

## Η ΤΕΧΝΙΚΗ ΤΩΝ ΕΝΕΣΕΩΝ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ ΣΤΙΣ ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

**ΖΟΥΜΑ ΜΑΡΙΑ**

### Περίληψη

*Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την τεχνική των ενέσεων εποξειδικών ρητινών στις επισκευές στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος. Στόχος της, η καταγραφή επαρκών πληροφοριών όσον αφορά στο πεδίο εφαρμογής της τεχνικής, τα βασικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων μεθόδων, τον απαιτούμενο εξοπλισμό και την διαδικασία εφαρμογής της, με πρακτικές συμβουλές για την επιτυχία της επέμβασης και την αποφυγή συνηθισμένων λαθών και προβλημάτων. Τέλος, παρουσιάζονται αναλυτικά οι τρόποι που ελέγχεται η περατωμένη εργασία ώστε να θεωρείται επιτυχής και να είναι αποδεκτή από τον Κανονισμό.*

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα δομικά στοιχεία που έχουν υποστεί βλάβες είναι δυνατόν να επισκευασθούν ή να ενισχυθούν με διάφορα υλικά και μεθόδους, ανάλογα με το είδος και την σοβαρότητα της βλάβης, τη φέρουσα ικανότητα που πρέπει να επανακτήσουν και με τη θέση στην οποία βρίσκονται. Η χρήση των εποξειδικών ρητινών είναι ιδιαίτερα αυξημένη στις επεμβάσεις κυρίως για την αποκατάσταση ρωγμών αλλά και για άλλες εφαρμογές [1]. Η τεχνική της ρητινένεσης απαντάται κυρίως στον φέροντα οργανισμό κατασκευών από σκυρόδεμα και στις τοιχοποιίες. Στοχεύει στην επανάκτηση της αρχικής φέρουσας ικανότητας ρηγματωμένων φορέων καθώς και της ακαμψίας τους [2]. Συνίσταται για την προστασία κατά της διάβρωσης του οπλισμού, τη δημιουργία ανθεκτικής σύνδεσης τμημάτων σκυροδέματος και για τη στεγανοποίηση. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να εκτιμηθεί η αιτία της ρηγμάτωσης και να επιλεγεί κατάλληλα η εποξειδική ρητίνη.

### 2. ΤΥΠΙΚΟΙ ΒΑΘΜΟΙ ΒΛΑΒΗΣ

- ❖ Απλή Ρηγμάτωση
- ❖ Μερική αποδιοργάνωση
- ❖ Διακοπή συνέχειας

Στην περίπτωση της απλής ρηγμάτωσης δηλαδή για πάχη ρωγμών έως 5 mm σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος αποκαθίστανται με τη χρήση εποξειδικών ρητινών [3].

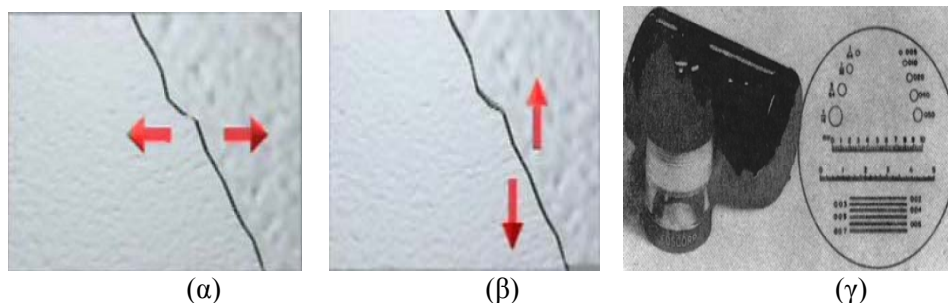
### 3. ΑΙΤΙΕΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΩΝ

- Εμφάνιση βλαβών από σεισμική καταπόνηση [1].
- Λανθασμένη επιλογή υλικών του σκυροδέματος [1]
- Αλλαγή χρήσης με αύξηση του μόνιμου ή και του ωφέλιμου φορτίου [2].
- Εσφαλμένη στατική μελέτη (όχι σωστή εκτίμηση φορτίων, μοντέλων) ή κακή εφαρμογή της στο στάδιο της κατασκευής [1]
- Παρεμπόδιση της συστολής ξήρανσης [2]
- Παραμορφώσεις λόγω ερπυσμού [1]
- Περιβάλλον με έντονες θερμοκρασιακές ή υγρασκοπικές εναλλαγές [1]
- Διάβρωση οπλισμού (οξειδωση, μικρή επικάλυψη) [4]

- Ογκομετρικές μεταβολές σκυροδέματος (Σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες η πήξη του νερού των πόρων οδηγεί σε αύξηση του όγκου του και σε ανάπτυξη πιέσεων στον τσιμεντοπολτό.) [1]
- Κατασκευαστικά σφάλματα όπως λανθασμένη σκυροδέτηση (πρόσθεση νερού, ελλιπής συμπίκνωση, ανεπαρκής στήριξη των ξυλοτύπων, πρόωρη αφαίρεση των ξυλοτύπων ) [1]
- Κακή πρόσφυση σκυροδέματος-χάλυβα.[1]
- Καθίζηση θεμελίων λόγω υπερεκτίμησης της αντοχής του εδάφους, κατολισθήσεις, επίδραση νερού κλπ.[1]
- Ενανθράκωση του σκυροδέματος [1]

