

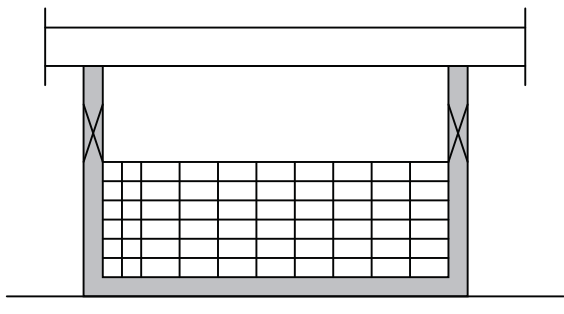
7 ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΠΛΗΡΩΣΕΩΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

7.1 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΕΩΝ-ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ.

Στην Ελλάδα δεν εφαρμόζονται με συστηματικό τρόπο προδιαγραφές τοιχοπληρώσεων, αλλά και των συνιστώντων στοιχείων (κονίαμα, πλίνθοι, τσιμεντόλιθοι). Οι πλίνθοι και οι τσιμεντόλιθοι είναι βιομηχανικό προϊόν και θεωρούνται ως δομικά στοιχεία οτι καλύπτουν τις ελάχιστες απαιτούμενες αντοχές. Είναι γνωστό ότι τόσο κατά την διάρκεια της κατασκευής, όσο και κατά την χρήση γίνονται εκτεταμένες μετατροπές των τοιχοπληρώσεων, κάτι που έχει δυσμενή επίπτωση σε περίπτωση σεισμικής καταπόνησης, εφόσον ο Μελετητής Μηχανικός έχει κάνει σωστή διάταξη των τοιχοπληρώσεων κατά την μελέτη του κτιρίου.

Η τοιχοποιία έχει γενικά ψαθυρό χαρακτήρα που εαν συνδυασθεί και με τον κυκλικό χαρακτήρα της σεισμικής καταπόνησης, τότε η αξιοπιστία της για συνυπολογισμό στην ανάλυση σεισμικών φορτίσεων είναι γενικά μειωμένη. Αυτό δεν σημαίνει ότι οι τοιχοποιίες πράγματι σε ισχυρούς σεισμούς δεν παίζουν καθοριστικό ρόλο, με το να συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στη διάσωση πολλών κατασκευών. Όταν μάλιστα εμφανιστούν αστοχίες στο φέροντα οργανισμό, τότε οι τοιχοποιίες ενεργούν ως δεύτερη γραμμή άμυνας για να μην καταρρεύσει το κτίριο. Βέβαια αυτό είναι χρήσιμο για ισχυρούς σεισμούς μικρής διάρκειας, επειδή οι περισσότεροι κύκλοι φόρτισης αποδιοργανώνουν την τοιχοποιία, λόγω του ψαθυρού της χαρακτήρα.

Ετσι τόσο ο Ελληνικός Αντισεισμικός κανονισμός (NEAK)-ΕΑΚ2000 όσο και οι διεθνείς κανονισμοί δεν λαμβάνουν υπόψη την τοιχοποιία στην ανάλυση σεισμικών δράσεων. Επιβάλλουν όμως να αντιμετωπισθούν οι ενδεχόμενες δυσμενείς επιδράσεις των τοιχοπληρώσεων στον φέροντα οργανισμό.

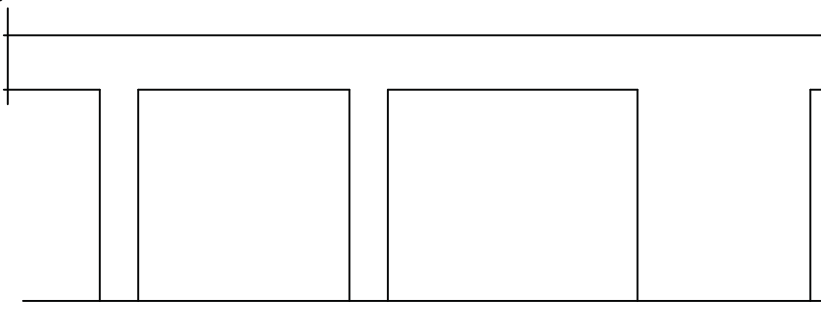


Σχ.7.1 Επικίνδυνη διακοπή τοιχοπλήρωσης καθ' ύψος.

Οι τοιχοπληρώσεις είναι δυνατόν να διαθέτουν πολύ μεγάλη αρχική διατμητική ακαμψία που μπορεί να μεταβάλλει ριζικά την κατανομή των οριζόντιων σεισμικών δυνάμεων, σε σχέση με εκείνη που προκύπτει απο θεωρήση γυμνού σκελετού, στα πρώτα στάδια της σεισμικής απόκρισης. Η κατανομή αυτή μπορεί να εκτιμηθεί με κάποιο βαθμό αξιοπιστίας, αλλά αυτό δεν οφείλει ιδιαίτερα, επειδή στο στάδιο αυτό η ανακουφιστική δράση της τοιχοπλήρωσης είναι έντονη, ώστε η καταπόνηση του σκελετού να είναι πολύ χαμηλή. Στα επόμενα στάδια απόκρισης σε μια ισχυρή σεισμική δράση, προκαλείται προοδευτική εξουδετέρωση της αντίστασης των έντονα καταπονουμένων στοιχείων της τοιχοπλήρωσης, που αρχίζει απο τα ασθενέστερα και μπορεί να επεκταθεί στο σύνολο των στοιχείων ενός ορόφου. Η διαγώνια μορφή αστοχίας της τοιχοπλήρωσης πλεονεκτεί έναντι οριζόντιας (Βλ. Σχετ. βιβλιογραφία).

Ετσι, προκαλούνται νέες μεταβολές της κατανομής των δυνάμεων, που είναι ιδιαίτερα έντονες στους ορόφους που υπόκεινται σε σημαντική διατμητική παραμόρφωση. Η φάση αυτή είναι η πιο επικίνδυνη, επειδή έχει μειωθεί σημαντικά η ανακουφιστική δράση των τοιχοπληρώσεων, ενώ μπορεί να προκαλείται έντονη παραμορφωτική επιρροή στην κατανομή των δυνάμεων. Συνέπεια της επιρροής αυτής των τοιχοπληρώσεων είναι η σημαντική αύξηση της αβεβαιότητας στην ελαστική και κυρίως στην μετελαστική συμπεριφορά του κτιρίου.

Μια απο τις δυσμενέστερες περιπτώσεις είναι εκείνη της αφαίρεσης των τοιχοπληρώσεων απο ένα μόνο όροφο, (συνήθως στο ισόγειο), στον οποίο και περιορίζεται (εντοπίζεται) στην συνέχεια η δημιουργία του ελαστοπλαστικού μηχανισμού του σκελετού, με συνέπεια την εμφάνιση μαλακού ορόφου. Στην περίπτωση αυτή, ο ικανοτικός υπολογισμός των υποστυλωμάτων (πρόβλεψη πλαστικών αρθρώσεων στις δοκούς), όπως προδιαγράφεται στο NEAK και EAK 2000 κεφ.4, δεν εξασφαλίζει επαρκώς την αποφυγή δημιουργίας μαλακού ορόφου.



Σχ.7.2 Απουσία τοιχοπληρώσεων απο το το ΙΣΟΓΕΙΟ.

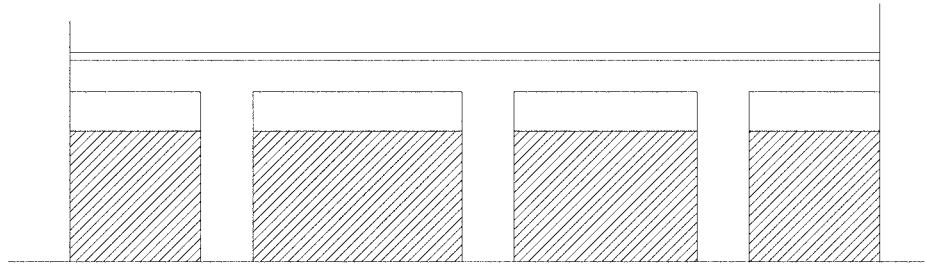
Η πιθανότητα εμφάνισης τέτοιων φαινομένων είναι ιδιαίτερα μεγάλη, όταν ο οργανισμός πλήρωσης έχει εκ σχεδιασμού (η είναι δυνατόν να αποκτήσει ύστερα απο μετατροπές) ασυνέχεια σε ένα όροφο (PILOTIS ή καταστήματα χωρίς τοιχοπληρώσεις στο ισόγειο). Η επιλογή μικτού συστήματος τοιχωμάτων και πλαισίων, σύμφωνα με το NEAK και EAK 2000 είναι σε αυτές τις περιπτώσεις το μοναδικό αξιόπιστο μέσο εξασφάλισης ικανοποιητικής μετελαστικής συμπεριφοράς.

Ο ρόλος που καλείται να «παίξει» η τοιχοποιία περιγράφεται και στο κεφ. 4 του NEAK, παρ.4.1.7.1, όπου αναφέρεται ότι: «Για την ελαχιστοποίηση των αβεβαιοτήτων στη μετελαστική αλληλεπίδραση του φέροντα οργανισμού με οργανισμό πλήρωσης που διαθέτει σημαντική ακαμψία, είναι σκόπιμη η επιλογή μικτού συστήματος πλαισίων και τοιχωμάτων σύμφωνα με το NEAK (κεφ. 4). Η επιλογή αυτή είναι υποχρεωτική σε κτίρια με 4 και πλέον ορόφους όταν ο οργανισμός πλήρωσης έχει εκ σχεδιασμού ή είναι δυνατό να αποκτήσει στο μέλλον, ασυνέχεια σε έναν όροφο (π.χ. Pilotis ή καταστήματα χωρίς τοιχοπληρώσεις στο ισόγειο).»

Στον όροφο που εμφανίζεται η ασυνέχεια και στις περιπτώσεις που επιτρέπεται να μην χρησιμοποιηθούν τοιχώματα η υπολογιστική σεισμική ένταση θα αυξάνεται κατά 50%. Επίσης ο κανονισμός συστήνει να υπάρχει συνεχής και κανονική (συμμετρική) κατανομή της μάζας και των τοιχοπληρώσεων κατά την διαμόρφωση τόσο καθ' ύψος όσο και κατά επιφάνεια ορόφου.

Ακόμη λόγω του ότι η διακοπή των τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος είναι δυνατό να προκαλέσει τη **δημιουργία κοντών υποστυλωμάτων**, τα οποία είναι πολύ δύσκολο να «επιβιώσουν» σε περίπτωση ισχυρού σεισμού, γι'αυτό ο αντισεισμικός κανονισμός συστήνει ότι πρέπει να

αποφεύγεται η διακοπή καθ' ύψος των τοιχοπληρώσεων σε φατνώματα μεταξύ υποστυλωμάτων κατά τρόπο που η διατμητική δράση των τοιχοπληρώσεων να δημιουργεί ενδιάμεση πλευρική αντιστήριξη του υποστυλώματος. Σε περίπτωση που για αρχιτεκτονικούς λόγους αυτό είναι απαραίτητο τότε το υποστυλώμα υπολογίζεται με σεισμική ροπή διπλάσια απο αυτή που προκύπτει απο τη ανάλυση ή τις ικανοτικές απαιτήσεις, καθώς επίσης και ο οπλισμός πρέπει να διατηρείται σταθερός στο ύψος του ορόφου και να γίνεται περίσφιξη του υποστυλώματος σε μήκη $2d$ εκατέρωθεν της διακοπής (d =πλάτος υποστυλώματος). Ο προηγούμενος αντισεισμικός κανονισμός του 1985 θεωρούσε ότι ο κανόνας όπλισης του κρίσιμου μήκους με πυκνούς συνδετήρες ($\alpha \leq 10 \text{ cm}$ για ζώνες II, III) πρέπει να εφαρμόζεται σε όλο το μήκος του υποστυλώματος, όταν «δημιουργείται» κοντό υποστυλώμα.



Σχ.7.3 Δημιουργία κοντών υποστυλωμάτων λόγω διακοπής της τοιχοποιίας καθ' ύψος.

Οι παραπάνω είναι μερικές απο τις διατάξεις που διατυπώνονται σε σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς για να μειώσουν τις δυσμενείς επιδράσεις της τοιχοποιίας πάνω στο πλαίσιακό σύστημα απλό ή μικτό. Εφόσον οι επιδράσεις αυτές μηδενισθούν τότε οι τοιχοποιία ως οργανισμός πλήρωσης θα συμβάλλει θετικά στην συνολική αντίσταση του κτιρίου σε ισχυρό σεισμό. Στην Ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία για σεισμικά συμβάντα αναφέρεται ότι, παρόλο που τα σεισμικά φορτία πολλές φορές υπερβαίνουν σημαντικά τους σεισμικούς συντελεστές των κανονισμών, όμως οι βλάβες των κατασκευών είναι σημαντικά μικρότερες απο αυτές που αναμενόταν. Αυτό κυρίως οφείλεται στην ευνοϊκή επίδραση των τοιχοποιών πλήρωσης του φέροντα οργανισμού, με τη σημαντική απόσβεση της κινητικής ενέργειας που επιτυγχάνεται.

7.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΗΣ ΣΤΗ ΜΟΡΦΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ (ΣΑΡΗΓΙΑΝΝΗΣ, Δ. 1989).

Είναι σήμερα κοινά αποδεκτό ότι τα στατικά και δυναμικά χαρακτηριστικά ενός πλαίσιακού φορέα αλλάζουν σημαντικά απο την ύπαρξη των τοιχοποιϊών πλήρωσης. Το γεγονός αυτό οδήγησε σε δυο λογικές σχεδιασμού των κατασκευών. Η πρώτη απαιτεί τον αποχωρισμό της τοιχοποιίας απο τον φέροντα οργανισμό ώστε η επίδραση των τοίχων στη συμπεριφορά της κατασκευής να είναι αμελητέα ενώ η δεύτερη θέλει την τοιχοποιία να έχει τέλεια σύνδεση με το φέροντα οργανισμό ώστε να μετέχει στην αντίσταση της κατασκευής στο σεισμό και να λαμβάνεται έμμεσα υποψη στο σχεδιασμό και στον υπολογισμό των κτιρίων. Η πρακτική απέδειξε ότι η δεύτερη λογική απέβει σωτήρια για πολλές περιπτώσεις ισχυρών σεισμών για τον περιορισμό των καταρρεύσεων. Η συμπεριφορά της τοιχοποιίας σε σεισμικά φορτία καθορίζεται απο πολλές παραμέτρους όπως η ανομοιογένεια, η ανισοτροπία των υλικών, οι διαφορετικές τοπικές συνθήκες κατασκευής, οι διαφορετικές πειραματικές διατάξεις κοκ.

Κατά κανόνα η ενίσχυση του τοίχου πλήρωσης είτε με αύξηση της αντοχής του είτε με αύξηση των γεωμετρικών του διαστάσεων, οδηγεί σε αύξηση της αντοχής των τοιχοπληρωμένων πλαισίων. Η αύξηση όμως της αντοχής των τοιχοπληρωμένων πλαισίων έχει σαν επακόλουθο την ανάπτυξη στους στύλους των πλαισίων υψηλών διατμητικών

τάσεων που είναι δυνατό να προκαλέσουν διατμητική αστοχία ψαθυρής μορφής. Τέτοιες μορφές αστοχίας είναι γενικά ανεπιθύμητες και πολύ περισσότερο για τα κατακόρυφα στοιχεία μιας κατασκευής. Η κατασκευή ισχυρού πλαισίου σε σχέση με τον τοίχο είναι λογικό να αποτρέπει τις προηγούμενες ανεπιθύμητες αστοχίες, δεν υπάρχουν όμως αρκετές εκφράσεις στη διεθνή βιβλιογραφία που να προσδιορίζουν ποσοτικά αυτή τη σχέση μεταξύ τοίχου και πλαισίου. Μερικές από αυτές τις εκφράσεις δίδονται στο Παράρτημα αυτής της ενότητας. Αποτελέσματα ερευνητικών εργασιών αποδεικνύουν (σχ. Βιβλιογραφία Σαρηγιάννης Δ. και Στυλιανίδης Βλ. Καλευράς) ότι:

- α) Η μορφή αστοχίας του τοίχου πλήρωσης επηρεάζει άμεσα τη μορφή αστοχίας των στύλων του πλαισίου.
- β) Η μορφή αστοχίας του τοίχου πλήρωσης εξαρτάται από την αντοχή του σε σύνθλιψη και σε διάτμηση καθώς και από τον λόγο των αρχικών ακαμψιών του τοίχου προς το πλαίσιο.
- γ) Γενικά πρέπει να επιδιώκεται η διαγώνια ρηγμάτωση του τοίχου, επειδή η αστοχία του τοίχου από ολίσθηση στο μέσο του ύψους του ή από σύνθλιψη στην περιοχή των κόμβων του πλαισίου, είναι πολύ πιθανό να οδηγήσει σε τελείως ανεπιθύμητες μορφές αστοχίας των στύλων.

Υπάρχει αναμφισβήτητη συνεισφορά των τοίχων πλήρωσης στην αύξηση της αντοχής και της ακαμψίας, οι οποίες είναι δυνατό να αυξηθούν πολύ περισσότερο με απλές μορφές ενίσχυσης της τοιχοποιίας, όπως π.χ. με οπλισμένο επίχρισμα. Αναμφισβήτητη είναι και η μείωση του δείκτη πλαστιμότητας λόγω των τοιχοπληρώσεων. Επομένως οι διάφορες μορφές τοιχοπλήρωσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν *ευρύτατα και στη διαδικασία της προσεισμικής ή μετασεισμικής ενίσχυσης* των κτιρίων με την επισήμανση όμως των εξής προϋποθέσεων:

1. Να υπολογίζεται η διαφοροποίηση της συμπεριφοράς των πλαισιακών κατασκευών από την παρουσία της τοιχοπλήρωσης. Επειδή μέχρι σήμερα δεν υπάρχει γενικά αποδεκτή μέθοδος που να περιγράφει τη συμπεριφορά των τοιχοπληρωμένων πλαισίων, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται απλοποιημένα μοντέλα.
2. Να υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ της μορφής αστοχίας του τοίχου πλήρωσης και της μορφής αστοχίας των στύλων του πλαισίου. Η αστοχία του τοίχου πλήρωσης από ολίσθηση στο μέσο του ύψους του ή από σύνθλιψη στην περιοχή των κόμβων του πλαισίου είναι πιθανόν να οδηγήσει σε διατμητική αστοχία των στύλων. Γι' αυτό πρέπει να επιδιώκεται η διαγώνια ρηγμάτωση του τοίχου. Αυτό επιτυγχάνεται με σχετικά ασθενή στοιχεία πλήρωσης και ταυτόχρονα ισχυρά και καλοσχεδιασμένα πλαίσια. Υπάρχει βιβλιογραφία με ποσοτικές σχέσεις για μηχανισμούς θραύσης και αντίστοιχες αναλυτικές σχέσεις.
3. Στην περίπτωση ισχυρών τοίχων πλήρωσης συνιστάται η κατασκευή επιμελημένης σύνδεσης του τοίχου με το πλαίσιο. Η σύνδεση τοίχου-πλαισίου αποτρέπει τοπικές αστοχίες του τοίχου, διατμητικές αστοχίες των στύλων και αυξάνει σημαντικά την πλαστιμότητα και την ικανότητα απόσβεσης ενέργειας.
4. Η επισκευή με ενέσεις κόλλας των ορατών ρωγμών των πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος που έπαθαν ζημιές από σεισμό αποκαθιστά με κάποια μικρή υστέρηση τα αρχικά χαρακτηριστικά των πλαισίων (αντοχή, ακαμψία, πλαστιμότητα, δυνατότητα απόσβεσης ενέργειας). Η υστέρηση αυτή πολύ εύκολα μπορεί να υπερκαλυφθεί με κατάλληλη τοιχοπλήρωση.
5. Να υπάρχει μία αξιοσημείωτη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας από τα τοιχοπληρωμένα πλαίσια που οφείλεται στη ρηγμάτωση των τοίχων και στην τριβή που αναπτύσσεται κατά το μήκος των ρηγμάτων καθώς και στην διεπιφάνεια τοίχου – πλαισίου.

6. Πρέπει να γίνεται κατάλληλος σχεδιασμός ώστε να αποφεύγεται ο κίνδυνος πρόωρης αστοχίας του πλαισίου.
7. Τοπική αστοχία μπορεί να εμφανιστεί στα μέλη του πλαισίου (ή κοντά στους κόμβους ή στα μέσα περίπου των στύλων) που οφείλεται στην αλληλεπίδραση τοίχου – πλαισίου .
8. Ο συνδυασμός εύκαμπτου πλαισίου με άκαμπτο αλλά χαμηλής ποιότητας τοίχο μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρη αστοχία. Η αστοχία των άοπλων τοίχων είναι συνήθως εκρηκτικού τύπου.

7.3 ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΥΠΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ (ΣΤΥΛΙΑΝΙΔΗΣ, Κ., 1985)

Λόγω της μεγάλης ποικιλίας των χρησιμοποιημένων διατάξεων και υλικών οι μορφές αστοχίας δεν είναι πάντα ίδιες. Σε γενικές γραμμές όταν δεν υπάρχει σύνδεση του στοιχείου πλήρωσης με το περιβάλλον πλαίσιο διακρίνονται τα παρακάτω στάδια παραμόρφωσης:

- α. Κάτω από πολύ μικρά οριζόντια φορτία, που συνακόλουθα προκαλούν πολύ μικρές μετατοπίσεις, το σύστημα συμπεριφέρεται σαν δίσκος. Το στάδιο αυτό είναι κατά κανόνα αμελητέο.
- β. Μόλις η οριζόντια δύναμη υπερβεί το παραπάνω όριο παρατηρείται αποκόλληση στην διεπιφάνεια στοιχείου πλήρωσης – πλαισίου εκτός από τις περιοχές όπου, εξ αιτίας της οριζόντιας φόρτισης, οι διαγώνιως απέναντι κόμβοι τείνουν να πλησιάσουν. Είναι φανερό ότι το στοιχείο πλήρωσης ενεργοποιείται υπό μορφή θλιβόμενης διαγωνίου μεταξύ των κόμβων αυτών. Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού αρχίζει η ρηγμάτωση του πλαισίου που συνεπάγεται διαδοχική μείωση ακαμψίας του συστήματος.
- γ. Το επόμενο στάδιο αρχίζει με τη ρηγμάτωση του στοιχείου πλήρωσης. Η ρηγμάτωση αυτή είναι είτε διαγώνια κατά τη διεύθυνση της θλιβόμενης διαγωνίου, είτε οριζόντια, είτε μεικτής μορφής. Η ύπαρξη οπλισμού στο στοιχείο πλήρωσης μειώνει το εύρος και κατανέμει καλύτερα τα ρήγματα. Η περίσφιξη επίσης του τοίχου από το περιβάλλον πλαίσιο προκαλεί το ίδιο αποτέλεσμα. Έτσι η παρουσία του οπλισμού στο στοιχείο πλήρωσης δεν είναι τόσο αισθητή όσο θα περίμενε κανείς έχοντας υπόψη τη μεγάλη διαφοροποίηση στη συμπεριφορά των οπλισμένων από τους άοπλους φέροντες τοίχους. Στο στάδιο αυτό η ρηγμάτωση του πλαισίου και η μείωση ακαμψίας συνεχίζονται.
- δ. Με την περαιτέρω επιβολή μετατόπισης τα ρήγματα του στοιχείου πλήρωσης διευρύνονται και πληθαίνουν ενώ στο πλαίσιο σχηματίζονται πλαστικές αρθρώσεις μέχρι σχηματισμού μηχανισμού κατάρρευσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι στο στάδιο αυτό δεν είναι δυνατόν να προκαθορισθεί με ακρίβεια αν η δύναμη που απαιτείται για να προκαλέσει αύξηση μετατόπισης μεγαλώνει ή μικραίνει. Αυτό συμβαίνει γιατί η διαδοχική αποδιοργάνωση του στοιχείου πλήρωσης συνεπάγεται μείωση της φέρουσας ικανότητας του ενώ το πλαίσιο, μέχρι να σχηματισθεί μηχανισμός κατάρρευσης είναι σε θέση να αυξάνει τη φέρουσα ικανότητα του. Γενικά όταν το πλαίσιο είναι ισχυρό σε σχέση με το στοιχείο πλήρωσης ο κλάδος του διαγράμματος δυνάμεων μετατοπίσεων είναι ανερχόμενος ενώ στην αντίθετη περίπτωση είναι κατερχόμενος.
- ε. Με την επιβολή ακόμη μεγαλύτερης μετατόπισης ο κλάδος του διαγράμματος δυνάμεων μετατοπίσεων καθίσταται κατερχόμενος καθώς το στοιχείο πλήρωσης αποδιοργανώνεται συνεχώς ενώ το πλαίσιο, με την προϋπόθεση ότι είναι προσχεδιασμένο για μεγάλες πλαστιμότητες και κατασκευασμένο με επιμέλεια, παραμορφώνεται υπό σταθερό σχεδόν φορτίο.

Όταν υπάρχουν ισχυροί σύνδεσμοι μεταξύ στοιχείου συμπλήρωσης και πλαισίου το σύστημα συμπεριφέρεται διαφορετικά. Ο αποχωρισμός που παρατηρήθηκε προηγουμένως δεν εμφανίζεται πάντα ενώ η ρηγμάτωση του στοιχείου πλήρωσης είναι γενικά εκτεταμένη, εκτός εάν πρόκειται για στοιχείο χάλυβα. Στην τελευταία περίπτωση συνήθως αστοχούν οι

σύνδεσμοι χωρίς όμως να αποκλείεται, ιδίως όταν οι σύνδεσμοι είναι πολύ ισχυροί, η αστοχία του πλαισίου στις περιοχές αλληλεπίδρασης συνδέσμων – πλαισίου.

