέσης στάθμης	124
	6.5.1 Βαθύ αρμολόγημα	124
	6.5.2 Οπλισμένο ή ινοπλισμένο επίχρισμα	125
	6.5.3 Συρραφή μεγάλων ρωγμών	127
	6.5.4 Καθαίρεση και τοπική ανακατασκευή	130
	6.5.5 Συρραφή αποκολλημένων τοίχων	132
	6.5.6 Επισκευή ή κατασκευή διαζωμάτων	134
	6.5.7 Επισκευή ή κατασκευή υπερθύρων (πρέκια)	138
	6.5.8 Ενίσχυση τοιχοποιίας με μανδύες	139
	6.6 Τεχνικές επεμβάσεων υψηλής στάθμης	143
	6.6.1 Ενέσεις σε ρωγμές	143
	6.6.2 Ομογενοποίηση μάζας	146
	6.6.3 Ελκυστήσες - τένοντες	148
	6.6.4 Ριζοπλισμοί	150
	6.7 Ενίσχυση θεμελιώσης	152
	6.7.1 Εισαγωγή	152
	6.7.2 Αβαθής υποθεμελίωση	154
	6.7.3 Βαθιά υποθεμελίωση με τη μέθοδο των μικροπασσάλων	157
	6.7.4 Βελτίωση και ενίσχυση εδάφους με ενέσεις	162
	6.8 Βιβλιογραφία	164

• •	2		•	.,	2	•		 •
από οπλιο	σμένο α	σκυρόδε	μα			 	•••••	 165

7.1 Αλληλεπίδραση φέροντος οργαν στοιχεία κανονισμών	υσμού και τοιχοπληρώσεων- 				
7.2 Επίδραση της συμπεριφοράς τη πλαισίων (Σαρηγιάννης Δ. 1989)	ς τοιχοπλήρωσης στη μορφή αστοχίας των 				
7.3 Στάδια παραμόρφωσης τοιχοπλ (Στυλιανίδης Κ. 1985)	ηρωμένων πλαι <del>σ</del> ίων υπο οριζόντια φορτία 				
7.4 Επίδραση της τοιχοπλήρωσης σ (Σαρηγιάννης Δ. 1989)	τα δυναμικά χαρακτηριστικά των πλαισίων 				
7.5 Απλή ρηγμάτωση τοίχων					
7.6 Εντονη ρηγμάτωση τοίχων					
7.7 Αποσύνδεση οργανισμού πληρώσεως και σκελετού					
7.8 Διακοσμητικά στοιχεία, υλικά ε 7.8.1 Επενδύσεις 7.8.2 Αλλα διακοσμητικά στοιχεί 7.8.3 Εγκαταστάσεις 7.8.4 Πατάρια κλπ	γκαταστάσεων και δευτερεύουσες κατασκευές 173 				
<ul> <li>7.9 Παράρτημα κεφαλαίου 7</li></ul>					
7.10 Βιβλιογραφία					
Παράρτημα					
Υλικά και τεχνολογίες επεμβάσεων					

### 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι σεισμοί των τελευταίων δεκαετιών σε όλον τον κόσμο, καθώς και οι πρόσφατοι σεισμοί στη χώρα μας, έχουν θέσει με μεγάλη ένταση το μείζον κοινωνικό και οικονομικό θέμα των επεμβάσεων σε κτίρια, τα οποία υπέστησαν βλάβες, αλλά και της βελτιώσεως της σεισμικής συμπεριφοράς των υφισταμένων κτιρίων έναντι μελλοντικών σεισμών.

Ενώ η μελέτη και η κατασκευή των νέων κτιρίων, καθώς και τα υλικά των νέων κατασκευών, καλύπτονται από πλήθος κανονισμών και προδιαγραφών, δεν συμβαίνει το ίδιο με τις υπάρχουσες κατασκευές. Πράγματι, το σημερινό (μη ικανοποιητικό) επίπεδο των γνώσεων σε θέματα προσεισμικών και μετασεισμικών επεμβάσεων, αλλά και το πλήθος και το πολύπλοκο των προβλημάτων που σχετίζονται με τα θέματα των επεμβάσεων, καθιστούν δυσχερή τη ρύθμισή τους μέσω ενός κανονιστικού κειμένου.

Αναφέρονται μερικά μόνο από τα ερωτήματα στα οποία καλείται να απαντήσει ο Μηχανικός Μελετητής των επεμβάσεων σε μία υφιστάμενη κατασκευή: Αποτίμηση της απομένουσας φέρουσας ικανότητας μίας υφιστάμενης κατασκευής (με ή χωρίς βλάβες), στάθμη φέρουσας ικανότητας η οποία θα πρέπει να εξασφαλίζεται στο δόμημα μετά από τις επεμβάσεις, υπολογισμός των δυσκαμψιών των επί μέρους δομικών στοιχείων μετά από την εκδήλωση βλαβών και μετά από την επέμβαση, υπολογισμός της φέρουσας ικανότητας μίας διατομής / ενός στοιχείου μετά από την επέμβαση, βαθμός μονολιθικότητας, μεταφορά δυνάμεων σε διεπιφάνειες παλιών και νέων υλικών, χειρισμός των πρόσθετων υλικών / μεθόδων επεμβάσεως / προσομοιωμάτων σχεδιασμού από απόψεως αξιοπιστίας - επί μέρους συντελεστές ασφαλείας κλπ.

Για την αντιμετώπιση αυτού του περίπλοκου τεχνικού προβλήματος, ο Ελληνας Μηχανικός διαθέτει (επί πλέον - βεβαίως - της γενικής του κατάρτισης, η οποία όμως είναι προσανατολισμένη προς τις νέες κατασκευές) οδηγίες και κείμενα όπως είναι αυτές οι Συστάσεις.

Αυτά τα κείμενα περιέχουν πολύτιμες πληροφορίες, κυρίως για συνήθεις μεθόδους επεμβάσεων, με σκοπό την κατά το δυνατόν συστηματική αντιμετώπιση ενός τεχνικού προβλήματος εξαιρετικά σημαντικού για τη δημόσια ασφάλεια, αλλά και με μεγάλες συνέπειες κοινωνικού, οικονομικού και νομικού χαρακτήρα.

Ο Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) διαπιστώνοντας την ανάγκη για ένα κατά το δυνατό σύγχρονο εγχειρίδιο με συστάσεις για προσεισμικές και μετασεισμικές επεμβάσεις σε κτίρια, ανέθεσε τη σύνταξη του παρόντος εγχειριδίου σε Ομάδα Μελέτης.

Οσα αναφέρονται στο εγχειρίδιο αυτό αφορούν κατασκευές με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχοποιΐα και μπορούν να εφαρμοσθούν σε κάθε επέμβαση που θα κριθεί αναγκαία έστω και εάν δεν έχουν διαπιστωθεί βλάβες.

Στο κεφάλαιο 2 περιλαμβάνεται η περιοχή ισχύος του εγχειριδίου και οι κυριότεροι ορισμοί.

Στο κεφάλαιο 3 περιέχονται αναφορές που υποβοηθούν τη λήψη αποφάσεων για το σχεδιασμό των επεμβάσεων και τη σύνταξη των σχετικών μελετών.

Στο κεφάλαιο 4 περιέχονται αναφορές στους μηχανισμούς μεταφοράς δυνάμεων και τα μέσα σύνδεσης διεπιφανειών παλιών και νέων υλικών και δίνονται χρήσιμες πληροφορίες για τη διαστασιολόγησή τους.

Στα κεφάλαια 5 και 6 περιέχονται αναφορές στις πλέον εφαρμοζόμενες μεθόδους επέμβασης σε κτίρια με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχοποίτα. Περιγράφονται οι τεχνικές, το πεδίο εφαρμογής κάθε μεθόδου και δίνονται όπου είναι δυνατό πληροφορίες για τη διαστασιολόγηση.

Στο κεφάλαιο 7 περιέχονται αναφορές για επεμβάσεις στον οργανισμό πλήρωσης κτιρίων με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Τέλος, στο παράρτημα δίνονται πληροφορίες για τα υλικά και τις τεχνολογίες επεμβάσεων. Περιγράφονται οι τεχνικές εφαρμογής, τα υλικά, ο μηχανικός εξοπλισμός κλπ για την καλή εκτέλεση των επεμβάσεων.

Για τη σύνταξη του παρόντος εγχειριδίου εργάστηκαν οι Πολιτικοί Μηχανικοί:

- Βιντζηλαίου Ελισάβετ, Επικ. Καθηγήτρια ΕΜΠ Εισηγήτρια του κεφ.4.
- Δημοσθένους Μίλτων, Ερευνητής ΙΤΣΑΚ Συνεισηγητής του κεφ.6.
- Δρίτσος Στέφανος, Αναπλ. Καθηγητής Παν.Πατρών-Εισηγητής του κεφ. 5.
- Θεοδωράκης Σταύρος, Μελετητής Συντονιστής της Ομάδας Μελέτης.
- Κρεμέζης Παύλος, Μελετητής, Συνεισηγητής του κεφ.5.
- Λεκίδης Βασίλης, Ερευνητής ΙΤΣΑΚ Εισηγητής του κεφ. 7.
- Σπανός Χρήστος, Μελετητής Εισηγητής του κεφ. 3.
- Στυλιανίδης Κοσμάς, Καθηγητής ΑΠΘ Εισηγητής του κεφ. 6
- Χρονόπουλος Μιλτιάδης, Επιστημονικός Συνεργάτης ΕΜΠ.

Επίσης εκφράζονται οι ευχαριστίες της ομάδας μελέτης προς την κ. Δ. Παναγιωτοπούλου Πολ. Μηχ. Υπάλληλο του Ο.Α.Σ.Π. για τις πολύτιμες υπηρεσίες τις οποίες προσέφερε καθ΄ όλο το διάστημα εργασίας της ομάδας μελέτης.

## 2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΙΣΧΥΟΣ - ΟΡΙΣΜΟΙ

#### 2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΙΣΧΥΟΣ

Οι παρούσες «Συστάσεις» ισχύουν για φέροντα δομικά στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα, λιθοδομή ή πλινθοδομή, καθώς και για τον οργανισμό πληρώσεως από πλινθοδομή.

Οι Μελετητές και οι κατασκευαστές των επισκευών που ακολουθούν αυτές εδώ τις «Συστάσεις» πρέπει να εφαρμόσουν τις σχετικές οδηγίες με τον πρόσθετο βαθμό προσωπικής κρίσεως που απαιτείται για να καλυφθεί η πολύ μεγάλη ποικιλία και ιδιοτυπία των συγκεκριμένων περιπτώσεων που εμφανίζονται στην πράξη.

Μιας και το κείμενο αυτό δεν έχει νομική ισχύ, τονίζεται ρητώς ότι σε κάθε τυχόν περίπτωση αντιφάσεως προς τις Προδιαγραφές, Αποφάσεις, Εγκυκλίους του ΥΠΕΧΩΔΕ, υπερισχύουν οι διατάξεις των Προδιαγραφών εκείνων.

#### 2.2 ΟΡΙΣΜΟΙ

- 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. Ετσι 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, πλασιμότητα 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.
- Επανάχρηση (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.

#### 3 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΛΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

#### 3.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

#### 3.1.1 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, όπως αυτή της [4]. Στις μεθόδους αυτές συνεκτιμώνται διάφορα κριτήρια, τα σημαντικότερα των οποίων είναι τα εξής [4] (βλ. σχήμα 1,2) :



Σχ. 1 Γραφική παράσταση των εννοιών  $V_R$ ,  $V_C$ ,  $V_D$ 



σεισμική ικανότητα V

Σχ. 2 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 Κανονισμό [13,14] R<sub>C1</sub>=V<sub>C</sub>/V<sub>R</sub> (1)
 είτε ως ο λόγος της απομένουσας σεισμικής ικανότητας μετά την εκδήλωση των βλαβών προς την διαθέσιμη προ του σεισμού [11,13] R<sub>C2</sub>=V<sub>D</sub>/V<sub>C</sub> (2)

- Η διάταξη του φέροντος οργανισμού, η οποία είναι δυνατόν να χαρακτηρισθεί ως καλή, αποδεκτή ή ασαφής.
- Η ευκαμψία της κατασκευής, εκπεφρασμένη ως σχετική στροφή ορόφων ΔR/h για σεισμική φόρτιση αυτήν που υπαγορεύει ο Κανονισμός, και τέλος
- Η πλαστιμότητα της κατασκευής πριν από οποιαδήποτε ενίσχυση.

Όπου: V<sub>R</sub> = απαιτούμενη σεισμική ικανότητα

 $V_C$  = διαθέσιμη σεισμική ικανότητα

V<sub>D</sub> = 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.

#### 3.1.2 Τύποι επεμβάσεων

Οι τύποι ενίσχυσης ανάλογα με την σοβαρότητα της επεμβάσεως μπορούν να ενταχθούν σε μια από τις επόμενες κατηγορίες (Σχ.3) [4,10]:

- Τύπος Ι: Βελτίωση της πλαστιμότητας και της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας με ενίσχυση υφισταμένων στοιχείων (π.χ. λεπτούς μανδύες στους στύλους με πυκνούς συνδετήρες, περίσφιγξη με ελάσματα ή σύνθετα υλικά).
- Τύπος ΙΙ: Αύξηση της αντοχής και της ακαμψίας με ενίσχυση υφισταμένων στοιχείων (π.χ. αύξηση πάχους τοιχείων).
- Τύπος ΙΙΙ: Αύξηση της αντοχής, της ακαμψίας και της πλαστιμότητας με ενίσχυση των υφισταμένων στοιχείων (π.χ. επαύξηση πάχους τοιχείων και μανδύες στα υποστυλώματα).
- Τύπος ΙV: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 [3], όπως το κόστος, τα διαθέσιμα τεχνολογικά μέσα, η αισθητική του κτιρίου κ.λπ., όσον και τεχνικού χαρακτήρα, όπως η απαίτηση κανονικότητας, αυξημένης πλαστιμότητας, μη δραστικής μεταβολής της κατανομής της ακαμψίας του κτιρίου κ.λπ.





#### 3.2 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

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. Επι πλέον, είναι περιορισμένα τα στοιχεία που διατίθενται για την αποτελεσματικότητα των επεμβάσεων (π.χ. συμπεριφορά μιάς 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.

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 κατακορύφων στοιχείων συνεπάγονται αύξηση του ιδίου βάρους της κατασκευής. Αντιθέτως αλλαγή χρήσεως μιάς 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 κατακορύφων 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. Σ΄ αυτό το στάδιο απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά την εκτίμηση των νέων αυξημένων δυσκαμψιών των στοιχείων που ενισχύονται, αλλά και των μειωμένων δυσκαμψιών 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 απαραιτήτως να συνοδεύεται από Τεχνική Εκθεση 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
- $\gamma_f$  : o epimérous suntelestás asgaleías gia tis dráseis
- $R_d$  :  $\eta$  timb scediasmoù tou megéqous antistásews
- $R_k$ : η αντιπροσωπευτική τιμή του μεγέθους αντιστάσεως για την οποία υπάρχει 95 % πιθανότητα υπέρβασης (που ισοδυναμεί με πιθανότητα 5 % υποσκέλισης της αντιπροσωπευτικής τιμής)
- $\gamma_m$ : ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας της αντιστάσεως

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

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

- όπου : $\gamma_{Sd}$ : ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας με τον οποίο λαμβάνονται υπόψη οι αβεβαιότητες των προσομοιωμάτων της δράσεως
  - γ<sub>Rd</sub>: 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  $\gamma_{f}$ ,  $\gamma_m$  κατά τον ανασχεδιασμό κατασκευών μπορούν να γίνουν και οι εξής παρατηρήσεις:

Για τα υπάρχοντα νεκρά φορτία, ίδια βάρη, ο συντελεστής γ<sub>f</sub> 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<sub>f</sub>. Το κατά πόσο μπορεί να ληφθεί μειωμένος συντελεστής γ<sub>f</sub> εξαρτάται από την στάθμη αποτιμήσεως και μετρήσεων των επεμβάσεων.

- Για τα ωφέλιμα φορτία, η τιμή του γ<sub>f</sub> εξαρτάται κυρίως από την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του έργου μετά τις επεμβάσεις. Επομένως, μπορεί να είναι μεγαλύτερος ή μικρότερος απ΄ ότι για τις νέες κατασκευές
- Αντιθέτως και για τα υπάρχοντα και για τα νέα υλικά, συνήθως χρησιμοποιούνται μεγαλύτερες τιμές των συντελεστών γ<sub>m</sub>, 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 ότι αφορά τα νέα υλικά). Σε περιπτώσεις αξιόπιστης αποτίμησης των μηχανικών χαρακτηριστικών των υπαρχόντων υλικών επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται μικρότερες τιμές των συντελεστών γ<sub>m</sub> γι΄ αυτά τα υλικά.

