

## ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΜΑΡΙΑ-ΔΗΜΗΤΡΑ  
ΤΣΑΤΣΟΥ ΜΑΡΙΑ

### Περίληψη

*Η εργασία αυτή έχει ως στόχο να εντοπίσει τις κυριότερες αιτίες βλαβών στα στοιχεία και τις συνδέσεις των προκατασκευασμένων στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα και να παρουσιάσει συνοπτικά τρόπους επισκευής και ενίσχυσης αυτών. Στην εργασία αναφέρονται, επίσης, τα συστήματα δόμησης προκατασκευασμένων στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι περισσότεροι από τους τρόπους που παρατίθενται έχουν εφαρμοστεί, κατά καιρούς, και συνεχίζουν να εφαρμόζονται ενώ κάποιοι από αυτούς έχουν προταθεί πρόσφατα, οπότε δεν έχουν εφαρμοστεί ακόμα στην πράξη.*

### 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί ανάπτυξη στις κατασκευές από προκατασκευασμένα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος λόγω της ανάπτυξης της βιομηχανίας και της τεχνολογίας. Αυτό οδήγησε στο αποτέλεσμα, οι προκατασκευασμένες κατασκευές να θεωρούνται οι κατ'εξοχήν ασφαλείς κατασκευές σε σεισμικές περιοχές. Η κατασκευή από προκατασκευασμένα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος συνέβαλε στην άυξηση της ποιότητας των κατασκευών, στη μείωση του κόστους τους και κυρίως στη μείωση του χρόνου παραδοσής τους. Βασικά χαρακτηριστικά του τρόπου δόμησής τους είναι τα εξής δύο:

- η ειδίκευση της ανθρώπινης εργασίας
- η χρήση εργαλείων, μηχανημάτων και άλλου εξοπλισμού, συνήθως αυτόματων, στην παραγωγή σταθερών και ευέλικτων τμημάτων και προϊόντων.

Διακρίνονται τρεις βασικές τεχνολογίες κατασκευής προκατασκευασμένων έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα, ανάλογα με τα προκατασκευασμένα στοιχεία που τα συνθέτουν:

- Τεχνολογία προκατασκευής με βάση ολόσωμα τοιχώματα ή «sandwich» (large-panel systems), μέσω της οποίας συνήθως κατασκευάζονται εκπαιδευτήρια, κτίρια κατοικιών ή κτίρια γραφείων.
- Τεχνολογία προκατασκευής με βάση ραβδόμορφα προκατασκευασμένα στοιχεία (linear elements), μέσω της οποίας κατασκευάζονται συνήθως βιομηχανικά κτίρια, γέφυρες, κτίρια κατοικιών κ.α. (frame systems)
- Τεχνολογία προκατασκευής με βάση προκατασκευασμένες πλάκες ή προκατασκευασμένα υποστυλώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα (slab to column systems with shear walls), μέσω της οποίας κατασκευάζονται κτίρια κατοικιών, κτίρια γραφείων κ.α.

Στην τεχνολογία κατασκευής με τοιχώματα, εντάσσονται και συστήματα προκατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα που εξελίσσονται με βάση προκατασκευασμένες τρισδιάστατες κυψέλες με τις οποίες κατασκευάζονται συνήθως κτίρια κατοικιών κ.α.. [1]

Πιο αναλυτικά, τα τοιχωματικά συστήματα χρησιμοποιούνται σε πολυώροφες κατασκευές που αποτελούνται από μεγάλα πάνελ τοίχων και πατωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος, τα οποία συνδέονται στην κατακόρυφη και οριζόντια διεύθυνση έτσι ώστε τα πάνελ τοίχου να εγκλείουν κατάλληλους χώρους για τα δωμάτια μέσα σε ένα κτίριο. Έτσι, τα πάνελ αυτά σχηματίζουν κατασκευές που μοιάζουν με κουτιά. Τα προκατασκευασμένα πάνελ τοίχου συνήθως έχουν ύψος ενός ορόφου και μπορεί να λειτουργούν ως διαχωριστικοί τοίχοι, ως τοίχοι που παραλαμβάνουν τα φορτία βαρύτητας ή ως διατμητικοί τοίχοι (όταν συνδυάζονται με τη διαφραγματική λειτουργία των πατωμάτων) [2]. Τα οριζόντια και τα κατακόρυφα πάνελ παραλαμβάνουν τα φορτία βαρύτητας ενώ τα οριζόντια πάνελ τοιχωμάτων και οροφής

συμπεριφέρονται σαν πλάκες μίας ή δύο διευθύνσεων. Όταν συνδεθούν σωστά μεταξύ τους, τα οριζόντια στοιχεία λειτουργούν σαν διαφράγματα για τη μεταφορά των πλευρικών φορτίων στους τοίχους. Τα τοιχωματικά συστήματα διακρίνονται σε τρεις υποκατηγορίες:

- συστήματα με τους κύριους τοίχους, που φέρουν το βάρος και τα πλευρικά φορτία στην εγκάρσια διεύθυνση (cross-wall system)
- συστήματα με τους κύριους τοίχους στη διαμήκη διεύθυνση του κτιρίου (συνήθως υπάρχει μόνο ένας κύριος τοίχος στη διαμήκη διεύθυνση και ενίοτε υπάρχουν δύο κύριοι τοίχοι στη διαμήκη διεύθυνση) (longitudinal-wall system)
- συστήματα με κύριους τοίχους και στις δύο διευθύνσεις. [3]

Ιδιαίτερη προσοχή στα τοιχωματικά συστήματα δίνεται στην περιοχή των ενώσεων. Οι αρμοί μεταξύ των πάνελ πρέπει να είναι αρκετά ευρείς έτσι ώστε να επιτρέπεται η θερμική συστολοδιαστολή και η διαφορική κίνηση μεταξύ των πάνελ. Συνήθως οι περιοχές των ενώσεων σφραγίζονται με ειδική μόνωση για να αποτραπεί η διείσδυση του νερού μέσα στην κοιλότητα των τοίχων. [2]

Τα πλαίσια συστήματα αποτελούνται από προκατασκευασμένα υποστηλώματα και δοκούς (πρισματικής διατομής) από οπλισμένο σκυρόδεμα, από προκατασκευασμένες πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος και ενίοτε από προκατασκευασμένα τοιχώματα ή τοιχώματα από επί τόπου σκυρόδεμα. Εναλλακτικά, χρησιμοποιούνται, σε ορισμένες περιπτώσεις, προκατασκευασμένα-προσυναρμολογημένα τμήματα δοκών-υποστηλωμάτων. Σε γενικές γραμμές, όμως, προτιμώνται τα γραμμικά στοιχεία έναντι των δυσκολιών που παρουσιάζονται στην παραγωγή, μεταφορά και ανέγερση των προσυναρμολογημένων τμημάτων.