7.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΛΗΡΩΣΗΣ ΣΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ (ΣΑΡΗΓΙΑΝΝΗΣ, Δ., 1989)

Η ύπαρξη της τοιχοπλήρωσης αλλάζει σημαντικά τα δυναμικά χαρακτηριστικά των γυμνών πλαισίων. Τα συμπεράσματα από πειραματικές και θεωρητικές αναλύσεις [17][29] σε πολυόροφα κυρίως και πολλών ανοιγμάτων πλαίσια είναι τα εξής:

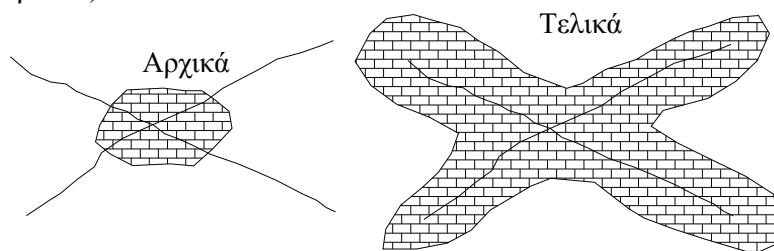
- α. Η προσθήκη τοίχων πλήρωσης, ενώ πολλαπλασιάζει την ακαμψία δεν προκαλεί και τη αντίστοιχη αύξηση στη μάζα της κατασκευής. Συγκεκριμένα σε 11όροφο κτίριο αποτελούμενο από 11 παράλληλα πλαίσια τριών ανοιγμάτων (συνεπώς χωρίς στροφή) [17], ενώ η μάζα αυξήθηκε κατά 10%, η αύξηση της ακαμψίας ήταν από $366 \div 994\%$ όταν τοιχοπληρώθηκαν και τα 11 πλαίσια και από $136 \div 353\%$ όταν τοιχοπληρώθηκαν μόνο τα 4.
- β. Στην ίδια κατασκευή η ιδιοπερίοδος μειώθηκε κατά 40% με την τοιχοπλήρωση των 4 από τα 11 πλαίσια.
Σημαντικό ρόλο στη μεταβολή της ιδιοπεριόδου έχει και η θέση των τοίχων πλήρωσης στην κατασκευή .
- γ. Η ιδιοπερίοδος του τοιχοπληρωμένου πλαισίου αυξάνεται με τη ρηγμάτωση του τοίχου κατά $2 \div 3$ φορές περισσότερο από την ιδιοπερίοδο που είχε η κατασκευή πριν από τη ρηγμάτωση .

7.5 ΑΠΛΗ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΤΟΙΧΩΝ

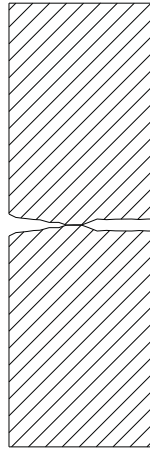
Πρόκειται για ρωγμές ανοίγματος λίγων χιλιοστών ($<10 \text{ mm}$). Η επισκευή απλών ρωγμών εξαρτάται από τη διατεθέμενη τεχνολογία και πείρα

Διαδοχικές φάσεις εργασίας :

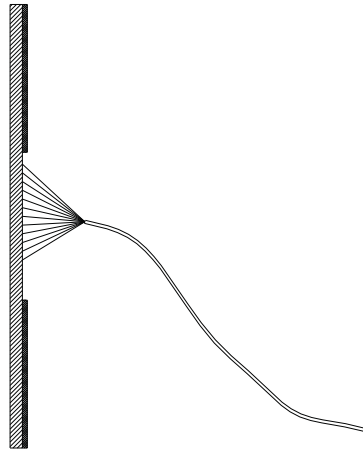
- A) Καθαίρεση επιχρίσματος σε μεγάλο πλάτος γύρω από τις ρωγμές (συνολικά 50 cm περίπου)



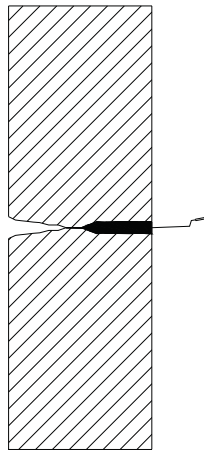
- B) Διεύρυνση των χειλίων των ρωγμών (τοπικό σπάσιμο πλίνθων)



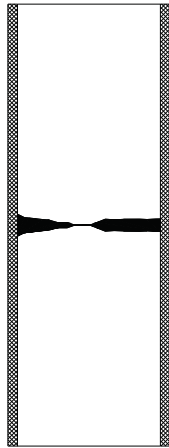
Γ) Πλύσιμο με νερό υπό πίεση (μάνικα ή στην ανάγκη τενεκέδες νερό με ορμή)



Δ) Εισαγωγή πλούσιου τσιμεντοκονιάματος (με ψιλό μυστρί) όσο γίνεται βαθύτερα μέσα στη ρωγμή



Ε) Εξωτερικό αρμολόγημα και τελικό επίχρισμα.



7.6 ΕΝΤΟΝΗ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΤΟΙΧΩΝ

Πρόκειται για ρωγμές μεγάλες και ανοιχτές. Στην περίπτωση αυτή επειδή δεν μπορεί να δοθεί εμπιστοσύνη στο υλικό πληρώσεως για την μεταφορά ορθών και ιδίως διατμητικών τάσεων, ακολουθείται η παραπάνω τεχνική με την προϋπόθεση βέβαια ότι συμφέρει σε σύγκριση με το ενδεχόμενο καθαιρέσεως και ανακατασκευής:

7.6.1 Α) Καθολική καθαίρεση επιχρίσματος

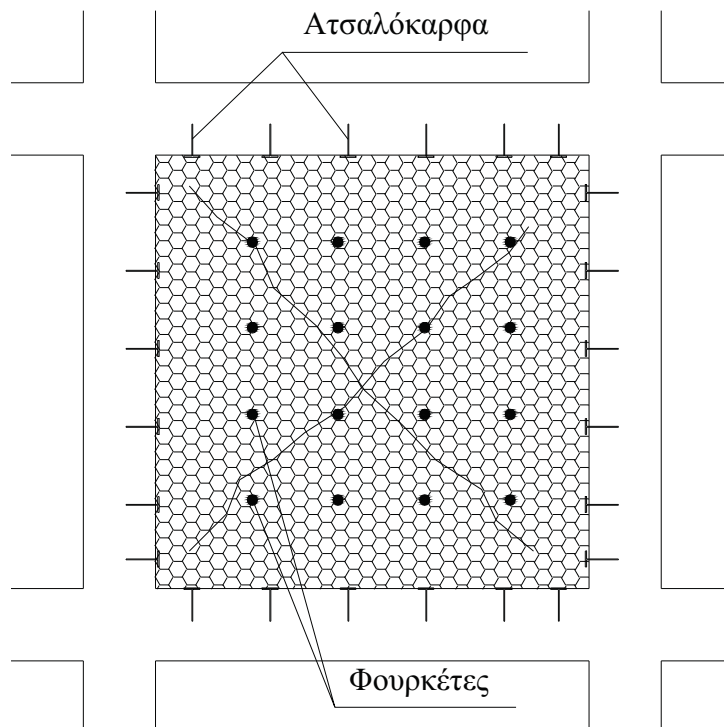
Β) Διευρύνση των χειλιών της ρωγμής (τοπικό σπάσιμο πλίνθων)

Γ) Πλύσιμο με νερό υπό πίεση (μάνικα ή στην ανάγκη τενεκέδες νερό με ορμή)

Δ) Εισαγωγή πλούσιου τσιμεντοκονιάματος (με ψιλό μυστρί) όσο γίνεται βαθύτερα μέσα στη ρωγμή

Ε) Τοποθέτηση κοτετσosύρματος πολύ τεντωμένου σε επαφή με τον τοίχο, το οποίο καρφώνεται πάνω στον σκελετό με ατσαλόκαρφα και πάνω στον τοίχο με φουρκέτες μπηγμένες στο κονίαμα των αρμών του και

ΣΤ) Κάλυψη του συνόλου με πηχτό πεταχτό τσιμεντοκονίασμα.



7.7 ΑΠΟΣΥΝΔΕΣΗ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΠΛΗΡΩΣΕΩΣ ΚΑΙ ΣΚΕΛΕΤΟΥ

Στην περίπτωση αποσυνδέσεως οργανισμού πληρώσεως και σκελετού (υποστυλωμάτων) η επισκευή εφόσον η απότμηση δεν επιβάλλεται για λόγους ανάγκης μείωσης της ακαμψίας του κτιρίου (ιδιοπερίοδος κτιρίου γειτονική προς μικρή δεσπόζουσα περίοδο σεισμού), γίνεται με την ακόλουθη τεχνική:

- A) Καθαίρεση επιχρίσματος σε μεγάλο πλάτος γύρω από τις αποτμήσεις (συνολικά 50 cm περίπου)
- B) Διευρύνση των χειλίων της ρωγμής (τοπικό σπάσιμο πλίνθων)
- Γ) Πλύσιμο με νερό υπό πίεση (μάνικα ή στην ανάγκη τενεκέδες νερό με ορμή)
- Δ) Εισαγωγή πλούσιου τσιμεντοκονιάματος (με ψιλό μυστρί) όσο γίνεται βαθύτερα μέσα στην απότμηση
- Ε) Τοποθέτηση κοτετσόσυρματος πολύ καλά τεντωμένου σε επαφή με τον τοίχο και το υποστήλωμα, το οποίο καρφώνεται πάνω στον σκελετό με ατσάλοκαρφα και πάνω στον τοίχο με φουρκέτες μπηγμένες στο κονίαμα των αρμών του και
- ΣΤ) Κάλυψη του συνόλου με πηχτό πεταχτό τσιμεντοκονίασμα.

Εναλλακτικά, αντί για κοτετσόσυρμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίπεδα και γωνιακά ελάσματα, τα οποία καρφώνονται πάνω στο υποστήλωμα και στον τοίχο . **Οπου δεν υπάρχουν αξιόπιστα σεισμολογικά στοιχεία** για να γίνει η αποσύνδεση οργανισμού πληρώσεως και σκελετού, τότε πρέπει να λαμβάνονται μέτρα ώστε ο οργανισμός πληρώσεως να επισκευασθεί όσο γίνεται πιο καλά «σφηνωτά» , μέσα στα ανοίγματα του σκελετού.

7.8 ΔΙΑΚΟΣΜΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ, ΥΛΙΚΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

7.8.1 Επενδύσεις

Σε περίπτωση επενδύσεων των κατακόρυφων στοιχείων ενός κτιρίου με πλάκες φυσικές ή τεχνητές ή σύνθετες κατά το πάχος τους (μάρμαρα, μαρμαρίνες, τσιμεντόπλακες κ.λ.π), πρέπει να γίνεται λεπτομερής έλεγχος κατά τεμάχιο πλάκας, για να διαπιστωθεί:

- Η αρτιότητα της πλάκας (θραύσεις, ρηγμάτωση)
- Η κατάσταση της συγκολλήσεως της, αν είναι στερεωμένη με συγκόλληση
- Η κατάσταση της αγκυρώσεως της, αν είναι στερεωμένη με αγκύρωση.

Αν οι βλάβες εκτείνονται σε επιφάνεια μεγαλύτερη από το 35% της ολικής επιφάνειας επενδύσεως ή σε αριθμό τεμαχίων μεγαλύτερο από το 50% του ολικού αριθμού, ανεξάρτητα από την επιφάνεια επιβάλλεται η καθολική αφαίρεση της επενδύσεως. Στην περίπτωση αυτή η ανακατασκευή της ή η αντικατάσταση της από το επίχρισμα θα αποφασιστεί σε συνάρτηση με τους παράγοντες που συντέλεσαν στη βλάβη της επενδύσεως.

Αν οι βλάβες εκτείνονται σε επιφάνεια ή σε αριθμό τεμαχίων μικρότερα από τα παραπάνω ποσοστά, επιτρέπεται η επισκευή της επενδύσεως.

A) Επισκευές σε επενδύσεις στερεωμένες με συγκόλληση:

- Αφαίρεση όλων των τεμαχίων που έχουν βλάβη
- Αφαίρεση του παλιού κονιάματος συνδέσεως ή κόλλας

- Αντικατάσταση των τεμαχίων με νέα χωρίς ελαττώματα, και στερέωση με νέο κονίαμα ή κόλλα
- Καθολική συστηματική αγκύρωση όλων των τεμαχίων, παλιών και νέων με βίδες ορειχάλκινες ή από ανοξείδωτο χάλυβα, μήκους τουλάχιστον τριπλασίου του πάχους της πλάκας συν το πάχος του κονιάματος (οποσδήποτε μεγαλύτερο από 10 cm). Η αγκύρωση θα γίνει έτσι ώστε να αντιστοιχούν 8 βίδες ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας ή τουλάχιστον 2 ανά τεμάχιο, ανεξαρτήτως επιφάνειας. Οι βίδες θα τοποθετηθούν σε τρύπες που θα ανοιχθούν με τρυπάνι, σε απόσταση τουλάχιστον 5 cm από οποιαδήποτε ακμή πλάκας. Μέσα στις τρύπες θα τοποθετηθούν εφαρμοστά ειδικές υποδοχές περισφίξεως (UPAT), αφού προηγουμένως γεμισθούν με κόλλα, εκτός αν χρησιμοποιηθούν υποδοχές UPAT με γόμωση κόλλας.

B) Επισκευές σε επενδύσεις στερεωμένες με αγκύρωση ή με συγκόλληση και αγκύρωση:

- Αφαίρεση όλων των τεμαχίων που έχουν βλάβη.
- Αφαίρεση των αγκυρώσεων και του παλιού κονιάματος συνδέσεως η κόλλας αν υπάρχει.
- Αντικατάσταση των παλιών τεμαχίων με νέα χωρίς ελαττώματα και στερέωση τους με κονίαμα ή κόλλα καθώς και με νέες αγκυρώσεις από ορείχαλκο ή ανοξείδωτο χάλυβα, σε θέσεις που απέχουν τουλάχιστον 5 cm από τις ακμές της πλάκας. Ο αριθμός των αγκυρώσεων πρέπει να είναι 8 βίδες ανά τετραγωνικό επιφανείας ή τουλάχιστον 2 ανά τεμάχιο, ανεξαρτήτως επιφανείας.

Γ) Ενίσχυση επενδύσεων

Μη βλαμμένες επενδύσεις ενισχύονται με αγκυρώσεις από ορείχαλκο ή ανοξείδωτο χάλυβα έτσι ώστε να αντιστοιχούν τελικά 4 βίδες ανά τετραγωνικό μέτρο επιφανείας ή 2 βίδες ανά τεμάχιο κατ'ελάχιστο.

7.8.2 Άλλα διακοσμητικά στοιχεία

Πριν από την επισκευή του οργανισμού πληρώσεως, πρέπει να ελέγχεται η σταθερότητα όλων των λοιπών διακοσμητικών στοιχείων για λόγους ασφαλείας του εργαζομένου προσωπικού. Σε περίπτωση διαπιστώσεως βλάβης, το διακοσμητικό στοιχείο πρέπει να καθαρίζεται ή τουλάχιστον να επισκευάζεται επιμελώς σύμφωνα με τους κανόνες της τεχνικής.

7.8.3 Εγκαταστάσεις

Σε περίπτωση αποκολλήσεως σωληνώσεων υδραυλικών ή ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, πρέπει κατά την επισκευή να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην καλή και ισχυρή αγκύρωση των σωληνώσεων στον οργανισμό πληρώσεως ή στον φέροντα οργανισμό σύμφωνα με τους κανόνες της τεχνικής.

7.8.4 Πατάρια κλπ

Ο μελετητής πρέπει να ελέγξει με επιμέλεια τις θέσεις στηρίξεως όλων των παταριών και λοιπών δευτερευουσών δομικών κατασκευών πάνω σε πλινθοδομές. Ανάλογος έλεγχος

πρέπει να γίνει και στην περίπτωση παταριών που έχουν στηριχθεί με ανάρτηση από σημεία του σκελετού. Σε κάθε περίπτωση η στήριξη των δευτερευουσών αυτών κατασκευών πρέπει να γίνει κανονικά.

7.9 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΤΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 7

ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΣΥΝΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ ΣΤΟ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΥΠΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ (Σαρηγιάννης, Δ., 1989)

Ενώ είναι κοινά αποδεκτό ότι η ύπαρξη των τοίχων πλήρωσης έχει καθοριστική συμβολή στη διαμόρφωση των δυναμικών χαρακτηριστικών της κατασκευής, δεν λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό του φέροντα οργανισμού από τους περισσότερους ίσως ισχύοντες Αντισεισμικούς Κανονισμούς. Το γεγονός αυτό οφείλεται, στη μη ύπαρξη ενός αξιόπιστου κοινά αποδεκτού μοντέλου συμπεριφοράς των τοιχοπληρωμένων πλαισίων, κυρίως σε εναλλασσόμενη φόρτιση. Η μεταφορά της συμπεριφοράς του συστήματος πλαίσιο σκυροδέματος – στοιχείο πλήρωσης σε αναλυτικό μοντέλο είναι εξαιρετικά δύσκολη. Οι κυριότεροι λόγοι της δυσκολίας αυτής είναι η αναξιοπιστία υλικών και μεθόδων σύνδεσης, ο σύνθετος χαρακτήρας των δυνάμεων στις περιοχές επαφής, η επίδραση της ολίσθησης και στροφής του στοιχείου πλήρωσης, η διαδικασία σχηματισμού ρηγμάτων στο στοιχείο και πλαστικών αρθρώσεων στο πλαίσιο.

Τα ευρύτερης αποδοχής μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί μέχρι τώρα είναι τα παρακάτω [18],.

- α. *Η μέθοδος της συνάρτησης τάσης*: Χρησιμοποιείται μια γενική συνάρτηση τάσης συνήθως με τη μορφή σειράς Fourier. Το σύστημα θεωρείται επίπεδο και ελαστικό. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για μονολιθικές κατασκευές και μικρές μετατοπίσεις.
- β. *Η μέθοδος της ισοδύναμης διαγωνίου*: Η δράση του στοιχείου πλήρωσης αντικαθίσταται με τη δράση μίας ισοδύναμης διαγωνίου [62], Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για τις συνηθισμένες περιπτώσεις στοιχείων πλήρωσης από τοιχοποιία ασύνδετη με το πλαίσιο. Θετικό χαρακτηριστικό της είναι η απλότητα εφαρμογής και η σχετικά χαμηλή απαίτηση σε υπολογιστικές δυνατότητες. Η χρήση της περιορίζεται βέβαια στην ελαστική περιοχή παρ'όλο που έχει γίνει προσπάθεια μεταφοράς της και σε μετελαστικές παραμορφώσεις με ικανοποιητικά αποτελέσματα [41], [42], [22]. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή και με βάση το συντελεστή

$$\lambda = \lambda_h h = h^4 \sqrt{\frac{E_w t \sin 2\theta}{4E_c I h'}} \quad (2.2.1)$$

υπολογίζεται το ισοδύναμο πλάτος w από κατάλληλο νομοδιάγραμμα. Για τον προσδιορισμό του ισοδύναμου πλάτους έχουν προταθεί και οι παρακάτω απλουστευμένες σχέσεις:

$$\text{Mainstone [41],[42]: } w = 0.175 d \lambda^{-0.4} \quad (2.2.2)$$

$$\text{Mainstone [69] : } w = 0.21 \cos \theta \quad (2.2.3)$$

$$\text{Τάσιος [69] : } w = 3k_t \frac{f_w t}{E_w} I \quad (2.2.4)$$

$$\text{όπου } k_t = \left(\frac{t_{cr}}{f_{wt}} \right) : \gamma_{cr} \cong 500 (50\%)$$

$$\text{Bazan –Meli} \quad [13], [69]: \quad w = 0.2h \sqrt{\frac{E_c A_c}{G_w A_w}} \quad (2.2.5)$$

$$\text{για} \quad 1 < \frac{E_c A_c}{G_w A_w} < 5 \quad (2.2.6)$$

Οι διαφορές που προκύπτουν στον προσδιορισμό της τιμής του ισοδύναμου πλάτους σύμφωνα με τις διάφορες σχέσεις είναι λιγότερο σημαντικές από την αβεβαιότητα προσδιορισμού των κυριοτέρων παραμέτρων που περιγράφουν την τοιχοποιία (μέτρο ελαστικότητας, αντοχές τοίχου, ποιότητα εργασίας, κ.λ.π.).

Η ένταση του τοιχοπληρωμένου πλαισίου μπορεί να υπολογιστεί προσθέτοντας στο μοντέλο του πλαισίου σκυροδέματος και την ισοδύναμη θλιβόμενη διαγώνιο. Δεδομένου όμως ότι η τελευταία δεν μπορεί να παρασταθεί με γραμμικό στοιχείο, μία που διαθέτει ορισμένο πλάτος, είναι σκόπιμο να ληφθεί η αλληλεπίδραση διαγωνίου – πλαισίου [61]. Από ανάλυση που έγινε με τις παραπάνω παραδοχές, χρησιμοποιώντας τις τιμές του ισοδύναμου πλάτους, για μονόροφο δίστυλο πλαίσιο προκύπτουν [65] τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η καμπτική ένταση των στύλων του τοιχοπληρωμένου πλαισίου μειώνεται ενώ αντίθετα η διατμητική αυξάνεται .
- Οι μετατοπίσεις του τοιχοπληρωμένου πλαισίου μειώνονται (:αύξηση ακαμψίας του συστήματος) .

Τα φαινόμενα αυτά είναι εντονότερα με την αύξηση του συντελεστή λ υποδηλώνει ισχυρότερο τοίχο. Το συμπέρασμα που βγαίνει από τα παραπάνω είναι ότι όσο ισχυρότερος είναι ο τοίχος σε σχέση με το πλαίσιο τόσο μεγαλώνει η πιθανότητα διατμητικού τύπου αστοχίας του πλαισίου, η ένταση όμως του οριζοντίου φορτίου που απαιτείται για να οδηγήσει σε αστοχία του συστήματος είναι πολλαπλάσια αυτής του γυμνού.

- γ. Η μέθοδος του ισοδύναμου πλαισίου: Στην περίπτωση ύπαρξης συνδέσμων μεταξύ πλαισίου – στοιχείου πλήρωσης η διατομή θεωρείται σύνθετη και το σύστημα μετατρέπεται σε ισοδύναμο πλαίσιο που αναλύεται με συμβατικές μεθόδους . Η μέθοδος αυτή οδηγεί σε αποδεκτά αποτελέσματα όταν υπάρχουν μεγάλα κανονικά ανοίγματα στο στοιχείο πλήρωσης.
- δ. Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων: Τόσο το στοιχείο πλήρωσης όσο και το πλαίσιο αναλύονται σαν πεπερασμένα στοιχεία, επίπεδα και γραμμικά αντίστοιχα. Οι κοινόι κόμβοι στα σημεία επαφής οφείλουν να έχουν τις ίδιες μετατοπίσεις όταν υπάρχουν σύνδεσμοι πλαισίου – στοιχείου πλήρωσης. Όταν αντίθετα τέτοιοι σύνδεσμοι δεν υπάρχουν τότε μπορεί να επιτρέπεται αποχωρισμός και ολίσθηση σύμφωνα με απλούς καταστατικούς νόμους.

Σε γενικές γραμμές το πλήθος των πεπερασμένων στοιχείων του στοιχείου πλήρωσης καθορίζει και τις δυνατότητες της μεθόδου. Όταν ο κάρναβος είναι πυκνός [45] τότε η ακρίβεια προσδιορισμού της έντασης τόσο του πλαισίου όσο και του στοιχείου πλήρωσης είναι ικανοποιητική ενώ η δυνατότητα της μεθόδου μικρή (ανάλυση π.χ. ενός μόνο μικρού πλαισίου και όχι όλων των πλαισίων μίας κατασκευής, δηλ. η μέθοδος είναι κατάλληλη περισσότερο για έρευνα παρά για ανάλυση κατασκευών). Αντίθετα όταν ο κάρναβος είναι αραιός (π.χ. ένα στοιχείο συμπλήρωσης αντιστοιχεί με ένα πεπερασμένο επιφανειακό στοιχείο) υπάρχει η δυνατότητα ανάλυσης κατασκευών αλλά η ένταση του συστήματος δεν προσδιορίζεται με ικανοποιητική ακρίβεια, [12]. Μπορούν πάντως να προσδιορισθούν ικανοποιητικά οι μετακινήσεις καθώς και οι περιοχές συγκέντρωσης έντασης.

Απαραίτητη προϋπόθεση επιτυχίας των διαφόρων μεθόδων πεπερασμένων στοιχείων είναι η επιλογή κατάλληλου μοντέλου τ-γ για την απεικόνιση της συμπεριφοράς του συγκεκριμένου συστήματος που μελετάται, πράγμα εξαιρετικά δύσκολο αφ' ενός επειδή τα πειραματικά

δεδομένα δεν καλύπτουν όλες τις περιπτώσεις στοιχείων πλήρωσης και αφ' ετέρου λόγω της διαφοροποίησης που επιβάλλεται σ' αυτό το περιβάλλον πλαίσιο.

Η μεταφορά της συμπεριφοράς του συστήματος πλαίσιο-στοιχείο πλήρωσης υπό εναλλασσόμενη φόρτιση είναι προφανώς ακόμη δυσκολότερη από την αντίστοιχη υπό μονότονη φόρτιση. Βέβαια έχουν γίνει πολλές προσπάθειες και τα αναλυτικά μοντέλα που έχουν προταθεί, εντάσσονται σε δύο κατηγορίες: *στα μοντέλα συνολικής συμπεριφοράς του συστήματος του τοιχοπληρωμένου πλαισίου και στα μοντέλα αλληλεπίδρασης του στοιχείου πλήρωσης και του πλαισίου* .

A : ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ.

1) **Wei L.et al.** [120] για άοπλη τοιχοποιία.

$$K_1 = \alpha_1 K_0 = \alpha_1 \frac{E_w A_w}{2.35h \left(\frac{1}{1-\gamma} + \frac{\bar{A}_w h_2}{7I_z} \right)}$$

$$K_2 = 0.25K_0$$

$$K_3 = 0$$

όπου

$$\alpha_1 = 0.55 + 0.15(1/h - 1)$$

$$\bar{A}_w = 1.1A_w = 1.1tl$$

I_z : μετασχηματισμένη ροπή αδράνειας της σύνθετης διατομής.

α : μήκος ανοίγματος πόρτας ή παραθύρου.

γ : $\alpha/1$: συντελεστής επιρροής ανοίγματος.

t, h, l : πάχος, ύψος μήκος αντίστοιχα τοίχου.

E_w : μέτρο ελαστικότητας τοίχου.

$$\text{Φορτίο ρηγμάτωσης : } H_{cr} = \tau_{cr} A_w \left(1 + \frac{2h_c}{1} \right)$$

$$\text{Φορτίο διαρροής : } H_y = \tau_{cr} \bar{A}_w + \frac{M_{ub} + \xi M_{uc}}{h}$$

$$\text{όπου: } \tau_{cr} = \tau_{cro} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{\tau_{cro}}}$$

$$\xi = 3.5 + 0.5 \left(\frac{1}{h} - 1 \right)$$

τ_{cro} : διατμητική αντοχή τοίχου.

Σ_0 : κατακόρυφη θλιπτική τάση τοίχου.

H_c : ύψος διατομής στύλου.

