

2.2 ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΜΕ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΕΣ ΡΗΤΙΝΕΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕ ΒΛΑΒΕΣ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ

2.2.1 Γενικά

Η επέμβαση σε μία οικοδομή που έχει υποστεί βλάβες από σεισμό είναι δυνατόν να έχει ως στόχο είτε να προσδώσει στη κατασκευή τη σεισμική ικανότητα που αυτή θα είχε αν σχεδιαζόταν από την αρχή με βάση τους ισχύοντες κανονισμούς, είτε να επαναφέρει το κτίριο στη κατάσταση που ήταν προ του σεισμού. Στη πρώτη περίπτωση ο στόχος της επέμβασης διασφαλίζεται με επισκευή και ενίσχυση των δομικών στοιχείων που έχουν βλάβες αλλά και ενίσχυση όσων άλλων κρίνεται αναγκαίο, ενώ στη δεύτερη με επισκευή μόνον αυτών που έχουν βλάβες.

Από τις τεχνικές επισκευής και ενίσχυσης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος (υποστυλωμάτων - δοκών), που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά τους τελευταίους σεισμούς (ΕΜΤ 1978, Πενέλης και Κάππος 1992, Penelis & Kappos 1997, Δρίτσος 2001), η επισκευή στοιχείων και κόμβων με χρήση ρητινών έχει σε σχέση με τις άλλες το βασικό πλεονέκτημα ότι με αυτή διατηρούνται οι παλιές διαστάσεις των στοιχείων και έτσι η εφαρμογή της είναι η πλέον εύκολη σε πραγματικές κατασκευές.

Τα τελευταία χρόνια, η τεχνική των ρητινενέσεων έχει αποδειχθεί ως η καλύτερη διαδικασία επισκευής ρωγμών σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το εύρος των ρωγμών, στο οποίο συνήθως εφαρμόζεται, κυμαίνεται από 0,1 mm έως 3,0 mm.

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

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

Το βασικό πρόβλημα, όλων των παραπάνω διαδικασιών, σχετίζεται κύρια με τη γήρανση του υλικού επισκευής. Έτσι οι τεχνικές αυτές, δεν συνιστώνται πλέον, παρά μόνο ως προσωρινοί τρόποι αποκατάστασης. Αντίθετα η τεχνική των ενέσεων με ρητίνες, φαίνεται να μπορεί να δημιουργήσει μόνιμη αποκατάσταση, που δεν χάνει την αντοχή της με το χρόνο.

Παρακάτω αναφέρονται μερικά από τα βασικά πλεονεκτήματα της τεχνικής των ρητινενέσεων:

- α) Οι ρητίνες γεμίζουν το κενό της ρωγμής και δεν γεφυρώνουν απλώς το άνοιγμα. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται πλήρης συνέχεια του υλικού. Επίσης, οι

οπλισμοί στην περιοχή της ρωγμής, εγκιβωτίζονται πλήρως και έτσι προστατεύονται από κάθε διαδικασία οξείδωσης ή άλλης περιβαλλοντικής προσβολής. Επιπροσθέτως, αποκαθίσταται πλήρως η συνάφεια του οπλισμού και του περιβάλλοντος σκυροδέματος.

β) Οι υψηλές αντοχές εφελκυσμού και συνάφειας των ρητινών με το σκυρόδεμα, εμποδίζουν την αύξηση του εύρους και του μήκους των ρωγμών.

γ) Οι ρητίνες που χρησιμοποιούνται, δεν είναι υλικά ευάλωτα από παράγοντες που συχνά επιδρούν δυσμενώς στην κατασκευή, όπως π.χ. αλκαλικότητα, ιόντα, περιβαλλοντικές δράσεις. Εξάλλου το υλικό που βρίσκεται στο βάθος της ρωγμής, δέχεται πολύ μικρότερες επιδράσεις, από το υλικό που βρίσκεται στην επιφάνεια του στοιχείου.

δ) Όσον αφορά τη διαδικασία γήρανσης του υλικού επισκευής, είναι χαρακτηριστικό ότι οι ρητινενέσεις υπερτερούν σημαντικά έναντι των άλλων τεχνικών επισκευής ρωγμών επειδή η μεγαλύτερη ποσότητα της ρητίνης, βρίσκεται στο εσωτερικό της ρωγμής, όπου το άνοιγμα και κλείσιμο των παρειών, λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών του περιβάλλοντος, είναι πολύ μικρότερο από ότι στην επιφάνεια του στοιχείου.

