

ΡΩΓΜΕΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΙΤΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Όλες οι κατασκευές από σκυρόδεμα μπορούν να ρηγματωθούν. Οι ρωγμές είναι αποτέλεσμα διαφόρων αιτιών, που προκαλούν στην κατασκευή τάσεις άρα και παραμορφώσεις. Οι ρηγματώσεις επηρεάζουν την εμφάνιση αλλά πολύ περισσότερο την αντοχή, τη δυνατότητα δηλαδή της κατασκευής να φέρει με ασφάλεια τα φορτία για τα οποία έχει σχεδιαστεί. Επομένως, για την σωστή επισκευή των ρωγμών που έχουν εμφανιστεί, πρέπει να προσδιοριστούν πρωτίστως τα αίτιά τους και να επιλεγεί η βέλτιστη τεχνική αποκατάστασης της βλάβης. Η συγκεκριμένη εργασία προσπαθεί να παρουσιάσει περιληπτικά τους λόγους που οδηγούν σ' αυτές τις βλάβες το σκυρόδεμα και τις βασικές τεχνικές επισκευής τους.

2. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΡΩΓΜΩΝ

Ρωγμή ορίζεται ως η ασυνέχεια του υλικού, η οποία ασυνέχεια έχει τη μία διάσταση πολύ μικρότερη από τις άλλες. Οι ρωγμές στις κατασκευές από σκυρόδεμα είναι κάτι ιδιαίτερα συνηθισμένο, αφού υποδηλώνουν την ανάπτυξη παραμορφώσεων στο φορέα. Η ανάπτυξή τους είναι επιθυμητή, αφού υποδεικνύουν το πρόβλημα που υπάρχει, γι' αυτό και ο μηχανικός θα πρέπει να είναι σε θέση να κατανοεί την αιτία που οδήγησε στη ρηγματώση του σκυροδέματος, μετά από λεπτομερή και επιτόπια εξέταση του στοιχείου. Η επισκευή των ρωγμών στο μεγαλύτερο ποσοστό των περιπτώσεων δεν συνεπάγεται αύξηση της αντοχής του μέλους αλλά αποκατάσταση της ήδη μειωμένης. Η επισκευή τους, όμως, επιβάλλεται συνήθως από αισθητικούς και πρακτικούς λόγους. Το ρηγματωμένο στοιχείο χρήζει επισκευής μόνο όταν από στατικής άποψης είναι ασφαλές κατά τη χρήση του, διαφορετικά απαιτείται και η ενίσχυσή του. Άρα, αν η ασφάλεια επιτυγχάνεται οι ρωγμές επιδιορθώνονται για να διατηρηθεί το αίσθημα ασφάλειας στους χρήστες και να αντιμετωπιστούν άλλα προβλήματα όπως διαρροές υγρών, εισχώρηση υγρασίας... Άλλωστε ο μηχανικός είναι υπεύθυνος για την παράδοση κατασκευών οι οποίες όχι μόνο είναι αλλά και φαίνονται ασφαλείς.

Κατηγοριοποίηση των ρωγμών μπορεί να γίνει με βάση διάφορα κριτήρια:

- αίτιο δημιουργίας
- θέση στο στοιχείο(επιφανειακές, εσωτερικές...)
- σπουδαιότητα ανάλογα με το μέγεθός τους και τη χρήση της κατασκευής(επιτρεπτές ή μη σε σχέση με την ασφάλεια και τη λειτουργικότητα...)
- μεμονωμένες ή ομάδα ρωγμών
- διάδοση (ενεργές ή μη ενεργές)

Οι συνηθέστεροι λόγοι ρηγματώσης είναι:

- υπέρβαση ορίου αντοχής του μέλους
- σφάλμα κατά το σχεδιασμό (ανεπαρκής οπλισμός)
- διάβρωση του οπλισμού
- συστολή ξήρανσης
- καθίζηση θεμελίων
- ανάπτυξη τάσεων άρα και παραμορφώσεων λόγω αυξημένων θερμοκρασιακών μεταβολών
- ιδιαίτερα διαβρωτικό περιβάλλον
- ελλιπής ή ανεπαρκής συντήρηση κατόπιν σκυροδέτησης (κατάβρεξη ...)
- υπερφόρτιση
- κατασκευαστικά σφάλματα