M_{ub} , M_{uc} : ροπές διαρροής δοκού, στύλου, αντίστοιχα με συνεκτίμηση του αξονικού φορτίου του στύλου.

2. **Xihui L. et al** [122], για άοπλη τοιχοποιία.

$$K_0 = \frac{\lambda G_w A_z}{\xi_1 h}$$

$$K_1 = \alpha K_0$$

$$K_2 = -\alpha K_0$$

$$\text{όπου} \quad \alpha = (24 - 3.9\sigma_0) / 1500, \sigma_0 \leq 6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda = \frac{1}{1 + \frac{G_w A_z h^2}{12 E_w I_z \xi_1}}$$

$$I_z = 2A_c n \frac{E_c}{E_w} \left(\frac{1}{2}\right)^2 + \frac{1}{12} t l^3$$

$$A_z = A_w (1+S)$$

$$S = n \cdot \frac{G_c}{G_w} \cdot \frac{2A_c}{A_w}$$

$$n = 0.26, \xi_1 = 1.2$$

G_c, G_w, E_c, E_w : μέτρα ολίσθησης και ελαστικότητας σκυροδέματος και τοίχου.

A_c, A_w : διατομές στύλου και τοίχου

t, h, l : πάχος, ύψος, μήκος τοίχου.

$$\text{Φορτίο ρηγμάτωσης : } H_{cr} = (1+S) \frac{\tau_{cr} A_w}{\xi_2} = \frac{\tau_{cr} A_z}{\xi_2}$$

$$\text{Οριακό φορτίο: } Hu = \beta_1 (\beta_2 \tau_{crd} + \mu \sigma_0) A_w + \beta_3 f_{sy} A_s$$

$$\text{όπου } \tau_{cr} = \tau_{cro} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{\tau_{cro}}}$$

τ_{cro} : διατμητική αντοχή τοίχου

A_s, A_{sy} : διατομή και όριο διαρροής οπλισμού στύλων

μ : συντελεστής τριβής τοίχου

σ_0 : κατακόρυφη θλιπτική τάση τοίχου

$$\beta_1 = 1 - 0.52\sigma_0, \beta_2 = 0.69, \beta_3 = 0.41, \xi_2 = 1.2$$

3. Zarnic R. –Tomazevic M. [126]

Προτείνεται μοντέλο της περιβάλλουσας των κύκλων υστέρησης, μονόροφων δίστυλων τοιχοπληρωμένων πλαισίων με σχέσεις για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών μεγεθών.

$$H_{cr} = A_w \frac{f_{t,w}}{b} \sqrt{\frac{\sigma_0}{f_{t,w}} + 1}$$

$$\text{Φορτίο θραύσης } H_u = H_{cr} + A_s f_y$$

$$\text{όπου : } \sigma_0 = \frac{3H_{cr} h_w}{2A_w I_w}$$

$$\text{Αρχική ακαμψία } K = \left(\frac{h^3}{3E_w I_e} + \frac{kI_w}{G_w A_e} \right)^{-1}$$

$$\text{Ακαμψία μετά τη ρηγμάτωση } K_{cr} = \frac{24E_c I_c}{h^3}$$

$$\text{όπου: } A_e = 2A_c \frac{G_c}{G_w} + A_w$$

A_w, A_c, A_s : η διατομή του τοίχου, του στύλου και του εγκάρσιου οπλισμού της διατομής αντίστοιχα.

A_e : Εγκάρσια διατομή του πλαισίου.

E_w, E_c, G_w, G_c : μέτρα ελαστικότητας και ολίσθησης του τοίχου και του σκυροδέματος αντίστοιχα.

I_e : ροπή αδράνειας του πλαισίου.

I_c : ροπή αδράνειας ενός στύλου.

$F_{t,w}$: εφελκυστική αντοχή του τοίχου.

F_y : τάση διαρροής του οπλισμού.

4. Tassios T.P. [109]

Για τον προσεγγιστικό προσδιορισμό της αντοχής του συστήματος πλαισίου-τοίχου έχει προταθεί η σχέση:

$$H_{u,m} = \beta_n (H_{u,0} + H_{u,w})$$

όπου:

$H_{u,m}$: η οριακή τέμνουσα του συστήματος.

$H_{u,0}$: η οριακή τέμνουσα του γυμνού πλαισίου.

$H_{u,w}$: η οριακή τέμνουσα του τοίχου χωρίς περίσφιγξη.

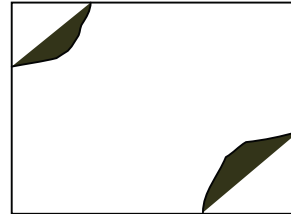
B_n : ψευδοσταθερά που εξαρτάται από τη σχετική ακαμψία πλαισίου-τοίχου πλήρωσης. Οι τιμές που έχουν προσδιοριστεί κυμαίνονται από 1,10 ÷ 1,40

Ο συνδυασμός ισχυρού πλαισίου ψαθυρό τοίχο ή ισχυρού τοίχου με μη πλάστιμο πλαίσιο, οδηγεί σε άθροιση μεγεθών που δεν αναπτύσσονται ταυτόχρονα οπότε δεν αποκλείονται και τιμές του β_n μικρότερες από τη μονάδα.

Ο ίδιος μελετητής για τις τρεις χαρακτηριστικές μορφές αστοχίας πρότεινε αντίστοιχες μαθηματικές εκφράσεις.

Για τη μορφή αστοχίας του διπλανού σχήματος:

$$H_u = \sqrt{2(M_{cs} + M_{cf}) \cdot f_{wc} \cdot f_w}$$



όπου:

H_u : Η οριακή τέμνουσα του συστήματος.

M_{cs} : Οριακή ροπή του στύλου, μειωμένη λόγω της διατμητικής αλληλεπίδρασης.

M_{cf} : Κανονική οριακή ροπή του στύλου.

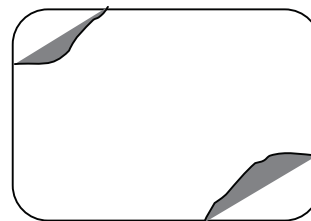
T_w : Το πάχος του τοίχου.

F_{cw} : Αντοχή σε θλίψη του τοίχου.

Θ : Η γωνία διαγωνίου με την οριζόντια .

Για τη μορφή αστοχίας του διπλανού σχήματος :

$$H_u = \frac{2}{\tan \theta} \sqrt{M_{bf} \cdot f_{wc} \cdot t_w}$$

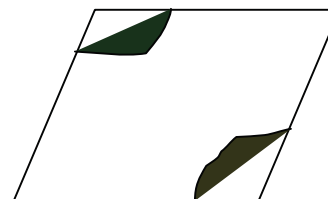


όπου:

M_{bf} : Η οριακή ροπή της δοκού.

Για τη μορφή αστοχίας του διπλανού σχήματος.

$$H_u = \frac{2(M_{j1} + M_{j2})}{h} + \frac{f_{wc} t_w h}{6}$$



όπου:

M_{j1}, M_{j2} : υποδηλώνουν τις οριακές ροπές του κόμβου στύλου-πλαισίου στο άνοιγμα και το κλείσιμο αντίστοιχα.

5) Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων:

Για την εφαρμογή της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων, τόσο το στοιχείο πλήρωσης όσο και το πλαίσιο, αναλύονται σαν πεπερασμένα στοιχεία επίπεδα και γραμμικά αντίστοιχα. Τέτοια μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων έχουν εφαρμόσει αρκετοί ερευνητές όπως οι:

Mallick and Severn [75], Mallick and Garg [77], Kost, Weaver and Barber [59], Tanaka, Kaneko and Mizutani [106], Axley and Bertero [13], Thiruvengadam V. [114], Dhanasekar M., Page A. [32].

B : ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΑ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ.

Από τη βιβλιογραφία φαίνεται ότι η συντριπτική πλειοψηφία των μελετητών, προσανατολίζεται στην αντικατάσταση της δράσης του στοιχείου πλήρωσης, με τη δράση μίας ισοδύναμης διαγωνίου. Χαρακτηριστικά αυτής της παραδοχής είναι η απλότητα εφαρμογής. Τα αποτελέσματα είναι πολύ ικανοποιητικά για την ελαστική περιοχή και γίνεται προσπάθεια μεταφοράς της εφαρμογής της και στην περιοχή των μετελαστικών παραμορφώσεων.

Βασικό στοιχείο αυτής της μεθόδου είναι ο προσδιορισμός του ισοδύναμου πλάτους w της διαγωνίου. Για το σκοπό αυτό έχουν προταθεί πολλές σχέσεις, μερικές από τις οποίες αναφέρονται στη συνέχεια.

Smith R.S. [94] : με βάση το συντελεστή $\lambda = \lambda_n h = h^4 \sqrt{\frac{E_w \cdot t \cdot \sin 2\theta}{4 \cdot E_c \cdot I \cdot h}}$

Klingner –Bertero [55][57][73] : $w = 0,175 d \lambda^{-0,4}$

Mainstone R. [73] : $w = 0,2 l \cos \theta$

Tassios T. [109] : $w = 3 K_t \frac{f_{wt}}{E_w} l$

όπου $K_t = \left(\frac{T_{cr}}{f_{wt}} \right) : \gamma_{cr} \cong 500 (\pm 50 \%)$

Bazan –Meli [16] : $w = 0,2 h^4 \sqrt{\frac{E_c A_c}{G_w A_w}}$ για $1 < \frac{E_c A_c}{G_w A_w} < 5$

Syrmakizis –Vratsanou [104] : $\frac{w}{h} = 0,64 \frac{l}{h} + 3,0 \left(\frac{d_c}{l} - 0,1 \right)$

όπου d_c το πλάτος του στύλου.

Οι διαφορές που προκύπτουν στον προσδιορισμό της τιμής του ισοδύναμου πλάτους, σύμφωνα με τις προηγούμενες σχέσεις, είναι λιγότερο σημαντικές από την αβεβαιότητα προσδιορισμού των παραμέτρων που περιγράφουν την τοιχοποιία (μέτρο ελαστικότητας, αντοχή σε σύνθλιψη και διάτμηση του τοίχου κ.λ.π.).

Η ένταση του τοιχοπληρωμένου πλαισίου, μπορεί να υπολογιστεί προσθέτοντας στο μοντέλο του πλαισίου, την ισοδύναμη θλιβόμενη διαγώνιο. Επειδή η τελευταία διαθέτει ένα ορισμένο πλάτος και δεν μπορεί να παρασταθεί σαν γραμμικό στοιχείο, είναι σκόπιμο να λαμβάνεται υπόψη η αλληλεπίδραση διαγωνίου πλαισίου.

Η αστοχία του τοίχου πλήρωσης επέρχεται, είτε λόγω υπέρβασης της θλιπτικής αντοχής της ισοδύναμης διαγωνίου, είτε λόγω ολίσθησης κατά μήκος αρμού. Ο προσδιορισμός των αντιστοίχων οριακών φορτίων μπορεί να γίνει ως εξής [112]:

α) θλιπτική αντοχή ισοδύναμης διαγωνίου: Η μέγιστη αξονική δύναμη που μπορεί να φέρει η θλιβόμενη διαγώνιος είναι:

$$H_u \cos \theta = f_{wc} w t_w$$

όπου:

H_u : η οριζόντια δύναμη που προκαλεί αστοχία στον τοίχο

w : το ισοδύναμο πλάτος

t_w : το πάχος του τοίχου

f_{wc} : η θλιπτική αντοχή του τοίχου πλήρωσης, μειωμένη λόγω του εγκάρσιου εφελκυσμού που εμφανίζεται ταυτόχρονα με τη σύνθλιψη της διαγωνίου (σχ.3.12). Για $\sigma_{wt} \cong 0,30\sigma_{wc}$ είναι:

$$f_{wc} = \left[1 : \left(1 + \frac{0,30}{\lambda} \right) \right] f_{wc} \quad (\lambda = f_{wt} : f_{wc})$$

β) Στην περίπτωση που η συνάφεια κονιάματος και τούβλων είναι μικρή, υπάρχει πιθανότητα να εμφανιστεί αστοχία στον τοίχο. Στην περίπτωση αυτή εμφανίζεται η πρόσθετη διατμητική δύναμη ΔV_{sd} , που με ορισμένες προϋποθέσεις μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρη διατμητική αστοχία του στύλου. Η μορφή αυτή αστοχίας πρέπει να αποφεύγεται.

Η οριζόντια δύναμη που αντιστοιχεί στην ολίσθηση του τοίχου δίνεται από τη σχέση:

$$H_u = c_{mb} l_w t_w$$

όπου:

c_{mb} : η αντοχή σε συνάφεια τούβλων – κονιάματος.

Klingner R.E. –Bertero V.V [55][57]

Το στοιχείο πλήρωσης αντικαθίσταται από ισοδύναμη διαγώνιο, που η συμπεριφορά της περιγράφεται, σε διάγραμμα δυνάμεων – παραμορφώσεων. Η περιβάλλουσα περιλαμβάνει τον ελαστικό κλάδο OA, τον κατερχόμενο κλάδο AB εκθετικής μορφής και τον κλάδο εφελκυσμού C'D'. Για άοπλη τοιχοποιία ισχύει ο κλάδος OE μηδενικής εφελκυστικής αντοχής.

Η αποφόρτιση περιλαμβάνει τους κλάδους E'O και BC'. Η μείωση της ακαμψίας με την αύξηση των κύκλων φόρτισης αποδίδεται με τη μετακίνηση του B πάνω στη περιβάλλουσα αντοχής.

Δουδούμης Ι.- Μητσοπούλου Ε. [37]

Το στοιχείο πλήρωσης και εδώ αντικαθίσταται από ισοδύναμη διαγώνιο που η συμπεριφορά της περιγράφεται στο ως εξής:

- Το πλαίσιο έρχεται σε επαφή με τον τοίχο .
- Ελαστικός κλάδος φόρτισης .
- Πρώτη διαρροή στο B (φορτίο διαρροής S_0). Το αξονικό φορτίο παραμένει σχεδόν σταθερό για κάποιο διάστημα.
- Βαθμιαία ρηγμάτωση.
- Αποφόρτιση.

- Ενώ το αξονικό φορτίο παραμένει μηδενικό, η παραμόρφωση μειώνεται μέχρι το Ο .
- Το αξονικό φορτίο παραμένει μηδενικό, ενώ αυξάνεται η θετική παραμόρφωση.
- Το αξονικό φορτίο παραμένει μηδενικό κατά την επαναφόρτιση μέχρι το σημείο Α.
- Κατά το δεύτερο κύκλο φόρτισης με δεδομένο το νέο φορτίο διαρροής $|S'_0| < |S_0|$, ακολουθούνται τα ίδια βήματα.

Βαλιάσης Θ. [15]

Αντοχή σε διάτμηση περισφιγμένου τοίχου : $t_u = 1,1\sqrt{f_{wc}} \text{ (kg / cm}^2\text{)}$

Προτεινόμενες σχέσεις:

$$K_w^1 = a \cdot 2,72 \cdot \frac{f_{wc}(80 + h/t)}{h}$$

$$\tau_u = b \cdot 1,1\sqrt{f_{wc}}$$

$$\delta_{cr} = c \cdot 0,29 \frac{h}{\sqrt{f_{wc}}(80 + h/t)}$$

$$\begin{aligned} \tau_{cr} / \tau_u &= 0,71 \\ \delta_{cr} / \delta_u &= 0,22 \end{aligned} \quad \text{ανεξάρτητα από παραμέτρους}$$

Δύο είναι τα βασικά μεγέθη του μοντέλου αυτού που μαζί με τη γνώση της περιβάλλουσας κάνουν δυνατή τη χάραξη των κύκλων υστέρησης του τοίχου πλήρωσης. Η τιμή της παραμέτρου ψ της σχέσης $\tau = \psi \tau_u$ (ευθεία ολίσθησης) και ο νόμος που δίνει την πτώση της διατμητικής τάσης ($\Delta\tau$). Η ολίσθηση (μ) και η διεύθυνση φόρτισης του κάθε κύκλου προσδιορίζονται σαν συνάρτηση της (ΔT). Βρέθηκε πως η τιμή της ψ εξαρτάται μόνο από την αξονική δύναμη των στύλων η δε ($\Delta\tau$) είναι συνάρτηση της μετατόπισης δ και πλήθους (n) κύκλων σε μία μετατόπιση.

7.10 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ACI 318-77: 'Building Code Requirements for Reinforced Concrete' ACI, Detroit, 1977.
2. ACI –ASCE Com. 326: 'Shear and Diagonal Tension' Proceedings, American Concrete Institute, Vol.59, 1962.
3. Alongi C. et al: 'Modelling of Brick Masonry', 7ECEE, Athens, 1982.
4. Αναγνωστόπουλος Σ.: "Πλαστιμότητα: Μία Βασική Ιδιότητα της Αντισεισμικής Κατασκευής με Πολλούς ορισμούς και Συχνές Παρερμηνείες". Σ.Π.Μ.Ε, Συνέδριο. Σεισμοί και Κατασκευές Αθήνα, Φεβρ. 1984.
5. ASCE-ACI Com. 426: 'The Shear Strength of Reinforced Concrete Members'
6. ASTM C 67: 'Standard Methods of Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile'.
7. ASTM C 270: 'Specification for Mortar for Unit Masonry'.
8. ASTM E 149: 'Standard Test Method for Bond Strength of Mortar to Masonry Units'.
9. ASTM E 447: 'Standard Test Methods for Compressive Strength of Masonry Prisms'.
10. ASTM E 519: 'Standard Test Methods for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages'.
11. A.T.C. 3 –06: 'Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings' NSF/USA, 1978.
12. Avramidou –Maio N. and Fei C.: 'An Investigation of Mechanical Behavior of Repaired R.C. Frames Under Severe Repeated Load' 7WCEE, Istanbul, 1980.
13. Axley J.M and Bertero V.V.: 'Infill Panels: Their Influence on Seismic Response of Buildings' EERC Report No 79-28, Sept. 1979.
14. Axley J.M.: 'Modelling the Stiffness Contribution of Infill Panels to Framed Structures by a Constrained Approach', 7WCEE, Istanbul, 1980.
15. Βαλιάσης Θ.: "Πειραματική Έρευνα της συμπεριφοράς Τοιχοπληρωμένων Πλαισίων Ο.Σ. σε Ανακυκλιζόμενη Οριζόντια Φόρτιση – Αναλυτικό Μοντέλο του Τοίχου Πλήρωσης " Διδακτορική Διατριβή Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ., 1989.
16. Bazan E.- Meli R.: 'Seismic Analysis of Structures With Masonry Walls' 7WCEE, Istanbul, 1980.
17. Bertero V.V. and Brokken S.: 'Infills in Seismic Resistant Building' Proceedings ASCE, STRD, June 1983.
18. Bertero V.V.: 'Seismic Performance of Reinforced Concrete Structures' Anales de la Academia Nacional de Ciencia Exactas, Fisicas Naturales, Buenos Aires, Argentina Vol.31, 1979.
19. Βιντζηλαίου Ε.: "Σεισμική Συμπεριφορά Τοιχοποιιών" Σεμινάριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας, Αθήνα, 1981.
20. Bonvalet Ch., Girard J., Ilantzis A., Wianecki J.: 'Influence des Remplissages dans les Batiments a Ossature Soumis aux Efforts Horizontaux dus au vent et aux Seismes', Annales del' ITBTP, Decembre, 1970.

21. Brokken S., Bertero V.V.: 'Studies on Effects of Infills in Seismic Resistant R.C. Costruction'. Report UCB/EERC-81/12, October 1981, University of California, Berkeley.
22. Castellani A. and Vitiello E.: 'Hollow Bricks in Bearing Walls: An Experimental and Theoretical Investigation', 7WCEE, Istanbul.
23. Causevic M.: 'Full-scale Forced Vibration Tests and Computer Analysis of the Seven Story Composite Reinforced Concrete and Clay Blocks Building Structure', 8EAEE, Lisbon, 1986.
24. CEB: 'Model Code for Seismic Design of Concrete Structures' Final Draft CEB B.I., No 160, Oct. 1983.
25. CEB: 'Seismic Design of Concrete Structures', Second Draft, CEB B.I. No 149, March 1982.
26. Chinwah J.G. 'Shear Strength of Brick –Mortar Couplets' 7ECEE, Athens, 1982.
27. Chuxian S.: "Analysis of the Strength for Compressive Members of Brick Masonry Under Eccentric Loads" CIB 3th International Symposium on Wall Structures, Warsaw, 1984.
28. Ciongradi C.: 'Estimation of Framework –Infill Wall Interaction for Multistorey Buildings Subjected to Code Seismic Loadings' 7WCEE, Istanbul, 1980.
29. Ciongradi I et al.: 'Theoretical and Experimental Study of Prestressed Concrete, Prefabricated, Multistoried Spatial Frame Model (1/3) Subjected to Seismic Actions, Considering the Influence of Non-structural Elements', 8EAEE, Lisbon, 1986.
30. Clough R.W.: 'Effect of Stiffness Degradation on Earthquake Ductility Requirements' Rep. No 66-16, Str. Eng. Lab Univ. of California, Oct 1966.
31. Dawson R.V. –Ward M.A.: 'Dynamic Response of Framed Structures With Infill Walls', 5WCEE, Rome 1972.
32. Dhanasekar M. –Page A.: 'The Influence of Brick Masonry Infill Properties on the Behaviour of Infilled Frames' Proc. Inst. Civ. 'Eng. Part. 2, 1986, Vol.81.
33. DIN 105: 'Mauerziegel. Vollziegel und Lochziegel'.
34. DIN 1053: Blatt 1: 'Mauerwerk. Berechnung und Ausführung'.
35. DIN 18554: 'Mauerwerk. Ermittlung der Tragfähigkeit von Wänden und Pfeilern'.
36. DIN 18555: 'Mortel aus Mineralischen Bindemitteln. Prüfung'.
37. Doudoumis I. –Mitsopoulou E.: 'Nonlinear Analysis of Multistorey Infilled Frames for Unilateral Contact Conditions', 8EAEE, Lisbon, 1986.
38. Drakopoulos J. and Makropoulos K.: 'Seismicity and Hazard Analysis Studies in the Area of Greece' Univ. of Athens Seimological Laboratory. Publ. No1, 1983.
39. Drysdale R.G. et al . 'Tensile Strength of Concrete Masonry', Proceedings ASCE, STRD, July 1979.
40. Focardi F. –Manzini E.: 'Diagonal Tension Tests on Reinforced and non-Reinforced Brick Panels' 8WCEE, San Francisco, 1984.
41. Focardi F. –Manzini E.: 'Cyclic and Monotonic Diagonal Tension Tests on Various Shape Reinforced and non-Reinforced Brick Walls' 8EAEE Lisbon, 1986.

42. Govindan P. et al.: 'Effect of Openings in Infilled Frames Subjected to Lateral Reversed Cyclic Load' 8EAAE, Lisbon, 1986.
43. Grimm C.T.: 'Strength and Related Properties of Brick Masonry' Proceedings ASCEE, STRD, Jan. 1975.
44. Hamid A.A. and Drysdale R.G.: 'Concrete Masonry Under Combined Shear and Compression Along the Mortar Joints', ACI Journal, Sep. - Oct. 1980.
45. Hamid A.A. et al.: 'Shear Strength of Concrete Masonry Joints' Proceedings ASCEE, STRD, July 1979.
46. Hayashi T. et al.: 'The Strengthening Methods of the Existing Reinforced Concrete Buildings' 7WCEE, Istanbul 1980.
47. Henry A.W.: 'The Shear Strength of Brickwork', Reinforced and Prestressed Masonry. Inst. Struct. Eng London, 1981.
48. Higashi Y. et al.: 'Experimental Study on Strengthening Reinforced Concrete Structure by Adding Shear Wall' 7WCEE Istanbul 1980.
49. Jingqian X. et al.: 'Experimental Study on Behaviour of Earthquake Resistance of Brick Masonry Under Cyclic Loading' 8 EAAE, Lisbon 1986.
50. Jolley R.: 'Shear Strength: A Predictive Technique for Masonry Walls' 1976.
51. Jurina L.: 'Pareti in Muratura Soggete ad Azioni Sismiche', Rivista 'Construire', n. 100, 1977.
52. Kahn L.F. and Hanson R.D.: 'Infilled Walls for Earthquake Strengthening' Proceedings ASCEE, STRD, Feb. 1979.
53. Καλευράς Βλ.: "Μαθήματα Οπλισμένου σκυροδέματος" Τομ. Ι, Ξάνθη 1981
54. Κάππος Α.: "Διερεύνηση της Ανελαστικής Σεισμικής Συμπεριφοράς Πολυόροφων Κτιρίων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα" Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ. 1986.
55. Klingner R.E. and Bertero V.V.: 'Infilled Frames in Earthquake Resistant Construction', Rep. No EERC 76-32 Dec. 1976, University of California, Berkeley.
56. Klingner R.E., Bertero V.V.: 'Infilled Frames in Aseismic Regions', Proc. of the 6th WCEE, New Delhi, India 1977.
57. Klingner R.E. and Bertero V.V.: 'Earthquake Resistance of Infilled Frames', Proceedings ASCE, STRD, June 1978.
58. Klingner R.E.: 'Discussion of paper by Kahn and Hanson', ASCE, STRD, Nov. 1979.
59. Kost E.G., Weaver W. and Russel R.: 'Nonlinear Dynamic Analysis of Frames With Filler Panels', ASCE, Structural Division Journal, Apr. 1974.
60. Lamar S., Fortoul C.: 'Brick Masonry Effect in Vibrations of Frames', Proc. 4WCEE, Vol. II.
61. Leonhardt F.: 'Reducing the Shear Reinforcement in Reinforced Concrete Beams and Slabs' Magazine of Concrete Research, Vol. 17, No 53, Dec. 1965.
62. Liauw T.C.: 'Elastic Behaviour of Infilled Frames' ICE, May / August 1970, Vol. 46.
63. Liauw T.C.: 'Stress Analysis for Panel of Infilled Frames', Building Science, Vol. 8, 1973.