#### 4. ΤΥΠΟΙ ΡΩΓΜΩΝ

Οι τύποι και η σοβαρότητα των ρωγμών στο σκυροδέμα ποικίλουν. Γενικά οι ρωγμές διακρίνονται, ανάλογα με το αν αυξάνεται συνεχώς το πλάτος τους ή όχι, σε **ενεργές** και **μη ενεργές**, αντίστοιχα. Οι **μη ενεργές** ρωγμές κυρίως προκαλούνται από την συρρίκνωση του σκυροδέματος κατά την διάρκεια της πήξης και δεν αποτελούν παράγοντα ιδιαίτερης ανησυχίας εκτός από τον πιθανό κίνδυνο διείσδυσης της υγρασίας και διάβρωσης του οπλισμού. Οι **ενεργές ρωγμές** είναι οι πιο επικίνδυνες και αποτελούν ένδειξη σοβαρών προβλημάτων της κατασκευής. Υποδεικνύουν μετακίνηση κάποιου τμήματος της κατασκευής και σχετίζονται με υπέρβαση των φορτίων αστοχίας, καθίζηση θεμελίων, εγγενή σχεδιαστικά λάθη ή με άλλους σοβαρούς φθοροποιούς παράγοντες. Η κίνηση των ενεργών ρωγμών μπορεί να είναι παροδική ή συνεχής και έτσι απαιτούν συνεχή έλεγχο και οπωσδήποτε κάποια διορθωτική επέμβαση. Οι μη ενεργές ρωγμές επίσης απαιτούν παρακολούθηση και περιορισμένου εύρους παρεμβάσεις ώστε να εμποδιστεί η διάβρωση [16].



Σχήμα 1: (α) Ρωγμή λόγω τάσεων και θερμοκρασιακών μεταβολών [7], (β) Ρωγμή λόγω διάτμησης από καθίζηση [7], (γ) Συσκευή μέτρησης εύρους ρωγμών με ακρίβεια έως 0,025 mm [7].

#### 5. ΑΠΟΔΕΚΤΑ ΕΥΡΗ ΡΩΓΜΩΝ - ΟΡΙΑ

Το American Concrete Institute προτείνει τα μέγιστα αποδεκτά εύρη ρωγμών ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος και αυτά είναι : υγρό περιβάλλον ή έδαφος , 0.18mm για χημικές προσβολές , 0.15mm για θαλάσσιο περιβάλλον και 0.10mm για δεξαμενές. Γενικά ρωγμές ως 0.3mm δεν αποτελούν απειλή για τους οπλισμούς . Οι εποξειδικές ρητίνες δεν εφαρμόζονται αυτούσιες (χωρίς προσμίξεις) σε τμήματα οπλισμένου σκυροδέματος που έχουν σημαντικές βλάβες ή σε ρωγμές που έχουν πλάτη μικρότερα από 0,1 mm και μεγαλύτερα από 3 mm . Η τεχνική μπορεί να εφαρμοσθεί σε εύρη μεγαλύτερα από 3 mm (με εποξειδικό κονίαμα ) [4].

## 6. ΒΑΣΙΚΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ

Η χρήση εποξειδικών ρητινών παρουσιάζει βασικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων υλικών επισκευής:

- Υψηλή πρόσφυση με το σκυρόδεμα και το χάλυβα [4]
- Μικρή ή καθόλου μείωση της συνάφειας ως αποτέλεσμα της παρόδου του χρόνου και της έκθεσης σε υγρασία [1]
- επιτυγχάνεται λόγω της ρευστότητας των ρητινών πλήρης σφράγιση της ρωγμής
- παρέχοντας στον οπλισμό προστασία από διάβρωση καθώς επίσης και στεγανότητα [4]
- είναι υλικό με χαμηλό ιξώδες, πράγμα που της επιτρέπει να εισχωρήσει σε όλο το βάθος της ρωγμής, ώστε να μην την γεφυρώσει μόνο επιφανειακά [4]
- Μικρή συστολή ξήρανσης και ερπυσμό [1]
- Μεγάλη συγκολλητική ικανότητα
- Ανθεκτικό υλικό σε περιβαλλοντικές προσβολές (σε φυσιολογικά όρια)
- Μικρά προβλήματα γήρανσης του υλικού
- Εύκολη εφαρμογή στις κατασκευές εφόσον η χρήση της δεν επηρεάζει τις διαστάσεις των στοιχείων
- Έχει αντοχή μεγαλύτερη από το σκυρόδεμα κατά 5 – 10 φορές σε θλίψη και κατά 2 – 6 φορές σε εφελκυσμό [4]
- μπορούν να προσφέρουν ίσως το καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα

Τα παραπάνω πλεονεκτήματα χρήσης της ρητίνης υπερκαλύπτουν τα όποια μειονεκτήματα, όπως το διαφορετικό μέτρο ελαστικότητας συγκριτικά μ' αυτό του σκυροδέματος και η μικρή αντοχή της σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας (αναλυτικότερα παρακάτω).

## 7. ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΜΙΑΣ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΗΣ ΡΗΤΙΝΗΣ