Γενικά η παρούσα στάθμη γνώσεων δεν επιτρέπει πλήρως τεκμηριωμένη αντιμετώπιση του θέματος των τροποποιημένων επι μέρους 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 επανυπολογισμό 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 ενίσχυσή 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 ο [3] συστήνει την εισαγωγή αυξημένων τιμών στους μερικούς συντελεστές ασφάλειας  $\gamma_m$  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 [3,11]:

- 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 [12]. Υπ΄αυτή την έννοια υπάρχει επί του παρόντος χάσμα ανάμεσα στην ερευνητική δραστηριότητα επί της μηχανικής των διεπιφανειών και την πρακτική αξιοποίησή της στη διαστασιολόγηση επισκευασμένων στοιχείων, που όμως ελπίζεται ότι θα καλυφθεί σύντομα.

Ετσι, επί του παρόντος η προσέγγιση του προβλήματος στην πράξη στηρίζεται σε ημιεμπειρικές διαδικασίες που οι βασικοί άξονές 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<sub>u,rep</sub> η ακαμψία K<sub>rep</sub> και η απορροφούμενη ενέργεια E<sub>u,rep</sub>.
- Τα παραπάνω μεγέθη προσδιορίζονται παραλλήλως με την παραδοχή ότι το δομικό στοιχείο μετά την επισκευή είναι μονολιθικό χωρίς διεπιφάνειες (R<sub>u,monol</sub>, K<sub>monol</sub>, E<sub>u,monol</sub>). 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» [3] με μορφή κανονιστική ή οδηγιών, ήτοι:

$$\phi_{R} = \frac{R_{u,rep}}{R_{u,monol}} \qquad \phi_{K} = \frac{K_{rep}}{K_{monol}} \qquad \phi_{E} = \frac{E_{u,rep}}{E_{u,monol}}$$

- Οι μειωτικοί αυτοί συντελεστές είναι εκ προϊμοίου δεδομένοι σε επίπεδο Κανονιστικό ή Συστάσεων για κάθε είδος δομικού στοιχείου και τύπου επισκευής του [12] και επιτρέπουν τη διεξαγωγή της διαστασιολόγησης με την παραδοχή ότι το επισκευασμένο στοιχείο είναι μονολιθικό. Η αντοχή του, ακαμψία του και 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.

#### 3.3 ΣΥΝΤΑΞΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

Η μελέτη επεμβάσεων είναι σκόπιμο να περιέχει τα εξής :

1 Εγκεκριμένο φάκελο αδείας 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 ιδιαιτέρως 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 ξυλοτύπων), 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 τοιχοποιίων, διερεύνηση για ύπαρξη ελκυστήρων, κατάσταση λιθοσωμάτων, εκτίμηση όγκου κενών τοιχοποιίας, κλπ.
- Ερευνα 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:

- <u>Γεωμετρικές μετρήσεις</u> 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).
- <u>Διερεύνηση του εδάφους</u> που θα περιλαμβάνει:
  - περιγραφή θεμελίωσης
  - ενδεικτικό αλλά αντιπροσωπευτικό γεωμετρικό έλεγχο θεμελίων
  - φρέατα επιθεωρήσεως
  - εδαφοτεχνική έρευνα.
- Ποιοτικός έλεγχος υλικών και κατασκευής

#### > Σκυρόδεμα

Ελεγχος ποιότητας σκυροδέματος με λήψη και θραύση τουλάχιστον έξι (6) δοκιμίων ανά παρτίδα και συνδυασμός - τους με έμμεσες μεθόδους (κρουσίμετρο, υπέρηχοι, εξόλκευση ήλου). Οπου παρτίδα νοείται οι περιοχές που φαίνεται πως διαστρώθηκαν σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα π.χ. διαφορετικοί όροφοι, πλάκες από υπερκείμενες σκάλες και τοιχεία, 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 κάμψηςανάκαμψης, 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.

#### > Δομικός χάλυβας

Οπτικοί έλεγχοι καταστάσεως

Λήψη δοκιμίων για προσδιορισμό μηχανικών χαρακτηριστικών

Ελεγχος συγκολλήσεων, οπτικός έλεγχος

Ελεγχος χημικής σύστασης (όταν πρόκειται να γίνει χρήση εκτεταμένων ηλεκτροσυγκολλήσεων).

#### > Ξύλινα στοιχεία

Οπτικός έλεγχος για την κατάστασή-τους,

Λήψη και θραύση δοκιμίων με αντίστοιχο προσδιορισμό των:

- αντοχή σε θλίψη κάθετα προς τις ίνες
- αντοχή σε θλίψη παράλληλα προς τις ίνες
- αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη.

#### > 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 τοιχοποιϊας
- αντοχή σε θλίψη λιθοσωμάτων
- αντοχή σε εφελκυσμό λιθοσωμάτων
- αντοχή σε θλίψη κονιάματος
- αντοχή σε εφελκυσμό κονιάματος

Επίσης 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 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.

#### 3 Στατικός - Αντισεισμικός έλεγχος κατασκευής

Μετά την συγκέντρωση των στοιχείων και πληροφοριών των υποπαραγράφων 1 και 2, 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<sub>K</sub> 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
- Ποιός είναι ο βαθμός υποκειμενικότητας κατά την αξιολόγηση της ασφάλειας υφισταμένων κατασκευών

Σημειώνεται 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 μελέτη.

#### 4 Τεχνική Εκθεση για την συμπεριφορά της κατασκευής

Με βάση τα στοιχεία - παρατηρήσεις των προηγούμενων υποπαραγράφων 1,2,3 συντάσσεται Τεχνική Εκθεση που αναφέρεται στα αίτια και ερμηνεία των βλαβών και κρίση για την συμπεριφορά της κατασκευής και λοιπές 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.

#### 5 Παραδοχές ανασχεδιασμού

Η Τεχνική Εκθεση αυτή θα περιλαμβάνει στοιχεία και 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 χρόνω ολοκλήρωση
  - Μοντέλο υπολογισμού
  - Συνδυασμοί δράσεων
  - Συντελεστές ασφαλείας δράσεων και αντιστάσεων (επαρκής αιτιολόγηση χρησιμοποίησης διαφορετικών συντελεστών ασφάλειας 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.

#### 6 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:

#### 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.

#### 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 5 (Παραδοχές Ανασχεδιασμού).
- Επιλογή προσωμοιόματος 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.

#### Ελεγχος

Ο έλεγχος αφορά τις οριακές καταστάσεις αστοχίας ή / και λειτουργικότητας με βάση τις απαιτήσεις του κανονιστικού πλαισίου ανασχεδιασμού, και αφορά την ικανοποίηση της βασικής ανισώτητας 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:

#### 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<sub>M</sub>) λόγω της αβεβαιότητας που προκύπτει από το είδος των εργασιών και την αδυναμία αποτελεσματικού ποιοτικού ελέγχου.

# 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 δυνάμενων που αναφέρονται στο κεφάλαιο 4 στα σημεία επαφής μεταξύ νέων και παλαιών στοιχείων (διεπιφάνειες)

Για τον σκοπό αυτό απαιτείται και η εφαρμογή του κατάλληλου συνολικού συντελεστή ασφαλείας γ<sub>Rd</sub> λόγω αβεβαιοτήτων διεπιφανειών.

#### 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.

#### 7 Τεύχη και σχέδια μελέτης

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.
- Τα σχέδια της μελέτης πρέπει να καλύπτουν τις παρακάτω περιπτώσεις:
- Γενικά σχέδια αποτύπωσης των βλαβών
- Γενικά σχέδια περιγραφής των επεμβάσεων
- Σχέδια λεπτομερειών

#### 8 Επίβλεψη και ποιοτικοί έλεγχοι επεμβάσεων

#### 8.1 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 τυποποιήσεως 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 .

Ελεγχος των κατασκευαστικών σχεδίων αν προσαρμόζονται με την πραγματικότητα και όπου απαιτούνται τροποποιήσεις ενημέρωση του μελετητού Μηχανικού για τον τρόπο αντιμετώπησής -των.

Ελεγχος των υλικών και των προδιαγραφών τους αν είναι συμβατά με των της μελέτης.

Ελεγχος 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.

#### 8.2 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 κατακευαστή του έργου.

Το σχέδιο αυτό πρέπει να καλύπτει τα παρακάτω θέματα:

#### 8.2.1 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.

#### 8.2.2 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.
- Ελεγχος 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.

#### 8.2.3 Επισκευή ρωγμών, κενών

- Ελεγχος του καθαρισμού και διαδικασία προετοιμασίας.
- Δοκιμή των υλικών πλήρωσης ή συγκολλήσεως.
- Πιθανή μέτρηση των τοπικών τάσεων που δημιουργούνται κατά τις εργασίες πληρώσεως με ένεμα.
- Ελεγχος 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.

#### 8.2.4 *Μανδύες*

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

#### 8.2.5 Πρόσθετες εισαγόμενες κατά την επισκευή / ενίσχυση δυνάμεις

- Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι παρακάτω περιπτώσεις
- Περισφίγξεις.
- Προένταση.
- Ανύψωση και σφήνωση.
- Εξέταση και ενδεχόμενη προ-δοκιμασία περιοχών όπου θα εφαρμοσθούν συγκεντρωμένες δυνάμεις (περιλαμβανομένων των περιοχών αγκύρωσης).
- Παρακολούθηση παραμορφώσεων στο χρόνο.
- Ελεγχος αλληλεπιδράσεων με άλλες κατηγορίες επεμβάσεων.
- Μετρήσεις τάσεων, παραμορφώσεων στην κατασκευή κατά την εφαρμογή των δυνάμεων, καθώς και σύγκριση με αναμενόμενες τιμές.
- Ελεγχος μη αποδεκτών εγκάρσιων μετατοπίσεων.
- Ελεγχος αντιδιαβρωτικών μέτρων.

#### 9 Συντήρηση

Η μεγάλη ευαισθησία των διεπιφανειών που δημιουργούνται με την επισκευή / ενίσχυση, καθώς και η χρήση νέων υλικών, απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή ως προς τι 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).

#### 3.4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1 CEB 'Fastenings to concrete and masonry structures, State of the Art Report', Thomas Telford, London 1994
- 2 CEB Bulletin 233 'Design of fastenings in concrete, Design Guide-Parts 1 to 3'', Thomas Telford, London 1997.
- 3 CEN: Draft prENV 1998-1-4 'Eurocode 8, Design provisions for earthquake resistance of structures. Part 1-4: General rules Strengthening and repair of buildings''.
- 4 UNIDO / UNDP 'Post Earthquake Damage Evaluation and Strength Assessment of Buildings Under Seismic Conditions', Volume 4, Vienna 1985.
- 5 Γ.Γ.Πενέλη, Καθηγητή Σιδηροπαγούς Σκυροδέματος Α.Π.Θ., "Ενισχύσεις Επισκευές μετά τον σεισμό", Δ.Σ.Π.Μ.Ε.. No 240. 270, 271.
- 6 Γ.Γ.Πενέλη, Α.Ι.Κάππος, "Αντισεισμικές Κατασκευές από Σκυρόδεμα", Θεσσαλονίκη 1990.
- 7 Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος (Κ.Τ.Χ.), Φ.Ε.Κ. 381/B/24.03.2000
- 8 ΕΓΚΥΚΛΙΟΣ 7, ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ/ΓΔΤΥΠΕ/Δ14/28.03.1997, Εκτίμηση της κατηγορίας αντοχής σκυροδέματος υφισταμένων κατασκευών
- 9 Θ.Π.Τάσιος, Χ. Κωστίκας, "Επισκευές των κτιρίων από τις βλάβες των σεισμών" Ι.Ε.Κ.Ε.Μ. Τ.Ε.Ε., Αθήνα Ιανουάριος 2000
- 10 Fema 273-1997, NEHRP Guidelines for the Seismic Pehabilitation of Buildings. Issued by FEMA Washington D.C..
- 11 Θ.Π.Τάσιος, "Επισκευές μετά το σεισμό", Πρακτικά Συνεδρίου "Σεισμοί και Κατασκευές", Ο.Α.Σ.Π., Αθήνα, 1984.
- 12 Penelis, G., Kappos, A., (1996). Earthqake Resistant Concrete Structures. Chapman and Hall, London.
- 13 A.T.C.-3-06, Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings, Chap.13 N.B.S. Spesial Publication 510, Washington D.C. 1978.
- 14 UNDP/UNIDO pr. Rer/79/015, 'Post Earthquake Damage Evaluation and Strength Assessment of Buildings under Seismic Conditions', Volume 4, Chap.3, Vienna 1985.
- 15 Χρονόπουλος Π.Μ., "Βλάβες και κόστος Επεμβάσεων", Πρακτ. Συνεδρίου "Σεισμοί και Κατασκευές", Ο.Α.Σ.Π., Αθήνα, 1984.

### 4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

#### 4.1 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

#### 4.1.1 Θλίψη στην διεπιφάνεια μεταξύ παλαιού και νέου 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 σκυρόδεμα είναι μεγαλύτερες στην περιοχή της διεπιφάνειας των δύο υλικών. Ετσι, 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.

#### 4.1.2 Θλίψη προρηγματωμένου σκυροδέματος

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

- α) στην (αναπόφευκτη) παρουσία ταυτόχρονων διατμητικών παραμορφώσεων κατά μήκος της διεπιφάνειας, οι οποίες φέρουν τα χείλη της ρωγμής σε επαφή πριν απ' τον μηδενισμό του ανοίγματός της, καθώς και
- β) στην παρουσία παγιδευμένου υλικού (λόγω της ρηγματώσεως) μέσα στην διεπιφάνεια.

Πρέπει, πάντως, να ληφθεί υπ' όψη οτι η ανακύκλιση 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 μιάς ρωγμής.

#### 4.1.3 Συνοχή μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος

Συνοχή είναι η μέγιστη διατμητική τάση (αντίσταση), η οποία μπορεί να μεταφερθεί κατά μήκος μιάς 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 έως 0,02 mm, ενώ διατηρείται πρακτικώς αμείωτη για τιμές της σχετικής ολισθήσεως μέχρι 0,50 mm περίπου.

Η τιμή της αντοχής συνοχής μπορεί να λαμβάνεται ίση με:

- α) 0,25f<sub>ctk</sub>, για λείες επιφάνειες σκυροδέματος, χωρίς να έχει προηγηθεί καμμία επεξεργασία (π.χ. η επιφάνεια που προκύπτει κατά την σκυροδέτηση, μετά από την εξομάλυνση με μυστρί)
- β) 0,75f<sub>ctk</sub>, για διεπιφάνειες οι οποίες έχουν υποστεί τεχνητή τράχυνση πριν απ' την χύτευση του νέου σκυροδέματος (μέσω αμμοβολής, υδροβολής, κλπ.)
- γ) 1,00f<sub>ctk</sub>, όταν το νέο σκυρόδεμα εφαρμόζεται πάνω στο υπάρχον δια ψεκασμού (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 οτι 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 σφιγκτήρα του οπλισμού που τις διαπερνά), η διατμητική αντίσταση επιστρατεύεται για σχετικώς μεγάλες τιμές της σχετικής ολισθήσεως. Σ' αυτήν την περίπτωση, η μέχρι μηδενισμού μειώση της συνοχής είναι περισσότερο πιθανή.

#### 4.1.4 Τριβή μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος

Η διατμητική τάση που μεταφέρεται λόγω τριβής κατά μήκος μιάς ασυνέχειας (διεπιφάνειας) είναι συνάρτηση της σχετικής ολισθήσεως, s, των δύο επιφανειών, της ορθής θλιπτικής τάσεως, σ<sub>0</sub>, στην διεπιφάνεια, καθώς και της τραχύτητας.

Η μέγιστη διατμητική αντίσταση, τ<sub>u</sub>, μπορεί να υπολογίζεται, εν γένει, μέσω της σχέσεως: (1)

 $\tau_{\rm u} = \mu \sigma_0$ 

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

Πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη οτι ο συντελεστής τριβής μειώνεται αυξανομένης της ορθής θλιπτικής δυνάμεως στην διεπιφάνεια. Αυτή η μείωση είναι ιδιαιτέρως έντονη στην περίπτωση μικρών τιμών της σ<sub>0</sub>.