Ως γνωστό, το εύρος της ρωγμής μεταβάλλεται λόγω εποχιακών ή και εντός 24ώρου μεταβολών της θερμοκρασίας στο περιβάλλον του στοιχείου. Οι κινήσεις των παρειών της ρωγμής είναι ουσιαστικά μικρές, όμως δεν είναι ασήμαντες στην επιφάνεια του στοιχείου όπου η εναλλαγή ηλιακής ακτινοβολίας με το κρύο, είναι πολύ έντονη. Έτσι παρόλο που το άνοιγμα και κλείσιμο της ρωγμής δεν είναι ορατό, το υλικό επισκευής που βρίσκεται στην επιφάνεια του στοιχείου, γηράσκει, λόγω της επαναλαμβανόμενης έντασης, ενώ για το υλικό που βρίσκεται στο βάθος της ρωγμής, η ένταση είναι μικρότερη.

ε) Ως προς το αισθητικό αποτέλεσμα της επέμβασης, θα πρέπει να τονιστεί ότι η τεχνική των ρητινενέσεων, αποτελεί μοναδική ίσως διαδικασία με τόσο υψηλό βαθμό διακριτικότητας.

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα, της τεχνικής των ρητινενέσεων, επισημαίνεται ιδιαίτερα η ανάγκη χρησιμοποίησης εξειδικευμένου και έμπειρου προσωπικού, και ακόμη οι σοβαροί κίνδυνοι που προκύπτουν από την ανεπιτυχή εφαρμογή της μεθόδου.

Για την επίδραση του χαμηλού μέτρου ελαστικότητας της ρητίνης στην συμπεριφορά του επισκευασμένου στοιχείου θα πρέπει να επισημανθούν τα εξής: το μέτρο ελαστικότητας της ρητίνης έχει ασήμαντη επίδραση στις γραμμικές παραμορφώσεις του στοιχείου, επειδή το πάχος της είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με το αντίστοιχο μήκος του στοιχείου. Όμως η επίδραση στις στροφές της επισκευασμένης διατομής είναι ιδιαίτερα σημαντική και επομένως, γι' αυτό το λόγο πρέπει να προτιμούνται υλικά, με όσο το δυνατόν, μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας. Παρόλο που στη βιβλιογραφία δεν υπάρχουν εν γένει συστάσεις για ένα κάτω όριο του μέτρου ελαστικότητας σε κάμψη, σκόπιμο είναι προσωρινά να επιλέγονται υλικά

με τιμή $E > 2000 \text{ MPa}$, όπως, έστω αυθαίρετα, έχει προταθεί από ερευνητές με εμπειρία στην εφαρμογή (Ζαβλιάρης, 1983).

Ένα μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας θα μπορούσε να επιτευχθεί σε περιπτώσεις χρησιμοποίησεως ρητινοκονιαμάτων, δηλαδή κονιαμάτων που προκύπτουν από την ανάμιξη αδρανών (συνήθως filler) με ρητίνη. Όμως τέτοιου είδους υλικά έχουν πολύ μεγάλο ιξώδες και μπορούν ως εκ τούτου να χρησιμοποιηθούν μόνο σε ρωγμές μεγάλου εύρους (μεγαλύτερου από 3 mm). Πέρα από αυτό είναι γνωστό ότι οι αντοχές του υλικού μειώνονται σημαντικά (Σπανουδάκης κ.α., 1984).

2.2.2 Διαδικασία Εφαρμογής της Τεχνικής των Ρητινενέσεων

Απ' όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα, είναι προφανές ότι η τεχνική των ρητινενέσεων είναι η καταλληλότερη διαδικασία για την επισκευή των ρωγμών, σε στοιχεία από Ο.Σ.. Στη συνέχεια αναφέρονται τα επιμέρους στάδια εκτέλεσης της επέμβασης, όπως αυτά προτείνονται σε διάφορα εγχειρίδια (Ε.Μ.Π., 1978 - Α.Π.Θ., 1978) και εφαρμόζονται στην πράξη:

- α) Καθαρίζεται η ρωγμή και η γειτονική περιοχή με πεπιεσμένο αέρα.
- β) Τοποθετούνται μικρά κομμάτια, ταινίας κατά μήκος της ρωγμής.
- γ) Διανοίγονται οπές διαμέτρου 5-10 mm με τρυπάνι, σε ορισμένες θέσεις κατά μήκος της ρωγμής. Κρίσιμο σημείο της τεχνικής είναι η επιλογή των θέσεων των οπών και αυτό θα αναπτυχθεί εκτενέστερα παρακάτω.