Μια εποξειδική ρητίνη για να είναι κατάλληλη να χρησιμοποιηθεί με την διαδικασία των ενέσεων θα πρέπει κυρίως να έχει χαρακτηριστικά ροής συμβατά με τον απαιτούμενο εξοπλισμό ενέσεων. Θα πρέπει να υπάρχουν επαρκείς πληροφορίες για τα μηχανικά και φυσικά χαρακτηριστικά της (χρώμα, ιξώδες, χρόνος εργασιμότητας, χρόνος σκλήρυνσης, ημερομηνία λήξης, υδατοπερατότητα, θλιπτική και εφελκυστική αντοχή) ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση με τα χαρακτηριστικά των άλλων υλικών της κατασκευής. Επίσης, να έχει μεγάλο σχετικά μέτρο ελαστικότητας (όχι  $E < 20.000 \text{ kg/cm}^2$ ) ώστε ν' αποφεύγεται η τοπική μείωση της ακαμψίας των στοιχείων και συμβατό με το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος, και το ιξώδες της να είναι ανάλογο προς τη συγκεκριμένη χρήση (συνήθως χαμηλή τιμή του ιξώδους) [4]. Να έχει τέτοιο χρόνο πήξης ώστε να μπορεί να γίνει η εφαρμογή μιας δόσης πριν αυτή πήξει και ρευστότητα κατάλληλη για το όποιο βάθος της ρωγμής. Πρέπει να αντέχει στις συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας του έργου, να παρουσιάζει συνάφεια και συγκολλητικότητα με το σκυρόδεμα και το χάλυβα και ελάχιστη συστολή ξήρανσης. Επιπλέον, θα πρέπει σαφώς ν' αναφέρεται πάνω στην συσκευασία, ότι δεν περιέχονται διαλύτες. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να λαμβάνεται κατά την αποθήκευση του υλικού όπου τα συσκευασμένα συστατικά Α και Β της ρητίνης πρέπει να αποθηκεύονται σε θέση με θερμοκρασία μεταξύ 10° και 20°C και κατά τις οδηγίες του εργοστασίου παραγωγής. Μετά από αποθήκευση τριών μηνών το συστατικό Α (η εποξειδική ρητίνη) πρέπει να ελέγχεται

έναντι κρυσταλλώσεως με την οπτική μέθοδο. Επίσης ,θα πρέπει να αποφεύγεται η έκθεση των δοχείων στον ήλιο. Σε περίπτωση μεταβολής του ιξώδους των συστατικών κατά την αποθήκευση πρέπει να επιχειρείται η επαναφορά του με θέρμανση σε υδρόλουτρο και να ελέγχονται στη συνέχεια οι ιδιότητες του υλικού πριν χρησιμοποιηθεί. Τέλος, δεν είναι δυνατή η μακροχρόνια αποθήκευση τους [5].

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τα τυπικά χαρακτηριστικά των ενέσιμων ρητινών [6]:

Ιδιότητες - Χαρακτηριστικά	Μέθοδος Δοκιμής	Όρια
Θλιπτική αντοχή (Mpa)	ASTM D695	55 - 110
Ιξώδες (PS)	ASTM D1824 - mod	1,5 - 40
Επιμήκυνση θραύσης (%)		1,5 – 2,5
Μέτρο ελαστικότητας(Mpa)	ASTM D695	2100 - 5500
Αντοχή σε εφελκυσμό (Mpa)	AST D638	40 - 65
Χρόνος απόκτησης αντοχής (ημέρες)		2 – 20 (συνήθως 7)
Χρόνος εργασιμότητας (min)		20 – 80 min (για 200gr υλικού στους 25 <sup>0</sup> C)

Πίνακας 1. Τυπικά χαρακτηριστικά ενέσιμων ρητινών [16].

## 8.ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ

Η επιφάνεια των ρωγμών και όλη η διαδικασία της ρητινένεσης θα πρέπει να προστατεύεται από τις ακραίες θερμοκρασίες, κυρίως από πυρκαγιά. Όταν η θερμοκρασία του ρηγματωμένου σκυροδέματος κατά την διάρκεια της ρητινένεσης, είναι πολύ χαμηλή, το ιξώδες της εποξειδικής ρητίνης θα αυξηθεί. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η ρητινένεση να επιτυγχάνεται με πιο αργό ρυθμό. Αντίθετα, όταν η θερμοκρασία του σκυροδέματος είναι μεγάλη, η ρητίνη θα πήξει πρόωρα (μικρός χρόνος εργασιμότητας) με επακόλουθο, την μη σωστή διείδυση της στις ρωγμές [7],[13].

Γενικά, όσον αφορά τις ιδιότητες της ρητίνης, με την αύξηση της θερμοκρασίας [4]:

- Μειώνεται το ιξώδες.
- Μειώνεται ο χρόνος εργασιμότητας
- Μειώνεται το μέτρο ελαστικότητας.
- Μειώνονται οι αντοχές, κυρίως σε θερμοκρασίες πάνω από 50 <sup>0</sup>C.

Η ρητίνη καίγεται περίπου στους 250 <sup>0</sup>C.

Αν η ρητινένεση πρέπει να γίνει σε θερμοκρασίες υπό του μηδενός θα πρέπει να εξεταστεί αν υπάρχει παγετός στις ρωγμές. Ο πάγος εμποδίζει την ανάπτυξη συνεκτικότητας μεταξύ σκυροδέματος και εποξειδικής ρητίνης, οπότε η ρητινένεση δεν θα είναι επιτυχημένη . Έτσι, είναι σωστό να θερμαίνουμε την επιφάνεια πριν την διαδικασία. Η θέρμανση θα πρέπει να γίνεται με προσοχή, αφού τυχόν υπερθέρμανση θα προκαλέσει το κλείσιμο των ρωγμών. Επιπλέον, μετά το τέλος της ρητινένεσης οι ρωγμές θα ξανανοίξουν και η ρητίνη θα δεχτεί μεγάλες εφελκυστικές τάσεις, πριν αποκτήσει τις

τελικές της αντοχές, με δυσμενή αποτελέσματα για την επιτυχία της επισκευής. Γενικά, πρέπει να επιλέγεται έμμεση θέρμανση των ρωγμών, θερμαίνοντας τον χώρο όπου βρίσκονται οι ρωγμές, παρά άμεση θέρμανση. Το ιδανικότερο είναι ο χώρος να θερμαίνεται λίγες ώρες πριν και λίγες ώρες μετά την ρητινέυση [4].