64. Liauw T.C and Lee S.W.: 'On the Behaviour and the Analysis of Multistorey Infilled Frames Subjected to Lateral Loadind', Proc. ICE, Part 2, Vol. 63, Sept. 1977
65. Liauw T.C.: 'Tests on Multistorey Infilled Frames Subjected to Dynamic Lateral Loading', ACI Journal, Vol 76, No 4 April 1979.
66. Liauw T.C.: 'An Effective Structural System Against Earthquakes - Infilled Frames 7WCEE Istanbul 1980.
67. Liauw T.C.: 'Discussion to paper by Kahn and Hanson', ASCE Structural Division Journal, January 1980.
68. Liauw T.C., Kwan K.H.: 'Plastic Theory of Non-integral Infilled Frames Proc. Institution of Civil Engineers , Part 2, Vol. 75, Sept. 1983.
69. Liauw T.C Kwan K.H.: 'Plastic Theory of Infilled Frames with Finite Interface Shear Strength', Proc. Institution of Civil Engineers , Part 2, Vol. 75, Dec. 1983.
70. Liauw T.C Kwan K.H.: 'Cyclic Characteristics of Multistorey Infill Frames"CIB, Int. Symposium on Wall Structures, Warsaw, June 1984.
71. Liauw T.C and Lo C.Q.: 'Tests on Multibay and Multistorey Infilled Frames', Institution of Engineers, Australia Civ. Eng. Trans. 1985.
72. Liauw T.C, Tian Q.L., Cheung Y.K.: 'Dynamic Response of Infilled Frames Incorporating a Sliding Base Device"Proc. Inst. Civ. Eng. Part. 2, 1986, Vol. 81.
73. Mainstone R.J.: 'On the Stiffnesses and Strengths of Infilled Frames"Current Paper CP 2/72, Building Research Station, Febr. 1972, Reprinted from Proc. ICE , 1971 Suppl. (iv).
74. Makino M. et al.: "An investigation for the Design of Framed Structures with Infill Walls", 7WCEE, Istanbul 1980.
75. Mallick D.V. and Severn R.T.: 'The Behaviour of Infilled Frames under Static Loading", Proc. ICE, Sept./Dec. 1967, Vol.39.
76. Mallick D.V. and Severn R.T.: 'Dynamic Characteristics of Infilled Frames", Proc. ICE Jan./Apr. 1968, Vol.39.
77. Mallick D.V. and Garg. R.P.: 'Effects of Openings, on the Lateral Stiffness of Infilled Frames", Proc. ICE, 1971 Vol.49, Paper No 7371.
78. Mallick D.V.: 'Infilled Frame Construction in Seismic Regions", 7WCEE, Istanbul 1980.
79. Meli R.: 'Behaviour of Masonry Walls Under Lateral Loads", 5WCEE, Rome, 1972.
80. Meli R.: 'Comportamiento Sismico de Muros de Mamposteria"Universidad Nacional de Mexico, 2nda Edition, 1979.

Παράρτημα

Υλικά και Τεχνολογίες Επεμβάσεων

Το παράρτημα είναι απόσπασμα από το βιβλίου του κ. Δρίτσου Στέφανου, Αναπλ. Καθηγητή Παν. Πατρών, τον οποίο και ευχαριστούμε.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

1 ΓΕΝΙΚΑ

Η επιλογή της κατάλληλης λύσης για την επισκευή ή την ενίσχυση μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα, προϋποθέτει ότι ο Μηχανικός γνωρίζει καλά τα υλικά και τις τεχνικές που διατίθενται για τέτοιου είδους επεμβάσεις.

Στην πραγματικότητα, ο Μηχανικός της πράξης που δεν έχει ασχοληθεί με θέματα επεμβάσεων, θα αντιμετωπίσει το θέμα με δυσκολία, επειδή τα παραδοσιακά υλικά της οικοδομής (σκυρόδεμα και χάλυβας), είναι από μόνα τους ανεπαρκή να δώσουν την λύση, έστω και αν εξακολουθούν να παίζουν πρωτεύοντα ρόλο στην διαδικασία.

Συχνά απαιτείται να χρησιμοποιηθούν νέα υλικά και νέες τεχνολογίες σε συνδυασμό με τροποποιημένα παραδοσιακά υλικά. Επειδή συχνά τα παραπάνω υλικά και τεχνολογίες εφαρμόζονται κάτω από ειδικές συνθήκες, χρειάζεται να διασφαλιστεί ένα σύστημα ποιοτικού ελέγχου σε επίπεδο σημαντικά υψηλότερο από αυτό που εφαρμόζεται στις νέες κατασκευές.

Επιπλέον θα πρέπει να αντιμετωπιστούν νέα κρίσιμα θέματα που ανακύπτουν, όπως αυτό της διασφάλισης της συνεργασίας των παλαιών και νέων υλικών .

Στο Κεφάλαιο αυτό γίνεται μία σύντομη αναφορά στα διάφορα υλικά και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται συχνότερα στις επεμβάσεις των κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος. Τα θέματα που παρουσιάζονται είναι τα εξής:

- Ειδικοί τύποι Σκυροδέματος.
- Πολυμερικές κόλλες.
- Επισκευαστικά κονιάματα.
- Επικολητά φύλλα από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή (FRP_s).
- Διατμητικοί σύνδεσμοι-Αγκύρια.
- Αγκυρώσεις και συγκολλήσεις νέων ράβδων οπλισμού.

Θέματα όπως το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, οι ενέσεις κόλλας, οι μεταλλικοί σύνδεσμοι και τα ινοπλισμένα πολυμερή (FRP_s) που κρίνονται σημαντικά, σε σχέση με τον τρόπο που εφαρμόζεται σήμερα η τεχνολογία των επεμβάσεων στον Ελληνικό χώρο, αναπτύσσονται εκτενέστερα.

2 ΕΙΔΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Ειδικοί τύποι σκυροδέματος, χρησιμοποιούνται στην Τεχνολογία των Επεμβάσεων για να αντιμετωπιστούν μειονεκτήματα του συμβατικού έγχυτου σκυροδέματος όπως η συστολή ξήρανσης και η μειωμένη συνάφεια του με το παλαιό σκυρόδεμα.

Τα μειονεκτήματα αυτά, σε αντίθεση με ότι ισχύει για τις νέες κατασκευές, αποτελούν συχνά κρίσιμους παράγοντες για την επιτυχία των επεμβάσεων και η αντιμετώπισή τους απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Επιπλέον συχνά απαιτείται αυξημένη αντοχή του νέου σκυροδέματος, για να μειωθεί το μέγεθος της αισθητικής παρέμβασης.

Στην συνέχεια αναπτύσσονται τέσσερις ειδικοί τύποι σκυροδέματος που χρησιμοποιούνται στις επεμβάσεις: Το έγχυτο σκυρόδεμα σταθερού όγκου, το πολυμερικό σκυρόδεμα, το σκυροτσιμεντόπηγμα και τέλος το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που αποτελεί την πλέον δημοφιλή επιλογή στον Ελληνικό χώρο, και μερικές φορές χρησιμοποιείται με προσθήκη ινών.

2.1 ΕΓΧΥΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΟΓΚΟΥ

Το έγχυτο σκυρόδεμα σταθερού όγκου παράγεται με χρήση είτε διογκούμενου τσιμέντου είτε συνηθέστερα με προσθήκη ειδικών πρόσθετων που προκαλούν σταδιακή αύξηση του όγκου του σκυροδέματος εξουδετερώνοντας έτσι την συστολή ξήρανσης. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να εφαρμόζονται πιστά οι οδηγίες του προμηθευτή του διογκούμενου τσιμέντου ή των πρόσθετων. Ο λόγος νερού προς τσιμέντο N/T κυμαίνεται συνήθως από 0,50 έως 0,60 και οι αντοχές που επιτυγχάνονται είναι σχετικώς υψηλότερες από αυτές του συμβατικού έγχυτου σκυροδέματος για τον ίδιο λόγο N/T.

Από πρακτική άποψη, τα βασικά πλεονεκτήματα του έγχυτου σκυροδέματος σταθερού όγκου είναι η παρεμπόδιση της ρηγμάτωσης τόσο στην επιφάνεια του όσο και στις θέσεις επαφής με τα υφιστάμενα στοιχεία σκυροδέματος. Πλεονεκτεί ως εκ τούτου, ως προς το συμβατικό σκυρόδεμα επειδή εξασφαλίζει καλύτερη πρόσφυση σε παλαιό σκυρόδεμα. Εξάλλου ως πρόσθετο θετικό χαρακτηριστικό του μπορεί να καταγραφεί η αυξημένη αντοχή του σε επιφανειακή φθορά και σε δράση χημικών [17].

2.2 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕ ΠΟΛΥΜΕΡΗ

Τα σκυροδέματα με πολυμερή παράγονται είτε με αντικατάσταση του τσιμέντου με πολυμερές (χρησιμοποιώντας πολυεστερικές ή κόλλες), είτε με μερική αντικατάσταση του νερού με υδατοδιαλυτό πολυμερές (latex), είτε εμποτίζοντας σκληρυμένο συμβατικό σκυρόδεμα με μονομερές που στην συνέχεια πολυμερίζεται.

Αυτός ο τύπος του σκυροδέματος έχει υψηλό κόστος παρασκευής. Όμως χαρακτηρίζεται από ένα πλήθος πλεονεκτημάτων ιδιαίτερα σημαντικών στην τεχνολογία των επεμβάσεων.

Εδώ επισημαίνονται τα εξής:

- α) Οι επιτυγχανόμενες αντοχές σε θλίψη μπορεί να φθάσουν μέχρι και το τετραπλάσιο των αντοχών των αντίστοιχων συμβατικών σκυροδεμάτων, ενώ η αντοχή σε εφελκυσμό μπορεί να φθάσει μέχρι και το 20πλάσιο!
- β) Η σκλήρυνση του σκυροδέματος γίνεται πολύ γρήγορα και επιταχύνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα μπορεί να επιτευχθούν ιδιαίτερα υψηλές αντοχές. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι για συντήρηση δοκιμών σε θερμοκρασίες της τάξεως των 70° C προέκυψαν αντοχές μέχρι 140 MPa σε διάστημα 5 ωρών από το χρόνο σκυροδέτησης ενώ με θερμοκρασία περιβάλλοντος (200°C) οι αντίστοιχες αντοχές προέκυψαν μέχρι και 100MPa σε διάστημα 7 ημερών [11].
- γ) Επιτυγχάνεται εξαιρετικά καλή πρόσφυση με το παλαιό σκυρόδεμα, εξασφαλίζοντας σχεδόν μονολιθική συμπεριφορά του τελικού πολυφασικού στοιχείου.
- δ) Το Μέτρο Ελαστικότητας προκύπτει μέχρι 50% υψηλότερο του αντίστοιχου για συμβατικό σκυρόδεμα στην περίπτωση που το τσιμέντο έχει αντικατασταθεί με πολυμερές, ενώ όταν το νερό αντικατασταθεί με υδατοδιαλυτό πολυμερές (latex) το Μέτρο Ελαστικότητας μπορεί να μειωθεί μέχρι και 50%.
- ε) Επιτυγχάνεται αυξημένη αντίσταση στη επιφανειακή φθορά, στην προσβολή από χημικά και στον παγετό, ενώ παρατηρείται και μία σχετική μείωση του πορώδους και της συστολής ξήρανσης.
- στ) Βασικά μειονεκτήματα των σκυροδεμάτων με πολυμερή είναι ο υψηλός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, η μειωμένη αντίσταση στην ενανθράκωση του σκυροδέματος, η μικρή αντοχή σε πυρκαγιά και ο σχετικά υψηλός ερπυστικός συντελεστής. Αξίζει επίσης να παρατηρηθεί ότι η βελτίωση των χαρακτηριστικών του σκυροδέματος αυτού του τύπου μειώνεται ραγδαία σε υψηλές θερμοκρασίες.

2.3 ΣΚΥΡΟΤΣΙΜΕΝΤΟΠΗΓΜΑ

Το σκυροτσιμεντόπηγμα δημιουργείται με αρχική διάστρωση αδρανών μεγάλης διαμέτρου στα καλούπια του προς σκυροδέτηση στοιχείου και στην συνέχεια πλήρωση των κενών των αδρανών με τσιμεντοκονία που εισάγεται υπό πίεση. Τα αδρανή έχουν ελάχιστο μέγεθος κόκκων 10-15 mm.

Το σκυροτσιμεντόπηγμα έχει αρχικά μικρότερη αντοχή από το αντίστοιχο σκυρόδεμα. Με την πάροδο όμως του χρόνου η διαφορά μειώνεται συνεχώς μέχρι που παύει να υπάρχει. Εξάλλου πλεονεκτεί ως προς το συμβατικό σκυρόδεμα επειδή έχει μικρότερη συστολή ξήρανσης, μεγαλύτερη αντοχή στο χρόνο, μεγαλύτερη στεγανότητα και ικανοποιητική πρόσφυση στο παλαιό σκυρόδεμα.

2.4 ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (shotcrete ή gunite) είναι σκυρόδεμα λεπτής διαβάθμισης αδρανών που σκυροδετείται με εκτόξευση. Η εφαρμογή του απαιτεί πάντα, ειδικό εξοπλισμό και κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό. Η ευρέως διαδεδομένη χρήση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στις επισκευές / ενισχύσεις κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος ή ακόμα και κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία οφείλεται κυρίως στα παρακάτω τέσσερα χαρακτηριστικά του:

1. Έχει υψηλή θλιπτική αντοχή επειδή ο υδατοσυντελεστής N/T είναι χαμηλός και επειδή επιτυγχάνεται υψηλή συμύκνωση λόγω της μεγάλης ταχύτητας εκτόξευσης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι αντοχές της τάξης των 70 MPa βρίσκονται μέσα στα πλαίσια συνήθους εφαρμογής της τεχνικής. Πάντως στην καθ' ημέρα πράξη, οι αντοχές που επιδιώκονται δεν ξεπερνούν τα 50 MPa, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι αντοχές μέχρι 35 MPa επιτυγχάνονται σχετικά εύκολα.
2. Η μεγάλη ταχύτητα εκτόξευσης παρέχει δυνατότητα πολύ καλής πρόσφυσης με το υλικό βάσης. Οι διαστάσεις των κόκκων των αδρανών παρέχουν μεγάλη ικανότητα διείσδυσης μέσα στις μικροανωμαλίες της επιφάνειας βάσης.
3. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αυτοστηρίζεται δηλαδή δεν απαιτείται ξυλότυπος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και στο κάτω μέρος οριζοντίων στοιχείων σε στρώσεις πάχους μέχρι και 50 mm.
4. Η εγκατάσταση είναι κινητή και σε συνδυασμό με το είδος του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται επιτρέπει την σκυροδέτηση σε δύσκολες και δυσπρόσιτες θέσεις. Χαρακτηριστικά μπορεί να αναφερθεί ότι "αν υπάρχει χώρος για έναν άνθρωπο και ένα λάστιχο, μπορούμε να σκυροδετήσουμε".

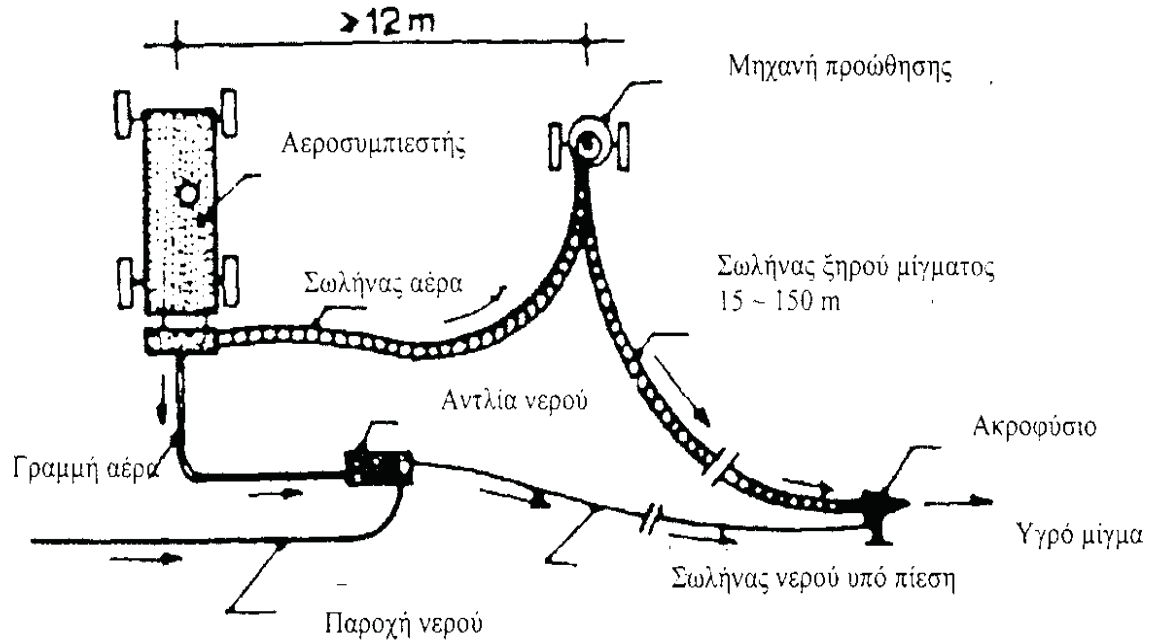
2.4.1 Διαδικασίες ξηράς και υγράς ανάμιξης

Σήμερα στην πράξη χρησιμοποιούνται δύο διαδικασίες ανάμιξης: Η ξηρά και η υγρά ανάμιξη.

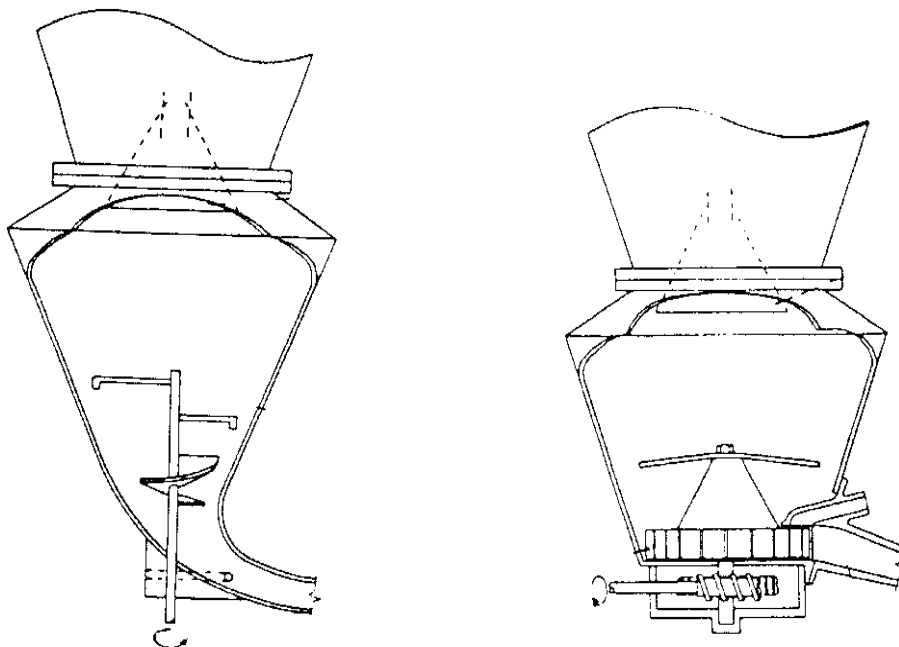
Στην διαδικασία ξηράς ανάμιξης ο εξοπλισμός αποτελείται από έναν αεροσυμπιεστή, μια δεξαμενή νερού, την μηχανή προώθησης το ακροφύσιο και φυσικά τους σωλήνες παροχής αέρα, νερού και υλικού. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται μια σχηματική αναπαράσταση μιας τυπικής διάταξης της παραπάνω εγκατάστασης.

Αρχικά το τσιμέντο και τα αδρανή αναμιγνύονται εν ξηρώ και το μίγμα εισάγεται στην μηχανή προώθησης (Σχ.2). Η προώθηση του μίγματος γίνεται με την βοήθεια πεπιεσμένου αέρα στο λαστιχένιο σωλήνα διανομής και στη συνέχεια στο ακροφύσιο (Σχ.3). Στην είσοδο του ακροφυσίου είναι προσαρμοσμένο το άκρο μιας παροχής νερού, που ελέγχεται από τον χειριστή. Από εκεί το νερό εισάγεται με πίεση στο ακροφύσιο και αναμιγνύεται με τα άλλα συστατικά. Τέλος το υλικό εκτοξεύεται από το ακροφύσιο με μεγάλη ταχύτητα προς την επιφάνεια βάσης.

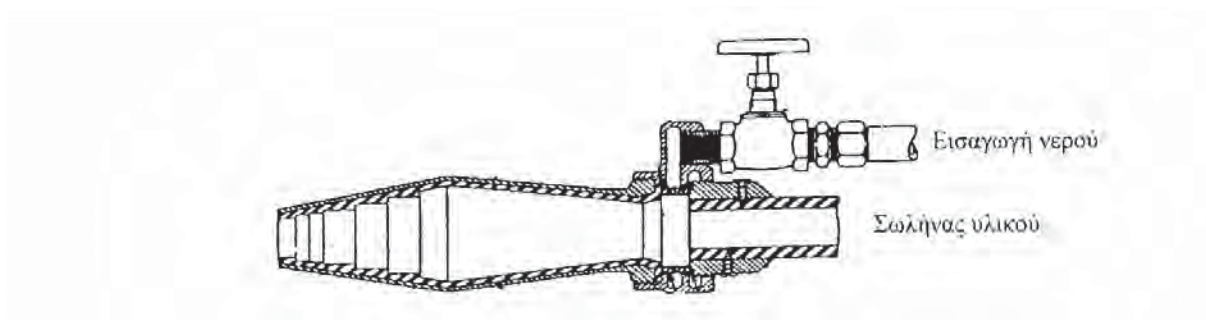
Στην διαδικασία υγράς ανάμιξης, αρχικά αναμιγνύονται πλήρως τα αδρανή, το τσιμέντο, νερό και το μίγμα εισάγεται στη μηχανή προώθησης. Η προώθηση του μίγματος προς το ακροφύσιο γίνεται όπως και στην ξηρά ανάμιξη με την βοήθεια πεπιεσμένου αέρα μέσα από το σωλήνα διανομής. Εκεί προστίθεται κάποιο επιταχυντικό υλικό, ενώ πρόσθετος πεπιεσμένος αέρας που εισάγεται στο ακροφύσιο αυξάνει την ταχύτητα και βελτιώνει τη διαδικασία εκτόξευσης που ακολουθεί.



Σχήμα 1 Τυπική εγκατάσταση για ξηρά διαδικασία



Σχήμα 2 Σχηματικές τομές ενός τύπου μηχανής προώθησης



Σχήμα 3 Τομή ακροφυσίου

Αν θέλαμε να συγκρίνουμε τις δύο διαδικασίες παραγωγής εκτοξευόμενου σκυροδέματος θα μπορούσαμε να παρατηρήσουμε τα εξής:

Στην **ξηρά διαδικασία** ο έλεγχος της ποσότητας του νερού ανάμιξης γίνεται στο ακροφύσιο εμπειρικά από τον χειριστή, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα προσαρμογής στις ανά πάσα στιγμή διαφορετικές συνθήκες του έργου. Το σκυρόδεμα αποκτά υψηλότερες αντοχές από ότι με την υγρά ανάμιξη και μάλιστα σε μικρό χρονικό διάστημα. Επίσης ο εξοπλισμός είναι κατάλληλος για χρήση σε μεγάλες αποστάσεις από τη θέση εγκατάστασης (μέχρι 150 m), ενώ το κόστος της συνολικής εγκατάστασης δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό, και είναι πολύ χαμηλότερο από το αντίστοιχο κόστος της υγρής διαδικασίας.

Στην **υγρά διαδικασία** η ποσότητα νερού ελέγχεται στον αναμικτήρα οπότε μπορεί να μετράται επακριβώς, και υπάρχει μεγαλύτερη εγγύηση για τη πλήρη ανάμιξη του νερού με τα άλλα συστατικά. Όταν χρησιμοποιείται η υγρά διαδικασία η σκόνη και το τσιμέντο που διαφεύγουν προς το περιβάλλοντα χώρο είναι σημαντικά μειωμένα σε σύγκριση με ότι συμβαίνει στην ξηρά διαδικασία. Γι ' αυτό η τεχνική αυτή είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για χώρους που δεν αερίζονται επαρκώς όπως π.χ. στη κατασκευή υπογείων έργων (σηράγγων κλπ.).

Αξίζει να παρατηρηθεί ότι το κόστος των υλικών παραγωγής ενός m³ εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι σημαντικά μικρότερο στην περίπτωση της υγρής διαδικασίας επειδή τότε το ανακλώμενο (και συνεπώς άχρηστο) υλικό είναι λιγότερο.

Στον Πίνακα 1 [15] παρουσιάζονται ενδεικτικά πειραματικά αποτελέσματα που αφορούν δοκίμια εκτοξευόμενου σκυροδέματος που παρήχθησαν με ξηρά και υγρά ανάμιξη. Από μια συγκριτική αξιολόγηση αυτών των αποτελεσμάτων, προκύπτει ότι στην περίπτωση ξηράς ανάμιξης, η διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας εκτοξευόμενου σκυροδέματος παλαιού στοιχείου είναι υπερδιπλάσια της αντίστοιχης αντοχής για υγρά ανάμιξη.

Δείγμα No.	Θλιπτική Αντοχή Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος (MPa)	Διατμητική Αντοχή Διεπιφάνειας (MPa)
------------	--	--------------------------------------

Α. Εκτοξευόμενο Ξηράς ανάμιξης πάνω σε παλαιό συμβατικό σκυρόδεμα

1	40,3	5,0
2	49,2	4,1
3	40,7	2,9
4	37,3	3,6
5	48,7	6,0
6	31,9	2,8
7	31,6	3,5

Δείγμα Νο.	Θλιπτική Αντοχή Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος (MPa)	Διατμητική Αντοχή Διεπιφάνειας (MPa)
------------	--	--------------------------------------

Β. Εκτοξευόμενο Ξηράς ανάμιξης πάνω σε παλαιό εκτοξευόμενο υγράς ανάμιξης

8	33,0	3,9
9	30,1	3,7
10	32,1	3,4

Γ. Εκτοξευόμενο Υγράς ανάμιξης πάνω σε παλαιό εκτοξευόμενο υγράς ανάμιξης

11	33,2	0,9
12		1,3
13	30,5	1,7
14		1,5
15	33,5	2,3

Πίνακας 1 : Πειραματικά αποτελέσματα δοκιμών εκτοξευόμενου σκυροδέματος

2.4.2 Σύνθεση

Η σύνθεση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος ακολουθεί αντίστοιχους κανόνες με αυτούς που ισχύουν για το συμβατικό έγχυτο σκυρόδεμα, και για τον έλεγχο της ποιότητας ισχύουν τα κριτήρια συμμόρφωσης που προβλέπονται στον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος [12]. Η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών εξαρτάται από το μέγεθος του μεγίστου κόκκου όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2 [15] όπου παρουσιάζονται τα επιτρεπτά όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών. Οι τρεις δυνατές διαβαθμίσεις που παρουσιάζονται στο Πίνακα επιτρέπουν την κατάλληλη επιλογή ανάλογα με τις συνθήκες του έργου. Έτσι για μικρό πάχος σκυροδέτησης ή για την περίπτωση εργασιών οροφής επιλέγεται η λεπτόκοκκος διαβάθμιση (No 1), ενώ στην περίπτωση σκυροδέτησης σχετικά μεγάλου πάχους στοιχείων επιλέγεται η περισσότερο χονδρόκοκκη διαβάθμιση (No 3).