Στη συνέχεια η περιοχή καθαρίζεται από κάθε υπόλοιπο, για να απομακρυνθεί ο κίνδυνος απόφραξης της διόδου του ενέματος. Ο κίνδυνος αυτός είναι ο λόγος που ειδικοί της πράξης (Edwards, 1993), προτείνουν αποφυγή της διάνοιξης των οπών. Ένας ακόμη λόγος που συνηγορεί στην αποφυγή διάνοιξης οπών είναι ότι το επίπεδο της ρωγμής, δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια, και έτσι υπάρχει η πιθανότητα να διανοιχτεί η οπή έξω από το επίπεδο της ρωγμής.

- δ) Προσαρμόζονται επιστόμια στις θέσεις όπου, είτε έχουν διανοιχτεί οπές είτε όχι, θα χρησιμοποιηθούν ως σημεία έγχυσης της ρητίνης.

- ε) Σφραγίζεται επιφανειακά, η ρωγμή με ρητινόστοκο ταχείας σκλήρυνσης ή άλλο αντίστοιχο υλικό που θα εμποδίσει τη διαφυγή της ρητίνης έξω από τη ρωγμή.

- στ) Αναμειγνύονται τα δύο συστατικά, η ρητίνη και ο σκληρυντής, για περίπου 3 min, σε κατάλληλο αναμικτήρα, έτσι ώστε να μην συγκρατείται αέρας στο μίγμα και να μην υψώνεται η θερμοκρασία περισσότερο από 40°C για μίγματα ταχείας ή μέσης αντίδρασης, ή περισσότερο από 60°C για μίγματα βραδείας αντίδρασης.

Συνιστάται, όπως η ανάμιξη εκτελείται όσο το δυνατό πιο κοντά στη θέση που θα γίνει η επέμβαση, για να υπάρχει διαθέσιμος μεγαλύτερος χρόνος εργασιμότητας του υλικού (Ε.Μ.Π., 1978 - Α.Π.Θ., 1978).

- ζ) Εκτελείται η ρητινένεση, αρχίζοντας από το χαμηλότερο επιστόμιο, μέχρις ότου η ρητίνη εμφανιστεί στο αμέσως υπερκείμενο σημείο. Στη συνέχεια το πρώτο επιστόμιο, σφραγίζεται και η διαδικασία συνεχίζεται από το επόμενο προς τα πάνω σημείο κ.ο.κ.

η) Αφαιρείται ο ρητινόστοκος σφράγισης, μετά από 24 ώρες, με τρίψιμο της επιφάνειας.

Στην πράξη έχουν επικρατήσει δύο διαδικασίες ανάμιξης της ρητίνης και του σκληρυντή. Στην πρώτη, η ανάμιξη των δύο συστατικών γίνεται ξεχωριστά και στη συνέχεια το υλικό τοποθετείται στο δοχείο της αντλίας, το οποίο φέρει ακροφύσιο για την εκτέλεση της επέμβασης και μανόμετρο για τη μέτρηση της πίεσης έγχυσης του μίγματος. Στη δεύτερη διαδικασία, χρησιμοποιούνται μηχανές αυτόματης συνεχούς ανάμιξης με ελεγχόμενη τροφοδοσία. Έτσι επιτυγχάνεται πλήρης εκμετάλλευση του χρόνου εργασιμότητας.

Επιλογή Υλικού

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

Πρέπει να τονιστεί, ότι ο μηχανικός δεν πρέπει να αφήνεται σε συστάσεις "ειδικών", έστω και αν αυτοί είναι οι αρμόδιοι που διαθέτουν τα υλικά. Προηγουμένως πρέπει να διερευνηθεί η αγορά και η επιλογή πρέπει να γίνεται μετά από συγκριτική μελέτη των τεχνικών χαρακτηριστικών των υλικών που διατίθενται, σε συνάρτηση με τις ειδικότερες απαιτήσεις της βλάβης, ως επίσης και με τις απαιτήσεις της επισκευαστικής τεχνικής.

Στο σημείο αυτό είναι χρήσιμο να υπενθυμιστεί, η βασική διάκριση των ρωγμών σε ενεργές και μη.