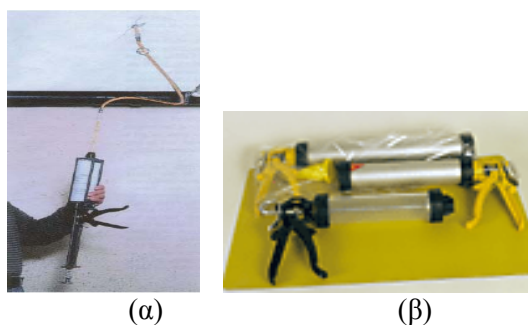
## 9. ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΡΗΤΙΝΕΝΕΣΗ

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται σε κάθε ρητινέυση εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος της επισκευής. Διακρίνουμε 2 περιπτώσεις [8]:

α) **Σε απλές επισκευές**, που δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις (όταν πχ. Χρειάζονται σφράγισμα μη ενεργές ρωγμές, για την αποφυγή κινδύνου διάβρωσης, και όχι τόσο για τον κίνδυνο απώλειας των αντοχών του σκυροδέματος), γίνεται ρητινέυση χαμηλής πίεσης (20-40psi). Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται ο εξοπλισμός της εικόνας (α). Η ρητίνη αφού αναμειχθεί με τον σκληρυντή εισάγεται στον κύλινδρο του πιστολιού και εκτοξεύεται με πίεση από το ακροφύσιο, πατώντας την σκανδάλη. Υπάρχει, επιπλέον, εξοπλισμός με υποδοχή για δύο κυλίνδρους (ένας για τη ρητίνη και ένας για τον σκληρυντή), οπότε η ανάμιξη των δύο υλικών γίνεται κατά την ρητινέυση στο ακροφύσιο. Η τεχνική αυτή έχει εμφανή μειονεκτήματα και εφαρμόζεται, κυρίως, λόγω της απλότητας της [16].

β) **Σε απαιτητικές επισκευές**, με ενεργές ρωγμές και κίνδυνο απωλειών των αντοχών του σκυροδέματος, γίνεται ρητινέυση υψηλής πίεσης (1000-10000psi). Διακρίνεται το δοχείο ανάμιξης, η αντλία και το μανόμετρο. Το πιστόλι αυτού του τύπου εξοπλισμού φαίνεται στην εικόνα (β). Και σε αυτή την περίπτωση η ανάμιξη της ρητίνης με τον σκληρυντή μπορεί να γίνεται πριν την ρητινέυση (όπως στον εξοπλισμό της εικόνας) ή κατά την διάρκεια της οπότε υπάρχουν δύο ξεχωριστά δοχεία και η ανάμιξη γίνεται ταυτόχρονα με την ρητινέυση. Τα πλεονεκτήματα της ταυτόχρονης ανάμιξης των υλικών και ρητινέυσης είναι δύο [16]:

1. μεγαλύτερος χρόνος εργασιμότητας της ρητίνης.
2. μη ανάγκη διακοπής της διαδικασίας της ρητινέυσης, όταν καταναλωθεί η εποξειδική κόλλα με δυσμενή αποτελέσματα για την επιτυχία της επισκευής.



Σχήμα 2 : (α) Απλός εξοπλισμός για ρητινέυση [16], (β) Πιστόλι εισαγωγής ρητίνης [16].

## 10. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΡΗΤΙΝΕΝΕΣΕΩΝ

1) **Καθαρισμός της ρωγμής**. Το πρώτο βήμα είναι να καθαριστούν οι ρωγμές από έλαια, λίπη, ακαθαρσίες και σωματίδια σκυροδέματος ή σκόνες που εμποδίζουν την εποξειδική κόλλα να διεισδύσει και να δέσει με το σκυρόδεμα. Αυτός ο καθαρισμός είναι προτιμότερο να γίνεται με πεπιεσμένο αέρα ή με νερό αφήνοντας το πρώτα να εξατμιστεί [4],[5],[9].

2) **Σφράγιση της ρωγμής** με μικρά κομμάτια ταινίας (masking tape) ή ειδικής κόλλας ώστε κατά τη διάρκεια της ένεσης, η ρητίνη να μην διαρρεύσει από τη ρωγμή [4],[5],[9] .

3) **Διάνοιξη μικρών οπών (5 – 10 mm)** κατά μήκος της ρωγμής σε ορισμένες θέσεις στις οποίες θα τοποθετηθούν **ειδικά στόμια** και πάλι καθαρισμός της οπής. Η επιλογή των κατά μήκος αποστάσεων μεταξύ των σημείων δεν μπορεί να είναι σταθερή και εξαρτάται από τη γεωμετρία του φορέα και της ρωγμής . Ενδεικτικά , οι αποστάσεις που συνήθως εφαρμόζονται κυμαίνονται από 15 ως 100 cm , ενώ συχνά χρησιμοποιείται ως μέτρο, το πάχος του στοιχείου. Είναι σκόπιμο να προτιμούνται τα σημεία όπου υπάρχουν τοπικές διευρύνσεις της ρωγμής [4],[5],[9].

4) **Κάλυψη (σφράγιση) των ρωγμών** από όλες τις πλευρές προσωρινά με εποξειδική κόλλα ταχείας σκλήρυνσεως ή σφραγιστική μαστίχη (ρητινόστοκος). Οι επιφανειακές ρωγμές πρέπει να σφραγίζονται ώστε να αποφεύγεται η διαφυγή της ρητίνης πριν αυτή πήξει . Απομάκρυνση των μικρών κομματιών ταινίας , όταν αρχίσει η σκλήρυνση της σφραγιστικής εποξειδικής κόλλας ή μαστίχης έτσι ώστε να μείνει ορατό μικρό τμήμα της ρωγμής , το οποίο χρησιμοποιείται σαν σημείο εξιδρώσεως [4],[5],[9].

5) **Ανάμειξη των συστατικών A και B** , τοποθέτηση μείγματος στο δοχείο της αντλίας και πλήρωση των ρωγμών με τη συσκευή ένεσεως (ή με υδραυλικές αντλίες ή με «πιστόλια» με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα) . Η ένεση πρέπει να γίνεται **αμέσως** μετά την ανάμειξη των δύο συστατικών [4],[5],[9] .