Τέλος, στην τρίτη τεχνολογία προκατασκευής, το σύστημα πλάκας-υποστηλώματος παραλαμβάνει τα κατακόρυφα φορτία βαρύτητας, ενώ τα πλευρικά φορτία παραλαμβάνονται από διατμητικούς τοίχους (κατασκευασμένους συνήθως από επί-τόπου σκυρόδεμα). Υπάρχουν δύο κύρια υποσυστήματα σε αυτή την κατηγορία:

- lift slab system with walls, δηλαδή η πλάκα τοποθετείται με γερανό ανύψωσης στο τελικό ύψος
- προεντεταμένο σύστημα πλάκας-υποστηλώματος. [3]

Η βασική διαφοροποίηση μεταξύ των παραδοσιακών μονολιθικών κατασκευών και κατασκευών από προκατασκευασμένα στοιχεία, έγκειται στο ότι οι κατασκευές από προκατασκευασμένα στοιχεία συντίθενται από προκατασκευασμένα μέλη, τα οποία παράγονται σε διαφορετικές θέσεις από αυτές στις οποίες τελικά εντάσσονται στο φέροντα οργανισμό των κατασκευών. Έτσι κάθε προκατασκευασμένο έργο αποτελείται από σύστημα στοιχείων και συνδέσεων. Υπό αυτές τις συνθήκες η συμπεριφορά ενός προκατασκευασμένου έργου υπό φορτία, εκ των πραγμάτων είναι συνδεδεμένη και με τη συμπεριφορά των ιδίων των συνδέσεων (από απόψεως αντοχών και παραμορφωσιμότητας). Περισσότερο έντονη, όμως, είναι η ιδιοτυπία αυτή των προκατασκευασμένων έργων ως προς τη συμπεριφορά τους, όταν πρόκειται περί σεισμικών δράσεων. Σε ότι αφορά τη συμπεριφορά των συνδέσεων μεταξύ προκατασκευασμένων τοιχωμάτων (οριζόντιοι και κατακόρυφοι αρμοί) διατίθεται σημαντική έρευνα (πειραματική και θεωρητική) υπό μονοτονική και ανακυκλιζόμενη φόρτιση τόσο στη διεθνή όσο και στην ελληνική έρευνα. Η ποικιλία, όμως, των συνδέσεων μεταξύ ραβδόμορφων προκατασκευασμένων στοιχείων αφενός, αλλά και η σχετικά φτώχη (διεθνώς) τεκμηρίωση της συμπεριφοράς τους αφετέρου, ιδίως σε ότι αφορά την αντοχή και την παραμορφωσιμότητα υπό διατμητική ένταση όταν υπόκεινται σε σύγχρονη δράση αξονικών και καμπτικών καταπονήσεων, απαιτούν προσεκτικό σχεδιασμό κυρίως υπό σεισμικές δράσεις. [1]

## **2.ΒΛΑΒΕΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΑΠΟ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

Οι βλάβες που παρατηρούνται σε κτίρια από προκατασκευασμένα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος προκαλούνται από φωτιά, σεισμό, υπερφόρτιση, επίδραση καθίζησης της θεμελίωσης και επίδραση χημικών ουσιών. Αυτά οδηγούν σε άμεση αποκόλληση, αποσύνθεση, ρηγμάτωση ή πλήρη αστοχία των προκατασκευασμένων στοιχείων και διάβρωση των οπλισμών των προκατασκευασμένων στοιχείων και των μεταλλικών στοιχείων των συνδέσεων. [4]

Οι συνήθεις τρόποι ενίσχυσης και επισκευής των προκατασκευασμένων στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος και των συνδέσεων τους είναι:

- χρήση πολυμερών: FRP (Fiber Reinforced Polymer) και CFRP (Carbon Reinforced Polymer) [5],[6]
- χρήση ενεμάτων: εποξειδική ρητίνη [7], [8]
- χρήση μεταλλικών πλακών [9]
- χρήση χημικών παρασκευασμάτων: integral crystalline Waterproofing[10], silicone[11] κ.α..

## **3.FIBER REINFORCED POLYMER (FRP) COMPOSITES ΚΑΙ CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP) COMPOSITES**

Τα συνθετικά FRP είναι λεπτά φύλλα που συνδέονται εξωτερικά με το μέλος χρησιμοποιώντας εποξειδικά adhesive. Τα FRP μπορούν να επικολληθούν σε δοκούς, πλάκες και πάνελ τοιχωμάτων-πατωμάτων για να αυξήσουν τη διατμητική αντοχή τους και να βελτιώσουν τη δυσκαμψία τους. Επίσης, μπορούν να τυλιχθούν γύρω από τα υποστυλώματα για να αυξήσουν τη φέρουσα ικανότητά τους και την ολκιμότητά τους σε σεισμικές δράσεις. Κατά την εφαρμογή τους, δίνεται ιδιαίτερη σημασία στον προσανατολισμό των ινών. Τα συστήματα FRP μπορεί να αποτελούνται από pre-cured ράβδους και πλάκες που συνδέονται στα μέλη χρησιμοποιώντας εποξειδικά adhesive. Τα στοιχεία αυτά είναι πιο κατάλληλα για τη βελτίωση της δυσκαμψίας υποστηλωμάτων, δοκών και πλακών. Ο τρόπος σύνδεσης των συστημάτων με τα προκατασκευασμένα μέλη είναι κρίσιμος προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη συνεργασία με το υπάρχον μέλος. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητη η κατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας για να εξασφαλιστεί επιτυχής εφαρμογή ενίσχυσης με τα συνθετικά FRP. [5], [6]

Περιορισμένη εφαρμογή και έρευνα σχετικά με τη σεισμική ενίσχυση κτιριακών συστημάτων με συνθετικά FRP έχουν δείξει ότι η ενίσχυση δεν αυξάνει σημαντικά τη δυσκαμψία και τις ιδιότητες δυναμικής συμπεριφοράς των κτιρίων. Το κύριο όφελος της ενίσχυσης με συνθετικά FRP είναι η αύξηση της παραμορφωσιμότητας των κτιρίων και της φέρουσας ικανότητας σε ένα βαθμό. [5]