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

Στην περίπτωση των ενεργών ρωγμών, όπου δεν προβλέπεται η αναίρεση της αιτίας που τις προκαλεί, πρέπει αφ' ενός να ληφθούν μέτρα, έτσι ώστε οι μετακινήσεις αυτές να μην προκαλούν βλάβες στο φορέα και αφετέρου το υλικό επισκευής που θα επιλεγεί να έχει μεγάλη παραμορφωσιμότητα. Από πρακτική άποψη, εξάλλου θα πρέπει να επιδιώκεται η έγχυση τη στιγμή που η ρωγμή βρίσκεται στην ευρύτερη της θέση. Διαφορετικά, θα πρέπει να επιλεγεί κάποιο υλικό που αποκτά την εφελκυστική του αντοχή, πολύ γρήγορα. Αντίθετα το υλικό που θα επιλεγεί για την επισκευή μη-ενεργών ρωγμών, δεν πρέπει να είναι παραμορφώσιμο.

Ιδιότητες Χαρακτηριστικά	Μέθοδος Δοκιμής	Συμβατική Ονομασία Υλικού					
		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Θλιπτική Αντοχή (MPa)	ASTM D695	68,9	62,1	110	117	85,8	103,4
Χρόνος ** Εργασιμότητας (min)	*	60 για 1065 gr	300 για 1065 gr	19 για 60 gr	170 για 100 gr	*	28 για 60 gr
Ιξώδες ** (PS)	ASTM D1824- mod	6,0	5,0	3,5	χαμηλό	4,0	1,4
Αντοχή Λοξής Διάτμησης (MPa)	AASTHO T-237	48,2	*	34,5	*	*	34,5
Μέτρο Ελαστικ. σε Θλίψη (MPa)	ASTM D695	965	827	1585	1379	1372	2785
Αντοχή σε Εφελκυσμό (MPa)	AST D638	41,4	34,5	62	27,5- 41,4	57,2	55,2
Παραμόρφωση Θραύσης (%)	ASTM D638	2,0	2,5	2,5	0,5-1,2	1,5	2
Εφελκυστική Αντοχή σε Κάμψη (MPa)	AST D790	68,9	55,1	82,7	*	107,3	89,6
Μέτρο Ελαστικότητας σε Κάμψη (MPa)	ASTM D790	2413	2068	4137	*	2842	3447.5
Θερμοκρασία Παραμόρφωσης	ASTM D648	49° C	45° C	57° C	43°-115° C ***	46° C	60° C
Χρόνος Απόκτησης Αντοχής (ημέρες)	*	7	20	3	7	*	2

* δεν διατίθενται στοιχεία, ** στους 25° C, *** ανάλογα με τις συνθήκες συντήρησης

Ιδιότητες Χαρακτηριστικά	Μέθοδος Δοκιμής	Συμβατική Ονομασία Υλικού				
		B1	B2	B3	B4	B5
Θλιπτική Αντοχή (MPa)	ASTM D695	92,2	105	129	112	101
Χρόνος Εργασιμότητας ** (min)	Ποσότητα υλικού 200 gr	25	80	45	30	81
Ιξώδες **** (PS)	ASTM D1824-mod	4,5	2,0	2,8	*	44, 0
Αντοχή Πρόσφυσης στο Σκυρόδεμα (MPa)	AASTHO T-237	4,3	4,3	5,8	6,2	4,0
Αντοχή Λοξής Διάτμησης (MPa)	AASTHO T-237	55,1	49,5	44	44	55
Αντοχή Συγκόλλησης Σκληρυμένου Σκυροδέματος (MPa)	AASTHO T-237	3,0	3,9	5,5	2,5	3,4
Αντοχή Συγκόλλησης Νωπού και Σκληρυμένου Σκυροδέματος (MPa)	AASTHO T-237	3,0	2,9	2,8	4,1	4,0

* δεν διατίθενται στοιχεία, ** στους 25° C, **** στους 20° C

Πίνακας 2.2.1: Τυπικά χαρακτηριστικά ενέσιμων ρητινών

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

Για ρωγμές που ανοιγοκλείνουν λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών και οι μετακινήσεις είναι μικρές, χρησιμοποιούνται ημι-παραμορφώσιμες ρητίνες.

Χρειάζεται βέβαια να τονιστεί ότι εν γένει δεν διατίθενται στην αγορά, ρητίνες με μεγάλη παραμορφωσιμότητα και ότι η τεχνική των ρητινένεσων εφαρμόζεται σχεδόν πάντοτε, σε μη-ενεργές ρωγμές.