Μέγεθος κόσκινου	Ποσοστό επί τοις εκατό διερχόμενου υλικού		
	Διαβάθμιση No.1	Διαβάθμιση No.2	Διαβάθμιση No.3
3/4 in.(19 mm)	-	-	100
1/2 in.(12 mm)	-	100	80-95
3/8 in.(10 mm)	100	90-100	70-90
No.4 (4.75 mm)	95-100	70-85	50-70
No.8 (2.4 mm)	80-100	50-70	35-55
No.16 (1.2 mm)	50-85	35-55	20-40
No.30 (600 μm)	25-60	20-35	10-30
No.50 (300 μm)	10-30	8-20	5-17
No.100 (150 μm)	2-10	2-10	2-10

Πίνακας 2 Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών για εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

Αξίζει πάντως να επισημανθεί ότι το ανακλώμενο υλικό είναι σημαντικά αυξημένο όταν χρησιμοποιούνται χονδρόκοκκα αδρανή, και προφανώς η σύστασή του περιλαμβάνει αυξημένα ποσοστά από χονδρόκοκκα αδρανή. Εξάλλου είναι προφανές ότι η ποσότητα του ανακλώμενου υλικού αυξάνεται για υψηλές ταχύτητες εκτόξευσης. Όμως, αν μειωθεί η ταχύτητα εκτόξευσης μπορεί να μειωθεί η πρόσφυση με το υλικό βάσης. Έτσι θα πρέπει

πάντοτε να επιλεγεί η βέλτιστη ταχύτητα εκτόξευσης για την οποία το ανακλώμενο υλικό είναι ελάχιστο χωρίς να μειώνεται η πρόσφυση με το υλικό βάσης.

Επισημαίνεται ότι στην μελέτη σύνθεσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος πρέπει να ληφθεί υπόψη το υλικό που χάνεται λόγω ανάκλασης, επειδή, λόγω του ανακλώμενου υλικού, ο λόγος T/A (τσιμέντο / αδρανή) είναι διαφορετικός στην τελική θέση απ' ότι στην θέση εκκίνησης.

Στον Πίνακα 3 δίνεται μία συσχέτιση συνήθων τιμών του λόγου T/A για την τελική θέση και την θέση εκκίνησης [15]. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε μία εφαρμογή με σύνθεση εκτοξευόμενου σκυροδέματος κατηγορίας C 30/35, ο λόγος T/A πήρε τιμές μεταξύ 1 : 3,5 έως 1 :4.

Εκκίνηση	Τελική Θέση
1 :3,0	1 :2,0
1 :3, 5	1 :2,8
1 :4,0	1 :3,25
1 :4,5	1 :3,6
1 :5,0	1 :3,8
1 :6,0	1 :4, 1

Πίνακας 3 Σχέση λόγου T/A στην εκκίνηση και στην τελική θέση

Ο λόγος N/T παίρνει τιμές μικρότερες απ' ότι στο συμβατικό σκυρόδεμα και κυμαίνεται μεταξύ 0,30 και 0,50. Οι αντίστοιχες τιμές για την περίπτωση που χρησιμοποιείται υγρά ανάμιξη είναι 0,40 και 0,55.

Όσον αφορά την ποσότητα του τσιμέντου, ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε συνθήκες εργοταξίου προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

α) Για ποσότητες τσιμέντου 300-380 kg/m³ η μέση κυλινδρική αντοχή εκτιμήθηκε 21 MPa.

β) Για ποσότητες τσιμέντου 325-425 kg/m³ η μέση κυλινδρική αντοχή εκτιμήθηκε 28 MPa

γ) Για ποσότητες τσιμέντου 380-500 kg/m³ η μέση κυλινδρική αντοχή εκτιμήθηκε 35 MPa.

Όπως είναι γνωστό και από την τεχνολογία του συμβατικού σκυροδέματος, στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται λεπτόκοκκα αδρανή η συστολή ξήρανσης είναι υψηλότερη απ' ότι στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται χονδρόκοκκα αδρανή.

Εν γένει, η συστολή ξήρανσης $\varepsilon_{cs,\infty}$ λαμβάνει τιμές που κυμαίνονται μεταξύ $0,6 \times 10^{-3}$ και $1,0 \times 10^{-3}$, που είναι προφανώς μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του συμβατικού σκυροδέματος. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο, τα μέτρα συντήρησης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, (που είναι τα ίδια με αυτά που προβλέπονται για το συμβατικό σκυρόδεμα), πρέπει αμέσως μετά το πέρας της εκτόξευσης και τελικής διαμόρφωσης της επιφάνειάς του να τηρούνται εξαιρετικά σχολαστικά. Εξάλλου η παρουσία οπλισμού είναι ιδιαίτερα ευεργετική επειδή έτσι μειώνονται οι παραμορφώσεις λόγω συστολής ξήρανσης.

Ένας επιπλέον λόγος που επιβάλλει την λήψη σχολαστικών μέτρων συντήρησης και την παρουσία οπλισμού είναι ότι η πιθανή ρηγμάτωση λόγω συστολής ξήρανσης και μάλιστα αυτή που μπορεί να δημιουργηθεί στην διεπιφάνεια μεταξύ εκτοξευόμενου σκυροδέματος και υλικού βάσης, μειώνει την πρόσφυση και κατά συνέπεια υποβαθμίζει ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

2.4.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την επιτυχία της τεχνικής

Η επιτυχία της τεχνικής εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων. Στην συνέχεια επισημαίνονται οι σημαντικότεροι παράγοντες όπου η επίβλεψη του Μηχανικού πρέπει να

δώσει ιδιαίτερη προσοχή και διατυπώνονται πρακτικοί κανόνες που διευκολύνουν το παραπάνω έργο.

Προδιαγραφές αεροσυμπιεστή

Κρίσιμα χαρακτηριστικά του αεροσυμπιεστή για την επιτυχία εκτέλεσης της εργασίας είναι η επαρκής παροχή και συμπίεση του αέρα.

Η απαιτούμενη συμπίεση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως το μήκος του σωλήνα παροχής του υλικού (l), η διαφορά ύψους ακροφυσίου και θέσης εγκατάστασης (h), το ειδικό βάρος του ξηρού μίγματος, το πλήθος και οι γωνίες των καμπυλών του σωλήνα παροχής κ.α. Μία πρακτική εκτίμηση της απαιτούμενης συμπιεστικής ικανότητας (P) του αεροσυμπιεστή, έχει δοθεί στη βιβλιογραφία [15], λαμβάνοντας υπόψη μόνο τους δύο κύριους παράγοντες l και h: $P = 200 + 2.5 (l + 2h)$

όπου: l και h τίθενται σε m και το αποτέλεσμα λαμβάνεται σε kPa.

Η απαιτούμενη παροχή αέρα εξαρτάται από την εσωτερική διάμετρο του σωλήνα παροχής του υλικού και είναι συνάρτηση της συμπιεστικής ικανότητας του αεροσυμπιεστή. Στον Πίνακα 4 παρουσιάζεται ενδεικτικά η απαιτούμενη παροχή αέρα για αεροσυμπιεστή, ικανότητας 700 kPa με εσωτερική διάμετρο σωλήνα παροχής από 25 mm έως 64 mm.

Εσωτ. Διάμετ. Σωλήνα	M ³ αέρα /min
25 mm	10.0
32 mm	12.5
38mm	17.0
51mm	21.0
64mm	28.0

Πίνακας 4 Απαιτούμενη παροχή αέρα για αεροσυμπιεστή ικανότητας 700 kPa

Προετοιμασία επιφάνειας βάσης.

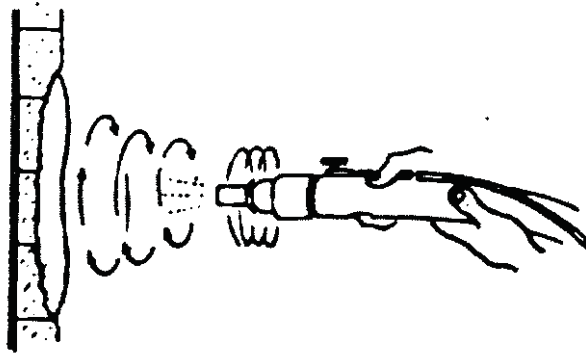
Η προετοιμασία της επιφάνειας βάσης περιλαμβάνει όλες τις εργασίες που σχεδόν πάντοτε απαιτείται να προηγηθούν της επαφής νέου και παλαιού σκυροδέματος. Έτσι θα πρέπει να απομακρυνθεί κάθε τμήμα αποσαθρωμένου σκυροδέματος, να απομακρυνθεί η εξωτερική μεμβράνη του τσιμεντοπολτού (χρησιμοποιώντας κατάλληλο μηχανικό εξοπλισμό ή υδροβολή), αποκαλύπτοντας έτσι τα αδρανή του υλικού βάσης, και τέλος να διαβραχεί το υλικό βάσης αρκετό χρόνο πριν την εκτόξευση. Εδώ θα πρέπει να επισημανθεί ότι η χρήση (ξύλινων ή μεταλλικών) "οδηγών" αποτελεί κρίσιμη προϋπόθεση για την ακρίβεια των διαστάσεων και της μορφής του υπό κατασκευή στοιχείου.

Χειρισμός εκτόξευσης

Παρακάτω σημειώνονται μερικά κρίσιμα σημεία για την επιτυχία εκτέλεση της εκτόξευσης:

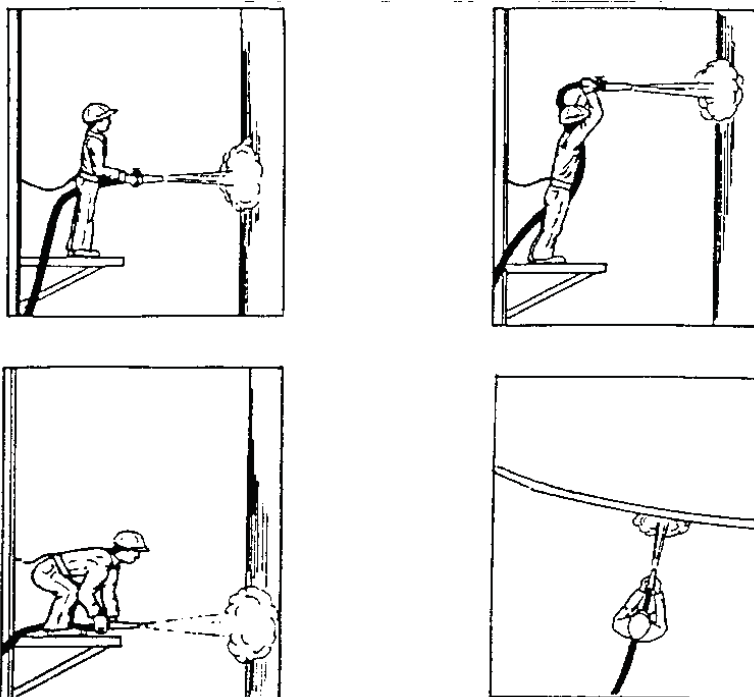
- Για μεγάλα σχετικά πάχη η εκτόξευση του σκυροδέματος γίνεται σε στρώσεις οι οποίες πρέπει να είναι κατά το δυνατό λιγότερες. Η πρώτη στρώση πρέπει να είναι περισσότερο υγρή από τις άλλες.
- Η ροή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος πρέπει να διατηρείται σταθερή χωρίς διακυμάνσεις.
- Η απόσταση της εκτόξευσης κυμαίνεται από 0,60 m έως 1,80 m και επιλέγεται έτσι ώστε το ανακλώμενο υλικό να είναι ελάχιστο.

- Η χρήση του ακροφυσίου από το χειριστή γίνεται με μικρές κυκλικές περιστροφές (Σχ.4) σε σταθερή απόσταση από την επιφάνεια διάστρωσης χωρίς κινήσεις μπρος-πίσω.

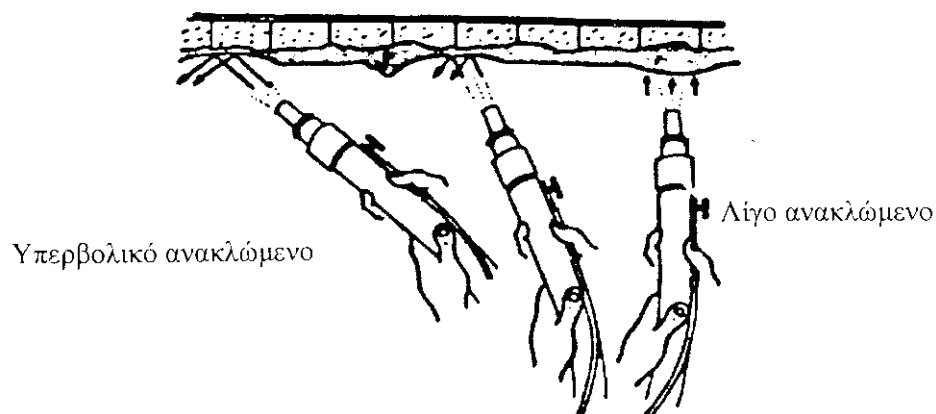


Σχήμα 4 Μικρές κυκλικές κινήσεις

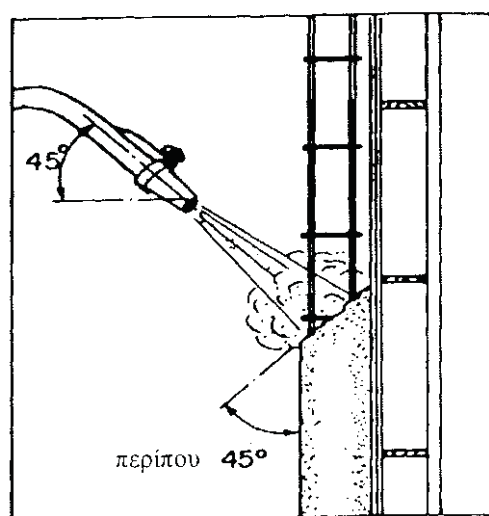
- Ο χειρισμός του ακροφυσίου γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η εκτόξευση να είναι κατά το δυνατόν κάθετη και ποτέ υπό γωνία μικρότερη από 45° ως προς την επιφάνεια διάστρωσης (Σχ.5). Έτσι το ανακλώμενο υλικό είναι ελάχιστο (Σχ.6).
- Για μεγάλα πάχη, η εκτόξευση του σκυροδέματος μπορεί να γίνει υπό γωνία 45° ως προς την επιφάνεια βάσης αλλά όμως κάθετα προς την επιφάνεια του προηγούμενως διαστρωθέντος υλικού (Σχ.7).
- Εφόσον υπάρχουν εσωτερικές γωνίες, η εκτόξευση ξεκινάει από εκεί. Στο Σχήμα 8 παρουσιάζεται παραστατικά η διαδικασία εκτέλεσης της εργασίας γι' αυτή την περίπτωση [15].
- Όταν η δέσμη της εκτόξευσης συναντά οπλισμούς, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή έτσι ώστε το υλικό να πάει καλά πίσω από τις ράβδους και να μην δημιουργούνται συσσωματώματα με αυτές. Στο Σχήμα 9 [15] απεικονίζεται η εκτέλεση της εκτόξευσης συγκρίνοντας τον σωστό και τον λανθασμένο τρόπο.



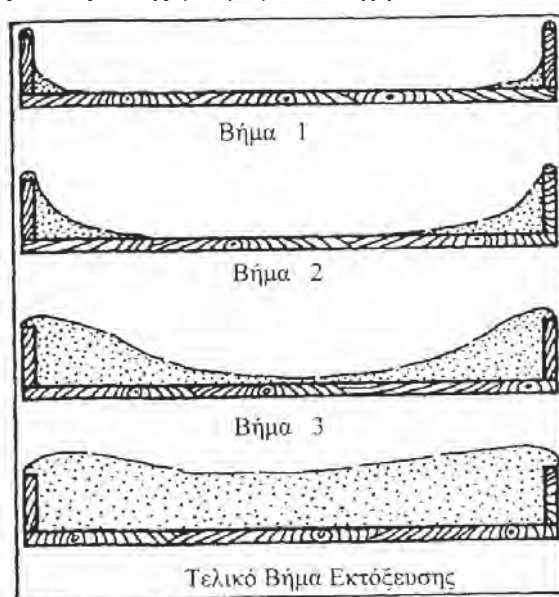
Σχήμα 5 Σωστές θέσεις εκτόξευσης



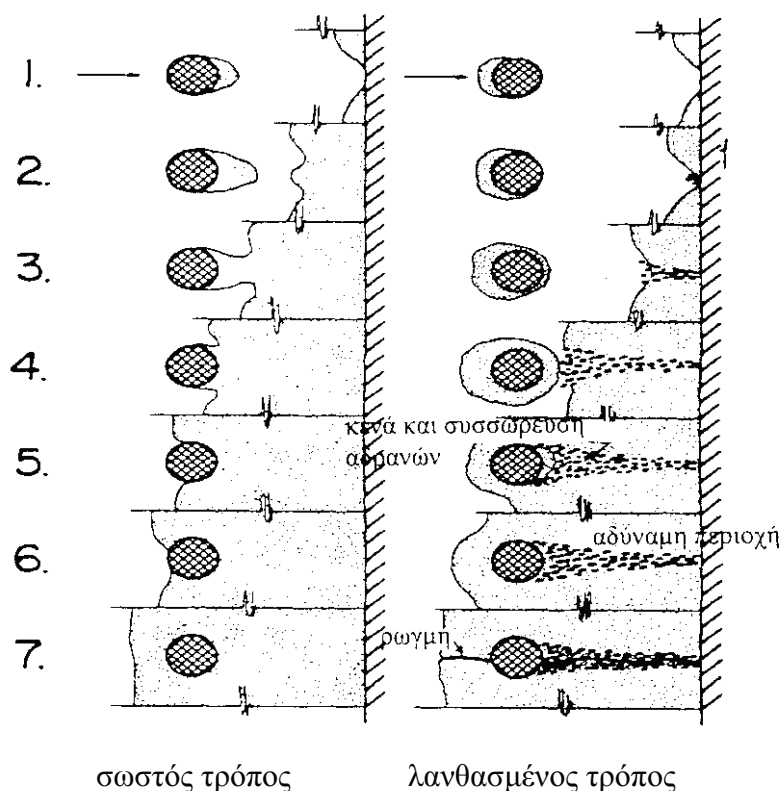
Σχήμα 6 Σχέση ανακλώμενου υλικού και γωνίας πρόσπτωσης



Σχήμα 7 Σωστός τρόπος εκτόξευσης για μεγάλα πάχη



Σχήμα 8 Κατάλληλη διαδικασία εκτόξευσης σε εσωτερικές γωνίες



Σχήμα 9 Εκτόξευση παρουσία οπλισμού

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο σχήμα, ο λανθασμένος τρόπος εκτόξευσης ξεκινάει όταν το υλικό επικολλάται στην εξωτερική πλευρά του οπλισμού.

- Εν γένει, παρουσία οπλισμού, συνίσταται μικρότερη απόσταση εκτόξευσης, περισσότερο υγρό μίγμα και μικρή απόκλιση της γωνίας πρόσπτωσης από την προβλεπόμενη καθετότητα. Έτσι για οριζόντιες ράβδους η εκτόξευση πρέπει να γίνεται από στάθμη λίγο υψηλότερα από αυτήν της αντίστοιχης ράβδου, ενώ για κατακόρυφες ράβδους λίγο αριστερότερα ή δεξιότερα από την θέση της αντίστοιχης ράβδου. Όταν η δέσμη συναντά δύο στρώσεις οπλισμού τα προβλήματα εντείνονται, και μάλιστα ακόμα περισσότερο όταν οι οπλισμοί είναι πυκνοί. Γι' αυτό συνιστάται όπως οι αποστάσεις των ράβδων της εξωτερικής στρώσης είναι μικρότερες από 12Φ ενώ για τις ράβδους της εσωτερικής στρώσης η απόσταση πρέπει να είναι μικρότερη από 6Φ.
- Ο έλεγχος της ποσότητας του νερού από τον χειριστή απαιτεί ειδική εκπαίδευση και εμπειρία. Εξάλλου η πίεση εκτόξευσης του νερού θα πρέπει να είναι υψηλότερη κατά 100-200 kPa από την πίεση του αέρα.
- Πρακτικά θα μπορούσε κανείς να εκτιμήσει ότι η ποσότητα νερού είναι σωστά επιλεγμένη όταν το υλικό φαίνεται ελαφρά γυαλιστερό. Μεγαλύτερη ποσότητα του νερού έχει ως συνέπεια την αδυναμία μέρους του υλικού να παραμείνει στην θέση όπου εκτοξεύτηκε. Δηλαδή λόγω των δυνάμεων βαρύτητας το υλικό "κρεμάει" ή "κυλάει". Αντίθετα όταν χρησιμοποιείται μικρότερη ποσότητα νερού το υλικό έχει σκούρα και αμώδη επιφάνεια χωρίς να γυαλίζει. Η μικρή ποσότητα νερού (μικρότερη από την απαιτούμενη) δεν θα πρέπει να θεωρηθεί πιθανό πλεονέκτημα για την αντοχή επειδή ο λόγος N/T προκύπτει μειωμένος.

Αντίθετα, έχει ως συνέπεια την κατά περιοχές συσσώρευση αδρανών, την αδυναμία σύνδεση των στρώσεων, την κακής ποιότητας τελική επιφάνεια και τελικά την μειωμένη αντοχή. Δείγματα από εργασίες εκτοξευόμενου σκυροδέματος στην πράξη έδειξαν ότι το

συνηθέστερο σφάλμα του χειριστή στην εκτίμηση της ποσότητας του νερού βρίσκεται προς την πλευρά της επιλογής λιγότερου νερού.

2.4.4 Ανακλώμενο και υπερψεκαζόμενο υλικό

Το ανακλώμενο (rebound) και το υπερψεκαζόμενο (overspray) υλικό είναι ανεπιθύμητα προϊόντα της εκτόξευσης. Αποτελεί κύριο μέλημα του χειριστή η ελαχιστοποίηση τους.

Το ανακλώμενο υλικό περιέχει μεγάλο ποσοστό από τα χονδρότερα αδρανή και μειώνεται προοδευτικά όσο αυξάνει το πάχος της στρώσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Είναι υλικό που δεν μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί και επομένως αυξάνει το κόστος παραγωγής του τελικού προϊόντος. Επιπρόσθετα σημειώνεται, ότι το αυξημένο ποσοστό του ανακλώμενου υλικού, όπως και του υπερψεκαζόμενου, δημιουργούν δυσμενείς συνθήκες εργασίας για τον χειριστή της εκτόξευσης. Εξάλλου αύξηση του ανακλώμενου υλικού πέρα από αυτή που έχει εκτιμηθεί στη μελέτη σύνθεσης, τροποποιεί τις αναλογίες των υλικών στο τελικό προϊόν και αυξάνει την συστολή ξήρανσης επειδή μειώνονται τα χονδρόκοκκα αδρανή.

Τέλος πρέπει να επισημανθεί ότι όταν η εκτόξευση γίνει σε μία περιοχή που δεν έχει απομακρυνθεί το ανακλώμενο υλικό, μπορεί να δημιουργηθούν περιοχές μειωμένης αντοχής του σκυροδέματος.

Το ποσοστό του ανακλώμενου υλικού εξαρτάται ιδιαίτερα από τη θέση της επιφάνειας όπου γίνεται η εκτόξευση. Έτσι για εργασίες οροφής το ποσοστό του ανακλώμενου υλικού μπορεί να φθάσει μέχρι και 50% ενώ το πιο μικρό ποσοστό λαμβάνεται για εργασίες δαπέδου. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται εκτοξευόμενο σκυρόδεμα υγρής ανάμιξης τα αντίστοιχα ποσοστά είναι πολύ μικρότερα (της τάξης του 30-40% της ξηράς ανάμιξης). Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται τα ποσοστά του ανακλώμενου υλικού για διάφορες θέσεις της επιφάνειας βάσης [15].

Επιφάνεια	Ξηρή Ανάμιξη	Υγρή Ανάμιξη
Δάπεδα	5-15 %	0-5 %
Κεκλιμένοι και κατακόρυφοι τοίχοι	15-25 %	5-10 %
Εργασίες οροφής	25-50 %	10-20 %

Πίνακας 5 Ποσοστό ανακλώμενου υλικού

Το υπερψεκαζόμενο υλικό είναι υλικό που διαχέεται πέρα από την θέση διάστρωσης και αποτελείται από λεπτόκοκκα αδρανή και τσιμέντο. Επικολλάται στην επιφάνεια βάσης, δημιουργεί συσσωματώματα με τους οπλισμούς και εφόσον σκληρυνθεί πριν γίνει η εκτόξευση στις θέσεις που βρίσκεται, μειώνει την συνάφεια του εκτοξευόμενου σκυροδέματος με το παλαιό σκυρόδεμα και τους οπλισμούς.

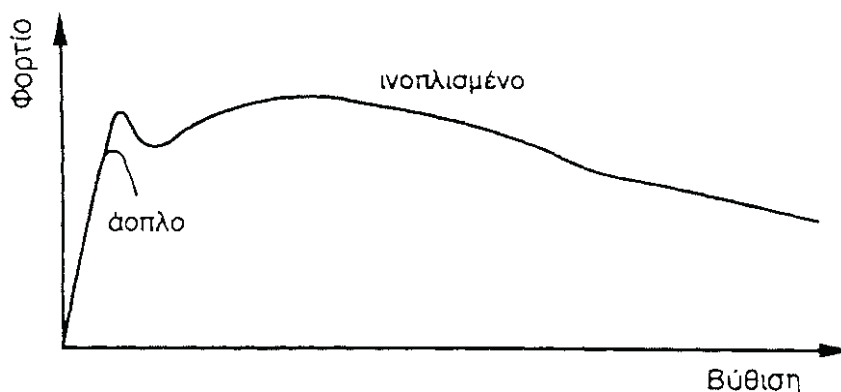
2.4.5 Ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

Η προσθήκη ινών στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα γίνεται κυρίως για περιορισμό της ρηγμάτωσης λόγω της υψηλής συστολής ξήρανσης. Συνήθως οι ίνες που χρησιμοποιούνται είναι από χάλυβα, προπυλένιο ή γυαλί. Το μήκος τους είναι της τάξης μερικών εκατοστών, και η διάμετρος τους, που εξαρτάται από το υλικό, συνήθως δεν ξεπερνά το χιλιοστό.