Εφόσον διαπιστωθεί ρηγματώση και προσδιοριστούν τα αίτια που την προκάλεσαν ο υπεύθυνος μηχανικός καλείται να λάβει κάποιες αποφάσεις. Ανάλογα με την αιτία που οδήγησε στην ανάπτυξη ρωγμών οι πιθανές ενέργειες είναι:

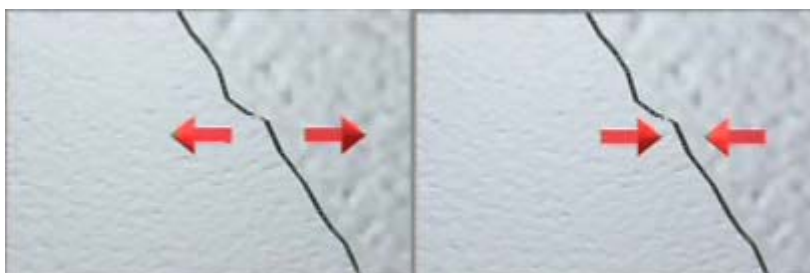
- επισκευή ρωγμών με την κατάλληλη τεχνική
- αφαίρεση του αιτίου (π.χ. μείωση επιβαλλόμενων φορτίων)
- «συνετή παραμέληση (judicious neglect)» ,(ορισμένες φορές η καλύτερη θεραπεία είναι η λήψη κανενός μέτρου)

Κατά καιρούς έχουν προταθεί μέγιστα επιτρεπτά εύρη ρωγμών ανάλογα με το περιβάλλον και το είδος της κατασκευής.

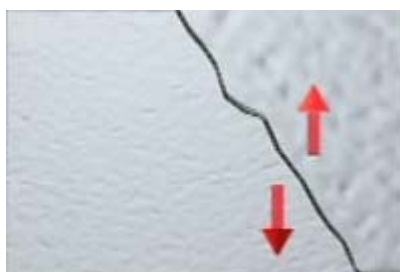
Πίνακας 1

Είδος κατασκευής και περιβαλλοντικές συνθήκες	Μέγιστο εύρος ρωγμής mm
εσωτερικές κατασκευές ξηρό περιβάλλον, παροχή αδιαπέραστης επικάλυψης	0.4 ~ 0.5
εξωτερικές κατασκευές, μέτρια υγρό περιβάλλον, όχι διαβρωτικοί παράγοντες	0.3 ~ 0.4
εξωτερικές κατασκευές, ιδιαίτερα υγρό περιβάλλον	0.2 ~ 0.3
ιδιαίτερα υγρό περιβάλλον, ύπαρξη διαβρωτικών παραγόντων (θαλασσινό νερό...)	0.1 ~ 0.15
δεξαμενές υγρών	0.1

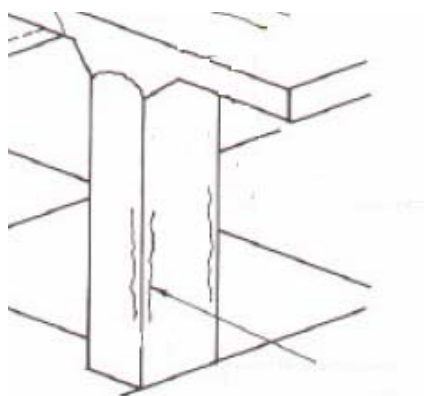
Ακολουθούν εικόνες με τα πιο συνηθισμένα είδη ρωγμών σε κατασκευές από σκυρόδεμα:



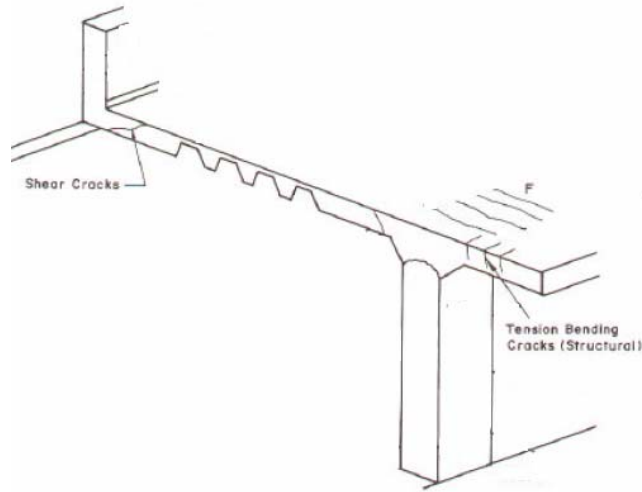
εικόνα 1. Εμφάνιση ρωγμών λόγω ανάπτυξης τάσεων άρα και παραμορφώσεων εξαιτίας θερμοκρασιακών μεταβολών⁷