Στον Πίνακα 2.2.1 παρουσιάζονται συνοπτικά, ενδεικτικές τιμές από ιδιότητες και χαρακτηριστικά ενός τυχαίου δείγματος ορισμένων ρητινών που κυκλοφορούν στην αγορά, για να εκτιμηθεί η τάξη μεγέθους των χαρακτηριστικών τους. Πάντως, όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς μία πλήρης σύγκριση χαρακτηριστικών είναι αδύνατη, αφού τα στοιχεία των διαφόρων προμηθευτών, δεν είναι συγκρίσιμα. Αυτό προφανώς οφείλεται στην έλλειψη προδιαγραφών και συγκεκριμένων προκαθορισμένων υποχρεωτικών δοκιμών για κάθε υλικό, πριν αυτό διατεθεί στην αγορά.

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

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

Παράγοντες που Επηρεάζουν την Επιτυχία της Τεχνικής

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

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

Στη συνέχεια εξετάζονται αναλυτικά οι παραπάνω παράγοντες.

Η γεωμετρία της ρωγμής, σε συνάρτηση με τη γεωμετρία του φορέα είναι καθοριστική για την επιλογή των σημείων έγχυσης της ρητίνης. Έτσι οι αποστάσεις

των επιστομιών δεν μπορεί να είναι σταθερές και οποιασδήποτε μορφής συστάσεις για την τάξη μεγέθους των αποστάσεων, πρέπει να θεωρούνται εντελώς ενδεικτικές. Οι αποστάσεις που συνήθως εφαρμόζονται, κυμαίνονται από 15 έως 100 cm, ενώ συχνά χρησιμοποιείται ως μέτρο το πάχος του στοιχείου (Edwards, 1993). Επιλέγονται δηλαδή αποστάσεις, ίσες περίπου με το πάχος του στοιχείου. Αυτό στηρίζεται στην υπόθεση, ότι η ρητίνη ταξιδεύει προς κάθε κατεύθυνση με τον ίδιο ρυθμό. Παρά το γεγονός ότι η ρωγμή μπορεί να μην ακολουθεί το επίπεδο που ορίζεται από το ίχνος της ή μπορεί να υπάρχουν σημεία στο εσωτερικό, που να εμποδίζουν τη διείσδυση του ενέματος, δεν είναι άστοχο να χρησιμοποιείται αυτός ο κανόνας ως ένδειξη τάξης μεγέθους της απόστασης, σε περιπτώσεις που η πείρα του μηχανικού δεν είναι επαρκής, λαμβάνοντας τέλος πάντων υπόψη ότι το εσωτερικό της ρωγμής είναι άγνωστο.

Επαναλαμβάνεται πάντως ότι οι αποστάσεις αυτές είναι ενδεικτικές και στην πράξη είναι σκόπιμο να προτιμούνται εκείνα τα σημεία, όπου υπάρχουν τοπικές διευρύνσεις της ρωγμής.

Η υποτιθέμενη συντηρητική άποψη για επιλογή μικρών αποστάσεων δεν είναι πραγματικά συντηρητική, επειδή υπάρχει κίνδυνος να πληρωθεί η ρωγμή μόνο προς την πλευρά του στοιχείου που γίνεται η ένεση.

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

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

Η εισαγόμενη πίεση του ενέματος, συνήθως δεν ξεπερνά το 1 MPa. Εξάλλου σημειώνεται ότι πολύ καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται όταν μπροστά από τη συσκευή έγχυσης προσαρμόζεται ένα σύστημα δημιουργίας κενού (Edwards, 1993). Έτσι αποφεύγεται ο εγκλωβισμός αέρα και επομένως όλη η ρωγμή γεμίζει με ρητίνη. Το σύστημα αυτό είναι ιδιαίτερα απαραίτητο σε "τυφλές" ρωγμές.

Το ιξώδες της ρητίνης είναι ένας άλλος σοβαρός παράγοντας που επηρεάζει την επιτυχία της επέμβασης.

Όπως είναι λογικό, σε περιπτώσεις όπου είναι αδύνατον να σφραγιστούν όλα τα μέτωπα της ρωγμής (έστω και αν αυτό δεν είναι καλή εφαρμογή της τεχνικής) πρέπει να προτιμώνται υλικά με υψηλό ιξώδες. Εξάλλου είναι προφανές ότι το ιξώδες του υλικού και η πίεση του ενέματος, αλληλεξαρτώνται και εν τέλει

επηρεάζουν τη διάρκεια εκτέλεσης της εργασίας. Όσο μικρότερο είναι το ιξώδες του υλικού, τόσο μεγαλύτερη είναι η διείσδυση της ρητίνης και επομένως τόσο μικρότερη είναι η πίεση με την οποία απαιτείται να εισαχθεί το ένεμα .