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, τ<sub>fud</sub>, της διατμητικής αντοχής μιάς διεπιφάνειας λόγω τριβής, μπορεί να υπολογίζεται μέσω των ακόλουθων σγέσεων:

#### 4.1.4.1 Στην περίπτωση μιάς λείας διεπιφάνειας, κατά τον ορισμό της παραγράφου

 $\tau_{\rm fud} = 0.4 \sigma_{\rm cd}$ 

όπου, σ<sub>cd</sub> είναι η τιμή σχεδιασμού της ορθής θλιπτικής τάσεως στην διεπιφάνεια και περιλαμβάνει (α) την θλιπτική τάση λόγω εξωτερικών δράσεων για τον εκάστοτε υπό εξέταση συνδυασμό δράσεων και (β) την αντίστοιχη θλιπτική τάση λόγω δράσεως σφιγκτήρα του οπλισμού που διαπερνά την διεπιφάνεια (βλ. §4.1.5). Εαν λαμβάνεται υπ' όψη η δυσμενής επιρροή της τριβής, τότε αντί του συντελεστή 0,4, να λαμβάνεται υπ' όψη συντελεστής ίσος με 0,60.

Η μέγιστη διατμητική αντίσταση της σγέσεως (2) επιστρατεύεται για σγετική ολίσθηση στην διεπιφάνεια ίση με:

 $s_{fu} = 0.15 \sqrt{\sigma_{cd}}$  [mm, MPa]

(3) Μπορεί να ληφθεί υπ' όψη γραμμική μεταβολή της διατμητικής τάσεως τριβής και της σχετικής ολισθήσεως, για τιμές της s f από 0 έως sfu. Για μεγαλύτερες τιμές της ολισθήσεως



(2)
και για μεγάλο εύρος τιμών της s f, μπορεί να θεωρηθεί οτι η διατμητική αντίσταση διατηρείται σταθερή και ίση με την μέγιστη τιμή της (σχέση (2)).

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

$$\tau_{\text{fud},n} = \tau_{\text{fud}} \left( 1 - \delta \sqrt{n-1} \right) \tag{4}$$

όπου

τ<sub>fud.n</sub> η διατμητική αντίσταση μετά από n κύκλους

τ<sub>fud</sub> η διατμητική αντίσταση κατά τον πρώτο κύκλο (υπολογιζόμενη απ' την σχέση (2)) και δ=0,15 (σταθερά)

4.1.4.2 Στην περίπτωση μιάς τραχειάς διεπιφάνειας ή μιας διεπιφάνειας που έχει προκύψει από εφαρμογή νέου σκυροδέματος υπό πίεση ή παρουσία συνδετικού υλικού στην διεπιφάνεια (κατά τον ορισμό της παραγράφου 4.1.3):

$$\tau_{fud} = 0.4 (f_{cd}^2 \sigma_{cd})^{1/3}$$

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

Εαν λαμβάνεται υπ' όψη η δυσμενής επιρροή της τριβής, ο συντελεστής 0,4 πρέπει να αντικαθίσταται από συντελεστή 0,65.

Η μέγιστη διατμητική αντίσταση της σχέσεως (5) επιστρατεύεται για σχετική ολίσθηση κατά μήκος της διεπιφάνειας περίπου ίση με 2mm.

Εαν δεν αναμένονται (ή εαν δεν επιτρέπονται) μεγάλες σχετικές ολισθήσεις κατά μήκος μιάς διεπιφάνειας, η επιστρατευόμενη διατμητική αντίσταση (μικρότερη της μέγιστης) μπορεί να υπολογίζεται κατά τα επόμενα:

Για τιμές της σχετικής ολισθήσεως από 0 μέγρι 0,1mm και για τιμές της διατμητικής αντιστάσεως από 0 μέχρι το 50% του μεγίστου (κατά την σχέση (5)), μεταξύ τους σχέση μπορεί να η λαμβάνεται γραμμική.

Για τιμές της σχετικής ολισθήσεως από 0,1mm μέχρι 2mm, η διατμητική αντίσταση συνδέεται με την ολίσθηση μέσω της ακόλουθης σχέσεως:

$$\left(\frac{\tau_{\rm f}}{\tau_{\rm fud}}\right)^4 -0.5 \left(\frac{\tau_{\rm f}}{\tau_{\rm fud}}\right)^3 = 0.3 \,\mathrm{s} - 0.03, \quad [\,\mathrm{s \ in \ mm}]$$



(5)

$$\left(\frac{\tau_{\rm f}}{\tau_{\rm fud}}\right)^4 -0.5 \left(\frac{\tau_{\rm f}}{\tau_{\rm fud}}\right)^3 = 0.3 \,\mathrm{s} - 0.03, \quad [\,\mathrm{s \ in \ mm}] \tag{6}$$

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

σχέσεως: 
$$\tau_{fn}(s) = \tau_{f1}(s) \left( 1 - \left[ 0,002(n-1)\left(\frac{s}{s_u}\right) : \left(\frac{\sigma_{cd}}{f_{cd}}\right) \right] \right)^{1/3}$$
 (7)

όπου

s: η μέγιστη επιβαλλόμενη ανακυκλιζόμενη ολίσθηση τ<sub>f1</sub>(s): η διατμητική αντίσταση κατά τον πρώτο κύκλο για επιβαλλόμενη ολίσθηση s  $s_u=2,0 \text{ mm}$ 

## 4.1.5 Λειτουργία σφιγκτήρα του οπλισμού

Στην περίπτωση **τραχειών διεπιφανειών**, η αύξηση του ανοίγματος της ρωγμής - η οποία προκαλείται απ' την επιβαλλόμενη ολίσθηση - συνεπάγεται την εμφάνιση εφελκυστικών τάσεων στον οπλισμό που τέμνει την διεπιφάνεια. Αυτές οι τάσεις εξισορροπούνται από θλιπτικές τάσεις στο σκυρόδεμα, οι οποίες συμμετέχουν (μαζί με εκείνες που οφείλονται σε εξωτερικά φορτία) στην διατμητική-λόγω τριβής-αντίσταση της διεπιφάνειας. Αυτός ο μηχανισμός ονομάζεται λειτουργία σφιγκτήρα του οπλισμού.

Υπό την προϋπόθεση οτι (α) η διεπιφάνεια υποβάλλεται σε μεγάλου εύρους ολισθήσεις και (β) ο οπλισμός είναι επαρκώς αγκυρωμένος εκατέρωθεν της διεπιφάνειας, ώστε να μπορεί να αναπτύξει το όριο διαρροής του, f<sub>sy</sub>, η μέγιστη διατμητική αντίσταση της διεπιφάνειας υπολογίζεται μέσω της ακόλουθης γενικής σχέσεως:

$$\tau_{\mathbf{R}} = \mu \left( \rho \mathbf{f}_{sy} + \sigma_0 \right) \le \tau_{u,m} \tag{8}$$

όπου,

μ: συντελεστής τριβής υπό ορθή τάση σ<sub>ολ</sub>=pf\_sy+σ\_0

ρ: ποσοστό οπλισμού στην διεπιφάνεια

σ<sub>0</sub>: εξωτερική θλιπτική τάση στην διεπιφάνεια

 $τ_{u,m}$ : διατμητική αντοχή του σκυροδέματος

Στην περίπτωση μιάς τραχειάς διεπιφάνειας ή μιας διεπιφάνειας που έχει προκύψει από εφαρμογή νέου σκυροδέματος υπό πίεση (κατά τον ορισμό της παραγράφου 4.1.3), ο οπλισμός που διαπερνά υπό ορθή γωνία την διεπιφάνεια μπορεί να θεωρηθεί οτι αναπτύσσει τάση ίση με το όριο διαρροής του. Τότε, η συνολική διατμητική αντίσταση της διεπιφάνειας υπολογίζεται μέσω της ακόλουθης σχέσεως:

$$\tau_{\rm fud} = 0.4 \left( f_{\rm cd}^2 [\sigma_{\rm cd} + \rho f_{\rm yd}] \right)^{1/3}$$
(9)

## 4.1.6 Μεταφορά δυνάμεων μέσω στρώσεως κόλλας

## 4.1.6.1 Θλίψη

Η θλιπτική αντοχή κάθετα σε μιά διεπιφάνεια σκυροδέματος, η οποία έχει πληρωθεί ή επαληφθεί με κόλλα, μπορεί να λαμβάνεται ίση με την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. Οταν η κόλλα συνδέει δύο σκυροδέματα διαφορετικής θλιπτικής αντοχής, η θλιπτική αντοχή

καθέτως προς την διεπιφάνεια θα λαμβάνεται ίση με την θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του ασθενέστερου σκυροδέματος (χαρακτηριστική τιμή διηρημένη δια  $\gamma_m$ =1,50).

## 4.1.6.2 Εφελκυσμός

Οταν μία διεπιφάνεια σκυροδέματος, η οποία έχει πληρωθεί με κόλλα, υποβάλλεται σε εφελκυσμό, η αντοχή της θα λαμβάνεται ίση με την εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού του ασθενέστερου σκυροδέματος (χαρακτηριστική τιμή διηρημένη δια 1,50).

Η επιρροή του πάχους της κόλλας, καθώς και οι συνθήκες προετοιμασίας της επιφάνειας του σκυροδέματος, θα πρέπει να λαμβάνονται κατάλληλα υπ' όψη κατά την εκτίμηση της εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας.

## **4.1.6.3** Διάτμηση

Η τέμνουσα που μεταφέρεται από σκυρόδεμα σε σκυρόδεμα μέσω ενός αρμού κόλλας είναι συνάρτηση της τοπικής ολισθήσεως κατά μήκος της διεπιφάνειας, καθώς και του μεγέθους της ορθής τάσεως που ασκείται στην διεπιφάνεια.

Οταν η σύνδεση των σκυροδεμάτων μέσω κόλλας έχει πραγματοποιηθεί με τήρηση των σχετικών κανόνων και μετά από κατάλληλη προετοιμασία της διεπιφάνειας, τότε η διατμητική αντοχή του συστήματος σκυρόδεμα-κόλλα-σκυρόδεμα είναι πολλαπλάσια της διατμητικής αντοχής του σκυροδέματος.

Επομένως, κατά τον σχεδιασμό, μιά τέτοια διεπιφάνεια σκυροδέματος μπορεί να θεωρείται οτι διαθέτει συνοχή ίση με την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος.

Σε αντίθεση με ό,τι συμβαίνει στην περίπτωση της συνοχής σκυροδέματος με σκυρόδεμα, η συνοχή μεταξύ σκυροδέματος-κόλλας-σκυροδέματος εξακολουθεί να αναπτύσσεται ακόμη και για σημαντικές τιμές της ολισθήσεως κατά μήκος της διεπιφάνειας. Γι' αυτόν τον λόγο, μπορεί να αθροίζεται με την συμμετοχή της τριβής (§4.1.4), καθώς και με την συμμετοχή του μηχανισμού σφιγκτήρα (§4.1.5), υπό την προϋπόθεση οτι το πάχος της στρώσεως της κόλλας είναι μικρότερο από 1:3 (κατ' όγκον).

Οταν η διεπιφάνεια υποβάλλεται σε συνδυασμό τέμνουσας και θλίψεως, η φέρουσα ικανότητά της καθορίζεται από έναν συνδυασμό συνοχής και τριβής. Δεδομένης της ευαισθησίας την οποία παρουσιάζει η συνάφεια της κόλλας έναντι της υγρασίας και της θερμοκρασίας, συνιστάται να αμελείται η συμμετοχή της συνοχής στην διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας, όταν αυτή ευρίσκεται διαρκώς υπό συνθήκες αυξημένης υγρασίας και υψηλών θερμοκρασιών.

## 4.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΕ ΧΑΛΥΒΑ ΜΕΣΩ ΣΤΡΩΣΕΩΣ ΚΟΛΛΑΣ

Η μεταφορά δυνάμεων μεταξύ ενός μεταλλικού ελάσματος και σκυροδέματος λαμβάνει χώρα στην περιοχή της απολήξεως του ελάσματος, κατά την διεύθυνση των εφελκυστικών δυνάμεων στο έλασμα και της τέμνουσας κατά μήκος της διεπιφάνειας.

Η μεγάλη συγκέντρωση διατμητικών τάσεων και εφελκυστικών τάσεων κάθετων στην διεπιφάνεια στις απολήξεις των ελασμάτων ενδέχεται να προκαλέσει αποκόλλησή τους από το σκυρόδεμα. Αυτή η αποκόλληση εκδηλώνεται μέσω εφελκυστικής αστοχίας του σκυροδέματος σε μικρήν απόσταση απ' την διεπιφάνεια σκυροδέματος-κόλλας.

Για να αποφευχθεί αυτή η αστοχία, πρέπει να εξασφαλίζεται η μεταφορά στο σκυρόδεμα μιάς εφελκυστικής δυνάμεως κάθετης στην διεπιφάνεια και ίσης με την δύναμη διαρροής του μεταλλικού ελάσματος σε εφελκυσμό (= $A_s f_{yk}$ , όπου  $A_s$  είναι η διατομή του ελάσματος και  $f_{yk}$  η χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής του).

Γι' αυτόν τον σκοπό, μπορούν να ληφθούν εναλλακτικώς τα ακόλουθα μέτρα:

(α) Εξασφαλίζεται επαρκές μήκος συναφείας με το σκυρόδεμα, στις απολήξεις του ελάσματος. Το μήκος συναφείας δεν πρέπει να υπολείπεται της τιμής που ορίζεται απ' την ακόλουθη σχέση:

$$l_{a} = \frac{f_{yk}}{\frac{f_{ctk}}{\gamma_{c}}} t_{s}$$
(10)

όπου,  $f_{ctk}$  η χαρακτηριστική τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος,  $\gamma_c$  ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας του υλικού (=1,50) και t<sub>s</sub> το πάχος του ελάσματος.

(β) Το σύνολο της εφελκυστικής δυνάμεως του ελάσματος  $(A_s f_{yk})$  μεταφέρεται στο σκυρόδεμα μέσω μεταλλικών αγκυρίων (βλ. §4.3).

(γ) Εάν το έλασμα εφαρμόζεται στην εφελκυόμενη περιοχή μιάς δοκού ή ενός υποστυλώματος, η μεταφορά δυνάμεων μπορεί να επιτευχθεί μέσω μεταλλικών στοιχείων (διατομής L), τα οποία συνδέονται μέσω κόλλας αφ' ενός μεν με το έλασμα, αφ' ετέρου δε με τις πλευρικές παρειές της διατομής του σκυροδέματος.

Πρέπει, πάντως, να αναφερθεί οτι λόγω

- (i) του ότι η αποκόλληση ενός ελάσματος από το σκυρόδεμα συνιστά μιά ψαθυρή αστοχία, ταχέως διαδιδόμενη κατά μήκος του ελάσματος,
- (ii) της ευαισθησίας την οποίαν παρουσιάζει ο δεσμός μέσω κόλλας έναντι ενδεχόμενων ασυνεχειών της στρώσεως του συνδετικού υλικού και
- (iii) της μειωμένης αξιοπιστίας την οποίαν παρουσιάζει η εφελκυστική αντοχή του επιδερμικού σκυροδέματος,

συνιστάται να εξασφαλίζονται ταυτοχρόνως (α) επαρκές μήκος συναφείας, υπολογιζόμενο κατά την σχέση (10) και (β) πλήρης μεταφορά της δυνάμεως διαρροής ( $A_s f_{yk}$ ) του ελάσματος στο σκυρόδεμα, μέσω αγκυρίων.

## 4.3 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ ΣΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕΣΩ ΒΛΗΤΡΩΝ ΚΑΙ ΑΓΚΥΡΙΩΝ

Στην περίπτωση των επεμβάσεων σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, μεταλλικά στοιχεία εγκαθίστανται (συνήθως, κάθετα) σε διεπιφάνειες με σκοπό την μεταφορά εφελκυστικών ή/και τεμνουσών δυνάμεων μεταξύ παλαιού σκυροδέματος και προστιθέμενου σκυροδέματος ή χαλύβδινου στοιχείου.

Γι' αυτόν τον σκοπό, χρησιμοποιούνται είτε βιομηχανικά αγκύρια διαφόρων τύπων (χημικά αγκύρια, διογκούμενα αγκύρια ή αγκύρια διογκούμενης κεφαλής), είτε τεμάχια ράβδων οπλισμού (συνήθως, χάλυβας με νευρώσεις).

Συχνά, όταν χρησιμοποιούνται τεμάχια ράβδων οπλισμού για την σύνδεση παλαιού σκυροδέματος με νέο, τα αγκύρια είναι κατά τμήμα του μήκους των εκ των υστέρων εγκαθιστάμενα (στο παλαιό σκυρόδεμα, με το οποίο συνδέονται μέσω κατάλληλης κόλλας) και κατά το υπόλοιπο μήκος τους εκ των προτέρων εγκαθιστάμενα<sup>1</sup> (στο νέο σκυρόδεμα κατά την χύτευσή του). Η μέγιστη τέμνουσα, την οποία μπορεί να μεταφέρει ένα τέτοιο αγκύριο θα είναι η μικρότερη απ' τις τέμνουσες που είναι δυνατόν να μεταφερθούν μέσω του εκ των υστέρων υστέρων και του εκ των προτέρων εγκαθιστάμενου τμήματος της ράβδου.