Τα σύνθετα συστήματα FRP/CFRP επιλέγονται λόγω των παρακάτω πλεονεκτημάτων τους:

- υψηλή εφελκυστική αντοχή
- χαμηλό βάρος
- αντίσταση στη διάβρωση (περιβαλλοντική και χημική)
- εξαιρετική συμπεριφορά στην αστοχία
- χαμηλή αγωγιμότητα
- ταχύτητα κατασκευής
- ελάχιστη ή μηδαμινή χρήση βαρέως εξοπλισμού και εξοπλισμού ανύψωσης
- ευκολία εφαρμογής
- ελάχιστη αλλαγή στις διαστάσεις και το βάρος των υπαρχόντων στοιχείων
- δυνατότητα εφαρμογής σε τραχιές επιφάνειες και μη επίπεδα σχήματα

- διατήρηση της αισθητικής των κατασκευών
- χαμηλό κόστος κατασκευής. [6]

Παρόλα τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα, το υλικό των συνθετικών FRP έχει υψηλό κόστος και χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην εφαρμογή τους για να μην προκληθεί μείωση της διατμητικής αντοχής και να αποφευχθεί η αποκόλληση τους με τα μέλη.

Τα συνθετικά FRP/CFRP αστοχούν με τρεις τρόπους:

- αστοχία του σκυροδέματος, που είναι ο συνηθισμένος τρόπος αστοχίας, όταν η σύνδεση μεταξύ των υλικών είναι πολύ ισχυρή
- αστοχία του συνδετικού υλικού (π.χ. ρητίνη) και αποκόλληση των συνθετικών FRP/CFRP από το μέλος του σκυροδέματος
- αστοχία του ίδιου του μέσου ενίσχυσης.

Η αντοχή της διατμητικής σύνδεσης των συνθετικών FRP/CFRP μέχρι την αστοχία του σκυροδέματος εξαρτάται από το κατακόρυφο μήκος των FRP/CFRP, τον αριθμό των φύλλων των FRP/CFRP, την περιοχή της σύνδεσης, την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος, το αποτελεσματικό μήκος σύνδεσης των ινών του άνθρακα και την κατάσταση στην οποία βρίσκεται η επιφάνεια του σκυροδέματος. Ο δεύτερος τρόπος αστοχίας (αστοχία διατμητικού υλικού) μπορεί να αποφευχθεί αν η επιφάνεια του σκυροδέματος προετοιμαστεί κατάλληλα.

Τα βασικά βήματα εφαρμογής των συνθετικών αυτών είναι:

- καθορισμός της απαίτησης για δύναμη στη σύνδεση
- επιλογή συγκεκριμένου μήκους και περιοχής εφαρμογής του συνθετικού FRP/CFRP στη σύνδεση
- σχεδιασμός των διαστάσεων της σύνδεσης σύμφωνα με την επιτρεπτή αντοχή των συνθετικών FRP/CFRP και κατ' επέκταση, με βάση τις ιδιότητες του υλικού.



Σχήμα 1: Εφαρμογή: (α) του συνδετικού μέσου, (β) του φύλλου FRP στην περιοχή της σύνδεσης. [5]

Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι η μέθοδος επισκευής και ενίσχυσης με χρήση συνθετικών FRP/CFRP είναι περισσότερο αποτελεσματική όταν εφαρμόζονται τα παρακάτω:

- χρήση φύλλων σε σχήμα παραλληλογράμμου.
- προετοιμασία της επιφάνειας με high-pressure waterjet, προκειμένου να αφαιρεθεί η εξωτερική επιφάνεια του σκυροδέματος και να αποκαλυφθούν τα αδρανή έτσι ώστε να βελτιωθεί η μηχανική σύνδεση μεταξύ σκυροδέματος και εποξειδικής ρητίνης (Pantelides et al,2002).
- χρήση των συνθετικών FRP/CFRP με κλίση των ινών +45 και -45, γιατί όταν υπάρχει μεγάλη επιφάνεια σύνδεσης, υπάρχει και μεγαλύτερη πλευρική αντίσταση
- χρήση διπλών συνθετικών FRP/CFRP και στις δύο πλευρές του μέλους για μεγαλύτερη διατμητική αντίσταση

- έλεγχος πιθανής εφαρμογής pre-impregnated FRP composite αντί για dry lay-up FRP composite
- εφαρμογή εποξειδικών αγκυρωμένων μπουλονιών, τα οποία αγκυρώνονται ώστε να παραλάβουν το 70% της αντοχής τους. Έτσι το σκυρόδεμα προεντείνεται και αυξάνεται η συνεκτικότητά τους. Επιπλέον, τα άγκιστρα βοηθούν στην ανάληψη των εκτός επιπέδου δράσεων και επιβραδύνουν το άνοιγμα των ρωγμών κοντά στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Τα άγκιστρα αυτά έχουν εντυπωσιακή επίδραση στην αντοχή της σύνδεσης. [5]

#### **4.ΕΝΕΣΗ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΗΣ ΡΗΤΙΝΗΣ**

Ένα υλικό από τα εποξειδικά συστήματα που χρησιμοποιείται ιδιαίτερα για την επίλυση των προβλημάτων στις κατασκευές, σήμερα, είναι η εποξειδική ρητινένηση (epoxy injection resin). [7], [8], [12], [13]

Η αποκατάσταση του σκυροδέματος σε κατασκευές με εποξειδική ρητινένηση είναι συχνά η μόνη εναλλακτική λύση για την πλήρη αντικατάσταση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα σημαντική εξοικονόμηση χρημάτων. Η εποξειδική ρητινένηση προστατεύει τον οπλισμό (the rebar) και σταματάει τη διαρροή νερού. Είναι ένα σύστημα που κολλάει τις ρωγμές και πάλι μεταξύ τους. Αυτή η συγκόλληση ανακτά την αρχική αντοχή του σκυροδέματος και καθιστά δυνατή την ανάληψη των φορτίων για τα οποία έχει σχεδιαστεί. Με λίγα λόγια, κάνει το σκυρόδεμα σαν καινούργιο και δημιουργεί ανυπέρβλητη σφράγιση σε αέρα, νερό, χημικά, συντρίμια και άλλου είδους μόλυνση. [7]

Κατά βάση η εποξειδική ρητινένηση έχει δύο στόχους:

- αποτελεσματική σφράγιση των ρωγμών ώστε να αποφευχθεί η εισχώρηση υγρασίας, κάτι το οποίο θα ήταν καταστρεπτικό
- μονολιθική σύνδεση των μελών της κατασκευής. [7]

Το πιο αποτελεσματικό από τα παραπάνω είναι η σφράγιση καθώς προστατεύεται ο οπλισμός από τη φθορά. [7]

Σημείωση: Η εποξειδική ρητινένηση είναι τρόπος επισκευής και όχι τρόπος ενίσχυσης του μέλους. [7]

Για την επιτυχία τις μεθόδου είναι απαραίτητη κατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας (σχήμα 4). Υπάρχουν δύο αποτελεσματικά συστήματα για να δημιουργηθούν οι οπές για να γίνει η εποξειδική ρητινένηση:

- οπές ύστερα από τρύπημα
- επιφανειακές οπές. [7]

Είναι πολύ σημαντικό το τρύπημα όλων των οπών να γίνεται με vacuum attached swivel drill και hollow drill bits. Η σκόνη από το σκυρόδεμα μπορεί να είναι βλαβερή στην όλη διαδικασία της ένεσης με διάφορους τρόπους. Για παράδειγμα σκόνη που παραμένει στην τρύπα κοντά σε μια ρωγή μπορεί να συνδυαστεί με το πολύ χαμηλής viscosity ρητινένηση, σχηματίζοντας στρώμα μικρού πάχους. Αυτό το στρώμα μπορεί να επιβραδύνει ή ακόμα και να σταματήσει τη ροή της ρητίνης. Το κενό μεταξύ των οπών καθορίζεται από έναν πολύ έμπειρο τεχνίτη και το κενό αυτό επηρεάζει το μέγεθος της ρωγμής και το πάχος του τσιμεντένιου υποστρώματος. Το κενό αυτό είναι μεταξύ 4 in. – 8 in. Οι οπές θα πρέπει να ευθυγραμμίζονται απ' ευθείας πάνω στις ρωγμές έτσι ώστε να μπορεί η ρητίνη να ρεύσει μέσα στη ρωγή. Έπειτα, η επιφάνεια σφραγίζεται και η σφράγιση εξωτερικά των ρωγμών γίνεται με epoxy gel type bonder. Πριν την εφαρμογή θα πρέπει να ελεγχθούν οι ρωγμές που έχουν αναγνωρισθεί ως προβληματικές ή που έχουν σκόνη. Αυτός ο έλεγχος μπορεί να γίνει εκτοξεύοντας νερό στην περιοχή της ρωγμής. Το νερό που θα μείνει στις ρωγμές δεν θα επηρεάσει τη διαδικασία της ένεσης. Όταν υπάρχει ισχυρή εποξειδική ρητινένηση το νερό πιέζεται έξω από τις ρωγμές. Η εκτόξευση του νερού βοηθά στον καθαρισμό των ρηγματωμένων περιοχών. Το στάδιο του ξεπλύματος συνήθως παραλείπεται από τους

έμπειρους κατασκευαστές, οι οποίοι μπορούν να διακρίνουν εύκολα αν μπορεί η ρητίνη να ρεύσει μέσα στη ρωγμή. [7]

Γενικά, υπάρχουν οι εξής κατηγορίες της εποξειδικής ρητινένεσης:

- κατηγορίες (grade) 1,2,3 μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο πάνω μέρος των οριζόντιων επιφανειών
- κατηγορίες (grade) 2,3 μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τοίχους
- κατηγορίες (grade) 3 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε overhead επιφάνειες.

Για την εκτόξευση της εποξειδικής ρητινένεσης έχουν κατασκευαστεί ειδικά πιστόνια (σχήμα 5) από διάφορες εταιρίες και η επιλογή τους έγκειται στον κατασκευαστή. Για τις περισσότερες εφαρμογές η ελάχιστη πίεση του πιστονιού είναι 40 psi. Υπερβολικές πιέσεις μπορεί να δημιουργήσουν επιπλέον τάσεις στη ρωγμή, καταστροφή του ρηγματωμένου υποστρώματος ή περαιτέρω επιμήκυνση της ρωγμής. Εν αντιθέσει, οι χαμηλές πιέσεις επιτρέπουν τη σταδιακή ροή της ρητίνης μέσα στη ρωγμή και έτσι επιτυγχάνουμε βαθύτερη διείσδυση. Στις κατακόρυφες ρωγμές η εκτόξευση ξεκινάει από το χαμηλότερο σημείο και συνεχίζει προς το πάνω μέρος της ρωγμής. Κατά την εποξειδική ρητινένεση της χαμηλότερης οπής, η ρητίνη θα ρεύσει προς και έξω από την επόμενη ανώτερη οπή και τότε θα πρέπει να φράξουμε την πρώτη οπή για να προχωρήσουμε στην επόμενη. Έπειτα, η εποξειδική ρητινένεση συνεχίζει στις οπές όπως δείχνει η ροή της ρητίνης. Αυτή η διαδικασία συνεχίζει μέχρις ότου να γεμίσουν όλες οι οπές. Σημειώνεται ότι θα πρέπει τα συστήματα εποξειδικής ρητινένεσης να είναι πολύ χαμηλού ιξώδους (viscosity), για τις περισσότερες εφαρμογές έτσι ώστε η ρητίνη να τρέχει και στις πιο λεπτές ρωγμές. Η εποξειδική ρητινένεση μπορεί να ταξιδέψει αρκετά πόδια από το σημείο εκτόξευσης και μπορεί να χρειαστεί κάποιος χρόνος μέχρι να φτάσει στην επόμενη οπή ή να διεισδύσει μέσα από τους πόρους της επιφάνειας. Δείγματα από πυρήνες έχουν δείξει ότι η εποξειδική ρητινένεση γεμίζει αποτελεσματικά τις ρωγμές συμπεριλαμβανομένων των μικρών ρωγμών και τριχοειδών ρωγμών. [7]



Σχήμα 2: Πάτωμα γκαράζ επισκευασμένο με epoxy injection[8]



Σχήμα 3: Τοίχος επισκευασμένος με epoxy injection.[7]



Σχήμα 4: Λείανση της επιφάνειας. [8]



Σχήμα 5: Γέμισμα των ρωγμών με εποξειδική ρητίνη. [8]