Όμως το ιξώδες μεταβάλλεται με το χρόνο λόγω πολυμερισμού της ρητίνης και αυξάνεται όσο περνάει ο χρόνος από τη στιγμή της ανάμιξης μέχρις ότου εξαντληθεί ο χρόνος εργασιμότητας (pot life) του υλικού. Η ιδιαίτερα αυξημένη θερμοκρασία στο μίγμα, είναι ένδειξη ότι ο εργάσιμος χρόνος έχει εξαντληθεί. Χρειάζεται επομένως, ιδιαίτερη προσοχή, για να αποφευχθεί ο κίνδυνος σκλήρυνσης του ενέματος μέσα στη ρωγμή, οπότε δεν μπορεί να συνεχιστεί η διαδικασία από το ίδιο επιστόμιο. Γι' αυτό προτείνεται (Ε.Μ.Π., 1978 - Α.Π.Θ., 1978), να αφήνονται πάντα συμπληρωματικά σημεία ασφαλείας, έτσι ώστε να μπορεί να συνεχιστεί από εκεί η έγχυση του ενέματος. Γίνεται λοιπόν φανερό, ότι η μηχανή αυτόματης ανάμιξης, προσφέρει, ιδιαίτερα στον τομέα αυτό.

Το ιξώδες εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 2.2.2, η μείωση του ιξώδους με την αύξηση της θερμοκρασίας είναι ιδιαίτερα σημαντική για κάθε τύπο ρητίνης.

Συμβατική ονομασία ρητινοειδούς κόλλας	T = 4° C	T = 25° C	T = 37° C
A3	44	3,5	1,5
A5	24	4	*
A6	6	1,4	0,55
A7	7,5	1,6	*

	T = 5° C	T = 20° C	T = 35° C
B1	19	4,5	*
B2	*	2	0,8
B3	*	2,8	1,1
B6	45	8,5	*
B7	*	8	4,5

* δεν διατίθενται στοιχεία

Πίνακας 2.2.2: Ιξώδες ενέσιμων ρητινών (σε PS) για διαφορετικές θερμοκρασίες

Ο χρόνος εργασιμότητας, είναι ένα στοιχείο που πάντοτε δίνεται από τον προμηθευτή (βλ. Πιν. 2.2.1).

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

Τέλος πρέπει ιδιαίτερα να τονιστεί η μεγάλη εξάρτηση του χρόνου εργασιμότητας από τη θερμοκρασία, που μεγαλώνει όσο μειώνεται η θερμοκρασία. Στον Πίνακα 2.2.3 (Ε.Π.Ρ.Κ., 1994) δίνονται ενδεικτικά στοιχεία από μερικά υλικά για τα οποία διατίθενται στοιχεία.

Συμβατική ονομασία ρητινοειδούς κόλλας	Εργάσιμος Χρόνος σε Διαφορετικές Θερμοκρασίες				
	T=4° C	T=15° C	T=25° C	T=37° C	Ποσότητα μίγματος
A3	*	*	19 min	8.5 min	60 gr
A6	210 min	62 min	28 min	12 min	60 gr
B1	380 min	72 min	25 min	*	200 gr
B2	*	300 min	80 min	*	200 gr
B3	*	61 min	35 min	*	200 gr

* δεν υπάρχουν στοιχεία

Πίνακας 2.2.3: Χρόνος εργασιμότητας σε διαφορετικές θερμοκρασίες

Κλείνοντας, επισημαίνεται η εξάρτηση του χρόνου απόκτησης των μηχανικών αντοχών από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, στη θέση της ρωγμής. Σε χαμηλές θερμοκρασίες, οι αντοχές αποκτώνται αργά.