Η προσθήκη των ινών γίνεται συνήθως σε ποσοστό μεταξύ 1% και 3% κ.ο. Για ίνες χάλυβα το μέγιστο ποσοστό είναι 2% και ο λόγος του μήκους τους προς την διάμετρο τους, δεν

πρέπει να ξεπερνάει το 100. Εξάλλου η τυχόν διάβρωση των ινών χάλυβα δεν έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθεκτικότητα του υλικού [15].

Εκτός από τον περιορισμό της ρηγμάτωσης, η προσθήκη των ινών έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραμόρφωσης του υλικού κατά την αστοχία και μια μικρή αύξηση της εφελκυστικής αντοχής (Σχ.10).



Σχήμα 10: Επίδραση ινών στη συμπεριφορά σε κάμψη

Η παραπάνω αύξηση της παραμόρφωσης αστοχίας, συνεπάγεται μια αύξηση της ικανότητας του υλικού να απορροφήσει ενέργεια κατά την παραμόρφωση (δυσθραυστότητα) που φτάνει να είναι 10-40 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του χωρίς ίνες εκτοξευόμενου σκυροδέματος [15]. Προφανώς η παραπάνω εξαιρετικά θετική συμβολή των ινών στην απορρόφηση ενέργειας πρέπει να αξιολογηθεί ιδιαίτερα στην περίπτωση επεμβάσεων που στοχεύουν στην αντισεισμική ενίσχυση των κατασκευών .

3 ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΕΣ ΚΟΛΛΕΣ

Οι πολυμερικές κόλλες είναι συγκολλητικά υλικά που δημιουργούνται από την "επί τόπου" ανάμιξη των δύο συστατικών .

Το πρώτο είναι το πολυμερές που βρίσκεται σε υγρή κατάσταση (συστατικό Α) και το δεύτερο είναι ο σκληρυντής (συστατικό Β). Η ανάμιξη τους σ' ένα ομοιογενές υλικό δημιουργεί ένα ισχυρό συγκολλητικό υλικό, με ασυναγώνιστες σε πολλές περιπτώσεις ιδιότητες. Αυτός είναι ο λόγος που οι πολυμερικές κόλλες έχουν ευρύτατη εφαρμογή στον τομέα των επισκευών και των ενισχύσεων. Εξάλλου σε σύγκριση με άλλα συστήματα σύνδεσης έχουν το πλεονέκτημα της κατανομής των φορτίων σε μεγαλύτερη επιφάνεια μειώνοντας έτσι τις τοπικές εντάσεις. Επιπρόσθετα, η χρήση τους επιτρέπει την πλήρη επαφή των προς σύνδεση στοιχείων χωρίς να απαιτούνται τροποποιήσεις στο σχήμα ή την επιφάνεια επαφής τους. Τέλος σημειώνεται ότι έχουν το πλεονέκτημα να δημιουργούν ένα αδιαπέραστο φράγμα υγρασίας.

Τα είδη των πολυμερών που χρησιμοποιούνται είναι αρκετά. Όμως για τις διαδικασίες επισκευής και ενίσχυσης των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, τα πλέον διαδεδομένα και ενδεδειγμένα πολυμερή είναι (κυρίως) οι εποξειδικές και δευτερευόντως οι πολυεστερικές ρητίνες.

Στην πράξη έχει επικρατήσει η ονομασία ρητίνη, υπονοώντας την ρητινοειδή κόλλα. Στην συνέχεια ο όρος ρητίνη χρησιμοποιείται με αυτήν την έννοια ενώ όταν χρειάζεται να δηλωθεί το πρώτο συστατικό πριν την ανάμιξη θα χρησιμοποιείται ο όρος "συστατικό Α".

Κρίσιμο μειονέκτημα των τεχνικών που χρησιμοποιούν κόλλες είναι ότι απαιτούν ειδικό προγραμματισμό των εργασιών επέμβασης επειδή :

- (α) ο χρόνος εργασιμότητας τους (pot life) δηλαδή ο χρόνος που η ρευστότητά τους επιτρέπει να χρησιμοποιηθούν , είναι μικρός και
 (β) τα στοιχεία που συγκολλήθηκαν θα πρέπει να παραμείνουν αδιατάρακτα για όσο χρόνο (ώρες ή ημέρες) διαρκεί η συγκόλλησή τους.

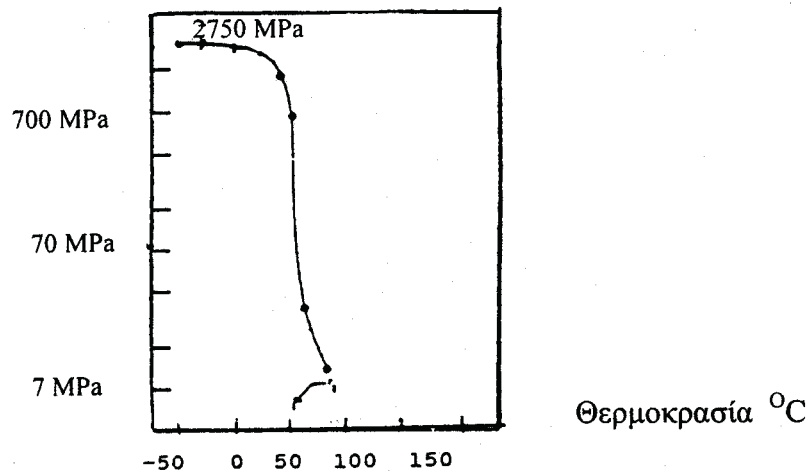
Εξάλλου δεν πρέπει να λησμονούνται τα βασικά προβλήματα, όλων των ρητινοειδών υλικών, που οφείλονται στο γεγονός ότι τα χαρακτηριστικά τους είναι διαφορετικά από αυτά του σκυροδέματος και πολλές φορές καθορίζουν τα όρια εφαρμογής της παραπάνω τεχνικής.

Ως τέτοια μπορούν να επισημανθούν :

- α) Η μικρή αντοχή του υλικού σε υψηλές θερμοκρασίες. Όπως είναι γνωστό από την βιβλιογραφία τα χαρακτηριστικά της κόλλας, αρχίζουν να αλλάζουν και η αντοχή της μειώνεται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 50° C [16,18,19,22]. Στο Σχήμα 11 [16], δείχνεται αυτή η επίδραση στο Μέτρο Ελαστικότητας. Τελικά η κόλλα καίγεται σε θερμοκρασίες υψηλότερες από 250° C.

Γίνεται ως εκ τούτου προφανής ο κίνδυνος που δημιουργείται σε περίπτωση πυρκαγιάς και γι' αυτό απαιτείται να ληφθούν ειδικά μέτρα προστασίας των επισκευασμένων δομικών στοιχείων.

Μέτρο Ελαστικότητας (MPa)



Σχήμα 11 Επίδραση θερμοκρασίας στο Μέτρο Ελαστικότητας

- β) Το Μέτρο Ελαστικότητας του υλικού είναι πολύ μικρότερο από αυτό του σκυροδέματος. Εν γένει είναι μικρότερο από το 1/10 της τιμής του Μέτρου Ελαστικότητας του συνηθισμένου σκυροδέματος.

Κρίσιμος παράγοντας επιτυχίας της συγκόλλησης είναι η προετοιμασία της επιφάνειας του σκυροδέματος. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να είναι υγιής και καθαρή .Εξάλλου επισημαίνεται ότι εάν δεν έχουν αποκαλυφθεί τα χονδρόκοκκα αδρανή, η αντοχή της σύνδεσης θα είναι μειωμένη. Αυτό επιβάλλεται από το γεγονός ότι η αντοχή της σύνδεσης εξαρτάται από την αντοχή του ασθενέστερου συγκολλημένου στοιχείου ενώ η επιδερμική στρώση σκυροδέματος είναι πάντοτε ασθενέστερη από το σκυρόδεμα που είναι κάτω από την επιφάνεια.

Οι συνηθέστερες χρήσεις της κόλλας στο τομέα των επισκευών και ενισχύσεων είναι:

- (α) η συγκόλληση νωπού ή σκληρυμένου σκυροδέματος σε σκληρυμένο σκυρόδεμα, (β) η συγκόλληση άλλων υλικών στο σκυρόδεμα,
 (γ) οι αγκυρώσεις ράβδων σε σκληρυμένο σκυρόδεμα και
 (δ) η επισκευή ρωγμών στο σκυρόδεμα.

Στην πράξη, το μεγαλύτερο μερίδιο εργασιών με πολυμερικές κόλλες αφορά τις επισκευές ρωγμών με την τεχνική των ρητινενέσεων. Σε εργασίες μετασεισμικών επεμβάσεων το οικονομικό αντικείμενο των εργασιών με ρητινενέσεις εκτιμήθηκε σε ποσοστό 90% του συνόλου των εργασιών με πολυμερικές κόλλες [8]. Επειδή μάλιστα η εφαρμογή της παραπάνω τεχνικής στην πράξη κρύβει πολλά "μυστικά", στην συνέχεια το θέμα αναπτύσσεται εκτενώς.

3.1 Επισκευή ρωγμών με ρητινενέσεις

Με τον όρο ρητινένωση, προσδιορίζεται η διαδικασία έγχυσης μιας ρητινοειδούς κόλλας στις ρωγμές του στοιχείου, με ενέσιμο τρόπο.

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.

Τα μέχρι σήμερα αποτελέσματα από πειραματικές έρευνες και εφαρμογές πεδίου, δείχνουν ότι με την τεχνική αυτή, μπορεί να επιτευχθεί πλήρης επισκευή των ρωγμών και επαναφορά της μονολιθικότητας και στατικής ακεραιότητας του στοιχείου ή της κατασκευής.

Συχνά στην πράξη επικρατεί η αντίληψη ότι οι ρωγμές στον φέροντα οργανισμό είναι πάντοτε επικίνδυνες. Όμως είναι πάντοτε έτσι; Στη συνέχεια γίνεται μια προσπάθεια να απαντηθεί το παραπάνω ερώτημα και ακολουθούν τα σχετικά με την εφαρμογή της τεχνικής των ρητινενέσεων.

3.1.1 Αναγκαιότητα επισκευής ρωγμών

Οι ρωγμές σε κατασκευές από σκυρόδεμα, είναι συνηθισμένο φαινόμενο. Αυτό εξάλλου δεν είναι άστοχο, αφού οι ρωγμές θα μπορούσαν απλοποιητικά να χαρακτηριστούν ως ορατά αποτελέσματα των παραμορφώσεων ενός φορέα. Όμως, το γεγονός της ύπαρξής τους, δεν συνεπάγεται πάντοτε την ανάγκη επισκευής τους. Η απόφαση για την αναγκαιότητα της επέμβασης, προϋποθέτει τη διερεύνηση των αιτιών της ρωγμής και την εξακρίβωση της φύσης της ρωγμής.

Τα αίτια της ρηγμάτωσης στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα, είναι πολλά και δεν είναι του παρόντος μία εκτεταμένη αναφορά σε αυτό. Όμως μπορούν να αναφερθούν τα πλέον συνήθη, που είναι η συστολή ξήρανσης, η διάβρωση του οπλισμού και τα αυξημένα φορτία.

Μια αξιολογική κατάταξη των αιτιών ρηγμάτωσης, που θα καθορίζει τον βαθμό επικινδυνότητας της κατασκευής δεν είναι εύκολη, αφού από την ίδια αιτία μπορεί να προκύψει μικρός ή μεγάλος βαθμός βλάβης. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι έχει ιδιαίτερη σημασία για την ασφάλεια της κατασκευής, η ύπαρξη ρωγμών που οφείλονται σε υπέρβαση αντοχής. Ως εκ τούτου πρέπει να θεωρείται πρωταρχικό θέμα, η διερεύνηση της επάρκειας του φορέα. Ο μηχανικός εφαρμογής δεν πρέπει να λησμονεί ότι ρωγμές λόγω υπέρβασης αντοχής, είναι ένδειξη στατικής ανεπάρκειας του φορέα, όχι κατ' ανάγκη στην περιοχή ρωγμής. Με άλλα λόγια, οι ρωγμές αποτελούν προειδοποίηση για πιθανό κίνδυνο. Είναι δηλαδή η ορατή ένδειξη, ότι "κάτι δεν πηγαίνει καλά" στο φορέα και γι 'αυτό δεν έχει νόημα να γίνει απλά και μόνο η επισκευή των ρωγμών.

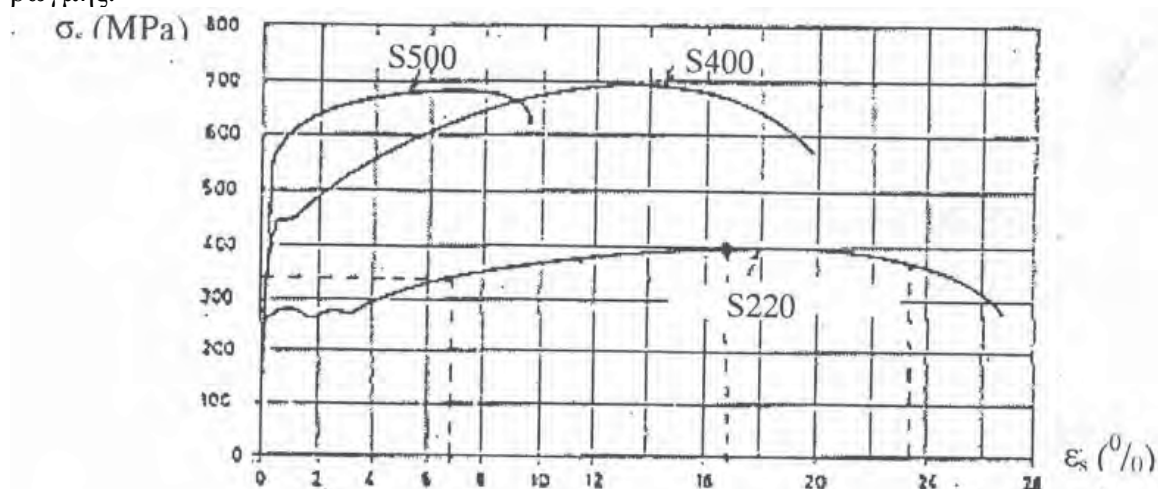
Κάθε παραπέρα ενέργεια, ξεκινάει από την ανάλυση του φορέα, με βάση τα πραγματικά φορτία και τις αντοχές των υλικών (σκυροδέματος και χάλυβα), έτσι "όπως πραγματικά δομήθηκαν" με στόχο τον προσδιορισμό των αιτιών της ρωγμής.

Στη συνέχεια, ο Μηχανικός, θα πρέπει να επέμβει για τη θεραπεία της αδυναμίας, είτε αφαιρώντας την αιτία (π.χ. μειώνοντας τα φορτία σε κάποια περιοχή) είτε ενισχύοντας κατάλληλα τον φορέα. Η διαδικασία επισκευής της ρωγμής, που ούτως ή άλλως συνήθως

γίνεται για λόγους δυσκαμψίας, ερπυστικών φαινομένων κλπ., είναι πλέον συμπληρωματική και δευτερεύουσας σημασίας.

Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση ρωγμών που παρατηρούνται από υπέρβαση αντοχής στο εφελκόμενο πέλμα ενός στοιχείου, λόγω ανεπαρκούς οπλισμού ή στατικού ύψους. Είναι προφανές ότι η επισκευή τέτοιου είδους ρωγμών, δεν προσφέρει βελτίωση στη στατική συμπεριφορά του στοιχείου, αφού η ροπή αντοχής της διατομής δεν μπορεί να αυξηθεί με τέτοιες διαδικασίες.

Ας θεωρήσουμε για παράδειγμα, την περίπτωση ρωγμής του εφελκόμενου πέλματος, ενός υπό-οπλισμένου στοιχείου όπου ο χάλυβας βρίσκεται σε τάση μεγαλύτερη από αυτή του ορίου διαρροής. Προφανώς, η οποιαδήποτε διαδικασία επισκευής της ρωγμής είναι ανώφελη από στατική άποψη, αφού μια ελάχιστη αύξηση της έντασης συνεπάγεται πολύ μεγάλες πρόσθετες παραμορφώσεις (Σχ.12) και επομένως, νέες ρωγμές στη γειτονιά της παλιάς ρωγμής.



Σχήμα 12 Διαγράμματα σ_s - ϵ_s χαλύβων S 220, S 400, S 500

Πάντως πρέπει να τονιστεί ότι οι ορατές (δια γυμνού οφθαλμού) ρωγμές λόγω αυξημένων φορτίων, ενώ δεν σημαίνουν πάντοτε υπέρβαση της αντοχής, υποδηλώνουν σχεδόν πάντοτε υπέρβαση του ορίου διαρροής του υλικού.

Όταν εξακολουθούν να υφίστανται ρωγμές μετά από την απομάκρυνση του προκαλούντος την ένταση αιτίου, π.χ. μετά από ένα σεισμό, θα πρέπει να εκτιμηθεί ότι η περιοχή που ρηγματώθηκε υπεισήλθε σε ανελαστική φάση, ενώ το εύρος των ρωγμών αποτελεί ένα μέτρο της παραμένουσας παραμόρφωσης.

Ο Μηχανικός θα αξιολογήσει τις μαρτυρίες από τις ρωγμές αυτού του είδους και εφόσον εκτιμηθεί ότι αυτή η συμπεριφορά βρίσκεται μέσα στα αποδεκτά όρια των κανονισμών, μπορεί να επιλέξει τη διαδικασία επισκευής των ρωγμών για αισθητικούς λόγους ή για λόγους προστασίας των οπλισμών από διάβρωση.

Στη βιβλιογραφία μπορεί κανείς να βρει διάφορους κώδικες εφαρμογής και κανονισμούς που καθορίζουν το μέγιστο ανεκτό εύρος ρωγμής, συνήθως ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος. Γενικώς μπορεί να λεχθεί ότι ρωγμές με άνοιγμα μικρότερο από 0.3 mm, δεν αποτελούν απειλή για τους οπλισμούς και ως εκ τούτου δεν απαιτείται επισκευή, εκτός από την περίπτωση έντονων επιδράσεων από το περιβάλλον.

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται λεπτομερέστερα τα μέγιστα αποδεκτά όρια εύρους ρωγμών, για διάφορες συνθήκες περιβάλλοντος, έτσι όπως προτείνονται από το [14]

Συνθήκες Περιβάλλοντος	Μέγιστο επιτρεπόμενο εύρος ρωγμής
Ξηρό περιβάλλον	0.41 mm
Υγρό περιβάλλον ή έδαφος	0.30 mm
Χημικές προσβολές	0.18 mm
Θαλάσσιες κατασκευές	0.15 mm
Δεξαμενές	0.10 mm

Πίνακας 6 Μέγιστο επιτρεπόμενο εύρος ρωγμών

Τέλος, χρήσιμο είναι να αναφερθεί ότι από πρακτική άποψη, έχει σημασία η κατεύθυνση της ρωγμής σε σχέση με την κατεύθυνση των οπλισμών. Για παράδειγμα ρωγμές που τέμνουν τους οπλισμούς, προκαλούν πολύ μικρότερες βλάβες, από αυτές που βρίσκονται κατά μήκος τους.

3.1.2 Η τεχνική των ρητινενέσεων έναντι άλλων τεχνικών επισκευής ρωγμών

Την τελευταία εικοσαετία, έχουν χρησιμοποιηθεί στην πράξη 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 την 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 τον χρόνο . Παρακάτω αναφέρονται μερικά από τα βασικά πλεονεκτήματα της τεχνικής των ρητινενέσεων:

- α) Οι κόλλες 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 κόλλες 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

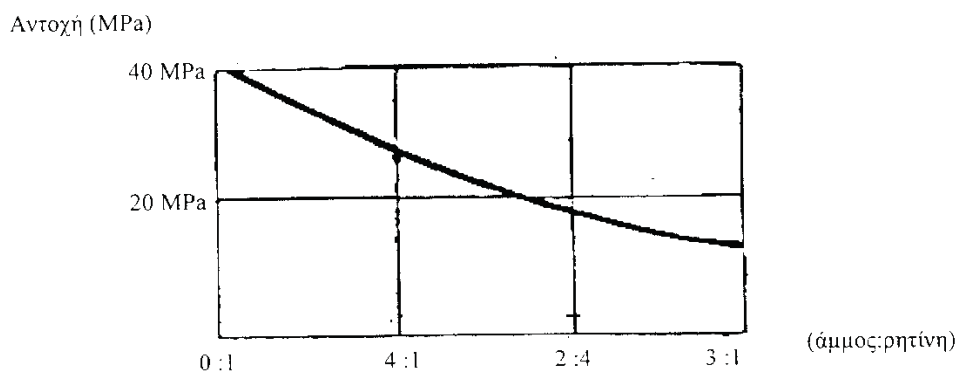
άνοιγμα και κλείσιμο των παρειών, λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών του περιβάλλοντος, είναι πολύ μικρότερο από ότι στην επιφάνεια του στοιχείου.

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 κόλλας στην συμπεριφορά του επισκευασμένου στοιχείου θα πρέπει να επισημανθούν τα εξής: το Μέτρο Ελαστικότητας της κόλλας 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 [6].

Ένα μεγαλύτερο Μέτρο Ελαστικότητας θα μπορούσε να επιτευχθεί σε περιπτώσεις χρησιμοποίησης 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 [9] όπως εξάλλου φαίνεται και στο διάγραμμα του Σχ. 13 [6].



Σχήμα 13 Επίδραση προσθήκης αδρανών στην αντοχή ρητινοκονιαμάτων

3.1.3 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 οπλισμένο

σκυρόδεμα. Στην συνέχεια αναφέρονται τα επιμέρους στάδια εκτέλεσης της επέμβασης, όπως αυτά προτείνονται σε διάφορα εγχειρίδια [1.4] 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 [20], 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 κόλλας.
- ε) Σφραγίζεται επιφανειακά, η ρωγμή με ρητινόστοκο ταχείας σκλήρυνσης ή άλλο αντίστοιχο υλικό που θα εμποδίσει τη διαφυγή της κόλλας έξω από την ρωγμή.
- στ) Αναμειγνύονται τα δύο συστατικά, η ρητίνη και ο σκληρυντής, για περίπου 3 min, σε κατάλληλο αναμικτήρα, έτσι ώστε να μην συκρατείται 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. " Συνίσταται, 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 [1,4].
- ζ) Εκτελείται η ρητινένωση, αρχίζοντας από το χαμηλότερο επιστόμιο, μέχρις ότου η κόλλα 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 την μέτρηση της πίεσης έγχυσης του μίγματος. Στη δεύτερη διαδικασία, χρησιμοποιούνται μηχανές αυτόματης συνεχούς ανάμιξης με ελεγχόμενη τροφοδοσία. Έτσι επιτυγχάνεται πλήρης εκμετάλλευση του χρόνου εργασιμότητας.

3.1.4 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 αφ' ετέρου 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.

Οι διαβεβαιώσεις των προμηθευτών για την παραμορφωσιμότητα ενός προϊόντος, πρέπει να εξετάζονται με προσοχή. Έτσι, αν για παράδειγμα απαιτείται παραμόρφωση κόλλας 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 ημί-παραμορφώσιμες κόλλες. Χρειάζεται βέβαια να τονιστεί ότι εν γένει δεν διατίθενται στην αγορά, κόλλες με μεγάλη παραμορφωσιμότητα και ότι η τεχνική των ρητινένεσεων εφαρμόζεται σχεδόν πάντοτε, σε μη-ενεργές ρωγμές.

Στον Πίνακα 7 [5] 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.

Ιδιότητες Χαρακτηριστικά	Μέθοδος Δοκιμής	Συμβατική Ονομασία Υλικού					
		A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6
Θλιπτική αντοχή [MPa]	ASTM D695	68,9	61,1	110	117	85,8	103,4
Χρόνος ** εργασιμότητας [min]	*	60 για 106 5 gr	300 για 106 5 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

Ιδιότητες Χαρακτηριστικά	Μέθοδος Δοκιμής	Συμβατική Ονομασία Υλικού					
		A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6
Αντοχή λοξής διάτμησης [MPa]	AASTHO T-237	48,2	*	34,5	*	*	34,5
Μέτρο ελαστικότητας [MPa]	ASTM D695	965	827	1585	1379	1372	2785
Αντοχή σε εφελκυσμό [MPa]	ASTM D638	41,4	34,5	62	27,5 – 41,4	57,2	55,2
Παραμόρφωση θραύσεως [%]	ASTM D638	2,0	2,5	2,5	0,5-1,2	1,5	2
Εφελκυστική αντοχή σε κάμψη [MPa]	ASTM 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				
		B 1	B 2	B 3	B 4	B 5
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 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 7 Τυπικά χαρακτηριστικά ενέσιμων ρητινών

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 στον χρόνο εργασιμότητας του υλικού, σε συνάρτηση με το είδος της βλάβης και τα διατιθέμενα μέσα.

3.1.5 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.

Στην συνέχεια εξετάζονται αναλυτικά οι παραπάνω παράγοντες.

Η γεωμετρία της ρωγμής, σε συνάρτηση με την γεωμετρία του φορέα είναι καθοριστική για την επιλογή των σημείων έγχυσης της κόλλας. 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 [20]. Επιλέγονται δηλαδή αποστάσεις, ίσες περίπου με το πάχος του στοιχείου. Αυτό στηρίζεται στην υπόθεση, ότι η κόλλα 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 την 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 την διάρκεια της επέμβασης.

Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην 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 κόλλες για τις οποίες η απαιτούμενη εισαγόμενη πίεση ενέματος, είναι μικρή. Οριακά μάλιστα σε περιπτώσεις με σχετικά ευρείς ρωγμές, χωρίς πιθανές αποφράξεις, η κόλλα 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 την συσκευή έγχυσης προσαρμόζεται ένα σύστημα δημιουργίας κενού [20].

Έτσι αποφεύγεται ο εγκλωβισμός αέρα και επομένως όλη η ρωγμή γεμίζει με κόλλα.