- a) Αν η ρωγμή είναι κατακόρυφη η διαδικασία πρέπει να αρχίσει εισάγοντας το ένεμα στο χαμηλότερο σημείο εισόδου μέχρι αυτό να φτάσει στο αμέσως υψηλότερο σημείο . Τότε το χαμηλότερο σημείο σφραγίζεται και επαναλαμβάνεται η διαδικασία μέχρις ότου γεμίσει η ρωγμή και σφραγιστούν όλα τα σημεία εισόδου [4],[5],[9].
- b) Αν η ρωγμή είναι οριζόντια ακολουθείται η παραπάνω διαδικασία από την μία άκρη της ρωγμής ως την άλλη . Αν η πίεση δεν μπορεί να διατηρηθεί σε μια σταθερή τιμή σημαίνει ότι η ρητίνη ρέει προς μη πληρωμένες θέσεις ή ότι υπάρχει διαφυγή από κάποιο σημείο [4],[5],[9] .



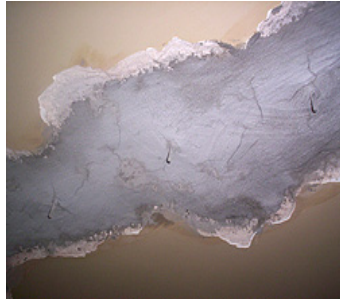
(α)



(β)

Σχήμα 3: (α) Ειδικός φυσητήρας καθαρισμού οπών [7], (β) Αναδευτήρες για ρητίνες [7].

6) **Αφαίρεση των στομιών** (σωληνίσκων) και απομάκρυνση της σφραγιστικής ρητίνης με φλόγιστρο μετά από 24 ώρες και ακολουθεί λείανση της επιφάνειας για αισθητικούς λόγους [4],[5],[9] .



(α)



(β)



(γ)



(δ)

Σχήμα 4 : (α) Σφράγιση ρωγμής , (β) Τοποθέτηση ακροφυσίων , (γ) Είσοδος πεπιεσμένου αέρα ,  
(δ) Διοχέτευση εποξειδικής ρητίνης [17]

## 11. ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

α) **Υποστλώματα**. Οι ρητινενέσεις χρησιμοποιούνται για επισκευή υποστλωμάτων με ελαφρές ρωγμές από 0.1 έως 5 mm χωρίς να έχει βλάβες το σκυρόδεμα ή ο οπλισμός. Τα επιστόμια έχουν απόσταση 20-100 cm. Η ρωγμή μπορεί να σφραγισθεί πλήρως χωρίς να έχει απώλειες υλικού. Η ύπαρξη κενών φαίνεται την επόμενη μέρα στις αποθήκες των στομιών. Αν αυτές έχουν αδειάσει, αφαιρούνται οι τάπες και επαναλαμβάνεται η διαδικασία της ένεσης [1],[10].

β) **Κόμβοι δοκών-υποστλωμάτων**. Εφαρμόζονται ρητινενέσεις για επισκευή κόμβων με ελαφριές-μέτριες ρωγμές χωρίς αποδιοργανωμένο σκυρόδεμα ή οπλισμό, που έχει υποστεί λυγισμό [1],[10].

γ) **Πλάκες**. Ρητινενέσεις εφαρμόζονται έτσι ώστε να ενωθούν δύο κομμάτια από σκυρόδεμα που έχουν διαχωριστεί στην περίπτωση που δεν είναι αποδιοργανωμένο και ο οπλισμός δεν έχει λυγίσει ή σπάσει. Οι πλάκες σφραγίζονται στο κάτω μέρος με στόμια ανά 20 – 30 cm, όπου γίνεται το πρεσάρισμα. Επειδή όλα τα στόμια βρίσκονται στο ίδιο ύψος, γίνεται διάνοιξη σε κάποιο σημείο στο πάνω μέρος της πλάκας ώστε να επιβεβαιωθεί το γέμισμα με ρητίνη [1],[10].

δ) **Τοιχώματα**. Όταν ο λογιστικός έλεγχος αποδείξει ότι δε λείπει σίδηρο και υπό τον όρο ότι το άνοιγμα των ρηγματώσεων που έγιναν δεν ξεπερνάει τα 1-2 mm, είναι δυνατή η επισκευή του τοιχώματος με συστηματικές ενέσεις ρητινών υπό υψηλή πίεση [1],[10].

ε) **Τοιχοποιίες**. Στην τοιχοποιία χρησιμοποιούνται ρητινενέματα που εισάγονται υπό πίεση ή υπό κενό αέρος σε πολύ μικρές ρωγμές [1].

## 12. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Οι παρακάτω μέθοδοι ποιοτικού ελέγχου αποσκοπούν στην επιβεβαίωση της σωστής περάτωσης της εργασίας και πραγματοποιούνται κατά την εκτέλεση της εργασίας [11].

### **Οπτική παρατήρηση.**

Ξεκινώντας τη ρητινένωση από τη χαμηλότερη στάθμη της ρωγμής η παρατήρηση της προόδου του υλικού από επιστόμιο σε επιστόμιο μέχρι την υψηλότερη στάθμη εξασφαλίζει σε ικανοποιητικό βαθμό ότι η ρωγμή πληρώθηκε. Εντούτοις είναι πάντα συνετό να επαναληφθεί ένεση στο ανώτερο επιστόμιο πριν τη σκλήρυνση του υλικού [11].

### **Δοκιμή των υλικών στο εργαστήριο.**

Οι πιο κοινές εργαστηριακές μέθοδοι για να ελεγχθεί αν το συγκολλητικό υλικό είναι στις σωστές αναλογίες και έχει αναδευτεί καλά περιγράφονται στα πρότυπα:

α) ASTM D 695 Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics

β) ASTM D 638 Test Method for Tensile Properties of Plastics.