## 4.3.1 Δράση βλήτρου των ράβδων οπλισμού

## (α) Μήκος βλήτρου

Για να είναι σε θέση οι ράβδοι να μεταφέρουν τέμνουσα δύναμη ίση με την υπολογιζόμενη από την σχέση (11), θα πρέπει το μήκος τους εντός του σκυροδέματος να είναι τουλάχιστον ίσο με το δεκαπλάσιο της διαμέτρου των.

## (β) Τρόπος αστοχίας-Ελάχιστες επικαλύψεις

Ο τρόπος με τον οποίον αστοχεί ο μηχανισμός, καθώς και το μέγεθος της μέγιστης μεταφερόμενης τέμνουσας, εξαρτάται από το μέγεθος της επικαλύψεως σκυροδέματος, η οποία εξασφαλίζεται στην ράβδο (κατά την διεύθυνση της φορτίσεως και κάθετα προς αυτήν):

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Γι' αυτόν τον λόγο, στα επόμενα δίνονται πληροφορίες και για τον μηχανισμό βλήτρου του οπλισμού.

(i) Οταν στην ράβδο, διαμέτρου d<sub>b</sub>, εξασφαλίζονται επικαλύψεις τουλάχιστον ίσες με τις τιμές που ακολουθούν, ο μηχανισμός αστοχεί λόγω διαρροής της ράβδου και τοπικής αστοχίας από σύνθλιψη του σκυροδέματος κάτω από την ράβδο:

Κατά την διεύθυνση φορτίσεως: Ελάχιστη κάτω επικάλυψη=8d\_b

## Ελάχιστη άνω επικάλυψη=5d<sub>b</sub>

Κάθετα στην διεύθυνση φορτίσεως: Ελάχιστη πλευρική επικάλυψη=3d\_b

(ii) Για μικρότερες τιμές επικαλύψεως, ο μηχανισμός αστοχεί λόγω αποσχίσεως του σκυροδέματος, η οποία συμβαίνει για χαμηλή τιμή τέμνουσας, σε πολύ μικρή τιμή της σχετικής μετακινήσεως και είναι εξαιρετικά ψαθυρή. Γι' αυτό, συνιστάται να εξασφαλίζονται στην κατασκευή τα ελάχιστα που αναφέρονται στην προηγούμενη παράγραφο (i).

## (γ) Αντοχή βλήτρου

Η τιμή σχεδιασμού της μέγιστης τέμνουσας,  $F_{ud}$ , που μπορεί να μεταφερθεί από μιά ράβδο με διάμετρο  $d_b$ , μπορεί να υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$F_{ud} = 1,30d_{b}^{2} \left[ \sqrt{1 + (1,3\epsilon)^{2}} - 1.3\epsilon \right] \sqrt{f_{cd}f_{yd}} \le \frac{A_{s}f_{yd}}{\sqrt{3}}$$
(11)

όπου,

$$\epsilon = 3 \frac{e}{d_b} \sqrt{\frac{f_{cd}}{f_{yd}}}$$

A<sub>s</sub>: η διατομή της ράβδου

 $f_{cd}$ : η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος

 $f_{yd}$ : η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής της ράβδου

e: η εκκεντρότητα εφαρμογής της τέμνουσας

Για μηδενική εκκεντρότητα, όταν-δηλαδή-η τέμνουσα ασκείται στο επίπεδο της διεπιφάνειας, προκύπτει η ακόλουθη σχέση:

$$F_{ud} = 1,30d_b^2 \sqrt{f_{cd}f_{yd}} \le \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}}$$
(12)

Οταν η διεπιφάνεια την οποία διαπερνά η ράβδος ενδέχεται να υποβληθεί σε ανακυκλιζόμενη δράση, συνιστάται να λαμβάνεται υπ' όψη μειωμένη αντοχή βλήτρου, ως ακολούθως:

$$F_{ud} = d_b^2 \sqrt{f_{cd} f_{yd}} \le \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}}$$
(13)

## (δ) Αλληλεπίδραση μηχανισμού βλήτρου και εξολκεύσεως

Στην συνήθη περίπτωση βλήτρων μικρού μήκους, θεωρείται οτι αυτά μπορούν να λειτουργήσουν μόνον σε διάτμηση. Η περιορισμένη ικανότητά τους να αναλαμβάνουν αξονικές εφελκυστικές τάσεις αμελείται.

Οταν οι ράβδοι έχουν επαρκές μήκος αγκυρώσεως εκατέρωθεν της διεπιφάνειας και υποβάλλονται ταυτοχρόνως σε εφελκυσμό και σε διάτμηση, η μέγιστη τέμνουσα δύναμη την οποίαν μπορούν να αναλάβουν, υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$F_{ud} = 1,30d_b^2 \left[ \sqrt{1 + (1,3\varepsilon)^2} - 1.3\varepsilon \right] \sqrt{f_{cd} f_{yd} \left(1 - \zeta^2\right)} \le \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}}$$
(14)

όπου, ζ=σ\_s/f\_yd και σ<br/>ς η εφελκυστική τάση στην ράβδο.

Για μηδενική εκκεντρότητα εφαρμογής της τέμνουσας και για συνθήκες ανακυκλίσεως,

$$F_{ud} = d_b^2 \sqrt{f_{cd} f_{yd} (1 - \zeta^2)} \le \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}}$$
(15)

## 4.3.2 Μεταφορά δυνάμεων μέσω μεταλλικών αγκυρίων

## 4.3.2.1 Γενικοί κανόνες

Σε πολλές μεθόδους επεμβάσεως μετά από σεισμό προβλέπεται η σύνδεση μεταξύ πρόσθετων υλικών/στοιχείων με τα υπάρχοντα (π.χ. αγκύρωση μεταλλικού ελάσματος στο εφελκυόμενο πέλμα στοιχείου από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, η πλήρωση ενός φατνώματος πλαισίου με τοιχίο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα συνδεόμενο στην περίμετρό του με τις δοκούς και με τα υποστυλώματα, κατασκευή μεταλλικού δικτυώματος στο εσωτερικό φατνώματος πλαισίου, κλπ.). Σ' αυτές τις περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται μεταλλικά αγκύρια για την επίτευξη της σύνδεσης των νέων με τα παλαιά στοιχεία.

Τα χρησιμοποιούμενα αγκύρια μπορούν να είναι είτε τεμάχια ράβδων οπλισμού εγκαθιστάμενα σε οπές ανοιγόμενες στο παλαιό σκυρόδεμα και συνδεόμενα με αυτό μέσω κατάλληλης κόλλας, είτε μεταλλικά αγκύρια του εμπορίου.

Στο εμπόριο διατίθεται μεγάλη ποικιλία μεταλλικών αγκυρίων, τα οποία εφαρμόζονται σε σκληρυμμένο σκυρόδεμα και τα οποία, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους, μπορούν να καταταγούν στις ακόλουθες τρεις μεγάλες κατηγορίες (για περισσότερα στοιχεία, βλ. [1]):

- (i) Διογκούμενα αγκύρια
- (ii) Αγκύρια διογκούμενης κεφαλής, και

(iii) Πακτωμένα αγκύρια

Τα αγκύρια του εμπορίου συνοδεύονται από πιστοποιητικά, τα οποία περιλαμβάνουν κανόνες και ελάχιστες απαιτήσεις σχετικές με το βάθος εμπήξεως, τις ελάχιστες αποστάσεις των αγκυρίων απ' τις παρειές της διατομής, κλπ., καθώς και για την σωστή εφαρμογή των αγκυρίων στο εργοτάξιο.

Οι σχέσεις υπολογισμού που δίνονται στις ακόλουθες παραγράφους μπορούν να εφαρμόζονται υπό την προϋπόθεση οτι ακολουθούνται οι απαιτήσεις που προδιαγράφονται από τα σχετικά πιστοποιητικά του κατασκευαστή για τον χρησιμοποιούμενο τύπο αγκυρίου. Μόνον θετικές ανοχές είναι δεκτές.

Πρέπει, επίσης, να αναφερθεί οτι οι σχέσεις που δίνονται στις επόμενες παραγράφους είναι συμβατές με τους ισχύοντες Κανονισμούς, οι οποίοι βασίζονται στην μέθοδο σχεδιασμού μέσω οριακών καταστάσεων.

Οι σχέσεις των παραγράφων 4.3.2.2 και 4.3.2.3 που ακολουθούν ισχύουν υπό τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- (i) Η απόσταση μεταξύ διαδοχικών αγκυρίων είναι επαρκής, ώστε κάθε αγκύριο να θεωρείται μεμονωμένο (η συμπεριφορά κάθε αγκυρίου δεν επηρεάζεται από την γειτνίαση με άλλα αγκύρια)
- (ii) Η απόσταση κάθε μεμονωμένου αγκυρίου από τις παρειές της διατομής είναι επαρκής, έτσι ώστε να μην επηρεάζεται η συμπεριφορά του από μικρού μεγέθους επικαλύψεις.
- (iii) Θεωρείται οτι το αγκύριο έχει τοποθετηθεί σε θέση, απ' την οποίαν ενδέχεται να διέρχεται ρωγμή.

Για τις περιπτώσεις που δεν καλύπτονται απ' τις παραγράφους που ακολουθούν, ο αναγνώστης παραπέμπεται στο κείμενο [2].

Επί πλέον, οι σχέσεις των παραγράφων που ακολουθούν ισχύουν για <u>στατική φόρτιση</u>. Στην περίπτωση που τα αγκύρια υποβάλλονται σε ανακυκλιζόμενες δράσεις, θα απαιτηθεί κατάλληλη μείωση των αντοχών που υπολογίζονται μέσω των σχέσεων. Στις περιπτώσεις για τις οποίες διατίθενται πειραματικά στοιχεία, προτείνονται σχετικές μειώσεις των αντοχών. Οι προτεινόμενες μειώσεις είναι προσωρινές, δεν περιλαμβάνονται στο Σχέδιο Κανονισμού του CEB και σημειώνονται στο κείμενο με καλλιγραφικούς χαρακτήρες.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί οτι η συμπεριφορά των αγκυρίων βελτιώνεται σημαντικά, όταν προβλέπεται εγκάρσιος οπλισμός στο στοιχείο σκυροδέματος και στην άμεση γειτονία του αγκυρίου. Δεδομένου οτι στην περίπτωση των επεμβάσεων σε υπάρχουσες κατασκευές δεν

είναι δυνατή η τοποθέτηση των αγκυρίων σε θέσεις με εξασφαλισμένο εγκάρσιο οπλισμό, αυτή η ευνοϊκή για την αντοχή παράμετρος αμελείται.

# 4.3.2.2 Σχεδιασμός διογκούμενων αγκυρίων και αγκυρίων διογκούμενης κεφαλής έναντι εφελκυσμού

Οι πιθανοί τρόποι αστοχίας του συστήματος "σκυρόδεμα-αγκύριο σε εφελκυσμό" είναι οι εξής:

1 Διαρροή του αγκυρίου

2 Εξόλκευση του αγκυρίου

3 Αστοχία του σκυροδέματος (αποχωρισμός κώνου σκυροδέματος απ' το στοιχείο), και

4 Απόσχιση του σκυροδέματος

Ο Μελετητής οφείλει να ελέγξει και να εξασφαλίσει οτι για κάθε έναν απ' αυτούς τους τρόπους αστοχίας, η επιβαλλόμενη δράση δεν υπερβαίνει την αντίστοιχη φέρουσα ικανότητα του συστήματος. Δηλαδή, για κάθε περίπτωση θα πρέπει να ικανοποιείται η βασική ανίσωση ασφαλείας:

$$N_{Sd} \le N_{Rd} \tag{16}$$

## 1 Διαρροή του αγκυρίου

Η τιμή σχεδιασμού της αντιστάσεως ενός αγκυρίου, στην περίπτωση διαρροής του αγκυρίου, υπολογίζεται απ' την σχέση:

$$N_{Rd,s} = \frac{A_s f_{yk}}{\gamma_s}$$
(17)

όπου,

- A<sub>s</sub>: το εμβαδόν της διατομής του αγκυρίου. Οταν η διατομή κατά μήκος του αγκυρίου δεν είναι σταθερή, στην σχέση (17) θα εισάγεται το ελάχιστο εμβαδόν διατομής
- f<sub>yk</sub>: η χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής του αγκυρίου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο χάλυβας απ' τον οποίον είναι κατασκευασμένα τα αγκύρια δεν έχει σαφές όριο διαρροής. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, το όριο διαρροής μπορεί να λαμβάνεται ίσο με το 80% του ορίου θραύσεως.
- γs: επί μέρους συντελεστής ασφαλείας για τον χάλυβα (=1,20)

## 2 Εξόλκευση του αγκυρίου

Η χαρακτηριστική τιμή του μέγιστου αξονικού φορτίου εξολκεύσεως της αγκυρίου λαμβάνεται από το πιστοποιητικό που συνοδεύει τον τύπο του αγκυρίου που χρησιμοποιείται. Η τιμή σχεδιασμού προκύπτει απ' την χαρακτηριστική τιμή μετα από διαίρεση με τον επί μέρους συντελεστή ασφαλείας, γ<sub>c</sub>, ο οποίος ισούται με:

$$\gamma_c = \gamma_1 \gamma_2$$

(18)

όπου

γ1: συντελεστής ασφαλείας για σκυρόδεμα σε εφελκυσμό (=1,80) και

γ<sub>2</sub>: συντελεστής εξαρτώμενος απ' την στάθμη ποιότητας της εγκαταστάσεως του αγκυρίου στο σκυρόδεμα (=1,0, 1,2 ή 1,4, για υψηλή, συνήθη ή χαμηλή αλλά αποδεκτή στάθμη ποιότητας αντιστοίχως)

## 3 Αστοχία του σκυροδέματος (αποχωρισμός κώνου σκυροδέματος απ' το στοιχείο)

Η τιμή σχεδιασμού του αξονικού φορτίου αστοχίας του συστήματος υπολογίζεται απ' την ακόλουθη σχέση:

$$N_{Rd,c} = \frac{N_{Rd,c}^{0}\psi_{ucr,N}}{\gamma_{c}}$$
(19)

όπου

N<sup>0</sup><sub>Rd,c</sub> η αντοχή του συστήματος, όταν το αγκύριο είναι τοποθετημένο σε ρηγματωμένο σκυρόδεμα:

 $N_{Rk,c}^{0} = k_1 f_{ck}^{0,5} h_{ef}^{0,5}$ 

(20)

 $[k_1=7,5 \{N^{0,5}/mm^{0,5}\}, f_{ck}:$  χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή σκυροδέματος,  $h_{ef}:$  ενεργό μήκος αγκυρώσεως αγκυρίου, το οποίο ορίζεται στα πιστοποιητικό που συνοδεύει τον χρησιμοποιούμενο τύπο αγκυρίου]

ψ<sub>ucr,N</sub> συντελεστής μέσω του οποίου λαμβάνεται υπ' όψη εαν το αγκύριο είναι τοποθετημένο σε ρηγματωμένο ή αρηγμάτωτο σκυρόδεμα:

 $\psi_{ucr,N}$ =1,0 για αγκύρια σε ρηγματωμένο σκυρόδεμα και

ψ<sub>ucr,N</sub>=1,4 για αγκύρια σε αρηγμάτωτο σκυρόδεμα

 $\gamma_c$ ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα (βλ. σχέση (18)).

## 4 Απόσχιση του σκυροδέματος

Μέχρι τώρα, δεν διατίθεται αξιόπιστο προσομοίωμα για τον υπολογισμό του εφελκυστικού φορτίου αγκυρίου για το οποίο προκαλείται απόσχιση του σκυροδέματος. Γι' αυτόν τον λόγο, θεωρείται οτι αυτός ο τρόπος αστοχίας αποφεύγεται με την τήρηση των ακόλουθων κατασκευαστικών απαιτήσεων:

(α) Για να αποφεύγεται η απόσχιση του σκυροδέματος κατά την τοποθέτηση του αγκυρίου, θα πρέπει να γίνονται σεβαστές οι απαιτήσεις που περιλαμβάνονται στο πιστοποιητικό του αγκυρίου, σχετικώς με το ελάχιστο πάχος του στοιχείου σκυροδέματος, τις αποστάσεις του αγκυρίου απ' τις παρειές της διατομής, κλπ.