#### 5.ΧΗΜΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ

Προκειμένου η επισκευή μιας ρωγμής να είναι πετυχημένη, θα πρέπει πρώτα να κατανοήσουμε τι προκάλεσε τη ρωγμή. Εφόσον γίνει αυτό, υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι που μπορούν να εφαρμοστούν και εξαρτώνται από το μέγεθος και την περιοχή της ρωγμής και τη χρήση της κατασκευής. Μία προτεινόμενη μέθοδος είναι η integral crystalline waterproofing (ICW). Το ICW έχει στοιχεία σκυροδέματος, είναι χημικά ενεργό, επισκευάζει μόνιμα ρωγμές στο σκυρόδεμα και σταματάει τις διαρροές. Όταν το ICW εφαρμοστεί σε υπάρχον σκυρόδεμα, τα κρυσταλλοποιημένα χημικά απορροφώνται στο σκυρόδεμα μέσω του τριχοειδούς φαινομένου και της διάχυσης. Μέσα στο σκυρόδεμα τα κρυσταλλοποιημένα χημικά αρχίζουν να σχηματίζουν εκατομμύρια μικροκρυστάλλους (στο μέγεθος μιας βελόνας) που απλώνονται και γεμίζουν τους πόρους, τα κενά και τις ρωγμές μεταξύ των σωματιδίων του σκυροδέματος. Όταν το σκυρόδεμα σφραγιστεί, τα ICW χημικά παραμένουν ανενεργά μέχρι να σχηματιστεί μια νέα ρωγμή εξαιτίας της καθίζησης ή σεισμικής δραστηριότητας. Η διείσδυση νερού μέσω ρωγμής ενεργοποιεί τα χημικά τα οποία δημιουργούν νέους μικροκρυστάλλους που σφραγίζουν τη ρωγμή και το διατηρούν στεγανό. Αυτή τους η ιδιότητα είναι από τα πλέον μοναδικά και χρήσιμα χαρακτηριστικά που μειώνουν το κόστος της επισκευής και ελαχιστοποιούν τη συντήρηση για σημαντικό χρονικό διάστημα. Τα βήματα εφαρμογής αυτού του τρόπου της επισκευής είναι:

- προετοιμασία των ρωγμών αφαιρώντας μια λεπτή φλούδα υλικού κατά μήκος της ρωγμής, καθαρίζοντάς την και υγραίνοντάς την (σχήμα 6)
- γέμισμα των ρωγμών με τσιμεντένια, υψηλής συγκέντρωσης κρυσταλλικά dry packs (σχήμα 7)
- επικάλυψη της περιοχής με μανδύες από ημιυδαρές μίγμα τσιμέντου (σχήμα 8). [10]



Σχήμα 6: Αφαίρεση λεπτής φλούδας υλικού κατά μήκος της ρωγμής. [10]



Σχήμα 7: Γέμισμα της ρωγμής με το ειδικό κονίαμα [10]



Σχήμα 8: Επικάλυψη της περιοχής με το ημιυδαρές μίγμα τσιμέντου.[10]

Πέραν των εξαιρετικών ιδιοτήτων ως προς την επισκευή των ρωγμών η τεχνολογία του ICW παρέχει επιπλέον πλεονεκτήματα στην επισκευή του υφιστάμενου σκυροδέματος:

- το ICW αποτελεί μόνιμη λύση για την επισκευή των ρωγμών. Δεν πρόκειται να ξεφλουδίσει, να σπάσει, να σχιστεί ή να φθαρεί ακόμα κι αν υποβληθεί σε σημαντική υδροστατική πίεση
- το ICW σύστημα έχει την ικανότητα να σταματάει τη διαρροή μέσα από τις μικρορωγμές για όλη τη ζωή του σκυροδέματος

Επίσης, το ICW μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επισκευή, ενίσχυση και προστασία υφιστάμενων κόμβων από οπλισμένο σκυρόδεμα, όταν τα συστήματα στεγανοποίησης από μπετονίτη και PVC καταστραφούν ή εκτοπιστούν κατά την κατασκευή και δεν υπάρχει τρόπος να εντοπιστεί η αστοχία μέχρι να εμφανιστεί η διαρροή. [10]

## **6.ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΒΛΑΒΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΤΩΝ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

Οι τυπικές βλάβες από την εισχώρηση νερού στις συνδέσεις εξωτερικών προκατασκευασμένων πάνελ από σκυρόδεμα έχει σαν αποτέλεσμα οι μεταλλικές συνδέσεις να σκουριάζουν και το σκυρόδεμα που περιβάλλει τις συνδέσεις να ξεφλουδίζεται. Κατά τη διάρκεια των επισκευών απαιτείται προσωρινή στήριξη των προκατασκευασμένων πάνελ. Η στήριξη μπορεί να γίνεται με απλά γωνιακά βιδωμένα στην πλάκα, με υποστήριξη μέσω μεταλλικού πλαισίου ή με άλλες πιο ειδικευμένες προσωρινές στηρίξεις [9].

Στο σχήμα 9 φαίνεται μια επισκευασμένη σύνδεση σε ένα πάνελ τοίχου προκατασκευασμένου μαπαλκονιού όπου απαιτείται ένα μεταλλικό γωνιακό βιδωμένο στην πλάκα και στο πίσω μέρος προκατασκευασμένων πάνελ για προσωρινή στήριξη [9].





Σχήμα 9: Επισκευασμένη σύνδεση τοίχου - πλάκας. [9]

Στο σχήμα 10 φαίνεται μια επισκευασμένη σύνδεση ενός πάνελ ενδεδυμένου σε ένα προκατασκευασμένο υποστήλωμα ή σε ένα μπαλκόνι όπου απαιτείται προσωρινή στήριξη με μεταλλικό πλαίσιο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το σκυρόδεμα της πλάκας στην περιοχή που είναι συνδεδεμένες οι μεταλλικές πλάκες, ξεφλουδίστηκε και οι μεταλλικές συνδέσεις που αποκαλύφθηκαν καθαρίστηκαν. Η αφαίρεση και αντικατάσταση της διαχωριστικής τοιχοποιίας ήταν απαραίτητη για να αποκαλυφθούν οι συνδέσεις.