2.2.3 Πειραματικά Αποτελέσματα

Για όλες τις τεχνικές επισκευής αλλά και για τη χρήση ρητινών ειδικότερα, το βασικό πρόβλημα είναι ο βαθμός αποτελεσματικότητας σε ότι αφορά την αποκατάσταση της ικανότητας του στοιχείου. Θα πρέπει εδώ να αναφερθεί ότι η διερεύνηση και πλήρης κατανόηση της μηχανικής συμπεριφοράς στοιχείων και ιδιαίτερα κόμβων από οπλισμένο σκυρόδεμα, σχεδιασμένων για σεισμικές δράσεις, ακόμη και κατά την αρχική φόρτιση είναι περίπλοκη και με πολλές δυσκολίες. Αυτό συμβαίνει διότι η εξέταση τους περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση πολλών φαινομένων όπως διάτμηση, συνάφεια οπλισμών - σκυροδέματος, περίσφιξη, κόπωση, τα οποία ακόμη και αν θεωρηθούν ανεξάρτητα μεταξύ τους, δεν έχουν κατανοηθεί πλήρως. Παρ' όλα αυτά τα προβλήματα και δεδομένου ότι ένα στοιχείο είναι δυνατόν να σχεδιασθεί ή και να επισκευασθεί με επιτυχία, χωρίς να είναι απόλυτα γνωστοί οι μηχανισμοί απόκρισης του, στην παρούσα έκθεση γίνεται επεξεργασία πειραματικών δεδομένων και εξάγονται συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητα της επισκευής με χρήση ρητινών, στοιχείων κυρίως καμπτόμενων όπως οι δοκοί και στοιχείων υπό σύνθετη καταπόνηση με κυριαρχούσα διάτμηση όπως οι κόμβοι, όταν αυτοί έχουν υποστεί βλάβες από ανακυκλιζόμενη φόρτιση.

Διεθνώς υπάρχει έλλειψη πειραματικής τεκμηρίωσης για την αποτελεσματικότητα της χρήσης ρητινών για την επισκευή **καμπτικών δοκών** που έχουν υποστεί βλάβη από ανακυκλιζόμενη φόρτιση.

Συγκριτικά αποτελέσματα της συμπεριφοράς υπό ανακυκλιζόμενη καταπόνηση 3 δοκών προ και μετά την επισκευή αναφέρονται από τους Καραγιάννης κ.ά. (1994) και Οικονόμου κ.ά. (1994). Η κάθε δοκός υποβλήθηκε κατ' αρχάς σε εναλλασσόμενη, επαναλαμβανόμενη φόρτιση, κατόπιν επισκευάσθηκε και επαναυποβλήθηκε στο ίδιο ιστορικό φόρτισης στο οποίο είχε υποβληθεί και στην αρχή.

Εφαρμόσθηκαν δύο ιστορικά φόρτισης εναλλασσόμενης καταπόνησης. Με το πρώτο ιστορικό φόρτισης μελετάται η συμπεριφορά σε συμμετρική εναλλασσόμενη φόρτιση μεγάλης εντάσεως ενώ με το δεύτερο ιστορικό επιχειρείται διερεύνηση της συμπεριφοράς όταν και στις δύο διευθύνσεις η φόρτιση πλησιάζει τα όρια ικανότητας του στοιχείου. Οι μετρηθείσες τιμές μεγίστων φορτίων κατά την αρχική καταπόνηση με τις αντίστοιχες τιμές μετά την επισκευή των δοκών είναι περίπου οι ίδιες. Το ίδιο περίπου παρατηρείται γενικά και για τις τιμές των βυθίσεων με μικρή όμως μείωση των τιμών βυθίσεων διαρροής όπου οι τιμές των επισκευασμένων δοκών είναι μικρότερες από 0 έως 30%.

Για χαμηλό επίπεδο φόρτισης και για φόρτιση περίπου ίση με το μισό του μεγίστου φορτίου, οι τιμές δυσκαμψίας είναι αυξημένες για τις επισκευασμένες δοκούς έναντι των τιμών απόκρισης των ιδίων δοκών κατά την αρχική τους καταπόνηση. Η ικανότητα για υστερητική απορρόφηση ενέργειας των επισκευασμένων δοκών είναι μειωμένη έναντι της αρχικής τους ικανότητας σε ποσοστά που κυμαίνονται από 20%-40%.

Για την εφαρμογή της τεχνικής στην επισκευή κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων το θέμα αναλύεται στην § 2.5.3.