(β) Για να αποφεύγεται απόσχιση του σκυροδέματος κατά την φόρτιση του αγκυρίου σε εφελκυσμό, θα πρέπει να εξασφαλίζεται επαρκής επικάλυψη του αγκυρίου. Οι σχετικές ελάχιστες τιμές της απαιτούμενης επικαλύψεως δίνονται στα πιστοποιητικά που συνοδεύουν τον εκάστοτε χρησιμοποιούμενο τύπο αγκυρίου.

## 4.3.2.3 Σχεδιασμός διογκούμενων αγκυρίων και αγκυρίων διογκούμενης κεφαλής έναντι τέμνουσας

Οι πιθανοί τρόποι αστοχίας του συστήματος "σκυρόδεμα-αγκύριο υποβαλλόμενο σε διάτμηση" είναι οι ακόλουθοι:

1 Αστοχία του αγκυρίου

2 Αστοχία του σκυροδέματος λόγω αποσχίσεως

3 Πλευρική εκτίναξη του σκυροδέματος (στην περίπτωση αγκυρίων μικρού μήκους)

Ο Μελετητής οφείλει να ελέγξει και να εξασφαλίσει οτι για κάθε έναν απ' αυτούς τους τρόπους αστοχίας, η επιβαλλόμενη δράση δεν υπερβαίνει την αντίστοιχη φέρουσα ικανότητα του συστήματος. Δηλαδή, για κάθε περίπτωση θα πρέπει να ικανοποιείται η βασική ανίσωση ασφαλείας:

$$V_{Sd} \le V_{Rd} \tag{21}$$

1 Αστοχία του αγκυρίου

Η αντοχή σχεδιασμού σε διάτμηση υπολογίζεται απ' την ακόλουθη σχέση:

$$V_{Rd,s} = \frac{k_2 A_s f_{yk}}{\gamma_s}$$
(22)

όπου

k<sub>2</sub>=0,60

 $A_s$ : η διατεμνόμενη διατομή του αγκυρίου στην θέση της διεπιφάνειας  $f_{yk}$ : η χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής του αγκυρίου

 $\gamma_{s:}$ ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας για τον χάλυβα, ο οποίος λαμβάνει τις εξής τιμές:

$$\gamma_{s}=1,20 \text{ yia } f_{yk} \leq 800 \text{MPa kai } \frac{f_{yk}}{f_{uk}} \leq 0,80$$
(23°)

$$\gamma_{s}=1,50 \text{ gia } f_{yk} > 800 \text{MPa } \cos \frac{f_{yk}}{f_{uk}} > 0,80$$
(23b)

2 Αστοχία του σκυροδέματος λόγω αποσχίσεως

Η τιμή σχεδιασμού της τέμνουσας που προκαλεί αστοχία λόγω αποσχίσεως του σκυροδέματος, για ένα αγκύριο το οποίο

(α) έχει τοποθετηθεί σε στοιχείο επαρκούς πάχους

(β) διαθέτει επαρκή επικάλυψη κάθετη στην διεύθυνση δράσεως της τέμνουσας

(γ) υποβάλλεται σε τέμνουσα η οποία ασκείται κάθετα στην παρειά του στοιχείου σκυροδέματος

υπολογίζεται μέσω της σχέσεως που ακολουθεί:

$$V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}^0 \psi_{ucr,V}}{\gamma_c}$$
(24)

όπου

$$V_{Rk,c}^{0} = k_2 d_{nom}^{0,5} \left(\frac{l_f}{d_{nom}}\right)^{0,2} f_{ck}^{0,5} c_1^{1,5}$$
(25)

 $k_2=0,5 [N^{0,5}/mm]$ 

d<sub>nom</sub>: εξωτερική διάμετρος αγκυρίου

 $l_{f}$ : ενεργό μήκος αγκυρίου έναντι τέμνουσας (μπορεί να λαμβάνεται ίσο με  $8d_{nom}$ )

 $f_{ck}$ : χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή σκυροδέματος

c1: επικάλυψη σκυροδέματος κάτω απ' το αγκύριο (παράλληλη προς την διεύθυνση επιβολής της τέμνουσας)

 $\psi_{ucr,V}=1,0$  για αγκύριο τοποθετημένο σε ρηγματωμένο σκυρόδεμα, χωρίς εγκάρσιο οπλισμό  $\gamma_c$ : επί μέρους συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα (= $\gamma_1 \gamma_2=1,80$ )

## 3 Πλευρική εκτίναξη του σκυροδέματος

Στην περίπτωση μικρού μήκους αγκυρώσεως, εμφανίζεται ο κίνδυνος εκτινάξεως ενός κώνου σκυροδέματος προς την αντίθετη της φοράς του φορτίου πλευρά του στοιχείου. Η τέμνουσα σχεδιασμού που προκαλεί αυτήν την αστοχία μπορεί να υπολογίζεται μέσω της ακόλουθης σχέσεως:

(26)

$$V_{Rd,cp} = \frac{k_3 N_{Rk,c}}{\gamma_c}$$

όπου,

 $k_3 = 1,0 \gamma \iota \alpha h_{ef} < 60 mm$ 

2,0 για h<sub>ef</sub>≥60mm

N<sub>Rk,c</sub>: η φέρουσα ικανότητα σε εφελκυσμό, υπολογιζόμενη κατά την παράγραφο 4.3.2.2 γ<sub>c</sub>: επί μέρους συντελεστής ασφαλείας του σκυροδέματος κατά την ίδια παράγραφο.

## 4.3.2.4 Αγκύρια υποβαλλόμενα σε ανακυκλιζόμενη τέμνουσα

Η επιβολή ανακυκλιζόμενης τέμνουσας σε αγκύρια διογκούμενα ή διογκούμενης κεφαλής, προκαλεί μείωση της αποκρίσεως. Αυτή η μείωση εμφανίζεται και για αστοχία του αγκυρίου και για αστοχία του σκυροδέματος<sup>2</sup>

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Για την αστοχία λόγω εκτινάξεως του σκυροδέματος, δεν διατίθενται πειραματικά αποτελέσματα ανακυκλιζόμενων δοκιμών.

Βάσει των διατιθέμενων πειραματικών αποτελεσμάτων, στην περίπτωση ανακυκλίσεως της τέμνουσας, οι τιμές των αντιστάσεων που προκύπτουν από τις σχέσεις (22) και (24) μπορούν να πολλαπλασιάζονται με τους ακόλουθους μειωτικούς συντελεστές<sup>3</sup>: Αγκύρια διογκούμενης κεφαλής: λ=0,80 Διογκούμενα αγκύρια: λ=0,70

## 4.3.2.5 Αγκύρια υποβαλλόμενα ταυτοχρόνως σε εφελκυσμό και σε διάτμηση

Είναι γνωστό οτι όταν ένα αγκύριο υποβάλλεται ταυτοχρόνως σε αξονική και διατμητική δράση, δεν είναι δυνατή η πλήρης αξιοποίησή του από κάθε είδος δράσεως.

 $\Sigma'$  αυτήν την περίπτωση, θα πρέπει να συνισχύουν οι ακόλου<br/>θες σχέσεις:

 $\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \le 1$   $\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \le 1$   $\left(\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}}\right) + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}\right) \le 1,20$ (27)

Στις σχέσεις (27) εισάγεται η μεγαλύτερη απ' τις τιμές  $N_{Rd}$  που υπολογίζονται στην παράγραφο 4.3.2.2, καθώς και η μεγαλύτερη απ' τις τιμές  $V_{Rd}$  που υπολογίζονται στην παράγραφο 4.3.2.3.

## 4.3.2.6 Σχεδιασμός πακτωμένων αγκυρίων

Αυτή η παράγραφος αναφέρεται στον σχεδιασμό αγκυρίων, τα οποία αποτελούνται από τεμάχια ράβδων οπλισμού (από νευροχάλυβα) και συνδέονται με το παλαιό σκυρόδεμα μέσω κόλλας.

Στο εμπόριο διατίθενται διάφορα υλικά συνδέσεως των αγκυρίων με το σκυρόδεμα. Ο Μελετητής πρέπει να ακολουθεί τις οδηγίες του παραγωγού ως προς την κατάλληλη διάμετρο της οπής στην οποίαν εφαρμόζεται το αγκύριο, καθώς και ως προς την τιμή σχεδιασμού της τάσεως συναφείας μεταξύ του συνδετικού υλικού και του αγκυρίου.

## (1) Αγκύρια υποβαλλόμενα σε εφελκυσμό

Οι πιθανοί τρόποι αστοχίας ενός αγκυρίου υποβαλλόμενου σε εφελκυσμό είναι οι ακόλουθοι τρεις:

(1) Διαρροή του αγκυρίου

(2) Αστοχία της συνάφειας μεταξύ αγκυρίου και συνδετικού υλικού

(3) Αστοχία της συνάφειας μεταξύ συνδετικού υλικού και περιβάλλοντος σκυροδέματος.

<u>Για να είναι δυνατή η εφαρμογή των γενικών σχέσεων που ακολουθούν, πρέπει να διαθέτει ο</u> <u>Μελετητής τα κατάλληλα στοιχεία για το συνδετικό υλικό το οποίο χρησιμοποιεί.</u>

## (1) Διαρροή του αγκυρίου

Υπό την προϋπόθεση οτι διατίθεται επαρκές μήκος εμπήξεως του αγκυρίου<sup>4</sup>, η μέγιστη εφελκυστική δύναμη την οποία μπορεί να αναλάβει ένα αγκύριο υπολογίζεται μέσω της ακόλουθης σχέσεως:

$$N_{yd} = A_s f_{yd}$$

(28)

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Λαμβάνεται υπ' όψη οτι κατά την διάρκεια του σεισμού σχεδιασμού, το αγκύριο θα υποβληθεί σε τρεις μεγάλου εύρους κύκλους.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Δεν δίνονται τιμές για τον υπολογισμό του επαρκούς μήκους αγκυρώσεως, δεδομένου οτι αυτό εξαρτάται απ' το εκάστοτε χρησιμοποιούμενο συνδετικό υλικό.

όπου.

 $A_s$  και  $f_{vd}$ : το εμβαδόν της διατομής και το όριο διαρροής του αγκυρίου αντιστοίχως.

## (2) Αστοχία της συνάφειας μεταξύ αγκυρίου και συνδετικού υλικού

Η μέγιστη εφελκυστική δύναμη την οποία μπορεί να αναλάβει ένα αγκύριο, ώστε να προκληθεί αστοχία της συνάφειας μεταξύ του αγκυρίου και του συνδετικού υλικού, υπολογίζεται μέσω της ακόλουθης σχέσεως:

(29) $N_{bd} = f_{bk} l_e \pi d_b / \gamma_b$ 

όπου.

f<sub>bk</sub>: η χαρακτηριστική τιμή της αντοχής συναφείας μεταξύ αγκυρίου και συνδετικού υλικού (προκύπτει απ' το σχετικό πιστοποιητικό του συνδετικού υλικού)

le: το μήκος εμπήξεως του αγκυρίου διαμέτρου db και

γ<sub>b</sub>: επί μέρους συντελεστής ασφαλείας για την συνάφεια (=1,50)

Αξίζει να παρατηρηθεί οτι ενώ η δύναμη διαρροής του αγκυρίου είναι ευθέως ανάλογη της διατομής του, η δύναμη που προκαλεί αστοχία της συνάφειας είναι ανάλογη της διαμέτρου του αγκυρίου. Γι' αυτό, συνιστάται η χρήση μεγαλύτερου πλήθους αγκυρίων μικρότερης διαμέτρου για την ανάληψη της επιβαλλόμενης εφελκυστικής δυνάμεως.

(3) Αστοχία της συνάφειας μεταξύ του συνδετικού υλικού και του περιβάλλοντος σκυροδέματος. Δεδομένου οτι τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών συνδέσεως είναι πολύ υψηλότερα απ' τα μηγανικά γαρακτηριστικά του σκυροδέματος, η μέγιστη δύναμη την οποία μπορεί να αναλάβει το αγκύριο για τον συγκεκριμένο τρόπο αστοχίας εξαρτάται μόνον απ' την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος και μπορεί να υπολογίζεται απ' την ακόλουθη σχέση: N (30)

$$N_{cd} = 4.5\pi l_e \sqrt{f_{ck}} \varnothing / \gamma_c$$

όπου

f<sub>ck</sub>: η χαρακτηριστική τιμή της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος στο οποίο εμπήγνυται το αγκύριο,

Ø: η διάμετρος της οπής στην οποίαν τοποθετείται το αγκύριο, και

 $\gamma_c$ : ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα (=1,50).

(2) Αγκύρια υποβαλλόμενα σε διάτμηση

Για τον υπολογισμό της μέγιστης τέμνουσας την οποία μπορεί να αναλάβει ένα αγκύριο, μπορούν να εφαρμόζονται οι σχέσεις της παραγράφου 4.3.1, υπό την προϋπόθεση οτι ικανοποιούνται οι κατασκευαστικές απαιτήσεις που αναφέρονται εκεί.

#### 4.4 ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΝΕΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

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

#### Αγκύρωση σε υπάρχοντα οπλισμό 4.4.1

Εαν 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.

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

(α) Η παλαιά ράβδος είναι της ίδιας ή μεγαλύτερης διαμέτρου απ' την νέα,

(β) Το όριο διαρροής της παλαιάς ράβδου είναι ίσο ή μεγαλύτερο από εκείνο της νέας ράβδου και

(γ) και οι δύο χάλυβες είναι συγκολλήσιμοι.

Συνιστάται να αποφεύγεται η συγκόλληση σε ράβδους που ευρίσκονται υπό μεγάλη τάση.

Εαν η νέα ράβδος μπορεί να τοποθετηθεί παράλληλα με την παλαιά και σε επαφή με αυτήν, μπορεί να πραγματοποιηθεί πλαγιορραφή. Το μήκος αλληλεπικαλύψεως, σ' αυτήν την περίπτωση, δεν πρέπει να υπολείπεται του 15πλασίου 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.

Εναλλακτικώς, η σύνδεση δύο ράβδων υπό μηδενική εκκεντρότητα μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω αμφοτερόπλευρης πλαγιοραφής των δύο ράβδων με μικρού μήκους συγκολλήσιμες ράβδους (μήκους τουλάχιστον 10Ø), 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 5Ø.

Εαν 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 όρον οτι καλύπτονται από επαρκή αναλυτικά και πειραματικά στοιχεία.

Εαν οι νέες ράβδοι περιβάλλονται από νέους συνδετήρες συγκολλημένους πάνω στον υπάρχοντα κλωβό οπλισμού, η συμπεριφορά τους βελτιώνεται σημαντικά.

## 4.4.2 Αγκύρωση σε υπάρχον σκυρόδεμα

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

Οι σχετικοί έλεγχοι μπορούν να πραγματοποιούνται βάσει των στοιχείων της παραγράφου 4.3.

## 4.4.3 Αγκύρωση σε νέο σκυρόδεμα

Ο νέος οπλισμός μπορεί να αγκυρωθεί στο νέο σκυρόδεμα σύμφωνα με τα προβλεπόμενα απ' τον ισχύοντα Κανονισμό για την Μελέτη Εργων από Οπλισμένο σκυρόδεμα, υπό τον όρον οτι η διεπιφάνεια παλαιού και νέου σκυροδέματος ελέγχεται κατά τις παραγράφους 4.2 και 4.3 για την μεταφορά δυνάμεων στο παλαιό σκυρόδεμα.

## 4.5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1. CEB 'Fastenings to concrete and masonry structures, State of the Art Report', Thomas Telford, London 1994
- 2. CEB Bulletin 233 'Design of fastenings in concrete, Design Guide-Parts 1 to 3'', Thomas Telford, London 1997.
- 3. CEN: Draft prENV 1998-1-4 'Eurocode 8, Design Provisions for earthquake resistance of structures. Part 1-4: Strengthening and repair of buildings'', Brussels

## 5 ΦΕΡΩΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

## 5.1 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 υποστύλωσης 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 1.1 παρουσιάζονται τυπικές εικόνες βλάβης κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων ενώ στο Σχήμα 1.2 παρουσιάζεται η κατάταξη των βαθμών βλάβης για υποστυλώματα και τοιχώματα, σύμφωνα με το [22] και [24].

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 που μπορεί να αναζητηθεί αλλού [2,27]. 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 [9]:

- 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.

## Βαθμός βλάβης Α

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 Β

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 (Σχ.1.1α, 1.1β) [8] θεωρούνται ως βαθμός βλάβης C.

## Βαθμός βλάβης D

Πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στην περιοχή βλάβης, λυγισμός των διαμήκων ράβδων, διαρροή ή θραύση των συνδετήρων της περιοχής, ασυνέχεια στην περιοχή χωρίς κατάρρευση του υποστυλώματος. Προϋποτίθεται επίσης ότι οι εναπομένουσες μετακινήσεις

που παρατηρούνται (οριζόντιες και κατακόρυφες) και ιδιαίτερα οι κατακόρυφες είναι σχετικά μικρές.