Σχήμα 10: Επισκευασμένη σύνδεση κολώνας - πλάκας μπαλκονιού. [9]

Στις προκατασκευασμένες συνδέσεις, συνήθως αφήνεται ένα μικρό κενό για να επιτραπούν οι μετακινήσεις λόγω θερμικής συστολοδιαστολής του προκατασκευασμένου σκυροδέματος και λόγω του φορτίου ανέμου στα πάνελ και των κινητών φορτίων της πλάκας που προκαλούν διαφορετική μετακίνηση μεταξύ της πλάκας και του προκατασκευασμένου σκυροδέματος. Για τους λόγους αυτούς, θα πρέπει να διεξαχθεί ένας έλεγχος των προκατασκευασμένων στοιχείων για να καθοριστεί εάν το προκατασκευασμένο σκυρόδεμα έχει ρηγματωθεί στις συνδέσεις. Αυτό μπορεί να συμβεί σε πάνελ που είναι επιμήκη στην πλευρική διεύθυνση και έχουν ενδιάμεσες στηρίξεις στην κατασκευή, επιπρόσθετα των στηρίξεων στα άκρα των πάνελ.

Στο σχήμα 11 φαίνεται η ρωγμή του προκατασκευασμένου σκυροδέματος σε μια σύνδεση όπως το βλέπουμε από το εσωτερικό του κτιρίου. Η ρωγμή είναι κατακόρυφη υποδεικνύοντας ότι την προκάλεσε πλευρική μετακίνηση, πιθανότερα λόγω θερμικής διαστολής των προκατασκευασμένων πάνελ στην πλάγια διεύθυνση. Είναι δύσκολο να κατασκευαστεί μια πλήρως απαραμόρφωτη σύνδεση ώστε να αποφευχθεί ο σχηματισμός της ρωγμής που φαίνεται στο σχήμα.



Σχήμα 11: Κατακόρυφη ρωγμή σε σύνδεση. [9]

Στο σχήμα 12 φαίνεται ότι το watertesting της ίδιας ρωγμής αποκάλυψε ότι η ρωγμή αυτή διαρρέεται από νερό. Αυτό σημαίνει ότι είναι ρωγμή πλήρους βάθους και είναι πολύ πιθανό να διαρρεύσει κατά τη διάρκεια έντονης βροχόπτωσης.



Σχήμα 12: Η ίδια ρωγμή διαρρέει.[9]

Επειδή, λοιπόν, η ρωγμή διαρρέει το πιο πιθανό είναι να προκληθεί διάβρωση των εντοιχισμένων πλακών στο προκατασκευασμένο σκυροδέμα λόγω της εισχώρησης νερού, κι αν όχι τώρα, κάποια στιγμή στο μέλλον. Επομένως, ο σχεδιαστής θα πρέπει να σκεφτεί τρόπο επισκευής της κατασκευής και περιορισμού του νερού στην κατασκευή σε συνδυασμό με την αισθητική της επισκευής στην εξωτερική όψη του προκατασκευασμένου σκυροδέματος. [9]

## 7.ΦΩΤΙΑ

Η φωτιά σε προκατασκευασμένα πάνελ μπορεί να προκαλέσει μείωση της δυσκαμψίας, αύξηση της ακινησίας, ρηγματώση και αποκόλληση σκυροδέματος στην εξωτερική όψη των πάνελ. Ειδικά σε προκατασκευασμένα πάνελ νεαρής ηλικίας (2 – 3 μηνών), που διατηρούν την εσωτερική υγρασία σε σημαντικό βαθμό, όταν εκτεθούν στην ένταση και ταχύτητα της φωτιάς, η αποσάθρωση του σκυροδέματος είναι έντονη. Η αποσάθρωση της εξωτερικής όψεως, λόγω της φωτιάς, έχει σαν αποτέλεσμα απώλεια τμήματος των πάνελ.



Σχήμα 13: Πάρκινγκ αυτοκινήτων σε φωτιά. [14]



Σχήμα 14: Όψη πλευράς του γκαράζ όπου οι ζημιές ήταν σοβαρές και ορισμένα πάνελ χρειάστηκε να αντικατασταθούν. Σε αυτά τα κατεστραμμένα πάνελ πραγματοποιήθηκε έλεγχος σε μικρή κλίμακα.[14]



Σχήμα 15: Πάνελ τοίχου κατεστραμμένο από τη φωτιά. Η αποσάθρωση (spalling) του σκυροδέματος μέχρι βάθη 2-1/2 in. (6 cm) και πάνω, αποκαλύπτοντας τις ράβδους οπλισμού, είναι σύνηθης. [14]

Υπό αυτές τις συνθήκες, το πλάνο που προτείνεται για την επισκευή περιλαμβάνει την ανάγκη για προετοιμασία της επιφάνειας, αφαίρεση του οπλισμού στις περιοχές που έχουν

αποσαθρωθεί σε σημαντικό βαθμό και διαδικασίες για να επιτευχθεί επαρκώς σύνδεση του εκτοξευόμενου υλικού ενίσχυσης [14].

Συγκεκριμένα, λαμβάνονται λεπτοί πυρήνες (καταστρεπτική μέθοδος) από τις περιοχές που έχουν υποστεί βλάβες (σχήμα 16) κι έπειτα διεξάγεται ο έλεγχος προσδιορισμού του πορώδους με εισαγωγή υδραργύρου στα δείγματα σύμφωνα με την προδιαγραφή για τον καθορισμό της συμβολής της θερμοκρασίας στο στοιχείο. Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε αυτό το σημείο, καθώς η ακρίβεια της εκτίμησης καθορίζεται από τον αριθμό των δειγμάτων.[15] Συνδυαστικά με την λήψη πυρήνων εφαρμόζονται και μη καταστρεπτικές μέθοδοι, κυρίως παλμικές (IMPULSE-Response testing) (σχήμα 17), σχεδόν σε όλη την επιφάνεια των στοιχείων ώστε να έχουμε μία καλύτερη εικόνα της καταστροφής των κτιρίων/στοιχείων χρησιμοποιώντας μικρότερος αριθμός πυρήνων. [14]



Σχήμα 16: Εσωτερική όψη των πάνελ. Είναι ορατοί οι πυρήνες. Μέσω αυτής στάλθηκαν τα παλμικά σήματα. [14]



Σχήμα 17: Impulse-Response testing στην εσωτερική επιφάνεια των πάνελ. [14]

Στη συνέχεια, στόχος είναι η επανάκτηση της αρχικής αντοχής του σκυροδέματος που έχει καταστραφεί. Το βάθος της επισκευής και η αντοχή είναι αλληλεξαρτώμενα. Έτσι, αφού καθοριστεί το ένα από αυτά το άλλο θα προκύψει. Γενικά, υπάρχει μια θερμοκρασιακή διαβάθμιση στο στοιχείο σκυροδέματος που έχει καταστραφεί από τη φωτιά και ο βαθμός της βλάβης διαφέρει από το βάθος. Επομένως, η ανάγκη για συγκεκριμένη αντοχή του καινούργιου σκυροδέματος θα μειωθεί με την αύξηση του βάθους της επισκευής [15].