εικόνα 2. Εμφάνιση ρωγμής που οφείλεται σε διάτμηση λόγω καθίζησης⁷



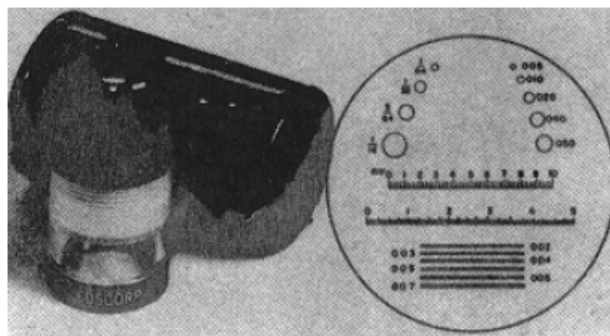
εικόνα 3. Εμφάνιση ρωγμών παράλληλων στον κύριο οπλισμό δηλώνουν τη διάβρωσή του⁵



εικόνα 4. Εμφάνιση ρωγμών λόγω φόρτισης (διατμητικές αριστερά και καμπτικές δεξιά)⁵



εικόνα 5. Ρηγάτωση λιμενικού δαπέδου από σκυρόδεμα λόγω διαβρωτικού περιβάλλοντος⁵



εικόνα 6. Συσκευές μέτρησης εύρους ρωγμών με ακρίβεια έως 0.025 mm⁵

3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΡΩΓΜΩΝ

Επιτυχής επισκευή ρωγμής σε σκυρόδεμα εξαρτάται άμεσα από τον ακριβή προσδιορισμό των αιτίων και την επιλογή της κατάλληλης τεχνικής για την επισκευή της. Ο μηχανικός θα πρέπει να έχει τις γνώσεις και την εμπειρία για μια επιτυχημένη επισκευή. Παρακάτω περιγράφεται βήμα-βήμα η διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί έτσι ώστε η αναγνώριση των λόγων της ρηγμάτωσης να είναι η σωστή.

1) Λεπτομερής εξέταση της εμφάνισης και του εύρους ρωγμής

- ο Μεμονωμένη ρωγμή ή ομάδα ρωγμών ;
- ο Πλάτος ρωγμής
- ο Ανοιχτή ή κλειστή ρωγμή ;
- ο Έκταση ρωγμής

2) Προσδιορισμός του χρόνου εμφάνισης

3) Ενεργές ή μη ενεργές ρωγμές ;

Στο βήμα αυτό ίσως χρειαστεί παρακολούθηση της ρωγμής για συγκεκριμένο διάστημα έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν η ρωγμή ακόμη αναπτύσσεται ή αν κυκλικά ανοίγει και κλείνει π.χ. λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών.