Σοβαρή αποδιοργάνωση στους κόμβους (Σχ.1.1γ) [8] θεωρείται ως βαθμός βλάβης D.

## Βαθμός βλάβης Ε

- Πλήρης κατάρρευση του υποστυλώματος.
- Ως μία γενικότερη παρατήρηση σημειώνεται ότι εάν η γενική εικόνα βλάβης συμφωνεί με μία από τις εικόνες βλάβης του Σχήματος 1.2 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 Ε.



(γ) αποδιοργάνωση κόμβου απο ανακυκλιζόμενη φόρτιση



Σχήμα 1.2 Βαθμοί βλάβης για υποστυλώματα και τοιχώματα

## 5.2 ΗΜΙ-ΕΜΠΕΙΡΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΑΠΟΜΕΝΟΥΣΑΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ

Για την εκτίμηση της απομένουσας αντοχής  $R_{res}$  και δυσκαμψίας  $K_{res}$  σε στοιχεία με βλάβες, σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές  $R_o$  και  $K_o$  των ίδιων στοιχείων χωρίς βλάβες, χρησιμοποιούνται οι συντελεστές  $r_R$  και  $r_k$  που εκφράζουν τα μέτρα της εναπομένουσας αντοχής και της εναπομένουσας δυσκαμψίας αντιστοίχως.

Οι συντελεστές αυτοί ορίζονται ως εξής:

 $r_{\rm R} = R_{\rm res}/R_{\rm o}$ 

 $r_k = K_{res}/K_o$ 

Μία εκτίμηση του μέτρου αντοχής r<sub>R</sub> για υποστυλώματα και τοιχώματα, ανάλογα με την κατάσταση της κατασκευής και τον βαθμό βλάβης του στοιχείου, παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.1 έτσι όπως προτείνεται στον [24].

Στον ίδιο κανονισμό προτείνεται για το μέτρο δυσκαμψίας  $r_k$ η προσέγγιση:

 $r_k = 0.8 r_R$ 

Εξάλλου σύμφωνα με τον ίδιο κανονισμό [24] ο ίδιος Πίνακας (Πιν.1.1) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της απομένουσας αντοχής  $R_{res}$  και δυσκαμψίας  $K_{res}$  και για δοκούς.

Κατάσταση κτιρίου	Βαθμός βλάβης			
	Α	В	С	D
καλή	0,95	0,75	0,45	0,15
κακή	0,85	0,65	0,35	0,00

Πίνακας 1.1 Τιμές του μέτρου απομένουσας αντοχής <br/>  $r_{\rm R}$ για υποστυλώματα και τοιχώματα ανάλογα με τον βαθμό<br/> βλάβης

Για μία ποιοτική εκτίμηση του βαθμού βλάβης του συνόλου μιας κατασκευής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας γενικός δείκτης  $(r_g)$  ο οποίος θα λαμβάνει υπόψη του τα μέτρα απομένουσας αντοχής  $(r_R)$  των κατακόρυφων φερόντων στοιχείων του φορέα. Στον [24] προτείνεται η παρακάτω σχέση:

$$r_{g} = \sum_{i=1}^{n} (V_{Ro,i}.r_{R,i}) / \sum_{i=1}^{n} V_{Ro,i}$$

όπου :

i είναι ο δείκτης που προσδιορίζει το κατακόρυφο φέρων στοιχείο του φορέα.

 $r_R$  είναι το μέτρο απομένουσας αντοχής του στοιχείου (Πιν.1.1).

 $V_{Ro}$  είναι η τέμνουσα σχεδιασμού που αναλαμβάνεται από το σκυρόδεμα.

Αν και η αντικατάσταση του  $V_{Ro}$  με το  $V_{Rd3}$  (= $V_{wd}$ + $V_{cd}$ ) στην παραπάνω σχέση δίνει πιο πραγματικά αποτελέσματα, η σχέση χρησιμοποιεί το  $V_{Ro}$  επειδή ο προσδιορισμός του είναι πολύ ταχύς και με λιγότερες αβεβαιότητες.

Για την τελική αξιολόγηση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής, σε συνδυασμό με τον καθορισμό προτεραιοτήτων για πιθανή επέμβαση, χρησιμοποιείται ένας τροποποιημένος γενικός δείκτης βλάβης r<sub>f</sub> που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

 $r_f = r_g K_R / \gamma_1$ 

όπου:

 $K_R$  είναι ο συντελεστής που λαμβάνει υπόψη του την κανονικότητα του κτιρίου όπως αυτή ορίζεται στον [23].

Για κανονικά κτίρια λαμβάνεται  $K_{R}{=}$  1,0 ενώ για μη-κανονικά  $K_{R}{=}$  0,8

γ<sub>1</sub> είναι ο συντελεστής σπουδαιότητας της κατασκευής όπως ορίζεται στον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό [7].

Σύμφωνα με τον [24]:

Για τιμές  $r_f/0,80$  η αντοχή του κτιρίου θεωρείται επαρκής.

Όταν  $0.80 > r_f / 0.50$  η αντοχή του κτιρίου θεωρείται μετρίως ανεπαρκής.

Όταν 0,50 >rf το κτίριο θεωρείται ότι έχει σοβαρή ανεπάρκεια αντοχής.

## 5.3 ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

Τα επισκευασμένα/ενισχυμένα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι στην πραγματικότητα πολυφασικά στοιχεία. Αποτελούνται από το αρχικό στοιχείο οπλισμένο σκυρόδεμα της υπάρχουσας κατασκευής και από νέα στοιχεία που συνδέονται με το αρχικό με διάφορες τεχνικές και τεχνολογίες. Θα ήταν επομένως λογικό, να ακολουθηθούν για την διαστασιολόγησή τους, διαδικασίες σύνθετων μελών. Όμως οι σχετικές τεκμηριωμένες, επιστημονικές γνώσεις για το θέμα, είναι ελάχιστες και δεν είναι εύκολο να αξιοποιηθούν πρακτικά. Αυτός είναι ο λόγος που για την λύση του προβλήματος επιλέγεται μια διαδικασία με αναγωγή στις μεθόδους διαστασιολόγησης μονολιθικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος.

Για την μεταφορά των πραγματικών χαρακτηριστικών απόκρισης του σύνθετου στοιχείου στα αντίστοιχα ενός ίδιου στοιχείου θεωρούμενου μονολιθικού, χρησιμοποιούνται διορθωτικοί συντελεστές προσομοιώματος (k) που συχνά ονομάζονται και συντελεστές μονολιθικότητας και ορίζονται ως εξής:

• Για την δυσκαμψία:

 $k_{k} = \frac{\Delta \upsilon \sigma \kappa \alpha \mu \psi i \alpha \ \Pi \rho \alpha \gamma \mu \alpha \tau \iota \kappa o \delta \ \Sigma \delta \nu \theta \varepsilon \tau o \upsilon \ \Sigma \tau o \iota \chi \varepsilon i o \upsilon}{\Delta \upsilon \sigma \kappa \alpha \mu \psi i \alpha \ Movo \lambda \iota \theta \iota \kappa o \delta \Sigma \tau o \iota \chi \varepsilon i o \upsilon}$ 

Για την αντοχή:

 $k_r = \frac{A v \tau o \chi \eta \Pi \rho \alpha \gamma \mu \alpha \tau \kappa o \upsilon \Sigma t o v \theta \varepsilon \tau o \upsilon \Sigma \tau o v \varepsilon i o \upsilon}{A v \tau o \chi \eta M o v o \lambda i \theta \kappa o \upsilon \Sigma \tau o v \varepsilon i o \upsilon}$ 

Ο δείκτης αντοχής r μπορεί να αφορά κατά περίπτωση καμπτική, διατμητική ή αξονική αντοχή οπότε αντικαθίσταται με M,V, N αντίστοιχα.

Επειδή οι διεπιφάνειες και οι ασυνέχειες μεταξύ παλαιών και νέων υλικών μειώνουν την δυσκαμψία και την αντοχή των στοιχείων θα ισχύει προφανώς:

 $k_k \le 1,0$  kai  $k_r \le 1,0$ 

Τις περισσότερες φορές η επίδραση των ασυνεχειών είναι εντονότερη στην δυσκαμψία, γι' αυτό συνήθως:

 $k_k \leq k_r$ 

Ο προσδιορισμός των διορθωτικών συντελεστών προσομοιώματος είναι ένα από τα κρίσιμα θέματα στον τομέα του ανασχεδιασμού. Απαιτούνται εκτεταμένες πειραματικές δοκιμές για να προκύψουν τα πραγματικά χαρακτηριστικά δυσκαμψίας και αντοχής των επισκευασμένων/ενισχυμένων στοιχείων που στην συνέχεια θα συγκριθούν με τα χαρακτηριστικά των αντίστοιχων μονολιθικών στοιχείων. Είναι ως εκ τούτου προφανές ότι τα αποτελέσματα έχουν ισχύ σε πρακτικές εφαρμογές, μόνο εφόσον η επέμβαση γίνει στην πράξη με τον ίδιο τρόπο που εκτελέστηκε στο εργαστήριο. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι συχνά στην πράξη θα απαιτηθεί "κρίση Μηχανικού" επειδή για πολλές περιπτώσεις τα πειραματικά δεδομένα είναι ελάχιστα.

Στον τομέα αυτό η θεωρητική και πειραματική έρευνα έχει σήμερα δύο κατευθύνσεις. Η πρώτη στοχεύει στον προσδιορισμό αντικειμενικών συντελεστών προσομοιώματος για κάθε είδος επέμβασης. Η δεύτερη στοχεύει στην βελτίωση των μεθόδων και τεχνικών επέμβασης έτσι ώστε να επιτευχθεί μονολιθικότητα της επισκευασμένης/ενισχυμένης διατομής, και επομένως οι συντελεστές να είναι κοντά στην μονάδα και περισσότερο αξιόπιστοι.

Με τα σημερινά επίπεδα γνώσης του αντικειμένου οι συντελεστές που προτείνονται κατά περίπτωση σε οδηγίες ή σχέδια κανονισμών [22,24] είναι τις περισσότερες φορές εμπειρικοί. Στις εφαρμογές που ακολουθούν στο επόμενο Κεφάλαιο χρησιμοποιούνται συντηρητικές τιμές μετά από αξιολόγηση των σχετικών δεδομένων της βιβλιογραφίας. Όμως το θέμα αυτό πρέπει να θεωρείται ανοικτό και υπό αναθεώρηση με βάση τα μελλοντικά αποτελέσματα της έρευνας.

Πάντως για επεμβάσεις επισκευής ρωγμών με κόλλες, επειδή φαίνεται ότι μπορεί να επιτευχθεί μονολιθικότητα, λαμβάνεται εν γένει:

 $k_k = k_r = 1,0$ 

Εφόσον:

α) Δεν υπάρχει στατική ανεπάρκεια στη διατομή.

β) Οι βλάβες είναι ελαφρές (μικρές ρωγμές, ή ολισθήσεις οπλισμών).

γ) Τηρηθούν σχολαστικά οι συστάσεις και προδιαγραφές για τα υλικά και τις τεχνικές.

Προφανώς μπορούν να οριστούν διορθωτικοί συντελεστές και για άλλα μεγέθη όπως η πλαστιμότητα και η απορροφούμενη ενέργεια. Όμως επειδή για τα παραπάνω μεγέθη τα πειραματικά αποτελέσματα είναι μηδαμινά, η χρήση τέτοιου είδους συντελεστών θα πρέπει να περιοριστεί σε εκείνες μόνο τις περιπτώσεις που τα απαραίτητα στοιχεία προκύπτουν από ειδικές πειραματικές δοκιμές που προδιαγράφονται για συγκεκριμένη εφαρμογή.

## 5.4 ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ – ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

## 5.4.1 Επισκευές – Ενισχύσεις υποστυλωμάτων

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 βελτίωσή τους (ενίσχυση). Προφανώς η δεύτερη επιλογή μπορεί να εφαρμοστεί ανεξάρτητα από την ύπαρξη βλαβών ενώ όταν υπάρχουν βλάβες σχεδόν πάντοτε προηγείται η επισκευή.

## 5.4.1.1 Επισκευές υποστυλωμάτων

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

## 5.4.1.1.1 Επισκευές με κόλλες ή επισκευαστικά κονιάματα

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 λυγισμό 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:

 $k_k = k_r = 1,0$ 

## 5.4.1.1.2 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 διαμήκων ράβδων. Συχνά μετά από μία επισκευή τέτοιου είδους ακολουθεί η ενίσχυση με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος.

Στο Σχήμα 1.3 [56] απεικονίζονται δύο περιπτώσεις αποκατάστασης, στις οποίες παρουσιάζεται πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος της βλαβείσας περιοχής, λυγισμός των διαμήκων 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 διαμήκων ράβδων που έχουν λυγίσει.

Ηλεκτροσυγκόλληση νέων τμημάτων διαμήκων ράβδων.

Τοποθέτηση νέων πυκνών συνδετήρων.

Σκυροδέτηση του καθαιρεθέντος τμήματος.

Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή για να αντιμετωπιστεί η συστολή ξήρανσης του νέου σκυροδέματος. Προς τούτο 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 συμπύκνωση, ο ξυλότυπος καταλήγει προς τα πάνω σε χοάνη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.3 και το επιπλέον πρισματικό τμήμα σκυροδέματος αφαιρείται την επόμενη ημέρα της σκυροδέτησης.

Επισημαίνεται ότι η επιτυχία της τεχνικής 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 1.3 Αποκατάσταση υποστυλώματος, με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος της βλαβείσας περιοχής

Στο Σχήμα 1.4 [56] απεικονίζεται η περίπτωση που το κεντρικό τμήμα της διατομής παρέμεινε αβλαβές και ως εκ τούτου δεν απομακρύνεται. Οι διαμήκεις ράβδοι οπλισμού δεν αντικαθιστώνται 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.



- Παλαιό σκυρόδεμα
- Νέος οπλισμός
- Νέοι συνδετήρες
- 4. Παλαιό σκυρόδεμα
- 5. Νέο σκυρόδεμα
- 6. Συγκόλληση
- 7. Προσωρινός ξυλότυπος

#### Σχήμα 1.4 Αποκατάσταση υποστυλώματος με μερική αποδιοργάνωση της βλαβείσας περιοχής

Πάντως ο σχετικός έλεγχος στην διεπιφάνεια μπορεί να γίνει με τον ίδιο τρόπο που προβλέπεται στον Κανονισμό Σκυροδέματος για τους αρμούς διακοπής των τοιχωμάτων [17], όπου το ελάχιστο εμβαδόν διατομής του οπλισμού που πρέπει να διαπερνά την διεπιφάνεια προκύπτει από τις σχέσεις:

$$A_{s,tot}^{\delta \iota \varepsilon \pi} \geq \frac{1}{f_{yk}} \left( 1,3 f_{ctm} A_c - 0,7 N_d \right)$$

και 
$$A_{s,tot}^{\delta \iota \varepsilon \pi} \geq 0,0025 A_c$$

όπου:

 $A_{s,tot}^{\delta i \epsilon \pi.}$  το εμβαδόν διατομής του οπλισμού που διαπερνά την επιφάνεια

A <sub>c</sub>	το εμβαδόν διατομής του υποστυλώματος
N	

 $N_d$ το αξονικό (θλιπτικό) φορτίο σχεδιασμού του υποστυλώματος

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

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.

## 5.4.1.2 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.

Στην συνέχεια θα αναπτυχθούν οι παραπάνω δύο μορφές ενίσχυσης υποστυλωμάτων.

## 5.4.1.2.1 Ενίσχυση υποστυλωμάτων με περίσφιγξη

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

(a) Όταν απαιτείται αύξηση της πλαστιμότητας του υποστυλώματος.

(β) Όταν απαιτείται αύξηση της διατμητικής αντοχής του υποστυλώματος.

(γ) Όταν μία αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μέχρι 30% το πολύ είναι επαρκής.

(δ) 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.

## Διαδικασίες 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 (Σχ.1.5) ή λωρίδες από ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs).

Με χρήση προεντεταμένων κολλάρων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs) που μπορεί να έχουν την μορφή ταινιών "πακεταρίσματος" [40].





Σχήμα 1.5 Περίσφιγξη με μεταλλικά επικολλητά ελάσματα

Με χρήση σπειροειδούς οπλισμού (Σχ.1.6) που μπορεί να είναι από μεταλλικό έλασμα ή από ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs).