Το αμέσως επόμενο βήμα είναι η βελτίωση του κατεστραμμένου σκυροδέματος σε ανθεκτικότητα στο χρόνο. Ο έλεγχος αυτός, που στηρίζεται σε μέθοδο δύο βημάτων, θα διεξαχθεί στα δείγματα που ελήφθησαν από την επικάλυψη του στοιχείου που καταστράφηκε από τη φωτιά. Με τον έλεγχο αυτό θα καθοριστεί αν χρειάζεται να επισκευαστεί ή όχι το στοιχείο μας. Το αντικείμενο της επισκευής αυτής είναι να καθοριστεί η ανάγκη του βάθους ανθρακοποίησης κατά τη διάρκεια χρήσης της κατασκευής. Όπως προηγουμένως, η ανάγκη για συγκεκριμένη αντοχή του καινούργιου σκυροδέματος θα μειωθεί με την αύξηση του βάθους της επισκευής [15].

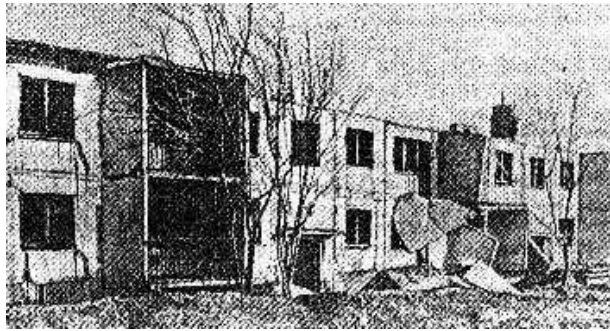
Τέλος, το βάθος επισκευής και η αντοχή του καινούργιου σκυροδέματος θα καθοριστούν όχι μόνο με βάση την ανάγκη επισκευής για αντοχή και λειτουργικότητα αλλά και με βάση την οικονομία. Προτείνεται μάλιστα, να βελτιώσουμε την αντοχή του καινούργιου σκυροδέματος και να βρούμε το βάθος της επισκευής. Πριν από την επισκευή, το στοιχείο θα πρέπει να το διατηρήσουμε υγρό για κάποιο χρονικό διάστημα έτσι ώστε να αναρρώσει και ο πυρήνας, όπου δεν υπάρχει δυνατότητα επέμβασης και συνεπώς δεν έχει επισκευαστεί. Ακολούθως, η επιφάνεια μέσα στα όρια του βάθους επισκευής θα αφαιρεθεί και θα αντικατασταθεί από το νέο σκυρόδεμα που έχουμε υπολογίσει. Κατά τη διαδικασία αυτή, εάν

το βάθος της επισκευής φτάνει τις ράβδους οπλισμού, η επιφάνεια των ράβδων θα πρέπει να προετοιμαστεί κατάλληλα με το καινούργιο σκυρόδεμα [15].

## 8.ΒΛΑΒΕΣ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ

Όπως προαναφέρθηκε, υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι προκατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ανάλογα με το που εντάσσεται κάθε κτίριο, εμφανίζονται διαφορετικές βλάβες από σεισμό και κατ' επέκταση, διαφορετικοί τρόποι ενίσχυσης.

Συγκεκριμένα στα τοιχωματικά συστήματα παρατηρούνται κυρίως ρωγμές στα πάνελ και στους αρμούς σύνδεσης μεταξύ των τοίχων (ειδικά στις γωνίες και τις διασταυρώσεις αυτών) και των πάνελ τοίχων και πατωμάτων και, σε ακραίες περιπτώσεις, κατάρρευση των εξωτερικών πάνελ [16], [17]. (σχήμα 18)



Σχήμα 18: Βλάβες και καταρρεύσεις κατά τον σεισμό του Gazly (1976). [16]

Οι πιο συνηθισμένοι τρόποι σεισμικής επισκευής και ενίσχυσης αυτών είναι:

- τοποθέτηση bushing keys από οπλισμένο σκυρόδεμα [16] [17]
- επίστρωση των επιφανειών των πάνελ με οπλισμένο gunite [16] [17]
- ενέσεις πολυμερών στις ρωγμές [16] [17].

Στα πλαίσιακά συστήματα εμφανίζονται ρωγμές έως και σοβαρές βλάβες στους κόμβους δοκών-υποστηλωμάτων, υποστηλωμάτων-τοίχων, δοκών-τοίχων και στις οριζόντιες συνδέσεις μεταξύ των πατωμάτων και των πατωμάτων με το πλαίσιο (που μπορούν να προκαλέσουν μέχρι και απώλεια της διαφραγματικής λειτουργίας) καθώς και ρωγμές στους τοίχους και στα επιμέρους στοιχεία [18] (σχήματα 19, 20, 21, 22).



Σχήμα 19: Βλάβη κόμβου δοκού – υποστηλώματος (1988 Spitak, Armenia Earthquake). [18]



Σχήμα 20: Βλάβη σε υποστήλωμα (1988 Spitak, Armenia Earthquake). [18]



Σχήμα 21: Κατάρρευση εξωτερικού τοίχου (1988 Spitak, Armenia Earthquake). [18]



Σχήμα 22: Βλάβες σε κτίριο (1988 Spitak, Armenia Earthquake). [18]

Οι πιο συνηθισμένοι τρόποι σεισμικής επισκευής και ενίσχυσης αυτών είναι:

- ενίσχυση των κόμβων δοκών – υποστηλωμάτων με μεταλλικές πλάκες (steel plates) [18] (σχήμα 23)
- ενίσχυση του πλαισίου (υποστήλωμα) μέσω εγκατάστασης πρόσθετων εξωτερικών μεταλλικών λωρίδων (steel tier-strap) [18] (σχήμα 24)
- χρησιμοποιώντας τις κλασικές μεθόδους ενίσχυσης και επισκευής που εφαρμόζονται στα πλαίσια από επί τόπου οπλισμένο σκυρόδεμα [19]
- χρήση οπλισμένου σκυροδέματος και μεταλλικών μανδύων [19]
- εφαρμογή μανδύων από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα [20].