Η πρώτη χρησιμοποιεί αντιπροσωπευτικά δείγματα από την κεφαλή ανάμιξης και εντοπίζονται πιθανές ασυμφωνίες στη σύσταση του υλικού.

Η δεύτερη χρησιμοποιείται λιγότερο συχνά.

Είναι προφανές ότι οι δοκιμές αυτές δεν γίνονται σε κάθε έργο λόγω του κόστους, του χρόνου και του ειδικευμένου προσωπικού που απαιτείται [11].

### **Δοκιμή του χρόνου σκλήρυνσης.**

Περιγράφεται στο ASTM C 881 Standard -Specification for Epoxy Adhesive-. Για τη δοκιμή χρησιμοποιείται ένα καθαρό δοχείο για να διευκολυνθεί η παρατήρηση του υλικού. Το δείγμα ελέγχεται για τη σωστή ανάμιξη (παρουσία "λωρίδων" των συστατικών) και για ακατάλληλες αναλογίες (διαφορά στο χρώμα). Πριν ξεκινήσει η εργασία θα παρασκευαστεί ένα τυπικό δείγμα από κάθε παρτίδα συγκολλητικού υλικού [11].

## **13. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ**

### **1. Δοκιμαστικοί πυρήνες [12],[15]:**

- ❖ Οι θέσεις από τις οποίες λαμβάνονται οι πυρήνες πρέπει να επιλέγονται ώστε να αποφεύγεται το κόψιμο οπλισμών . Επίσης να λαμβάνονται από περιοχές που η ένταση δεν είναι υψηλή . Πρέπει να λαμβάνονται τρία δοκίμια από κάθε περιοχή επισκευής που να περιέχουν αντιπροσωπευτικά εύρη ρωγμής .
- ❖ Να διασφαλίζεται ότι οι πυρήνες περιέχουν εποξειδική κόλλα .
- ❖ Λαμβάνονται δοκιμαστικοί πυρήνες [κανονικά διαμέτρου 2 in (50 mm) ] και εξετάζεται οπτικά η διείσδυση της εποξειδικής κόλλας στη ρωγμή . Περαιτέρω έλεγχος θλιπτικής-εφελκυστικής αντοχής μπορεί να γίνει σύμφωνα με την προδιαγραφή ASTM C42.
- ❖ «Μπάλωμα» της περιοχής που λήφθηκε ο πυρήνας με μη συρρικνούμενο κονίαμα ή εποξειδική κόλλα .

Οι δοκιμές θραύσης είναι :

α) ASTM C 39 Compression Test of Cylindrical Concrete Specimens και

β) ASTM C 496 Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

### **2. Μη καταστρεπτικές μέθοδοι [12],[15]:**

Κυριότερο πλεονέκτημά τους είναι ότι δίνουν μια ένδειξη του βαθμού γεμίσματος των ρωγμών χωρίς να προκαλείται κάποια ζημιά στην κατασκευή. Συνιστάται να εφαρμόζονται πρώτα σε υγιές σκυρόδεμα και μετά στο ρηγματομένο. Είναι απαραίτητο



να συνοδεύονται από έναν περιορισμένο αριθμό πυρήνων ώστε να γίνεται βαθμονόμησή τους.

- ❖ Με υπερηχητικές μεθόδους (Ultrasonic Pulse Velocity)
- ❖ Impact Echo
- ❖ Μέθοδος φασματικής ανάλυσης επιφανειακών κυμάτων (Spectral Analysis of Surface Waves)

Από τις παραπάνω μόνο η UPV έχει προδιαγραφές (ASTM C 597 – 83).

Γενικά, οι μη καταστρεπτικές μέθοδοι μπορούν μόνο να χρησιμοποιηθούν για ποιοτική εκτίμηση της αποτελεσματικότητας μιας ρητινένεσης.

Για να γίνει αποδεκτή η εργασία θα πρέπει το 90% της ρωγμής να έχει πληρωθεί [4]. Αν δεν τηρείται αυτό το κριτήριο αποδοχής θα πρέπει να ανοιχθούν νέα σημεία έγχυσης και να επαναληφθεί η διαδικασία της ρητινένεσης [10].

#### 14. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΠΙΤΥΧΙΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

Μία επέμβαση θεωρείται επιτυχής όταν εξασφαλιστεί τέλεια ή τουλάχιστον κατά 90% πλήρωση της ρωγμής. Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την επιτυχία της τεχνικής είναι οι εξής [1],[4],[5]:

**Η γεωμετρία της ρωγμής** σε συνάρτηση με τη γεωμετρία του φορέα είναι σημαντική για την επιλογή των διαδοχικών σημείων ενέσεων.

**Η πίεση έγχυσης του ενέματος.** Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στη ρύθμιση της πίεσης του ενέματος και πρέπει να μεταβάλλεται κατάλληλα κατά τη διάρκεια της επισκευής ώστε να επιτυγχάνεται συνεχής ροή του υλικού μέσα στη ρωγμή και ν' αποφεύγεται ο κίνδυνος αποσφράγισης του ρητινόστοκου και η περαιτέρω διεύρυνση της ρωγμής. Γι' αυτό είναι προτιμότερο σε όλες τις περιπτώσεις να χρησιμοποιείται η χαμηλότερη δυνατή πίεση.

**Το ιξώδες της ρητίνης** (viscosity) και η γωνία επαφής της ρητίνης με το οπλισμένο σκυρόδεμα. Αν το ιξώδες είναι μικρό τότε είναι μεγάλη η διείσδυση της ρητίνης και αντίστροφα. Επίσης το ιξώδες της ρητίνης αλληλεξαρτάται από την πίεση του ενέματος. Μια ρητίνη μικρού ιξώδους απαιτεί και μικρότερη πίεση για να διεισδύσει στη ρωγμή. Ιδιαίτερη προσοχή στο πώς το ιξώδες μεταβάλλεται με το χρόνο (πολυμερισμού της ρητίνης, που από υγρό γίνεται στερεό).