Σχήμα 1.6 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 FRP<sub>s</sub>. Αυτός ο τρόπος εφαρμογής θα αναπτυχθεί λεπτομερέστερα στην συνέχεια.

Στην περίπτωση των μεταλλικών μανδυών 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 (Σχ.1.7). Η τεχνική είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική όταν ο μεταλλικός μανδύας έχει ελλειπτική ή κυκλική μορφή (σχ 1.7β).



(β) ελλειπτική

 Με χρήση μεταλλικού κλωβού που δημιουργείται με κατακόρυφα γωνιακά ελάσματα και είτε οριζόντια μεταλλικά κολλάρα (Σχ.1.7α) είτε πλήρη χαλύβδινα φύλλα (Σχ.1.8β)
 [27,28]. Η τεχνική αυτή θα αναπτυχθεί λεπτομερώς στην συνέχεια.



Σχήμα 1.8 Περίσφιγξη με μεταλλικό κλωβό

## 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 mm. 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.

## 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 (Σχ.1.8). 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" όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.9.



## Σχήμα 1.9 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  $\leq$ 3) επιλέγεται συχνά η αντικατάσταση των κολλάρων με χαλύβδινα φύλλα (Σχ.1.8β).

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 (Σχ.1.10).

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



Σχήμα 1.10 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:

(a) Η διατομή των γωνιακών πρέπει να είναι τουλάχιστον 50X50X5 mm

(β) Η διατομή του οριζόντιου οπλισμού πρέπει να είναι τουλάχιστον 25X4 mm όταν χρησιμοποιούνται ελάσματα ή κατ' ελάχιστον Φ10 όταν χρησιμοποιούνται ράβδοι δομικού χάλυβα.

(γ) 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.

(δ) 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.

(ε) Απαιτούνται πρόσθετα μέτρα πυροπροστασίας (αν υπάρχει θέμα).

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 4Φ18. Σε περιπτώσεις μεγαλυτέρων 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.

## Διαστασιολόγηση

Ανεξάρτητα από την ειδικότερη τεχνική που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση, κύρια δράση είναι **η τριαξονική θλίψη** που εισάγεται με την συμβολή της περίσφιγξης.

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 περίσφιγξη του σκυροδέματος με συμβατικούς συνδετήρες.

Στο Σχήμα 1.11 παρουσιάζεται για λόγους σύγκρισης μια ποιοτική απεικόνιση των καταστατικών νόμων για το περισφιγμένο και απερίσφικτο σκυρόδεμα.



Σχήμα 1.11 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 που δίνονται στον [26], για την περίσφιγξη σκυροδέματος με συμβατικούς συνδετήρες.

$$f_c^* = \beta f_c$$
  $\varepsilon_{co}^* = \beta^2 \varepsilon_{co}$   $\varepsilon_{cu}^* = 0,0035 \pm 0,1\alpha \omega_{wd}$ 

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

 $\varepsilon_{co}^*$ ,  $\varepsilon_{co}$  είναι οι παραμορφώσεις στην κορυφή του διαγράμματος σ<sup>\*</sup>-ε<sup>\*</sup> και σ-ε αντιστοίχως ( $\varepsilon_{co}$ =0,002).

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

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

- α=α<sub>s</sub>.α<sub>n</sub> είναι ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιγξης. Αναλυτικότερα το θέμα αναπτύσσεται αλλού [19]. Εδώ σημειώνεται ότι: (α) στην περίπτωση του μεταλλικού κλωβού η τιμή του συντελεστή α<sub>s</sub> πλησιάζει την μονάδα λόγω της σχετικά μεγάλης δυσκαμψίας των γωνιακών ελασμάτων. Για συνήθεις εφαρμογές μπορεί να θεωρηθεί α<sub>s</sub>= 0,9. (β) στην περίπτωση ενίσχυσης κυκλικών υποστυλωμάτων με λωρίδες από ινοπλισμένα πολυμερή ή με χαλύβδινα ελάσματα ο συντελεστής α<sub>n</sub> είναι ίσος με μονάδα ενώ αν χρησιμοποιηθεί ολόσωμος μανδύας λαμβάνεται α=α<sub>s</sub>.α<sub>n</sub>=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  $f_{fd,c}$  (βλ. ορισμό  $f_{fd,c}$  παρακάτω).

Εξ' άλλου για την περίπτωση μανδυών από ινοπλισμένα πολυμερή έχουν προταθεί και οι παρακάτω ημιεμπειρικές σχέσεις [15]:

Για κυκλικά υποστυλώματα:

$$f_c^* = f_c + 6 f_r^{0.7}$$
 (MPa)  $\varepsilon_{cu}^* = \frac{f_c^* - f_o}{E_2}$  óπου:

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

$$f_o = 0,872 f_c + 0,371 f_r + 6,258$$
(MPa)

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

 $f_r$ είναι η μέγιστη τιμή της τάσης εγκιβωτισμού στο σκυρόδεμα.

- $t_f$  είναι το πάχος του μανδύα.
- D είναι η διάμετρος της διατομής του υποστυλώματος.
- $E_{\rm f}$ είναι το Μέτρο Ελαστικότητας του ινοπλισμένου πολυμερούς στην διεύθυνση των ινών.
- $f_{fd,c}$  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 ευθύγραμμα δοκίμια.

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

 Προσεγγιστικά για ορθογωνικά υποστυλώματα διατομής b×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:

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

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 (μ1/r) ή με την κλάση πλαστιμότητας της κατασκευής (όπως ορίζεται στον [24], μπορούν να αναζητηθούν αλλού [3].

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 οπλισμούς".

Οι σχέσεις αυτές για την περίπτωση μανδυών 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 θ= 30<sup>0</sup>).
- γ<sub>f</sub> είναι ο συντελεστής υλικού του μανδύα, που συμπεριλαμβάνει και τον μειωμένο βαθμό "επιστράτευσης" της φέρουσας ικανότητας του. Λαμβάνεται ίσος με 2,5. Για

ματρο οποιρατουσης της φορουσας πατοτητάς του. Παμρατοτά τους μο 2,5. Γτα 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 υπερκάλυψης 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.

Σύμφωνα με τον [24], 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:  $k_r = k_k = 1.0$ 

υπό την προϋπόθεση ότι η αύξηση της διατμητικής ή καμπτικής αντοχής του υποστυλώματος δεν θα ξεπερνάει την αντίστοιχη αρχική του και ότι στους υπολογισμούς ο συντελεστής ασφάλειας υλικού ( $\gamma_s$ ) για όλα τα πρόσθετα μεταλλικά στοιχεία θεωρείται μεγαλύτερος κατά 50% από τον αντίστοιχο που χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό των συμβατικών μεταλλικών κατασκευών δηλαδή:  $\gamma_s = 1,5 \gamma_s = 1,72$ .

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.

## 5.4.1.2.2 Μανδύες υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα

Η τεχνική της κατασκευής μανδυών σε υποστυλώματα οπλισμένου σκυροδέματος είναι η πλέον αποτελεσματική μέθοδος αύξησης της αντοχής, δυσκαμψίας και πλαστιμότητάς τους [34,35,36,37]. 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 (Σχ.1.12) και μπορεί να εκτείνεται είτε σε όλο το μήκος του υποστυλώματος (ολικός μανδύας Σχ.1.13) είτε σε ένα μόνο τμήμα του (τοπικός μανδύας).



- (1) Παλαιό υποστύλωμα
- (2) Μανδύας
- (3) Κλειδί
- (4) Αναρτήρες
- (5) Πρόσθετος οπλισμός
- (6) Συνδετήρες
- (7) Συγκολλήσεις
- (8) Οκταγωνικοί
- συνδετήρες
- (9) Παλαιοί οπλισμοί





<u>Τομή Β-Β</u>



αναρτήρας



Σχήμα 1.12 Μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος

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

Σχήμα 1.13 Ολικός μανδύας, διάτρηση δοκού στην περιοχή του κόμβου για διέλευση συνδετήρων

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

## Είδη μανδυών οπλισμένου σκυροδέματος

(α) Μανδύες από έγχυτο σκυρόδεμα

Έγχυτο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται για μανδύες μεγάλου πάχους (d  $\geq 80~mm$ ) 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 υποστυλώματος.

(β) Μανδύες από εκτοζευόμενο σκυρόδεμα.

Η χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος, ξηράς ανάμιξης, είναι η πιο συνηθισμένη πρακτική για την κατασκευή μανδυών 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 μανδυών 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.

## Διαδικασία κατασκευής μανδυών

Μία συνήθης σειρά που απαιτείται για την κατασκευή μανδυών 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 (Σχ.1.14α) [4]. Στο Σχήμα 1.14β 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 πεδίλου 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).

- 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 [18]. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται για την συντήρηση στην περίπτωση που χρησιμοποιείται εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, επειδή τότε η συστολή ξήρανσης είναι μεγαλύτερη.



- (1) παλαιό υποστύλωμα
- (2) μανδύας
- (3) διαμήκεις οπλισμοί
- (4) νέοι συνδετήρες
- (5) διατόρημα πρός πάκτωση των οπλισμών με εποξειδική ρητίνη

- (1) νέοι συνδετήρες Φ 12/10
- (2) διαμήκεις οπλισμοί
- (3) παλιό σκυρόδεμα
- (4) νέο σκυρόδεμα
- (5) φωλιές στο παλιό σκυρόδεμα
- (6) πύκνωση συνδετήρων στην περιοχή εκτροπής διαμήκων ράβδων οπλισμού

Σχήμα 1.14 Διαδικασίες απόληξης μανδύα στα στοιχεία θεμελίωσης

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 προηγείται 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.

## 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 1.15 παρουσιάζονται χρήσιμες διατάξεις που έχουν προταθεί για την περίπτωση που ο μανδύας περιβάλλει τρεις πλευρές του υποστυλώματος [20]. 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 ανθεκτικότητάς τους στο χρόνο, ειδικότερα στην περίπτωση που δεν εγκιβωτίζονται σε σκυρόδεμα. Όταν ο μανδύας περιβάλλει μόνο μία ή δύο πλευρές του υποστυλώματος (Σχ.1.16), στην πραγματικότητα πρόκειται πλέον για επέκταση του υποστυλώματος.



- 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 υποστύλωμα με βλήτρα.

Σχήμα 1.15 Περιπτώσεις ανοικτών μανδυών



Υπάρχον υποστύλωμα
 Επέκταση υποστυλώματος
 Σχήμα 1.16 Μονόπλευρη ή δίπλευρη επέκταση υποστυλώματος

Στο Σχήμα 1.17 [56] παρουσιάζονται χρήσιμες διατάξεις για την περίπτωση μονόπλευρης επέκτασης. Ανάλογες διατάξεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για επέκταση του υποστυλώματος προς δύο πλευρές.



Σχήμα 1.17 Λεπτομέρειες μονόπλευρης επέκτασης υποστυλώματος

## Μεταφορά αξονικού φορτίου

Για την εκτίμηση του μεγέθους του αξονικού φορτίου που "μεταφέρεται" στους μανδύες υποστυλωμάτων όταν αφαιρεθεί η προσωρινή υποστύλωση 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 [10,11,12,20] 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 1.18 [10] και μπορούν να περιγραφούν ως εξής:



Σχ. 1.18 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.

Για τις οδούς μεταφοράς δυνάμεων μέσω των "οδών" 1,2 και 6 περισσότερα μπορούν να αναζητηθούν αλλού [2,10], ενώ για τις "οδούς" 3,4 και 5 δεν έχει διατυπωθεί μέχρι σήμερα κάποιο αξιόπιστο φορμαλιστικό προσομοιώματος υπολογισμού.

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 σκυροδ<br/>έματος του μανδύα.

 $u_o$  είναι το μήκος του μανδύα που απαιτείται για να αναπτυχθεί η max  $N_{\rm f.}$ 

Έτσι αν:

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

 $N_r$ είναι το θλιπτικό φορτίο που εξακολουθεί να φέρει το αρχικό υποστύλωμα κατά την διάρκεια της επέμβασης

το μήκος του μανδύα  $u_o$  (Sc.1.19) 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 1.19 Μόρφωση μανδύα
Στον [24] προτείνεται συντηρητικά, 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:

$$\begin{split} \sum A_s & \text{είναι το εμβαδόν της συνολικής διατομής των λοξών σκελών των αναρτήρων.} \\ E_s & \text{είναι το Μέτρο Ελαστικότητας του χάλυβα (των αναρτήρων).} \\ \sqrt{2} h_s & \text{είναι το μήκος κάθε λοξού σκέλους αναρτήρα με κλίση 45° (Σχ.1.20).} \\ s_{cr} & \text{είναι η κρίσιμη τιμή της ολίσθησης στην διεπιφάνεια όταν μεγιστοποιείται η } \end{split}$$

αντίσταση τριβής και μπορεί να ληφθεί ίση προς 0,15 mm. Στις ακραίες περιοχές μήκους  $u_0$  το πλήθος των απαιτούμενων αναρτήρων  $(n_\alpha)$  μπορεί να εκτιμηθεί με βάση την φέρουσα ικανότητά τους.

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

Πάντως η παραπάνω σχέση δίνεται στο (24), λιγότερο συντηρητικά ως:

$$N_{u} - N_{r} = n_{a} \left( 20 \frac{A_{s}}{h_{s}} + 10 \right) \text{ [kN, mm]}$$

$$\downarrow \text{h s}$$

$$\downarrow \text{5 } \Phi$$

$$\downarrow \text{10 } \Phi$$

$$\downarrow \text{5 } \Phi$$

Σχήμα 1.20 Συνήθης μορφή αναρτήρων

## Συνδετήρες μανδύα

Στις ακραίες περιοχές μήκους u<sub>o</sub> (Σχ.1.19) πρέπει να διατάσσονται πυκνοί συνδετήρες που να αναλαμβάνουν τουλάχιστον την δύναμη που αντιστοιχεί στην εγκάρσια εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος του μανδύα [10,12].

Οι συνδετήρες που απαιτούνται γι' αυτό τον λόγο προσδιορίζονται από την σχέση:

$$\frac{A_{sw}^{\sigma}}{\alpha_{sw}} \ge \frac{t.f_{2t}}{f_{ywd}}$$

όπου  $A_{sw}^{\sigma}$  είναι το εμβαδόν της διατομής της ράβδου του συνδετήρα

 $a_{sw}$ είναι η απόσταση των συνδετήρων

 $f_{vwd}$  είναι το όριο διαρροής των συνδετήρων

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

Επίσης πυκνοί συνδετήρες Φ8/75 mm τοποθετούνται κατασκευαστικά στην περιοχή της βλάβης για να εξασφαλιστούν οι νέοι οπλισμοί από τοπικό λυγισμό [1,10].

# 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. Αναλυτικά το θέμα αναπτύσσεται αλλού [2,3].

# Διαστασιολόγηση

Στην περίπτωση ολόσωμων μανδυών οι διορθωτικοί συντελεστές προσομοιώματος (συντελεστές μονολιθικότητας) που προτείνονται στον [24] είναι:

 $k_r = 0,80$ 

 $k_k = 0,70$ 

Υπό την προϋπόθεση ότι:

α) Έχει αποκατασταθεί η συνέχεια του υποστυλώματος στην περιοχή της βλάβης, πριν την κατασκευή του μανδύα.

β) Όλες οι νέες ράβδοι είναι καλά αγκυρωμένες στον αρχικό φορέα.

γ) Το εμβαδόν της διατομής του μανδύα δεν ξεπερνά το διπλάσιο της διατομής του αρχικού υποστυλώματος.

Όμως από πειραματικά αποτελέσματα [8,36] 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:

 $k_r = 0.80 \text{ fwg } 1.0 \text{ kai } k_k = 0.70 \text{ fwg } 1.0.$ 

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  $k_k = 1,0.$ 

#### 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 μανδυών (π.χ. μικρότερα από 75 mm) δεν μπορούν να ικανοποιηθούν οι διατάξεις του Κανονισμού Σκυροδέματος [18] 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 (Σχ.1.21) σε εναλλασσόμενες πλευρές του υποστυλώματος.



Σχήμα 1.21 Μορφή συνδετήρα με ηλεκτροσυγκολλημένα άκρα

- Ελάχιστοι νέοι κατακόρυφοι οπλισμοί και ελάχιστοι συνδετήρες : Ισχύουν οι κατασκευαστικές διατάξεις υποστυλωμάτων σύμφωνα με Κανονισμό Μελέτης Κατασκευών Σκυροδέματος [17]. Στην περιοχή της βλάβης τίθενται συνδετήρες τουλάχιστον Φ8/75 mm.