Βιβλιογραφία

- 2.2-1 **Α.Π.Θ.** (1978), "Επισκευή Ζημιών από Σεισμό σε Κτίρια-Οδηγίες", Θεσσαλονίκη.
- 2.2-2 **Δρίτσος Σ.** (2000, 2001): "Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα", σελ. 309, Βιβλ. Παπασωτηρίου.
- 2.2-3 **ΕΜΠ** (1978), "Συστάσεις για τις Επισκευές κτιρίων Βλαμμένων από Σεισμό", Αθήνα.
- 2.2-4 **Ε.Π.Ρ.Κ.** (1994), Εταιρείες Παραγωγής Ρητινών και Κονιαμάτων "Φύλλα Πληροφοριών".
- 2.2-5 **Ζαβλιάρης Κ.** (1983), "Επισκευές Φερουσών Κατασκευών Σκυροδέματος με τις Τεχνικές των Ενέσεων Εποξειδικών Ρητινών και του Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος", Δελ.Συλ.Πολιτ.Μηχανικών, Νο 152, 35-46.
- 2.2-6 **Καραγιάννης Χ.Γ., Οικονόμου Χ.Μ. & Σίδερης Κ.Κ.** (1994), "Συμπεριφορά Επισκευασμένων Δοκών Ο/Σ που Έχουν Βλαβεί από Ανακυκλιζόμενη Καμπτική Ένταση", Τεχνικά Χρονικά - Α, 14 (3), σελ 85-103.
- 2.2-7 **Οικονόμου Χ., Καραγιάννης Χ. & Σίδερης Κ.** (1994), "Πειραματική Διερεύνηση Συμπεριφοράς Δοκών Ο/Σ Επισκευασμένων με Ρητίνες υπό

- Ανακυκλιζόμενη Ένταση", 11ο Ελλ.Συν. Σκυροδέματος, Κέρκυρα, Τόμος 3, σελ 26-37.
- 2.2-8 **Πενέλης Γ., Κάππος Α.** (1992), "Αντισεισμικές Κατασκευές από Σκυρόδεμα", Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- 2.2-9 **Σαρηγιάννης Δ., Στυλιανίδης Κ.** (1990), "Πειραματική Διερεύνηση Επισκευασμένων με Ρητίνες Πλαισίων Ο/Σ σε Ανακυκλιζόμενη Τέμνουσα", Πρακτικά 9ου Ελλ. Συν. Σκυροδέματος, Καλαμάτα.
- 2.2-10 **Σπανουδάκης Ι., Young R., Κουντούρης Σ. & Πολυζωίδης Δ.** (1984), "Μελέτη Μηχανικών Ιδιοτήτων Εποξειδικών Ρητινών που περιέχουν Αδρανή Σφαιρικού Σχήματος από Γυαλί", Δελτ. Σουλ. Πολιτ. Μηχανικών, Νο 166, 23-30, Αθήνα.
- 2.2-11 **Τσώνος Α.** (2000), "Αποδοτικότητα Επισκευής Πλαισιωτών Υποσυνόλων με Χρήση Εποξειδικών Ρητινών", Α' Ελλ. Συν. Σύνθετων Υλικών Σκυροδέματος, Ξάνθη, Νοέμ., σελ. 339-353.
- 2.2-12 **ACI Committee 318** (1999), "Guide for the Selection of Polymer Adhesives with Concrete", CD Manual of Concrete Practice.
- 2.2-13 **ACI-ASCE Committee 352** (1997), "Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures" CD Manual of Concrete Practice.
- 2.2-14 **CEB, GTG12** (1983), "Assesment of Concrete Structures and Design Procedures for Upgrading", BI 162.
- 2.2-15 **Dritsos S., Piakoutas K.** (1992), "Temperature Effects on the Bond of Resin Anchored Reinforcement", Proc. of the International Conference: Bond in Concrete, Vol.3, 11.28-11.37, Riga, Latvia.
- 2.2-16 **Edwards S.** (1993), "Crack Injection, The most Appropriate Repair Technique", Proc. of the 5th International Conference on Structural Faults and Repair, Vol. 269-273 Edinburgh.
- 2.2-17 **Luke P., Chon C. & Jirsa J.** (1985), "Use of Epoxies for Grouting Reinforcing Bar Dowels in Concrete", PMFSEL Report 85-2, University of Texas, Austin.
- 2.2-18 **Luke P., Chon C. & Jirsa J.** (1985), "Use of Epoxies for Grouting Reinforcing Bar Dowels in Concrete", PMFSEL Report 85-2, University of Texas, Austin.
- 2.2-19 **Penelis G., Kappos A.** (1997), "Earthquake Resistant Concrete Structures", Chapman & Hall.
- 2.2-20 **Pilakoutas K., Hafeez S. & Dritsos S.** (1994), "Residual Bond Strength of Polymer Adhesive Anchored Reinforcement. Subjected to High Temperatures", Journal of Materials and Structures, Vol.27, 527-531.
- 2.2-21 **Shaw J.D.N.** (1975), "Polymers for Concrete Repair. The Repair of Concrete Structures", eds. R.T.L. Alien and Edwards, Blackie & Son Publ, 1975.