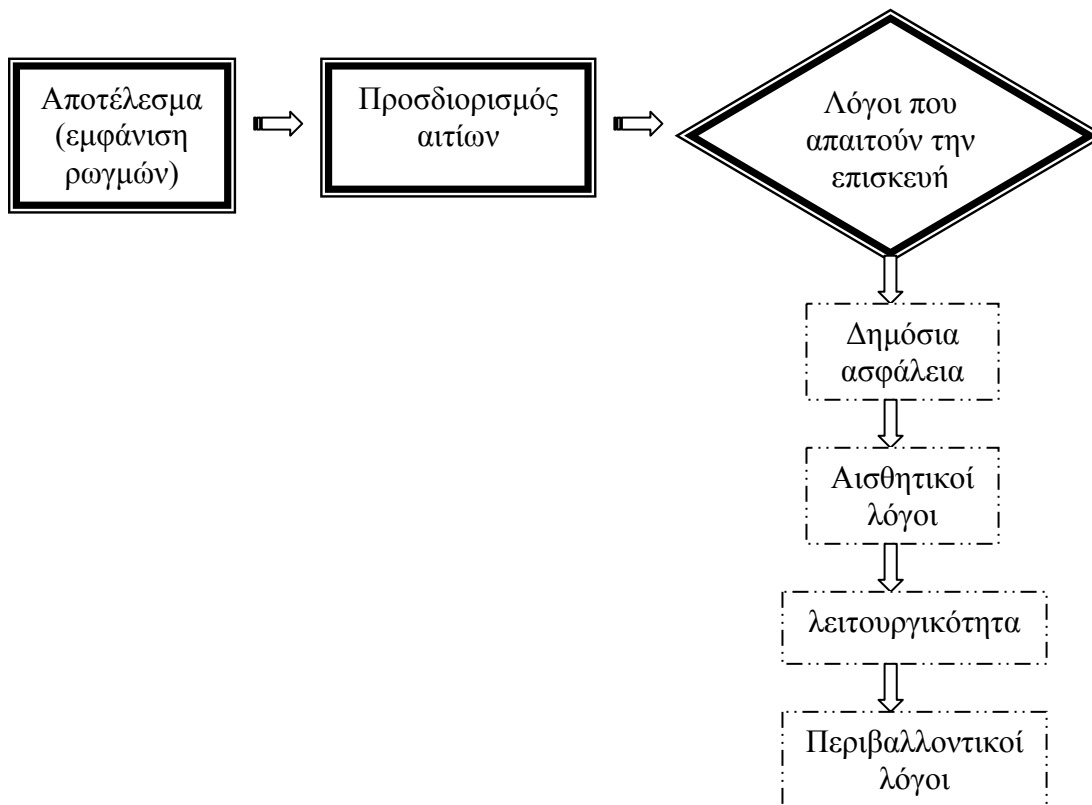
Τέλος, αν τα αίτια δεν είναι τα συνηθισμένα που αναφέρονται στον πίνακα 2 τότε θα πρέπει να ακολουθήσει μια λεπτομερής ανάλυση ή ακόμα και εργαστηριακός έλεγχος.