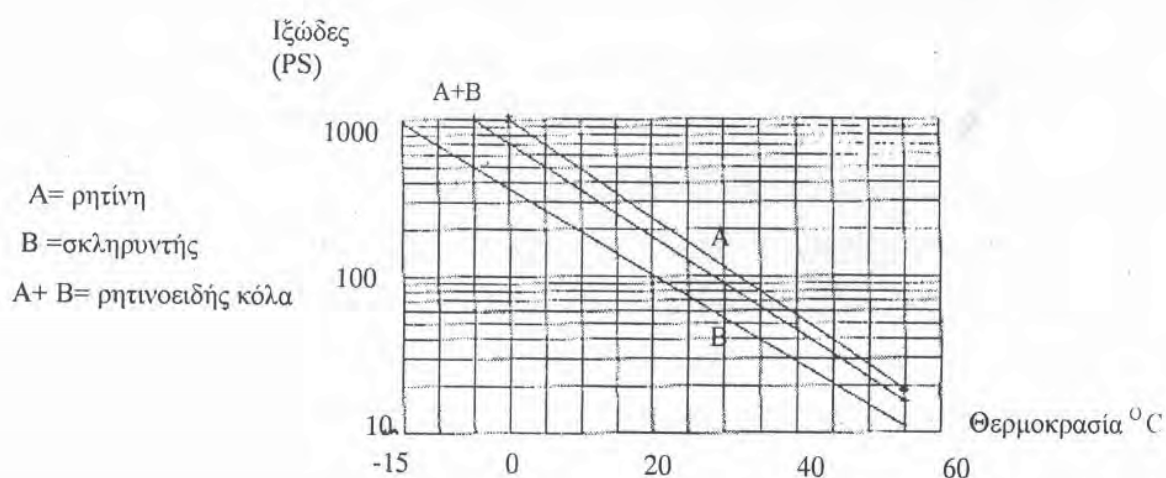
Το σύστημα αυτό είναι ιδιαίτερα απαραίτητο σε "τυφλές" ρωγμές. Το ιξώδες της κόλλας είναι ένας άλλος σοβαρός παράγοντας που επηρεάζει την επιτυχία της επέμβασης.

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 την διάρκεια εκτέλεσης της εργασίας.

Όσο μικρότερο είναι το ιξώδες του υλικού, τόσο μεγαλύτερη είναι η διείσδυση της κόλλας 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 κόλλας 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 [14], 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 8 και το Σχήμα 14, η μείωση του ιξώδους με την αύξηση της θερμοκρασίας είναι ιδιαίτερα σημαντική για κάθε τύπο κόλλας [5].



Σχήμα 14 Επίδραση θερμοκρασίας στο ιξώδες

Συμβατική ονομασία ρητινοειδούς κόλλας	T = 4 ° C	T = 25 ° C	T = 37 ° C
A 3	44	3,5	1,5
A 5	24	4	*
A 6	6	1,4	0,55
A 7	7,5	1,6	*
	T = 5 ° C	T = 2 ° C	T = 35 ° C
B 1	19	4,5	*
B 2	*	2	0,8
B 3	*	2,8	1,1
B 6	45	8,5	*
B 7	*	8	4,5

* δεν διατίθενται στοιχεία

Πίνακας 8 Ιξώδες ενέσιμων ρητινών (σε PS) για διαφορετικές θερμοκρασίες

Ο χρόνος εργασιμότητας, είναι ένα στοιχείο που πάντοτε δίνεται από τον προμηθευτή (βλ. Πιν. 7).

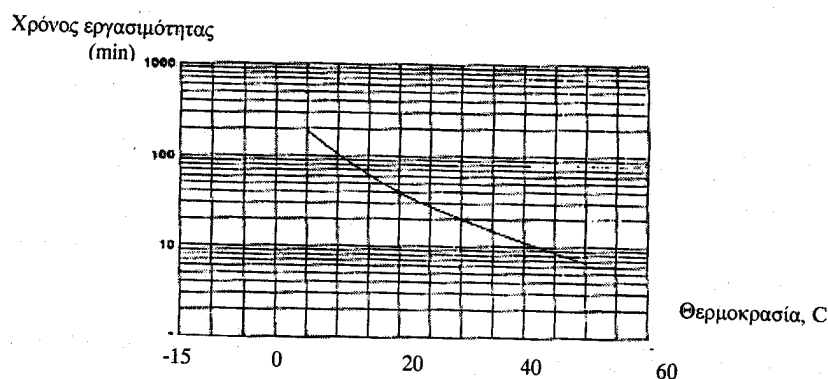
Γενικά μπορεί να λεχθεί ότι για ποσότητες του ενός λίτρου οι εποξειδικές κόλλες έχουν χρόνο εργασιμότητας της τάξεως των 45 min. Ο αντίστοιχος χρόνος στις πολυεστερικές κόλλες είναι της τάξης των 60 min. Αυτός ο χρόνος μπορεί να επιμηκυνθεί αν επιμεριστεί το μίγμα

σε μικρότερες ποσότητες ή αναμιγνύοντας μικρότερες ποσότητες ρητίνης και σκληρυντή. Αντίθετα, σε μεγαλύτερες ποσότητες, ο χρόνος εργασιμότητας γίνεται μικρότερος. Στον Πίνακα 9, παρουσιάζονται ενδεικτικά στοιχεία για δύο τύπους κόλλας, από όπου φαίνεται η εξάρτηση του εργάσιμου χρόνου από το μέγεθος του μίγματος. Είναι ενδιαφέρον να παρατηρηθεί ότι η παραπάνω εξάρτηση είναι έντονα διαφορετική για κάθε υλικό.

Συμβατική ονομασία ρητινοειδούς κόλλας	Ποσότητα μίγματος	
	4260 gr	4260:4=1065 gr
I	50 min	60 min
II	120 min	300 min

Πίνακας 9 Εργάσιμος χρόνος για διαφορετικές ποσότητες μίγματος

Τέλος πρέπει ιδιαίτερα να τονιστεί η μεγάλη εξάρτηση του χρόνου εργασιμότητας από τη θερμοκρασία, που μεγαλώνει όσο μειώνεται η θερμοκρασία (Σχ.15). Στον Πίνακα 10 [5] δίνονται ενδεικτικά στοιχεία από μερικά υλικά για τα οποία διατίθενται στοιχεία.



Σχήμα 15 Ενδεικτικό διάγραμμα για την επίδραση της θερμοκρασίας στο χρόνο εργασιμότητας

Συμβατική ονομασία ρητινοειδούς κόλλας	T = 4° C				
	T = 4° C	T = 4° C	T = 4° C	T = 4° C	Ποσότητα μίγματος
A 3	*	*	19 min	8,5 min	60 gr
A 6	210 min	62 min	28 min	12 min	60 gr
B 1	380 min	72 min	25 min	*	200 gr
B 2	*	300 min	80 min	*	200 gr
B 3	*	61 min	35 min	*	200 gr

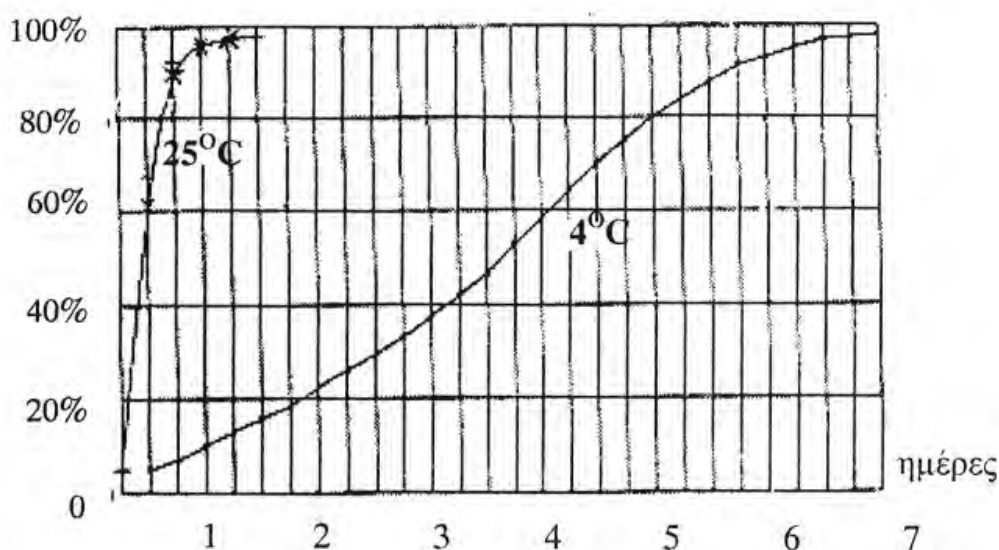
* δεν υπάρχουν στοιχεία

Πίνακας 10 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, όπως φαίνεται από τις καμπύλες του Σχ. 3.16 [5]. Οι καμπύλες αυτές

αφορούν ένα τύπο εποξειδικής κόλλας που έχει εφαρμογή στις χαμηλές θερμοκρασίες, μπορεί όμως να θεωρηθεί ότι εκφράζουν ποιοτικά κάθε τύπο κόλλας.

ποσοστό αντοχής



Σχήμα 16 Ενδεικτικό διάγραμμα για την επίδραση της θερμοκρασίας στο χρόνο απόκτησης αντοχής.

4 ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Επισκευαστικά κονιάματα χρησιμοποιούνται συχνά σε εφαρμογές αποκατάστασης και ενίσχυσης των κατασκευών όταν το απαιτούμενο πάχος του υλικού είναι μικρό και απαιτείται πολύ καλή πρόσφυση. Βασικό μειονέκτημα, αυτών των υλικών είναι το υψηλό τους κόστος, που όμως συχνά εξουδετερώνεται από το γεγονός ότι η ποσότητα που απαιτείται είναι μικρή και το μέγεθος της προστασίας που προσφέρεται είναι υψηλό.

Στην πράξη εφαρμόζονται σήμερα δύο τύποι κονιαμάτων. Τα κονιάματα με πολυμερή και τα κονιάματα με βάση το τσιμέντο.

4.1 Κονιάματα με πολυμερή

Τα κονιάματα με πολυμερή παράγονται με δύο τρόπους:

- (α) με αντικατάσταση του τσιμέντου με πολυμερές,
- (β) με αντικατάσταση μέρους του νερού με υδατοδιαλυτό πολυμερές (latex)

Στην πράξη έχει επικρατήσει η ονομασία ρητινοκονιάματα επειδή συνήθως ως πολυμερές χρησιμοποιείται ρητίνη.

Κονιάματα αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται για να αποκατασταθούν βλάβες μικρού βαθμού σε δομικά στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπως αποφλοιώσεις σκυροδέματος ή άλλες περιπτώσεις όπου το απαιτούμενο πάχος του επισκευαστικού υλικού είναι ιδιαίτερα μικρό (π.χ. στην περίπτωση οπλισμών χωρίς επικάλυψη λόγω κακής σκυροδέτησης).

Τα πλεονεκτήματα των κονιαμάτων αυτού του τύπου είναι σημαντικά, και ανάλογα με αυτά που αναφέρθηκαν για την περίπτωση του σκυροδέματος με πολυμερή. Αν και το κόστος τους είναι ιδιαίτερα υψηλό σε σύγκριση με τα ανταγωνιστικά κονιάματα που έχουν βάση το

τσιμέντο, πρέπει να τονιστεί ότι στο πεδίο εφαρμογής που αναφέρθηκε παραπάνω έχουν σαφές προβάδισμα.

4.2 Κονιάματα με βάση το τσιμέντο

Τα κονιάματα αυτά δημιουργούνται από ειδικές κονίες με προσθήκη μικρής ποσότητας νερού, της τάξεως 10-20 % του βάρους του κονιάματος. Οι κονίες είναι μίγματα τσιμέντου με λεπτόκοκκα αδρανή που η διάμετρος τους συνήθως δεν ξεπερνά τα 2.5 mm, σε συνδυασμό με υπερευστοποιητικά υλικά, και πρόσμικτα που παρεμποδίζουν την συστολή ξήρανσης. Σε μερικές περιπτώσεις τα αδρανή μπορεί να έχουν διάμετρο μέχρι και 10 mm. Συνήθως τα αδρανή περιέχονται στο μίγμα, που προσφέρεται στην αγορά σε συσκευασμένους σάκους έτοιμο προς χρήση απαιτώντας μόνο την προσθήκη κατάλληλης ποσότητας νερού. Σε μερικές περιπτώσεις τα αδρανή προβλέπεται να προστίθενται σε προκαθορισμένη αναλογία, που συνήθως δεν ξεπερνά την 1 : 1 , ακολουθώντας πάντοτε τις οδηγίες του παραγωγού.

Κονιάματα αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται όταν απαιτούνται μικρά μεν πάχη υλικού, αλλά όμως μεγαλύτερα απ' ότι στις περιπτώσεις που περιγράφηκαν προηγουμένως για εφαρμογές με κονιάματα πολυμερών. Συνήθεις εφαρμογές τους είναι η αποκατάσταση περιοχών αποδιοργανωμένου σκυροδέματος και η πλήρωση φωλεών σε στοιχεία σκυροδέματος με κακή συμπίκνωση.

Τα μεγάλα πλεονεκτήματα αυτών των κονιαμάτων είναι :

α) Οι υψηλές αντοχές που οφείλονται στο χαμηλό υδατοτσιμεντοσυντελεστή. Στον Πίνακα 11 [5] παρουσιάζονται οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά ενός δείγματος από υλικά της αγοράς για τα οποία υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία. Στις δύο τελευταίες στήλες δίνονται για λόγους σύγκρισης τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά για τις κατηγορίες σκυροδέματος C 16/20 και C25/30.

Ιδιότητες Χαρακτηριστικά	Συμβατική ονομασία υλικού						Κατηγορία σκυροδέματος	
	MA	MB	MC	MD	ME	MF	C 16/20	C 25/30
Θλιπτική αντοχή [MPa]	74	70	75	63	68	42	24	33
Μέτρο ελαστικότητας σε θλίψη [MPa]	25.000	25.000	30.000	*	*	27.500	30.500	*
Παραμόρφωση αστοχίας [‰]	6	6	6	*	*	*	3,7	3,5
Εφελκυστική αντοχή σε κάμψη [MPa]	8,8	8	8,5	8	11,3	6,3	2,1	2,8
Συνάφεια με παλαιό σκυρόδεμα [MPa]	6	6	6,5	*	*	*	1,5	1,5
Συνάφεια με χάλυβα [MPa] Για λείους ράβδους Για ράβδους με ραβδώσεις	3 20	3 20	4 30	*	*	*	*	*

* δεν διατίθενται στοιχεία

Πίνακας 11 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά επισκευαστικών κονιαμάτων με βάση το τσιμέντο

β) **Η ταχεία ανάπτυξη αντοχής**, όπως μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί στον Πίνακα 12 .

Θλιπτική αντοχή [MPa]	Συμβατική ονομασία υλικού				
	MA	MB	MC	MD	ME
1 ημέρα	33	26	30	3	16
4 ημέρα	*	40	45	33	38
8 ημέρα	*	5	60	48	48
28 ημέρα	74	70	75	63	68

* δεν διατίθενται στοιχεία

Πίνακας 12 Εξέλιξη της ανάπτυξης της αντοχής επισκευαστικών κονιαμάτων με βάση το τσιμέντο

γ) **Η μεγάλη ρευστότητα**, που μπορεί να επιτευχθεί χωρίς μείωση της αντοχής, λόγω παρουσίας υπερευστοποιητών .

δ) **Η εξουδετέρωση της συστολής ξήρανσης**, λόγω της παρουσίας των ειδικών προσθέτων που προκαλούν σταδιακή αύξηση του όγκου του κονιάματος.

Συμπερασματικά μπορεί να λεχθεί ότι το υλικό, έχει χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά του σκυροδέματος και υψηλότερη αντοχή. Επίσης έχει πολύ καλή πρόσφυση στο υλικό βάσης που μπορεί να είναι σκυρόδεμα ή τοιχοποιία και δεν παρουσιάζει ρηγματώσεις ή κενά κακής χύτευσης.

Το υλικό πρέπει να είναι καλά συσκευασμένο και σωστά αποθηκευμένο σε ξηρό χώρο. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή επειδή η παρουσία υγρασίας έχει ιδιαίτερα αρνητικές επιπτώσεις στα επιδιωκόμενα αποτελέσματα.

Το μίγμα αναμειγνύεται για 3-4 min, σε μικρό αναμικτήρα. Πρώτα τοποθετείται το νερό στην ελάχιστη συνιστώμενη ποσότητα και στη συνέχεια προστίθεται κονία σε συνεχή ροή. Έπειτα προστίθεται όσο νερό χρειάζεται (μέσα στα όρια της προδιαγραφής του προμηθευτή), για την απόκτηση της επιθυμητής ρευστότητας και συνεχίζεται η ανάμιξη για 2-3 min, ακόμα. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, ότι οι προβλεπόμενες από τους προμηθευτές ποσότητες νερού, αφορούν κανονικές συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Σε συνθήκες ψυχρού και υγρού περιβάλλοντος (π. χ. το χειμώνα) το νερό θα πρέπει να μειώνεται ενώ σε αντίθετες συνθήκες το νερό θα πρέπει να αυξάνει.

Υπενθυμίζεται πάντως ότι, όπως και στο συμβατικό σκυρόδεμα, οι αντοχές αναπτύσσονται αργότερα, σε χαμηλές θερμοκρασίες. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί χρησιμοποιώντας χλιαρό (30° -50° C) νερό ανάμιξης και θερμομονωτικά καλύμματα.

Παρακάτω παρουσιάζεται η πορεία των εργασιών σε μία τυπική διαδικασία χρήσης αυτών των υλικών .

- Απομακρύνεται το αποσθρωμένο σκυρόδεμα και δημιουργείται τραχεία, επιφάνεια πρόσφυσης, σε βάθος της τάξεως των 5 mm.
- Δημιουργείται περιμετρική απότμηση της προς επισκευή επιφάνειας, σε βάθος τουλάχιστον 10 mm, έτσι ώστε να δημιουργηθεί περιμετρικός εγκιβωτισμός του κονιάματος.
- Καθαρίζεται ο οπλισμός από την σκουριά και το σκυρόδεμα βάσης από τυχόν σκόνη.
- Τοποθετείται ελαφρύς οπλισμός, σε περιπτώσεις πάχους μεγαλύτερου από 20 mm, ειδικότερα στις περιπτώσεις που δεν έχει εξασφαλιστεί ο περιμετρικός
- εγκιβωτισμός.
- Διαβρέχεται το σκυρόδεμα βάσης για όσο χρόνο συνιστάται από τον προμηθευτή. Πάντως χρειάζεται προσοχή να μην παραμείνει νερό πριν τη χύτευση στην επιφάνεια βάσης (κίνδυνος) σε οριζόντιες επιφάνειες.
- Εφόσον χρησιμοποιείται ξυλότυπος, αυτός διαβρέχεται με προσοχή πριν τη χύτευση.
- Τοποθετείται το κονίαμα. Σε περιπτώσεις ρευστού υλικού η χύτευση γίνεται από τη μία πλευρά για να αποφευχθεί ο εγκλωβισμός αέρα. Σε περίπτωση πλαστικού υλικού, η τοποθέτηση γίνεται χειρονακτικά πιέζοντας το υλικό. Όταν υπάρχει οπλισμός, τότε το υλικό τον καλύπτει τουλάχιστον 10-15 mm.
- Αφαιρείται ο τυχόν ξυλότυπος μετά παρόδου χρόνου τουλάχιστον 24 ωρών μετά τη χύτευση. Σε επιφάνειες χωρίς καλούπι, τις πρώτες 24 ή 48 ώρες απαιτείται καλή συντήρηση με υγρές λινάτσες. Ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος και τις απαιτήσεις της κονιάς, η συντήρηση συνεχίζεται για 4-5 μέρες, σύμφωνα με τις οδηγίες του προμηθευτή. Συνήθως η ανάγκη επιμελούς συντήρησης είναι μεγαλύτερη όταν είναι μεγάλη η ρευστότητα του κονιάματος που χρησιμοποιήθηκε.

5 ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΑ ΦΥΛΛΑ ΑΠΟ ΧΑΛΥΒΑ Η ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ

Η χρήση επικολλητών φύλλων , από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή (FRP), για την ενίσχυση στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα, είναι σήμερα μια πολύ δημοφιλής τεχνική λόγω της ευκολίας εφαρμογής της.

Ο παραδοσιακός τρόπος εφαρμογής της τεχνικής είναι με χρήση χαλύβδινων ελασμάτων. Σήμερα, έχει αρχίσει να εφαρμόζεται ανταγωνιστικά (με αρκετά πράγματι πλεονεκτήματα) η χρήση φύλλων από ινοπλισμένα πολυμερή.

Στην συνέχεια αναπτύσσονται και σχολιάζονται συγκριτικά και οι δύο τεχνικές.

5.1 Χαλύβδινα επικολλητά ελάσματα

Η χρήση χαλύβδινων ελασμάτων που επικολλώνται στην εξωτερική επιφάνεια δομικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι μια πολύ πρακτική τεχνική ενίσχυσης, που στοχεύει στη συμπλήρωση του ελλείμματος του προϋπάρχοντος οπλισμού, με νέους οπλισμούς.

Η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για την αύξηση της καμπτικής αντοχής δοκών και πλακών ή της διατμητικής αντοχής δοκών. Τα χαλύβδινα ελάσματα επικολλώνται, χρησιμοποιώντας κάποια κατάλληλη κόλλα, σε επίπεδο παράλληλο προς αυτό του προϋπάρχοντος ανεπαρκούς οπλισμού. Έτσι είτε τοποθετούνται στο εφελκυστικό πέλμα των στοιχείων (ενίσχυση σε κάμψη), είτε τοποθετούνται στις παρειές των δοκών (ενίσχυση σε διάτμηση). Επίσης μεταλλικά ελάσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και με τη μορφή κλειστών μανδύων για την ενίσχυση υποστλωμάτων με τη τεχνική της περίσφιγξης.

Τα τελευταία 30 χρόνια η τεχνική εφαρμόστηκε ευρύτατα σε περιπτώσεις ενίσχυσης του εφελκυσμένου πέλματος καταστρωμάτων γεφυρών. Οι πρώτες εφαρμογές έγιναν στην Γαλλία και στη Ν .Αφρική στα μέσα της δεκαετίας του 1960.

Συνήθως χρησιμοποιούνται λεπτά χαλύβδινα ελάσματα πάχους 1-1.5 mm με όριο διαρροής που κυμαίνεται από 240 έως 400 MPa. Τα ελάσματα επικολλούνται σε μία ή περισσότερες στρώσεις σε συνεχή σύνδεση χρησιμοποιώντας ειδική κόλλα που συνήθως είναι εποξειδική. Συνίσταται η χρησιμοποίηση κόλλας με πλάσσιμη συμπεριφορά για καλύτερη κατανομή των τάσεων στην περιοχή αγκύρωσης. Πρόσθετα στοιχεία αγκύρωσης μέσω βλήτρων ή μικροσυνδέσμων (καρφιών) χρησιμοποιούνται συχνά για μεγαλύτερη εξασφάλιση της σύνδεσης.

Το πάχος των ελασμάτων ενίσχυσης πρέπει να είναι μικρό για να αποφεύγεται η πρόωρη αστοχία στην διεπιφάνεια επικόλλησης του ελάσματος, ιδιαίτερα στην ακραία περιοχή αγκύρωσης του. Γενικά προτείνεται να μην ξεπερνά τα 4 mm και επίσης να είναι μικρότερο από 2% του πλάτους του ελάσματος. Εξάλλου η χρήση ελασμάτων με μικρό πάχος επιτρέπει την καλύτερη σύνδεση με το στοιχείο αφού έτσι ακολουθείται κάθε αλλαγή της επιπεδότητας του πέλματος, χωρίς να εισάγονται πρόσθετες τοπικές τάσεις στο έλασμα. Αυτός είναι ο λόγος που σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ελάσματα σε περισσότερες στρώσεις, αντί για ελάσματα μεγάλου πάχους.

Μια τυπική διαδικασία εφαρμογής της τεχνικής είναι η εξής:

1. Η επιφάνεια του σκυροδέματος που θα έρθει σε επαφή με το συγκολλητικό μέσο λειαίνεται με επιμέλεια και καθαρίζεται καλά από τυχόν σκόνες.
2. Η επιφάνεια του σκυροδέματος διαβρέχεται με νερό υπό πίεση και μετά στεγνώνεται καλά
3. Γίνεται αμμοβολή στην εσωτερική επιφάνεια των ελασμάτων έτσι ώστε να παρεμποδιστεί η οξείδωση του χάλυβα και ακολουθεί καθαρισμός με απολυμαντικό μέσο.
4. Η επιφάνεια του σκυροδέματος εμποτίζεται με αραιό διάλυμα εποξειδικής κόλλας εάν κριθεί ότι είναι ιδιαίτερα πορώδης ή υπάρχουν μικρορηγματώσεις.
5. Η επιφάνεια αναμονής επαλείφεται με εποξειδική κόλλα πάχους 1-2 mm με κατάλληλο ιξώδες που διευκολύνει την τοποθέτηση του ελάσματος. Η κόλλα τοποθετείται με μεγαλύτερο πάχος, που είναι της τάξης των 10 mm, στην κεντρική περιοχή επαφής, έτσι ώστε κατά την τοποθέτηση του ελάσματος η κόλλα να προχωράει προς τα έξω όταν συμπιεστεί.
6. Το έλασμα τοποθετείται στην επιφάνεια αναμονής με προσοχή έτσι ώστε να μην εγκλωβιστεί αέρας και συμπιέζεται για χρονικό διάστημα περίπου 24 ωρών με κατάλληλη διάταξη.

7. Αν προβλέπεται η τοποθέτηση περισσότερων του ενός μεταλλικών ελασμάτων, η διαδικασία επαναλαμβάνεται, προετοιμάζοντας με ανάλογο τρόπο την εξωτερική επιφάνεια του προηγούμενου ελάσματος.
8. Τελικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα "πεταχτό" τσιμεντοκονίαμα για προστασία των ελασμάτων από διάβρωση και αντίσταση σε προσβολή από υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. πυρκαγιά).

Η ευκολία εφαρμογής της τεχνικής σε συνδυασμό με την ελάχιστη όχληση που προκαλείται στην χρήση του δομήματος και το χαμηλό κόστος αποτελούν τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου.

Κύρια μειονεκτήματα της τεχνικής είναι η ευκολία διάβρωσης του χάλυβα που συχνά διαπιστώνεται εντονότερη στην εσωτερική επιφάνεια των ελασμάτων.

Απαιτείται ως εκ τούτου συνεχής συντήρηση που τελικά αυξάνει το κόστος. Εξάλλου η προφανής δυσκολία άμεσης διαπίστωσης της διάβρωσης του χάλυβα και η αδυναμία λήψης μέτρων προστασίας στην εσωτερική επιφάνεια των ελασμάτων, αυξάνει τους κινδύνους για μια απροειδοποίητη αστοχία της διεπιφάνειας και τελικά ένα ανεπιθύμητο τρόπο αστοχίας των στοιχείων. Επιπλέον στα αρνητικά της τεχνικής θα πρέπει να προστεθούν (α) η δυσκολία εφαρμογής της τεχνικής λόγω του μεγάλου βάρους του χάλυβα και (β) η ανάγκη κατασκευής ενώσεων των ελασμάτων στις περιπτώσεις που απαιτούνται μεγάλα μήκη (π.χ. γέφυρες μεγάλων ανοιγμάτων).