όπου

 $\rho_{\delta,\min} = \max\left(\rho_{w,\min}^{o\pi\lambda.\delta\iota\alpha\tau\mu.}, 0,12\%\right) \quad [2]$ 

ρ<sub>W,min</sub><sup>οπλ.διατμ.</sup> είναι το ελάχιστο ποσοστό διάτμησης δοκών που δίνεται από τον Κανονισμό για την Μελέτη και Κατασκευή Έργων από Σκυρόδεμα [17]

 $A_{c\delta}$  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 γίνουν ηλεκτροσυγκολλήσεις των διαμήκων ράβδων με την προϋπόθεση ότι η διατμητική αντίσταση είναι ίδιου μεγέθους με αυτήν των ελαχίστων βλήτρων.

- 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.

# 5.4.2 Επισκευές – Ενισχύσεις τοιχωμάτων

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

# 5.4.2.1 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  $k_k = 1,0.$ 

## 5.4.2.2 Ενισχύσεις τοιχωμάτων

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

# 5.4.2.2.1 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 μανδυών με ινοπλισμένα πολυμερή και την τεχνική του μεταλλικού κλωβού. Η τεχνική των μανδυών 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:

(α) Η μικρή απόδοση της περίσφιγξης μπορεί να αυξηθεί με την παρεμβολή διαμπερών μεταλλικών συνδέσμων (ράβδων) σχήματος Ζ 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.

(β) Η τεχνική προσφέρει στην ανάληψη τεμνουσών δυνάμεων.

(γ) 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 (Σχ.1.10).

#### 5.4.2.2.2 Ενίσχυση τοιχωμάτων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος

Η τεχνική των μανδυών 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 1.22 [56].

Η περίπτωση α μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν επιδιώκεται ελαφρά διατμητική ενίσχυση του τοιχώματος, ενώ η περίπτωση b χρησιμοποιείται όταν επιδιώκεται καμπτική ενίσχυση. Εξ άλλου οι περιπτώσεις c και d 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 d στο Σχήμα 1.22, 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 1.23 [56].



- (1) Παλαιό τοίχωμα
- (2) Νέα επένδυση Ο.Σ.
- (3) Ακραίες ενισχύσεις
- (4) Συγκολλήσεις
- (5) Αγκυρώσεις με εποξειδικές ρητίνες
- Σχήμα 1.22 Ενίσχυση τοιχωμάτων με μανδύες.



Σχήμα 1.23 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.

#### Διαστασιολόγηση

Στον [24] 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:

α) Έχει αποκατασταθεί η συνέχεια του τοιχώματος στην περιοχή της βλάβης, πριν την κατασκευή του μανδύα.

β) Όλες οι νέες ράβδοι είναι καλά αγκυρωμένες στον αρχικό φορέα.

γ) 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  $k_{\kappa}=1,0$ .

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.

Η  $V_{R,res}$  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 [11].

$$\frac{V_{R} - V_{R,res}}{V_{R}} = \frac{0.25 (1 - \omega_{w})^{0.5} (1 - \rho_{1}) \delta^{0.7 + v_{d}} (n - 1)^{0.25}}{1 + 1.5 \alpha_{s}^{2}}$$

όπου :

 $V_R$  είναι η διατμητική αντοχή του τοιχώματος χωρίς βλάβες.

ω<sub>w</sub> είναι το μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό οπλισμού κορμού.

- ρ<sub>1</sub> 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: δ = μετακίνηση τοιχώματος/μετακίνηση στο όριο διαρροής.
- n είναι ο αριθμός των ενεργών πλήρων κύκλων του σεισμού, σε μετακινήσεις μεγέθους δ.

ν<sub>d</sub> είναι το ανηγμένο αξονικό φορτίο του τοιχώματος :  $v_d = \frac{N_d}{b_w I_w f_c}$ 

 $α_s$  είναι ο λόγος διάτμησης του τοιχώματος :  $a_s = \frac{M_d}{V_d I_w}$ 

 $b_w$ ,  $l_w$ 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

$$V_{sd} \le V_{Rd3} = k_r V_{Rd3}^{monol} = k_r \left( V_{cd}^{monol} + V_{wd}^o + V_{wd}^n \right)$$

όπου τα μεγέθη:

 $V_{Rd2}^{monol}$ ,  $V_{Rd3}^{monol}$  και  $V_{cd}^{monol}$  αναφέρονται στην 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 λαμβάνεται:

$$V_{wd}^{n} \ge \min \left( \frac{V_{sd}}{k_{r}} - V_{cd}^{monol} - V_{wd}^{o}, V_{sd} \right)$$

## Κατασκευαστικές διατάξεις

- 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 [17].

όπου

 $\rho_{\delta,\min} = \max\left(\rho_{w,\min}^{o\pi\lambda.\delta\iota\alpha\tau\mu.}, 0,12\%\right) \quad [2]$ 

ρ<sup>οπλ.διατμ.</sup> είναι το ελάχιστο ποσοστό διάτμησης δοκών που δίνεται από τον Κανονισμό για την Μελέτη και Κατασκευή Έργων από Σκυρόδεμα [17].

 $A_{c\delta}$ 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 δίτμητα βλήτρα μορφής  $\Pi$  .

Σε αμφίπλευρους μανδύες τα βλήτρα πρέπει να είναι διαμπερή. Ευθύγραμμα τμήματα ράβδων χάλυβα τοποθετούνται στις οπές που έχουν διανοιγεί 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.

## 5.4.3 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.

## 5.4.3.1 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 1.24 παρουσιάζονται δύο χαρακτηριστικές περιπτώσεις της δεύτερης περίπτωσης [56].

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<sub>r</sub>=k<sub>k</sub>=1,0



Σχήμα 1.24 Επισκευή με την τεχνική αποκατάστασης ίσης διατομής

## 5.4.3.2 Ενίσχυση δοκών και πλακών

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.

#### 5.4.3.2.4 Καμπτική ενίσχυση με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος

Η τεχνική αυτή, εφαρμόζεται συχνά για ισχυρές ενισχύσεις δοκών ή πλακών στο εφελκυόμενο πέλμα. Μερικές φορές επίσης εφαρμόζεται και για ενισχύσεις στο θλιβόμενο πέλμα [30,32]. Μερικές φορές επίσης εφαρμόζεται και για ενίσχυση στο θλιβόμενο πέλμα [33].

Η ενίσχυση στο εφελκυόμενο 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 1.25 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 καβίλιες (λεπτομέρεια G1) είτε ράβδοι σε σχήμα Z (λεπτομέρεια G2).



Σχήμα 1.25 Ενίσχυση κάτω πέλματος δοκού.

Στα Σχήματα 1.26 και 1.27 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 1.27 Ενίσχυση πλακών με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος. Εναλλακτικοί τρόποι σύνδεσης στην διεπιφάνεια.

#### Διαστασιολόγηση

Η δοκός διαστασιολογείται ως εάν ήταν μονολιθική, λαμβάνοντας υπόψη τους παρακάτω μειωτικούς συντελεστές προσομοιώματος που προτείνονται στον [24]:

$$k_r = 0.9$$
 ,  $k_k = 0.85$ 

Για πλάκες λαμβάνεται <br/>  $\mathbf{k}_{\mathbf{k}} = \mathbf{k}_{\mathbf{r}} = 1,0$ 

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 αναπτύσσσεται αλλού [2].

Μία αναλυτική διαδικασία κατά την οποία λαμβάνεται υπόψη, η σχετική ολίσθηση στην διεπιφάνεια παλαιού-νέου σκυροδέματος μπορεί να αναζητηθεί στην βιβλιογραφία [29,32,34,35].

#### Κατασκευαστικές διατάξεις

Ισχύουν εν γένει οι κατασκευαστικές διατάξεις, όπως αναφέρονται στον Κανονισμό Σκυροδέματος [17].

Τα χαρακτηριστικά αντοχής και παραμόρφωσης των νέων υλικών δεν πρέπει να υπολείπονται των χαρακτηριστικών του αρχικού στοιχείου.

Στον [24] 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.

## 5.4.3.2.2 Καμπτική ενίσχυση με επικολλητά φύλλα από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή

Η χρήση επικολλητών φύλλων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή (FRP), ως εξωτερικού οπλισμού στο εφελκυόμενο 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 (Σχ.1.28) και η ευαισθησία διάβρωσής 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 επικολλητών φύλλων. Ο πρώτος στοχεύει στην εξασφάλιση επαρκούς μήκους αγκύρωσης πέραν της περιοχής που απαιτείται καμπτική ενίσχυση.



Σχήμα 1.28 Εικόνα αστοχίας ακραίας περιοχής δοκού ενισχυμένης με επικολλητά 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 επικολλητού 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 [52] 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.

# Ενίσχυση με επικολλητά ελάσματα

Η διαστασιολόγηση δομικών στοιχείων ενισχυμένων με επικολλητά 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.

Η διαδικασία προσδιορισμού του απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης, όπως και ο έλεγχος των διατμητικών τάσεων απόσχισης και της αλληλεπίδρασης διατμητικής και καμπτικής έντασης στις περιοχές πέρατος του ελάσματος μπορεί να αναζητηθεί αλλού [2,3].

# Κατασκευαστικές διατάξεις

Συνοψίζοντας κατασκευαστικές διατάξεις που έχουν διατυπωθεί στην βιβλιογραφία για τα επικολλητά ελάσματα, προτείνονται τα εξής:

- Το μήκος αγκύρωσης του ελάσματος δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το max (200mm, 140/b<sub>1</sub>, 200t<sub>1</sub>) όπου b<sub>1</sub> και t<sub>1</sub> 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 [54]. 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 (57).
- Απαιτείται η χρήση κατάλληλων ειδικών διατάξεων αγκύρωσης των άκρων. Ικανοποιητικά πειραματικά αποτελέσματα προέκυψαν όταν χρησιμοποιήθηκαν ειδικά επικολλητά γωνιακά αγκύρωσης, συγκολλημένα στα ελάσματα και στις παρειές της δοκού (Σχ.1.29).



Σχήμα 1.29 Ειδικά επικολλητά 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 πλάστιμη συμπεριφορά. Έτσι επιτρέπεται καλύτερη κατανομή των τάσεων στην περιοχή αγκύρωσης.
- O babmóc eniscusts tou stoiceíou (  $\Delta M_{do}/M_{do}$ ) sunistátai na mun zepenári tu monáda.

#### 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 [6,15]:

 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 εφελκυόμενο 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  $\varepsilon_{f,\lim}$  της τάξεως του 50% της παραμόρφωσης θραύσης τους.

Συχνά λαμβάνεται  $\varepsilon_{f,\text{lim}} = 6^{\circ}/_{\text{oo.}}$  Πάντως η τιμή αυτή δεν θα πρέπει να θεωρηθεί οριστική επειδή το θέμα είναι ακόμα υπο διερεύνηση.

Επομένως, οι δύο οριακές καταστάσεις αστοχίας για διατομές σκυροδέματος  $\varepsilon_{c2} = 3.5$  °/<sub>00</sub> και  $\varepsilon_{s1} = 20$  °/<sub>00</sub> που προβλέπονται στον Κανονισμό Σκυροδέματος [17] αντικαθίστανται από τις  $\varepsilon_{c2} = 3.5$  °/<sub>00</sub> και  $\varepsilon_{f} = 6$  °/<sub>00</sub> [2,3].

Η παραπάνω διαδικασία προϋποθέτει ότι τα άκρα των εξωτερικών οπλισμών εξασφαλίζονται έναντι πρόωρης αποκόλλησης. Προς τον σκοπό αυτό απαιτείται επαρκές μήκος αγκύρωσης (l<sub>b</sub>) των εξωτερικών οπλισμών. Η διαδικασία προσδιορισμού του απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης και ο έλεγχος των διατμητικών τάσεων απόσχισης, στα άκρα μπορεί να αναζητηθεί αλλού [15].

# Κατασκευαστικές διατάξεις-συστάσεις

Ειδικά μέτρα εξασφάλισης της αγκύρωσης, ανάλογα με αυτά που χρησιμοποιούνται για τα επικολλητά ελάσματα (Σχ.1.29) μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση ανεπάρκειας του μήκους αγκύρωσης.

Η εφαρμογή της τεχνικής ενίσχυσης στοιχείων με επικολλητά φύλλα από ινοπλισμένα πολυμερή, <u>προϋποθέτει ότι το στοιχείο χωρίς οπλισμό ενίσχυσης μπορεί να φέρει ασφαλώς</u> τον συνδυασμό των οιονεί-μονίμων φορτίων (G+ψ<sub>2</sub>Q) για να μην αστοχήσει σε περίπτωση απρόβλεπτης έντονης δράσης (π.χ. πυρκαγιά).

## 5.4.3.2.3 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 1.30 [56] είτε επικολλητά φύλλα από χάλυβα.



- 1. Υπάρχουσα δοκός
- Εξωτερικός χαλύβδινος συνδετήρας
- 3. Χαλύβδινο έλασμα
- Βίδα
- 5. Χαλύβδινη γωνιά
- Ηλεκτροσυγκόλληση

Σχήμα 1.30 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 1.31 και 1.32<sup>α</sup>, [13] είτε ακόμη καλύτερα, με την μορφή μανδυών που συνήθως είναι ανοικτής μορφής (Σχήμα 1.32β,γ). Σημειώνεται, πάντως ότι η τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί <u>υπό την προϋπόθεση ότι το στοιχείο χωρίς οπλισμό ενίσχυσης μπορεί να φέρει ασφαλώς τον συνδυασμό των οιονεί-μονίμων φορτίων (G+Ψ<sub>2</sub>Q).</u>

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<sub>fd</sub> 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 του υλικού, επειδή σχεδόν πάντοτε προηγείται η αποκόλληση των φύλλων από την επιφάνεια του σκυροδέματος.



Σχήμα 1.31 Ενίσχυση δοκών σε διάτμηση με ινοπλισμένα πολυμερή



Σχήμα 1.32 Ενδεικτικοί τρόποι ενίσχυσης σε διάτμηση

Με βάση τα παραπάνω, το απαιτούμενο πάχος του φύλλου (t<sub>f</sub>), τοποθετούμενου με τις ίνες κάθετες προς τον άξονα της δοκού προκύπτει: $t_f = \frac{V_{fd}}{1,2\varepsilon_{f,g}E_fd}$ 

Για την περίπτωση ινοπλισμένων πολυμερών από ίνες άνθρακα η "ενεργή" παραμόρφωση  $\varepsilon_{f,e}$  δίνεται από την σχέση [15]:

 $\varepsilon_{f,e} = \min \left[ 0,17 \varepsilon_{fu} \left( f_{cm}^{2/3} / E_f \rho_f \right)^{0,3} , 0,65 \times 10^{-3} \left( f_{cm}^{2/3} / E_f \rho_f \right)^{0,56} , 0,006 \right]$  Στην παραπάνω σχέση  $f_{cm}$  είναι η (μέση) θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος (σε MPa), το Μέτρο Ελαστικότητας E<sub>f</sub> τίθεται σε GPa και  $\varepsilon_{fu}$ είναι η παραμόρφωση θραύσης των σύνθετων υλικών.

# 5.4.3.2.4 Ενίσχυση με μανδύες Ο.Σ.

Η τεχνική κατασκευής μανδυών 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 1.33 [56] 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 1.34 [8,56] παρουσιάζεται μία ενδεικτική εφαρμογή ανοικτού μανδύα. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή για την εξασφάλιση της αγκύρωσης των συνδετήρων.



## Διαστασιολόγηση

Στον [24] προτείνεται όπως 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<sub>r,M</sub> = 0,90.
- Η διαστασιολόγηση σε διάτμηση γίνεται θεωρώντας διορθωτικό συντελεστή προσομοιώματος για την διατμητική αντοχή k<sub>r,v</sub> = 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 (βλ.Υποστυλώματα).

## 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.

#### 5.4.4 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:

(α) Η διατμητική ένταση στους κόμβους είναι ιδιαίτερα υψηλή.

(β) Ο σχεδιασμός των κόμβων, μέχρι και σήμερα, δεν αποτελεί αντικείμενο μελέτης της τοπικής έντασης.

(γ) Οι κόμβοι είναι συχνά περιοχές κακής σκυροδέτησης λόγω μεγάλης πυκνότητας οπλισμών.

(δ) 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 (βλ. §.1: Τυπικοί βαθμοί βλάβης), 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.

# 5.4.4.1 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.

#### της αποκαταστασης τοης στατομης. 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 [5,25].

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.

## 5.4.4.2 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.

## 5.4.4.2.2 Μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος

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 1.35 [56], όπου ο μανδύας επεκτείνεται στα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς. Όταν όμως ο σχεδιασμός της περιοχής στοχεύει σε ικανοποίηση ικανοτικών κριτηρίων, ο μανδύας μπορεί να μην επεκταθεί στην περιοχή της δοκού ή 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.