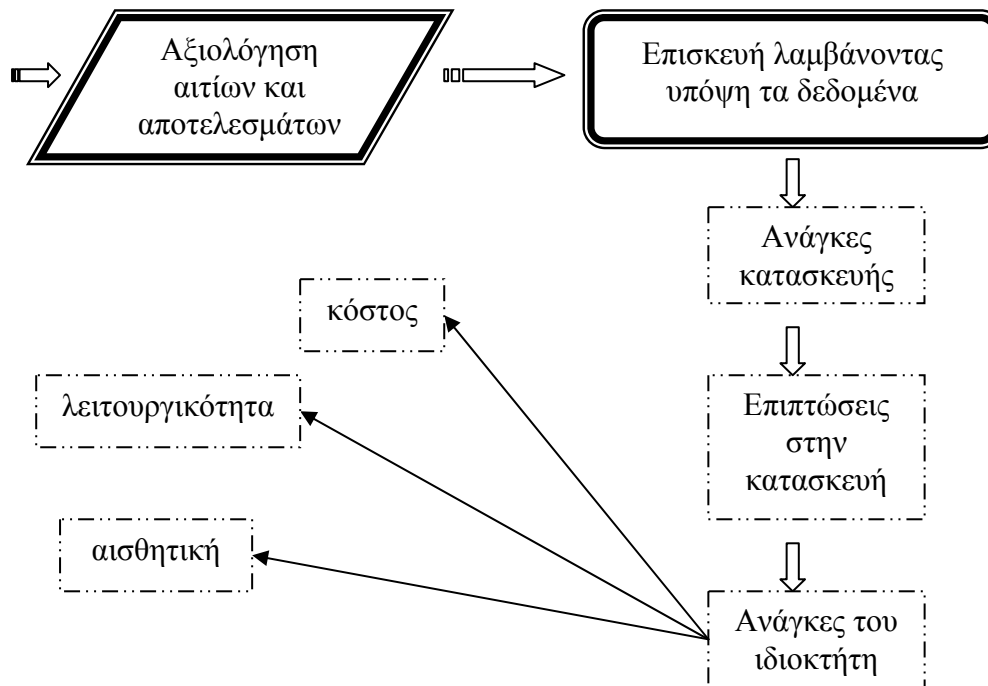
Πίνακας 2⁵

Αιτία	Τύπος ρωγμής		Σχόλιο
	ενεργή	Μη ενεργή	
Επιβολή αυξημένης φόρτισης		×	Αφαίρεση των επιπλέον φορτίων και επισκευή αλλιώς ενίσχυση
Θερμοκρασιακές μεταβολές	×		Η επισκευή δεν ωφελεί αν συνεχιστούν οι μεταβολές
Διάβρωση οπλισμού	×		Πρέπει να εφαρμοστούν τεχνικές που θα τη σταματήσουν
Καθίζηση θεμελίων	×	×	Απαιτούνται μετρήσεις για το αν η καθίζηση συνεχίζεται
Διαβρωτικό περιβάλλον	×		Όσο η υγρασία παραμένει οι ρωγμές θα συνεχίσουν να εμφανίζονται

Λάθος κατασκευαστικές διαδικασίες(μη κατάβρεξη κατά τη σκυροδέτηση, λάθος ξυλοτύπου...)		×	
Λάθος κατά το σχεδιασμό (ανεπαρκής οπλισμός...)	×		Απαιτείται και ενίσχυση του φορέα εκτός από επισκευή

Ακολουθεί υπό μορφή διαγράμματος η συνολική διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσει ο μηχανικός στις περιπτώσεις επισκευής κατασκευών από σκυρόδεμα. (Emmons, 1994)





4. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

1) μέθοδος ρητινενέσεων

Οι ρητινενέσεις αποτελούν ίσως την πιο διαδεδομένη και αποτελεσματική τεχνική επισκευής ρωγμών. Ρητινένεση καλείται η διαδικασία κατά την οποία εγχύεται με ενέσιμο τρόπο ρητινοειδής κόλλα στη ρωγμή, αποκαθιστώντας πλήρως την στατική ακεραιότητα και μονολιθικότητα της κατασκευής. Η επιτυχία της μεθόδου επηρεάζεται από την διαδικασία που θα ακολουθηθεί.

Η τεχνική των ρητινενέσεων παρουσιάζει βασικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων τεχνικών:

- οι ρητίνες είναι υλικά με υψηλές αντοχές εφελκυσμού και συνάφειας με το σκυρόδεμα εμποδίζοντας την περαιτέρω ανάπτυξη των ρωγμών.
- επιτυγχάνεται λόγω της ρευστότητας των ρητινών πλήρης σφράγιση της ρωγμής παρέχοντας στον οπλισμό προστασία από διάβρωση καθώς επίσης και στεγανότητα.
- οι ρητίνες είναι ανθεκτικά υλικά σε διαβρωτικούς παράγοντες.
- μπορούν να προσφέρουν ίσως το καλύτερο αποτέλεσμα όσον αφορά το αισθητικό μέρος της επισκευής.

διαδικασία εφαρμογής

1. καθαρισμός της ρωγμής με αέρα υπό πίεση. Η ρωγμή θα πρέπει να είναι απαλλαγμένη από σκόνη, μικρά αδρανή, λάδια και οποιοδήποτε άλλο ξένο υλικό. Καλό θα ήταν ακόμη και το πλύσιμο της ρωγμής με νερό και στη συνέχεια να στεγνώσει.
2. σφράγισμα της ρωγμής με ειδική ταινία ή κόλλα έτσι ώστε κατά τη διάρκεια της ένεσης η ρητίνη να μην διαρρεύσει από τη ρωγμή.
3. διάνοιξη μικρών οπών (5 – 10 mm) κατά μήκος της ρωγμής στα οποία θα τοποθετηθούν ειδικά στόμια. Τα στόμια απέχουν μεταξύ τους 15 – 100 cm συνήθως.
4. προετοιμασία της ρητίνης για να χρησιμοποιηθεί. Κατά την προετοιμασία της ρητίνης υπάρχουν και παράγοντες που παίζουν ρόλο όπως ο χρόνος ανάμιξης, η θερμοκρασία, η απόσταση ανάμιξης από τη ρωγμή και ο τρόπος ανάμιξης. Συνιστάται πάντως ο μηχανικός και ο τεχνίτης να συμβουλευονται το εγχειρίδιο τεχνικών χαρακτηριστικών που παρέχει η εταιρία παραγωγής της ρητίνης.
5. έγχυση της ρητίνης στη ρωγμή. Η έγχυση πρέπει να γίνεται από το κάτω μέρος προς τα πάνω. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην πίεση του ενέματος καθώς υπάρχει ο κίνδυνος περαιτέρω διάνοιξης της ρωγμής. Συνήθως προτιμούνται οι ρητίνες με χαμηλό ιξώδες άρα και χαμηλότερης πίεσης που απαιτείται για το ένεμα.
6. αφαίρεση των στομίων και επεξεργασία της επιφάνειας (τρίψιμο) για καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα

Εποπτικά, τα βήματα της μεθόδου αυτής περιγράφονται και στις εικόνες που ακολουθούν:

	<p>εικόνα 7. τοποθέτηση των ειδικών στομίων κατά μήκος της ρωγμής⁷</p>
	<p>εικόνα 8. σφράγισμα της ρωγμής με ειδική κόλλα⁷</p>
	<p>εικόνα 9. έγχυση της ρητίνης με ενέσιμο τρόπο⁷</p>

2) μέθοδος <<ραμμάτων>>




Η μέθοδος των ραμμάτων αποτελεί μια τεχνική επισκευής ρωγμών, η οποία με τη χρήση μεταλλικών στοιχείων σε μορφή U αποσκοπεί στην αποκατάσταση της εφελκυστικής αντοχής κατά μήκος των ρωγμών. Τα ράμματα προσδίδουν δυσκαμψία στην κατασκευή, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε ρηγματώση σε διπλανό σημείο. Όσο πιο πυκνά είναι τα ράμματα τόσο μικρότερες εφελκυστικές δυνάμεις δέχονται.




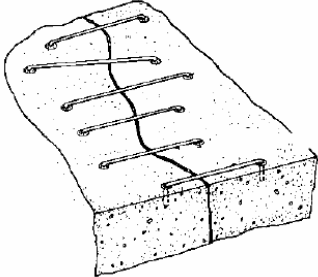

διαδικασία εφαρμογής

1. διάνοιξη οπών κατά μήκος της ρωγμής δεξιά και αριστερά αυτής για την αγκύρωση των σκελών του μεταλλικού στοιχείου.
2. καθαρισμός των οπών από σκόνη και άλλα ξένα σώματα.
3. γέμισμα των οπών με εποξειδική ρητίνη
4. τοποθέτηση των μεταλλικών σκελών κάθετα στη ρωγμή. Στη διεπιφάνεια σκυροδέματος και μεταλλικού στοιχείου απαιτείται και εκεί εποξειδική ρητίνη για την ανάπτυξη συνάφειας.
5. η μέθοδος αυτή εμποδίζει την περαιτέρω ανάπτυξη της ρωγμής, δεν την επισκευάζει. Άρα, αν απαιτείται στεγανότητα η ρωγμή πρέπει να σφραγιστεί.

Αναλυτικότερα, η μέθοδος αυτή παρουσιάζεται στην εργασία των Sameer Hamoush και S. H. Ahmad³ η οποία περιέχει και πειράματα, που δείχνουν την δύναμη που δέχονται τα ράμματα ανάλογα με το πλήθος τους, τη διατομή τους, την απόσταση μεταξύ τους, το μήκος του στοιχείου και το μήκος της ρωγμής.

Εποπτικά, τα βήματα της μεθόδου περιγράφονται και στις εικόνες που ακολουθούν:

	<p>εικόνα 10. Διάνοιξη οπών εκατέρωθεν της ρωγμής⁷</p>
	<p>εικόνα 11. Καθαρισμός της ρωγμής και των οπών⁷</p>
	<p>εικόνα 12. Γέμισμα της οπής με ειδική κόλλα⁷</p>

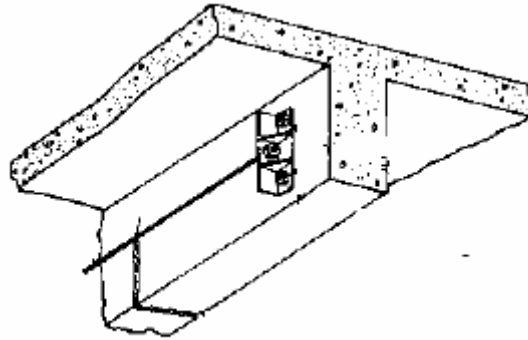
	<p>εικόνα 13. Κόλλα στη διεπιφάνεια μετάλλου και σκυροδέματος για συνάφεια⁷</p>
	<p>εικόνα 14. σφράγισμα της ρωγμής αν απαιτείται στεγανότητα⁷</p>
	<p>εικόνα 15. Τελική μορφή της ρωγμής⁷</p>
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="389 1055 708 1330">  </div> <div data-bbox="836 1055 1203 1330">  </div> </div> <p>εικόνα 16. Τυπικές μορφές ρωγμών επισκευασμένων με ράμματα^{5,3}</p>	