Σχήμα 23: Ενίσχυση κόμβου δοκού – υποστηλώματος με μεταλλικές πλάκες (steel plates). [18]



Σχήμα 24: Ενίσχυση πλαισίου (υποστηλωμάτων) με μεταλλικές λωρίδες (steel ties-strap). [18]

Στα συστήματα πλάκας – υποστηλωμάτων, παρατηρούνται σημαντικές βλάβες στους κόμβους πλάκας – υποστηλώματος μέχρι και κατάρρευση της πλάκας όταν οι συνδέσεις δεν είναι επαρκώς σχεδιασμένες για να αναλάβουν τις σεισμικές δράσεις καθώς και μερική ή ολοκληρωτική βλάβη των τοίχων [21].

Ο συνηθέστερος τρόπος σεισμικής επισκευής και ενίσχυσης αυτού του συστήματος είναι η εφαρμογή προβόλων για την περαιτέρω στήριξη του κόμβου [21].

## 9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Σ.Γ.Τσουκαντάς (2003), “Σεισμικός Σχεδιασμός Προκατασκευασμένων Έργων”, Πρακτικά 14<sup>ου</sup> Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Κως, 15-17 Οκτωβρίου 2003.
- [2] Paul E.Gaudette, Wiss, Janney, Elstner Associates, Inc., “Precast Concrete Wall Systems”. [http://www.wbdg.org/design/env\\_wall\\_precast\\_concrete.php](http://www.wbdg.org/design/env_wall_precast_concrete.php)
- [3] Svetlana Brzev, Teresa Guevara-Perez, “PRECAST CONCRETE CONSTRUCTION”, pp.1-6. ([http://mitigation.eeri.org/files/precast\\_concrete.pdf](http://mitigation.eeri.org/files/precast_concrete.pdf))

- [4] Vision 2020 “A Vision For the Concrete Repair Protection and Strengthening Industry”, Draft 4.0 Oct. 11,2004, pp. 1-25. (<http://www.icri.org/GENERAL/Handout-Vision2020.pdf>)
- [5] Chris P. Pantelides, Vladimir A. Volnyy, Janos Gergely, Lawrence D. Reaveley, “Seismic Retrofit of Precast Concrete Panel Connections with Carbon Fiber Reinforced Polymer Composites”, PCI Journal, January-February 2003, Vol. 48, No. 1, pp.92-104.
- [6] “Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites”, <http://www.structural.net/strengthening/frp.html>
- [7] “Concrete Epoxy Injection”, <http://www.epoxy.com/injection.htm>
- [8] John F. Trout, “Repairing Large Delaminated Overlays with Epoxy Injection”, Concrete Repair Bulletin, March/April 2007, pp.18-21. ([www.icri.org/PUBLICATIONS/2007/PDFs/marapr07/CBRMarApr07\\_Trout.pdf](http://www.icri.org/PUBLICATIONS/2007/PDFs/marapr07/CBRMarApr07_Trout.pdf))
- [9] Mike Hoglund, “Precast Concrete Façade Investigation”, Concrete Repair Bulletin, July/August 2007, pp.24-25. ([www.icri.org/PUBLICATIONS/2007/PDFs/julyaug07/CBRJulyAug07\\_Hoglund.pdf](http://www.icri.org/PUBLICATIONS/2007/PDFs/julyaug07/CBRJulyAug07_Hoglund.pdf))
- [10] Leo Connell, “Another Approach to Crack Repair”, Concrete Repair Bulletin, July/August 2006, pp. 22-23. ([www.icri.org/PUBLICATIONS/2006/PDFs/julyaug06/CBRJulyAug06\\_Connell.pdf](http://www.icri.org/PUBLICATIONS/2006/PDFs/julyaug06/CBRJulyAug06_Connell.pdf))
- [11] Jason Bakus, “Precured Sealant in Renovation Applications”, Concrete Repair Bulletin, July/August 2006, pp. 19-21. ([www.icri.org/PUBLICATIONS/2006/PDFs/julyaug06/CBRJulyAug06\\_Bakus.pdf](http://www.icri.org/PUBLICATIONS/2006/PDFs/julyaug06/CBRJulyAug06_Bakus.pdf))
- [12] ICRI 1999 Project Award Winners, “Repair of Continuum Parking Garage”. (<http://www.icri.org/AWARDS/1999/continuumgarage.asp>)
- [13] PCI Committee on Precast Sandwich Wall Panels, “State-of-the art of Precast/Prestressed Sandwich Wall Panels Part 3”, PCI Journal, March-April 1997, Vol.42, No.2, p.131.
- [14] Malcolm K. Lim, George W. Seegebrecht, and Honggang Cao, “Nondestructive Testing Verifies Quality of Repair”, Concrete Repair Bulletin, May/June 2005, pp.12-14.
- [15] Xin Yan, Hui Li, and Yuk-Lung Wong, “Assessment and Repair of Fire-Damaged High-Strength Concrete: Strength and Durability”, Journal of Materials in Civil Engineering @ ASCE, June 2007, pp. 468-469.
- [16] Mark Klyachko, Igor Mortchikchin, Igor Nudga, “Large reinforced concrete panel buildings (Series 122, 135 and 1-464c)”, EERI Housing Report Russian Federation #55, 05-06-2002. (<http://www.world-housing.net/>)
- [17] Svetlana Uranova, Ulugbek T. Begaliev, “Prefabricated concrete panel buildings with monolithic panel joints”, EERI Housing Report Kyrgyzstan #38, 05-06-2002. (<http://www.world-housing.net/>)
- [18] Shamil Khakimov, Bakhtiar Nurtaev, “Precast reinforced concrete frame panel system of seria IIS-04”, EERI Housing Report Uzbekistan #66, 05-06-2002. (<http://www.world-housing.net/>)
- [19] Ulugbek T. Begaliev, Svetlana Uranova, V. Manukovskiy, “Precast reinforced concrete frame building with cruciform and linear-beam elements (Series 106)”, EERI Housing Report Kyrgyzstan #33, 06-05-2002. (<http://www.world-housing.net/>)
- [20] Svetlana Uranova, Ulugbek T. Begaliev, V. Manukovskiy, “Buildings with cast in-situ load-bearing reinforced concrete walls”, EERI Housing Report Kyrgyzstan #40, 05-06-2002. (<http://www.world-housing.net/>)
- [21] Svetlana Uranova, Ulugbek T. Begaliev, “Reinforced concrete frame buildings without beams (seria KUB)”, EERI Housing Report Kyrgyzstan #39, 05-06-2002. (<http://www.world-housing.net/>)