**Ο χρόνος εργασιμότητας** (pot life). Κατά την εφαρμογή των εποξειδικών κονιαμάτων και εποξειδικών σκυροδεμάτων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο μέγιστος χρόνος για τη χρησιμοποίηση μετά την ανάμειξη. Μπορεί να αυξηθεί αν επιμεριστεί το μείγμα σε μικρότερες ποσότητες ή αναμειγνύοντας μικρότερες ποσότητες ρητίνης και σκληρυντή.

**Το συνεργείο** που εκτελεί θα πρέπει να διαθέτει υψηλό βαθμό ικανοτήτων για μια επιτυχή εκτέλεση της εργασίας.

**Η θερμοκρασία** επηρεάζει τόσο τον χρόνο εργασιμότητας όσο και το ιξώδες της ρητίνης και συνεπώς πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά την εκτέλεση της εργασίας. Αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει μείωση του ιξώδους αλλά και μείωση του χρόνου εργασιμότητας. Επίσης η θερμοκρασία επηρεάζει τον χρόνο απόκτησης της πλήρους αντοχής της ρητίνης αλλά και το μέτρο ελαστικότητας. Μετά την εφαρμογή των ρητινών στο κτίριο οι τεχνολογικές ιδιότητές τους είναι σταθερές μέχρι την θερμοκρασία των 65°C, πάνω δε από τους 65°C, αρχίζει η μεταβολή τους. Στην τελευταία περίπτωση καλό είναι να λαμβάνονται μέτρα επιφανειακής προστασίας των έναντι της θερμοκρασίας.

Πρέπει να τονισθεί ότι οι ρητίνες καίγονται σε θερμοκρασία 250°C . Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό χρειάζονται ειδικά μέτρα προστασίας των επισκευασμένων στοιχείων έναντι πυρκαγιάς .

### **15. ΛΑΘΗ ΠΡΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗΝ**

Επίσης, κατά την εφαρμογή της ρητινένεσης απαιτούν ιδιαίτερης προσοχής και επηρεάζουν άμεσα το αποτέλεσμα της επισκευής, τα παρακάτω :

- 1) Ανεπαρκής καθαρισμός των οπών μετά τη διάνοιξή τους καθώς και πριν και μετά την τοποθέτηση των ειδικών στομίων [2],[4].
- 2) Τοποθέτηση σημείων ενέσεων σε πολύ πυκνές αποστάσεις που αυτόματα εξασφαλίζουν μόνο την μερική πλήρωση του χώρου (γεμίζει το μέρος του ρήγματος προς την πλευρά που γίνεται η ένεση) [2].
- 3) Κακό σφράγισμα της ρωγμής ή μονομερές, ιδιαίτερα για διαμπερείς ρωγμές. Στην πραγματικότητα μένει κενός ο χώρος του ρήγματος στις ακραίες ίνες της διατομής (όπου έχουν τη μέγιστη θλιπτική ή εφελκυστική παραμόρφωση) [2].
- 4) Οι ποσότητες των συστατικών Α και Β να μην είναι σε τέτοιες αναλογίες ώστε να σχηματίζουν μείγμα καθορισμένου βάρους τελικού συγκολλητικού υλικού [4].
- 5) Κακή ανάμειξη των συστατικών που δημιουργεί κενά αέρος (φυσαλίδες) στο μείγμα, λόγω ακατάλληλης ταχύτητας περιστροφής του αναμικτήρα [2].
- 6) Εφαρμογή του ενέματος με πολύ υψηλή πίεση με αποτέλεσμα αποκολλήσεις του υλικού σφραγίσεως ή διάρρηξη ρήγματος ή «μπλοκάρισμα» του υλικού στην πρόοδο του μέσα στον ρηγματωμένο χώρο. Συνήθως το «κακό» επεκτείνεται όταν η ρητίνη αρχίζει να σκληραίνει, γεγονός που αποκλείει την περαιτέρω πρόοδο της ένεσης και επιβάλλει αναζήτηση σημείων ασφάλειας για τη συνέχιση της [2],[4].
- 7) Πρόωρη διακοπή της ένεσης στην περίπτωση έγχυσης μεγάλης ποσότητας υλικού, με συνέπεια σίγουρα κενά στο ρήγμα και βέβαιη αστοχία της κατασκευής [2].
- 8) Η ρητινένεση να πραγματοποιήθηκε σε χρόνο μεγαλύτερο από το χρόνο εργασίμου. Σημαντικό, λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι τα χαρακτηριστικά του υλικού μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου [4].
- 9) Χρησιμοποίηση των συστατικών για την ανάμειξη μετά την πάροδο 3 μηνών και να μην έχουν ελεγχθεί έναντι κρυστάλλωσης ή να μην έχουν υποστεί κατάλληλη θερμική επεξεργασία για την αντιμετώπισή της [4].
- 10) Ανυπαρξία ελέγχων της επαρκούς πλήρωσης του ρήγματος με πυρηνοληψίες ή με άλλες μεθόδους [4].

### **16. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΠΕΡΑΤΩΜΕΝΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Η επισκευή ενός ρηγματωμένου στοιχείου θεωρείται επιτυχής όταν επιτυγχάνεται [13],[14]:

- 1) Πλήρης αποκατάσταση της αντοχής του στοιχείου, δηλαδή όταν έχει δημιουργηθεί ισχυρός δεσμός μεταξύ της εποξειδικής ρητίνης και του σκυροδέματος [2].
- 2) Πλήρης αποκατάσταση της συνάφειας του οπλισμού και του περιβάλλοντος σκυροδέματος .
- 3) Αποκατάσταση της πλαστιμότητας [2] .