3) μέθοδος πρόσθετου εξωτερικού οπλισμού

Η μέθοδος αυτή παρέχει πρόσθετη αντοχή στο ρηγματωμένο μέλος για να παραλάβει τις δυνάμεις που το οδήγησαν στη ρηγμάτωση με τη χρήση πρόσθετου εξωτερικού οπλισμού. Η τεχνική έχει εφαρμοστεί με επιτυχία στην αποκατάσταση ρηγματωμένων κύριων δοκών γεφυρών (Stratton, Alexander and Nolting, 1982).

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 17 χρησιμοποιείται εξωτερικός οπλισμός για την εφαρμογή θλιπτικής δύναμης. Στο μέσο των ανοιγμάτων των δοκών, όταν ξεπεραστεί η ροπή αντοχής του μέλους στη θέση αυτή, παρατηρούνται ρωγμές στο κάτω πέλμα το οποίο και εφελκύεται. Η δύναμη που προσθέτει ο εξωτερικός οπλισμός δημιουργεί επιπλέον ροπή αντοχής στη διατομή γι' αυτό και θα πρέπει να χρησιμοποιείται με όσο μεγαλύτερο μοχλοβραχίονα ως προς τον ουδέτερο άξονα. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί έτσι ώστε η αγκύρωση πάνω στο σκυρόδεμα να είναι επαρκής και να μην οδηγήσει στην αποκόλλησή του. Υπάρχει και ένα πρακτικό πρόβλημα όμως για την εφαρμογή της τεχνικής αυτής αφού κατά την

αγκύρωση είναι πιθανό να καταστρέψουμε τον εσωτερικό οπλισμό. Τέλος, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί καθώς προσθέτουμε ένταση στον φορέα και θα πρέπει να μελετηθεί αν η ένταση αυτή επηρεάζει δυσμενώς το φορέα (αντιδράσεις στήριξης, ροπές λόγω εκκεντρότητας...).

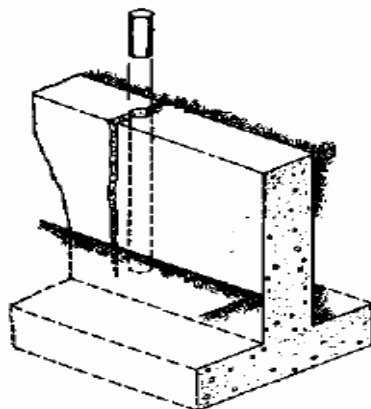


εικόνα 17. τυπική μορφή δοκού επισκευασμένης με την τεχνική του πρόσθετου εξωτερικού οπλισμού⁵

4) μέθοδος <<διάτρησης και πλήρωσης>> (drilling and plugging)

Η τεχνική αυτή είναι εφαρμόσιμη συνήθως σε τοίχους αντιστήριξης, όπου οι ρωγμές είναι ευθείες, ‘τρέχουν’ κάθετα στον τοίχο και είναι προσβάσιμες από το ένα άκρο τους.

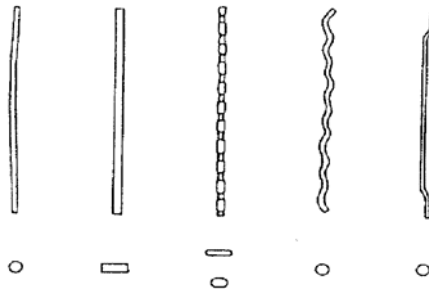
Με ειδικό μηχάνημα τρυπάμε το σκυρόδεμα κατά μήκος της ρωγμής δημιουργώντας οπή διαμέτρου 50 – 75 mm και μήκος όσο η ρωγμή. Στη συνέχεια αφαιρείται το υλικό που δημιουργήθηκε κατά τη διάτρηση. Η οπή που δημιουργήθηκε γεμίζεται με τσιμεντένεση προκαλώντας αντίσταση στα 2 τμήματα και δεν τα επιτρέπει να κινηθούν αντίθετα το ένα από το άλλο. Η τσιμεντένεση αποτρέπει και την έντονη διαρροή νερού. Στην περίπτωση που δεν μας ενδιαφέρει η φέρουσα ικανότητα αλλά η στεγανότητα αντί για τσιμέντο μπορούμε να γεμίσουμε με άλλο υλικό όπως αφρός πολυουρεθάνης, ασφαλτικό υλικό ...



εικόνα 18. τυπική μορφή τοίχου επισκευασμένου με την τεχνική της διάτρησης και πλήρωσης⁵

5) χρήση ινοπλισμένου σκυροδέματος

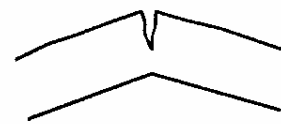
Το ινοπλισμένο σκυρόδεμα αποτελείται από το συνηθισμένο τσιμέντο, αδρανή και ίνες από μέταλλο, γυαλί... Οι ίνες έχουν μήκος της τάξης μερικών εκατοστών και διάμετρο κλάσμα του χιλιοστού. Οι ίνες αναμιγνύονται στη μάζα του σκυροδέματος σε ποσοστό 1-3 % κ.ό. Ο βασικός τους ρόλος είναι η αύξηση της παραμόρφωσης αστοχίας του υλικού (που σχετίζεται με εφελκυστικές τάσεις) και ο περιορισμός της ρηγμάτωσης (π.χ. λόγω συστολής ξήρανσης) ενώ μερικές φορές επιτυγχάνεται και μικρή αύξηση αντοχής. Το ινοπλισμένο σκυρόδεμα σε σχέση με το άοπλο αναλαμβάνει φορτία σε μεγαλύτερες παραμορφώσεις και αστοχεί μετά τη δημιουργία αρκετών ρωγμών. Ο μηχανισμός αυτός οφείλεται στο γεγονός ότι μετά τη ρηγμάτωση οι ίνες που «γεφυρώνουν» το κενό μεταφέρουν το φορτίο προς το γειτονικό σκυρόδεμα. Στις εικόνες 20 και 21 φαίνεται η μορφή αστοχίας του ινοπλισμένου και του άοπλου σκυροδέματος. Άρα λόγω των παραπάνω ιδιοτήτων είναι σαφές ότι η χρήση ινοπλισμένου σκυροδέματος μπορεί να αποτελέσει μια πολύ καλή τεχνική επισκευής συνήθως επιφανειακών στοιχείων. Βιομηχανικά δάπεδα, διάδρομοι αεροδρομίων, πεζοδρόμια και υδραυλικές κατασκευές (π.χ. δεξαμενές) όταν ρηγματωθούν από θερμοκρασιακές μεταβολές, υπερφορτίσεις... μπορούν να επισκευαστούν επιτυχώς αν αφαιρέσουμε το παλαιό σκυρόδεμα και το αντικαταστήσουμε με ινοπλισμένο.



εικόνα 19. τυπικές μορφές ινών χάλυβα¹



εικόνα 20. ινοπλισμένο σκυρόδεμα¹



εικόνα 21. άοπλο σκυρόδεμα¹

Βιβλιογραφία

1. Αθ.Χ. Τριανταφύλλου, “**Δομικά Υλικά**”, εκδόσεις πανεπιστημίου Πατρών, 2002
2. Σ. Η. Δρίτσος, “**Ενισχύσεις – Επισκευές Κατασκευών Από Οπλισμένο Σκυρόδεμα**”, εκδόσεις πανεπιστημίου Πατρών, 2006
3. Sameer Hamoush and S. H. Ahmad, “**Concrete Repair By Stitches**”, scientific reports, www.springerlink.com
4. Khaled Soudki, “**Concrete Problems And Repair Techniques**”, university of Waterloo
5. U.S Army Corps Of Engineers, “**Evaluation And Repair Of Concrete Structures**”, manual no. 1110-2-2002, 1995
6. S. M. Johnson, “**Deterioration, maintenance and repair of structures**”, McGraw Hill, New York, 1965
7. www.emecole.gr