- 4) Παρεμπόδιση αύξησης του εύρους και του μήκους των ρωγμών λόγω της υψηλής εφελκυστικής αντοχής και συνάφειας των ρητινών .
- 5) Ικανοποιητική αποκατάσταση της δυσκαμψίας. Το μικρό μέτρο ελαστικότητας της ρητίνης έχει ασήμαντη επίδραση στις γραμμικές παραμορφώσεις του στοιχείου επειδή το πάχος της είναι πολύ μικρό σε σχέση με το αντίστοιχο μήκος του στοιχείου. Όμως η επίδραση του είναι σημαντική στις στροφές της επισκευασμένης διατομής γι' αυτό είναι σημαντικό να προτιμούνται υλικά με όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας .
- 6) Προστασία του οπλισμού από τη διάβρωση και από άλλες περιβαλλοντικές επιδράσεις (είσοδος ατμοσφαιρικού αέρα).
- 7) Προστασία σκυροδέματος από τη δυσμενή επίδραση του παγετού.

## 17. ΜΕΤΡΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Για την προστασία των εργαζομένων και του περιβάλλοντος, θα πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα [12]:

- Προστατευτικός ρουχισμός και γυαλιά
- Προστασία χεριών με γάντια ή κρέμες και τα απαραίτητα καθαριστικά προϊόντα για τον καθαρισμό των χεριών, αν χρειασθεί.
- Επαρκής αερισμός σε περίπτωση εργασιών σε κλειστούς χώρους.
- Χρήση μάσκας οξυγόνου, αν απαιτείται
- Τα επικίνδυνα υλικά πρέπει ν' αποθηκεύονται και ν' απορρίπτονται με ασφάλεια (απαγορεύεται η απόρριψη των συστατικών Α και Β στο υπέδαφος σε υγρή μορφή).
- Διαθέσιμες οι οδηγίες χρήσεως των υλικών από την κατασκευάστρια εταιρεία
- Καθαρισμός του εξοπλισμού με ειδικά διαλυτικά μέσα με μη βλαπτικές ουσίες για τον άνθρωπο ή το περιβάλλον.
- Απαγορεύεται η απόρριψή τους κοντά σε φλόγα, διότι είναι εύφλεκτα υλικά.

## 18. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] «Επισκευή με χρήση ρητινών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος σε κτίρια με βλάβες από σεισμό» ΚΤΙΡΙΟ (Μηνιαίο Τεχνικό Περιοδικό), Τεύχος 61.

[2] «Επισκευές φερουσών κατασκευών σκυροδέματος με τις τεχνικές των ενέσεων εποξειδικών ρητινών και του εκτοξευόμενου σκυροδέματος» Κων. Ζαβλιάρης, Πολιτικός Μηχανικός, ΣΠΙΜΕ Νο 152, έκδοση Απρίλιος 1983.

[3] «Συνοπτικές οδηγίες για επισκευή του φέροντος οργανισμού κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα με βλάβες από σεισμό» Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. – Ο.Α.Σ.Π. Ενημερωτικό Δελτίο ΤΕΕ Σεπτέμβριος 1999 – Τεύχος 2072.

[4] «Ενισχύσεις – Επισκευές κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα» Σ.Η.Δρίτσος, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2006.

[5] «Οι κατευθυντήριες προδιαγραφές και οδηγίες για επισκευές κτιρίων με βλάβες από σεισμό» Υπουργείο Δημοσίων Έργων (Θεσσαλονίκη, 1978) – [www.domiki.gr/seismoi/methodoi](http://www.domiki.gr/seismoi/methodoi).

[6] «Δομικά Υλικά» Θανάσης Χ. Τριανταφύλλου, 6<sup>η</sup> έκδοση – 2004.

[7] Γενικές πληροφορίες για τις ρητινενέσεις - site : [www.epoxysystems.com/injection](http://www.epoxysystems.com/injection).

[8] Στάδια ρητινένεσης - site : [www.leak-proof.com/crack\\_injection](http://www.leak-proof.com/crack_injection).

[9] «Repair of cracked reinforced concrete : Assessment of injection methods» A. J.J. Calder (Research report 81).

[10] «Ορθή εκτέλεση των εργασιών επισκευής – ενίσχυσης στοιχείων σκυροδέματος με εποξειδικές ρητίνες και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα» Ι. Λάιος, Πολιτικός Μηχανικός, Ημερίδα ΤΕΕ, 6 Νοεμβρίου 2007, Αθήνα.

[11] «Πρακτικά 10<sup>ου</sup> φοιτητικού συνεδρίου «Επισκευές κατασκευών 2004», ‘Επισκευές με χρήση ρητινενέσεων’ Σ. Μαγκλή – Σ. Ταμπίτσικα, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2004.

[12] «Structural Crack repair by epoxy Injection» Brian F. Keane, ACI Committee E 706.

[13] «Resin Injection in Structural Preservation» J.F.Trout, Lilly Corporation, Aurora,USA.

[14] «Structural Crack repair by gravity feed with resin» Richard Montani, ACI Committee E 706.

[15] «The evaluation of resin systems for concrete repair» A.I. Abu-Tair, S.R. Rigden, E.Burley, The structural engineer – 1 October 1991.

[16] «Πρακτικά 12<sup>ου</sup> φοιτητικού συνεδρίου «Επισκευές κατασκευών 2006», ‘Επισκευή με χρήση ρητινενέσεων’ Ε. Τσαλεσης – Ε. Χονδρογιάννης, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2006.

[17] Ιστοσελίδα : [www.nakos.com](http://www.nakos.com) .