Για να αντιμετωπιστούν τα παραπάνω μειονεκτήματα έχει αρχίσει να εφαρμόζεται ως εναλλακτική λύση η χρήση σύνθετων υλικών από ινοπλισμένα πολυμερή που επικολλώνται με ανάλογο τρόπο στην εξωτερική επιφάνεια των στοιχείων.

Στην συνέχεια αναπτύσσεται η εφαρμογή της παραπάνω τεχνικής.

5.2 ΦΥΛΛΑ ΑΠΟ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (FRP_s)

Η χρήση φύλλων από ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ)-Fiber Reinforced Polymers (FRP_s) αποτελεί σήμερα την πλέον σύγχρονη τεχνική στον τομέα της ενίσχυσης των κατασκευών. Ουσιαστικά, είναι η εξέλιξη της τεχνικής των χαλύβδινων επικολλητών ελασμάτων αντιμετωπίζοντας επιτυχώς τις αδυναμίες αυτής της τεχνικής. Έχουν πολύ μικρό βάρος και εξαιρετικά υψηλή αντοχή, διατίθενται σε μεγάλα μήκη και δεν είναι ευαίσθητα σε διάβρωση [2]. Εξάλλου η εφαρμογή της τεχνικής είναι απλούστατη και ο χρόνος που απαιτείται για την εκτέλεση της εργασίας ελάχιστος, υπερέχοντας ακόμα και στα αντίστοιχα θετικά χαρακτηριστικά της τεχνικής των χαλύβδινων επικολλητών ελασμάτων. Έτσι η εφαρμογή της τεχνικής έχει επεκταθεί και σε περιπτώσεις όπου η τεχνική των επικολλητών ελασμάτων είναι περιορισμένη. Ως τέτοιες περιπτώσεις μπορούν να αναφερθούν οι ενισχύσεις υποστυλωμάτων με μανδύα και οι ενισχύσεις κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων. Ως κύριο μειονέκτημα της, τεχνικής θα πρέπει να αναφερθεί το ιδιαίτερα υψηλό κόστος του υλικού που όμως μειώνεται σταδιακά λόγω της αύξησης της ζήτησης και κατά συνέπεια αύξηση της παραγωγής αυτού του είδους των υλικών.

Τα ινοπλισμένα πολυμερή είναι στην πραγματικότητα σύνθετα υλικά που αποτελούνται από ίνες υψηλής εφελκυστικής αντοχής εμποτισμένες με θερμοσκληρυνόμενη κόλλα, της οποίας τα χαρακτηριστικά δεν είναι ευαίσθητα σε θερμοκρασίες κάτω των 80° C. Οι συνήθεις τύποι ινών είναι από γυαλί ή αραμίδη (που συχνά αναφέρεται ως κέβλαρ) ή από άνθρακα με πολύ μικρή διάμετρο της τάξης των 5-25 μm. Στον Πίνακα 13 [11] δίνονται τυπικά χαρακτηριστικά των ινών, σε σύγκριση με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά του χάλυβα. Η διαδικασία επικόλλησης των ινοπλισμένων φύλλων πολυμερών συνήθως συνιστάται από τους προμηθευτές. Πάντως μια τυπική διαδικασία εφαρμογής της τεχνικής μπορεί να είναι η εξής:

Ινες	Πυκνότητα [Kg/m ³ X 10 ³]	Μέτρο Ελαστικότητας [GPa]	Λόγος Poisson	Εφελκυστική αντοχή [MPa]	Παραμόρφωση αστοχίας [%]
Ανθρακα					
Υψηλού E	1,90	380	0,35	1800	0,5
Υψηλής f _t	1,90	230	0,35	2600	1,2
Γυαγιού					
Γυαλί E	2,54	72-75	0,25	3500	4,8
Γυαλί AR	2,27	70-76	0,25	2000-3500	3-4,6
Αραμίδιο					
Κέβλαρ 29	1,44	70	0,32	2900	4
Κέβλαρ 49	1,45	135	0,32	2900	2,1
Χάλυβας	7,86	200	0,28	400-1700	10

Πίνακας 13 Τυπικές ιδιότητες ινών

1. Απομακρύνεται η επιδερμική στρώση σκυροδέματος στην επιφάνεια που θα γίνει η επικόλληση έτσι ώστε να αποκαλυφθούν τα αδρανή σε βάθος περίπου 5 mm, χρησιμοποιώντας ειδικό μηχανικό εξοπλισμό, ή υδροβολή.
2. Εφόσον το σύνθετο υλικό καλύπτει και γωνίες του στοιχείου σκυροδέματος, αυτές εξομαλύνονται και λειαίνονται για να αποκτήσουν καμπυλότητα με ακτίνα 30 mm.
3. Η επιφάνεια σκυροδέματος καθαρίζεται καλά, διαβρέχεται με νερό υπό πίεση και μετά στεγνώνεται. Η υγρασία της τελικής επιφάνειας του σκυροδέματος δεν επιτρέπεται να είναι περισσότερο από 4%.
4. Η επιφάνεια του σκυροδέματος εμποτίζεται με αραιό διάλυμα εποξειδικής κόλλας εάν κριθεί ότι είναι ιδιαίτερα πορώδης ή υπάρχουν μικρορηγματώσεις. Στη συνέχεια η επιφάνεια επαλείφεται με παχύρρευστο συγκολλητικό υλικό που συνήθως είναι εποξειδικός στόκος. Σημειώνεται ότι συχνά επιλέγεται η διαδικασία λείανσης της επιφάνειας χωρίς να προηγηθεί η εξομαλυντική στρώση του εποξειδικού στόκου.
5. Μετά την σκλήρυνση του συγκολλητικού υλικού, η επιφάνεια λειαίνεται με επιμέλεια έτσι ώστε να μην υπάρχει ανωμαλία σε ύψος μεγαλύτερο από 1 mm.
6. Η επιφάνεια αναμονής επαλείφεται με εποξειδική κόλλα πάχους 1-2 mm με κατάλληλο ιξώδες που διευκολύνει την τοποθέτηση του φύλλου. Η κόλλα τοποθετείται με μεγαλύτερο πάχος, που είναι της τάξης των 10 mm. στην κεντρική περιοχή επαφής, έτσι ώστε κατά την τοποθέτηση του φύλλου η κόλλα να προχωράει προς τα έξω όταν συμπιεστεί. Συχνά, τα χαρακτηριστικά της κόλλας, προδιαγράφονται από τον προμηθευτή του σύνθετου υλικού.
7. Το φύλλο του σύνθετου υλικού τοποθετείται στην επιφάνεια αναμονής, εφαρμόζοντας ομοιόμορφη πίεση, με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μην εγκλωβιστεί αέρας. Συνήθως χρησιμοποιείται ένα σκληρό ρολό.
8. Μετά πάροδο χρόνου μισής έως μιας ώρας, αφαιρείται το προστατευτικό κάλυμμα του φύλλου και οι ίνες επαλείφονται με μία δεύτερη στρώση της ίδιας κόλλας.
9. Αν προβλέπεται η τοποθέτηση περισσότερων του ενός φύλλου, η διαδικασία επαναλαμβάνεται, προετοιμάζοντας με ανάλογο τρόπο την εξωτερική επιφάνεια του προηγούμενου ελάσματος.
10. Τελικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα "πεταχτό" τσιμεντοκονίαμα για προστασία των φύλλων του σύνθετου υλικού από υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. πυρκαγιά) και άλλες περιβαλλοντικές προσβολές.

Τα χαρακτηριστικά των ινοπλισμένων πολυμερών εξαρτώνται κυρίως από την κατ' όγκο περιεκτικότητα τους σε ίνες. Ειδικά για το Μέτρο Ελαστικότητας, η σχέση που ισχύει για σύνθετα υλικά με συνεχείς ίνες μιας διεύθυνσης είναι η εξής [11]:

$$E_{FRP} = E_r \cdot V_r + E_f \cdot V_f$$

όπου:

E_{FRP} , E_r , E_f είναι τα Μέτρα Ελαστικότητας του σύνθετου υλικού, της κόλλας και των ινών αντίστοιχα.

V_r ' V_f είναι τα κ.ο. ποσοστά κόλλας και ινών .

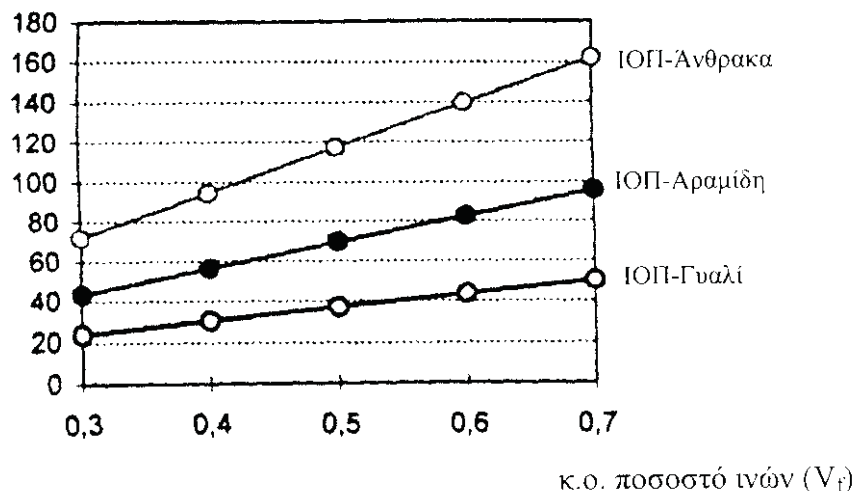
Προφανώς ισχύει $V_r + V_f = 1$

Εξάλλου, επειδή $E_f \gg E_r$ μπορεί να θεωρηθεί προσεγγιστικά $E_{FRP} = V_f \cdot E_f$

Στο Σχήμα 17 αναπαριστάται γραφικά η παραπάνω σχέση για τους τρεις τύπους ινών .

Μέτρο Ελαστικότητας (E_{FRP})

MPa



Σχήμα 17 Εξάρτηση Μέρους Ελαστικότητας από το ποσοστό των ινών .

Η εφελκυστική αντοχή των σύνθετων υλικών είναι 3-4 φορές μεγαλύτερη από αυτή του κοινού χάλυβα S500_s και για βραχυχρόνια φόρτιση κυμαίνεται σε 1500-2500 MPa.

Εξάλλου μπορεί να θεωρηθεί ότι οι εξισώσεις που δόθηκαν παραπάνω για το Μέτρο Ελαστικότητας ισχύουν προσεγγιστικά και για την εφελκυστική αντοχή, αντικαθιστώντας τα Μέτρα Ελαστικότητας με τις αντίστοιχες εφελκυστικές αντοχές.

Πρέπει πάντως να τονιστεί ότι για μακροχρόνια φόρτιση η εφελκυστική αντοχή μπορεί να μειωθεί σημαντικά. Για υλικά με ίνες γυαλιού η αντοχή μειώνεται μέχρι και το 40-60 % της αρχικής τιμής, ενώ για υλικά με ίνες αραμιδίου ή άνθρακα μέχρι το 50-65% και 75-95% αντίστοιχα.

Στον Πίνακα 14 παρουσιάζονται τυπικές τιμές για το Μέτρο Ελαστικότητας και τη παραμόρφωση αστοχίας των σύνθετων υλικών [11].

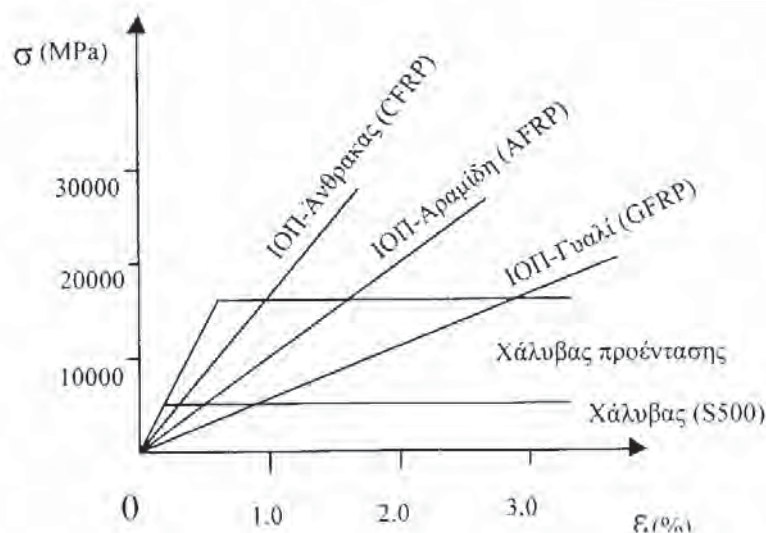
Στο Σχήμα 18 παρουσιάζονται τυπικές καμπύλες τάσεων-παραμορφώσεων για σύνθετα υλικά μαζί με την αντίστοιχη καμπύλη για χάλυβα. Όπως μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί, τα σύνθετα υλικά συμπεριφέρονται πλήρως ελαστικά, μέχρι την αστοχία τους. Η παντελής έλλειψη πλάστιμης συμπεριφοράς, που συνεπάγεται και αδυναμία απορρόφησης ενέργειας από το υλικό, αποτελεί ένα από τα βασικά μειονεκτήματα των σύνθετων υλικών. Όμως στις εφαρμογές τους σε ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, το παραπάνω μειονέκτημα είναι λιγότερο έντονο, επειδή το ενισχυμένο στοιχείο διατηρεί ένα βαθμό πλαστιμότητας. Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση

εφαρμογής τους υπό την μορφή κλειστού μανδύα σε υποστυλώματα, η αύξηση της πλαστιμότητας αποτελεί την κύρια επιδίωξη εφαρμογής της τεχνικής.

Μία τεχνική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδώσει κάποιο βαθμό πλαστιμότητας στο υλικό είναι η σύνθεση του υλικού με ίνες διαφορετικού τύπου. Οι ίνες αστοχώντας σε διαφορετικά μεγέθη παραμόρφωσης δημιουργούν τελικά μία ψευδο-πλάστιμη συμπεριφορά.

Υλικό	Μέτρο Ελαστικότητας [GPa]	Παραμόρφωση αστοχίας [%]
Σύνθετο υλικό με ίνες γυαλιού (GFRP)	50	3 %
Σύνθετο υλικό με ίνες αραμιδίου (AFRP)	65 –120	2-3 %
Σύνθετο υλικό με ίνες άνθρακα (CFRP)	35 –190	1-1,5 %
Χάλυβας	200	10 %

Πίνακας 14 Τυπικές τιμές Μέτρου ελαστικότητας και παραμορφώσεως αστοχίας συνθέτων υλικών και χάλυβα



Σχήμα 18 Σχέσεις τάσης-παραμόρφωσης για σύνθετα υλικά σε εφελκυσμό.

Ως αρνητικά χαρακτηριστικά των σύνθετων υλικών θα πρέπει επίσης να αναφερθούν:

- (α) Η χαμηλή αντίστασή τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Ως γνωστόν η κόλλα καίγεται σε θερμοκρασίες υψηλότερες από 250° C.
- (β) Η ευαισθησία τους σε περιβαλλοντικές δράσεις όπως η υπεριώδης ακτινοβολία, η υγρασία, οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας και η δράση χημικών. Σε γενικές γραμμές η παραπάνω ευαισθησία εξαρτάται από τον τύπο των ινών του υλικού. Έτσι για παράδειγμα η υπεριώδης ακτινοβολία επιδρά ιδιαίτερα στα υλικά με ίνες αραμιδίη ενώ η δράση αλκαλίων είναι περισσότερο έντονη σε υλικά με ίνες γυαλιού. Πάντως τα υλικά με ίνες άνθρακα, θεωρούνται περισσότερο ανθεκτικά, ενώ τα υλικά με ίνες γυαλιού είναι τα λιγότερο ανθεκτικά και τα υλικά με ίνες αραμιδίη βρίσκονται ενδιάμεσα.

Στον Πίνακα 15 παρουσιάζεται μια ποιοτική αξιολόγηση των χαρακτηριστικών σύνθετων υλικών. Για λόγους σύγκρισης έχουν βαθμολογηθεί σε μία κλίμακα με άριστα το 10 [11].

Χαρακτηριστικό	ΙΟΠ - Ανθρακας	ΙΟΠ - Αραμίδη	ΙΟΠ – Γυαλιού
Εφελκυστική αντοχή	9	9	9
Μέτρο ελαστικότητας	9	6	3
Παραμόρφωση αστοχίας	6	9	9
Συμπεριφορά σε μακροχρόνιες δράσεις	9	6	3
Συμπεριφορά σε κόπωση	6	4	2
Ανθεκτικότητα σε διάρκεια	6	4	2
Πυκνότητα	4	6	2
Κόστος	6	6	9

Πίνακας 15 Ποιοτική αξιολόγηση ινοπλισμένων πολυμερών

6 ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ -ΑΓΚΥΡΙΑ

Μεταλλικοί σύνδεσμοι που αγκυρώνονται σε υφιστάμενα στοιχεία σκυροδέματος μπορούν να δρουν είτε ως βλήτρα είτε ως αγκύρια, ανάλογα με τον τύπο του φορτίου που καταπονούνται. Ως **βλήτρα** χαρακτηρίζονται όταν καταπονούνται σε διάτμηση ενώ ως **αγκύρια** όταν καταπονούνται σε αξονικό φορτίο.

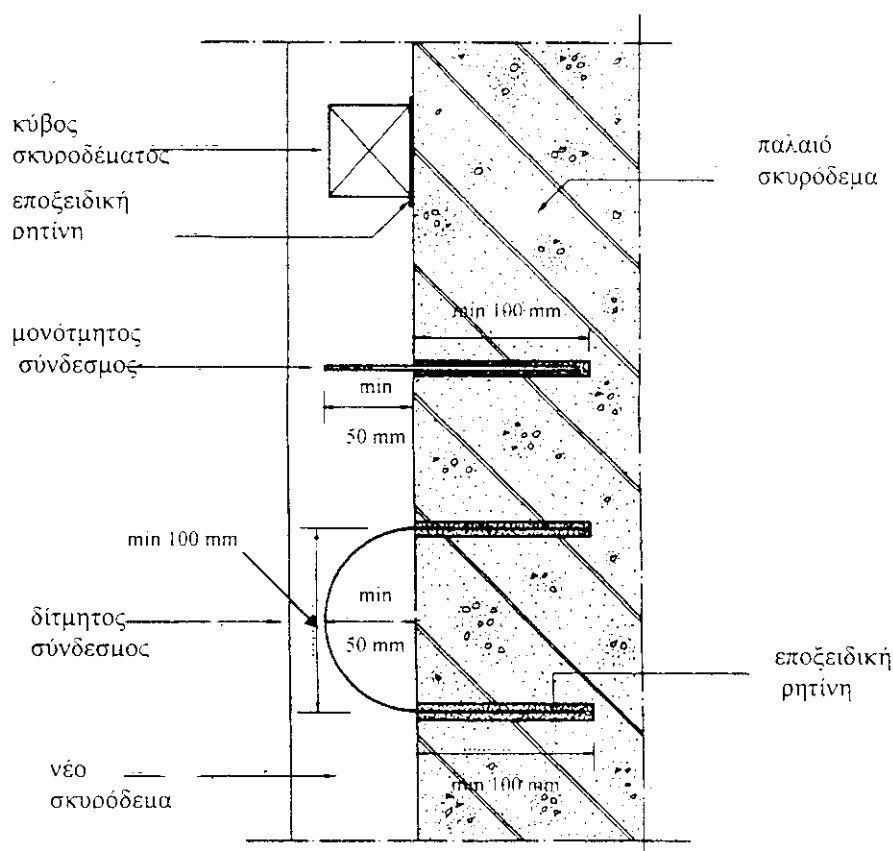
Στην πράξη, διατίθενται ένα πλήθος από βιομηχανοποιημένους συνδέσμους που αγκυρώνονται στα στοιχεία σκυροδέματος με χημικό ή μηχανικό τρόπο. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τμήματα ράβδων οπλισμού ή δομικού χάλυβα που πακτώνονται με χημικό τρόπο σε τρύπες που διανοίγονται στα υφιστάμενα στοιχεία σκυροδέματος.

Η χημική πάκτωση των συνδέσμων, που αποτελεί την συχνότερη επιλογή στην πράξη, γίνεται σχεδόν πάντοτε με εποξειδικές κόλλες. Για την εκτέλεση της εργασίας επισημαίνονται τα εξής:

- (α) Η διάμετρος της οπής της τρύπας γίνεται 2-6 mm μεγαλύτερη από την διάμετρο του συνδέσμου για να υπάρξει ο απαραίτητος χώρος για την κόλλα.
- (β) Όπως έχει προκύψει πειραματικά [21], η αγκύρωση των συνδέσμων είναι καλύτερη όταν ο καθαρισμός της τρύπας γίνεται με αναρρόφηση της σκόνης από το εσωτερικό της. Τα αποτελέσματα έχουν προκύψει ακόμα καλύτερα όταν τα τοιχώματα στο εσωτερικό της τρύπας εκτραχύνονται χρησιμοποιώντας μια λεπτή συρματοβουρτσα.
- (γ) Γενικά προτιμώνται κόλλες με μικρό ιξώδες (μεγάλη ρευστότητα).
- (δ) Για οριζόντιες αγκυρώσεις, ο άξονας της τρύπας είναι ελαφρώς κεκλιμένος για να μην χάνεται η κόλλα έξω από την τρύπα.
- (ε) Για κατακόρυφες αγκυρώσεις οροφής χρησιμοποιούνται ειδικές κάψουλες κόλλας που τοποθετούνται με κατάλληλο εξοπλισμό.
- (στ) Επαρκής ποσότητα κόλλας θα πρέπει να τοποθετηθεί στην τρύπα πριν την είσοδο του συνδέσμου, έτσι ώστε στην τελική φάση η κόλλα να καλύπτει πλήρως το κενό μεταξύ συνδέσμου και τοιχωμάτων της τρύπας. Στην πράξη, συχνά, αντί για την παραπάνω διαδικασία ο μεταλλικός σύνδεσμος επαλείφεται με παχύρρευστη κόλλα ή ρητινοστοκο σε μήκος όσο απαιτείται για την αγκύρωση του, και στην συνέχεια τοποθετείται στην θέση του. Η τεχνική αυτή είναι άκρως επικίνδυνη και απαγορεύεται επειδή έτσι η κόλλα δεν μπορεί να γεμίσει πλήρως το κενό μεταξύ συνδέσμου και τοιχωμάτων της τρύπας.

Εναλλακτικά, όταν στο έργο εφαρμόζεται η τεχνική των ρητινενέσεων (για την επισκευή ρωγμών) αυτή μπορεί να επεκταθεί και στην χημική πάκτωση των συνδέσμων .Κάθε τρύπα σφραγίζεται εξωτερικά με ρητινόστοκο και η κόλλα εισπιέζεται από επιστόμιο. Για την αποφυγή εγκλωβισμού αέρα θα πρέπει να έχει προβλεφθεί κατάλληλη οδός διαφυγής του αέρα. Σημειώνεται πάντως ότι στην πράξη η εφαρμογή της παραπάνω εναλλακτικής διαδικασίας δεν είναι συνήθης και χρησιμοποιείται μόνο όταν αντικαθιστά εργασίες υψηλού κόστους, όπως για παράδειγμα κατακόρυφες αγκυρώσεις οροφής.

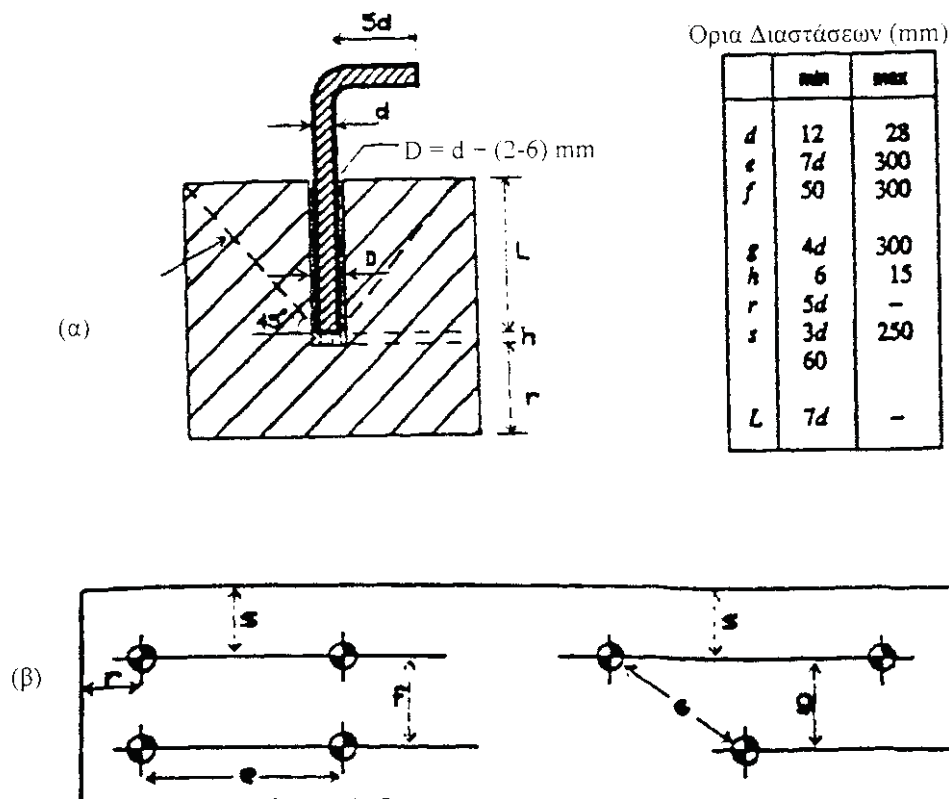
Τέλος επισημαίνεται ότι σε κάθε περίπτωση που χρησιμοποιούνται βιομηχανοποιημένοι σύνδεσμοι θα πρέπει να ακολουθούνται πιστά οι οδηγίες των προμηθευτών. Στις ενισχύσεις των κατασκευών η χρήση διατμητικών συνδέσμων αποτελεί την πλέον διαδεδομένη διαδικασία ανάληψης τέμνουσας στις διεπιφάνειες παλαιού νέου στοιχείου. Στο Σχήμα 19 παρουσιάζονται τρεις τύποι διατμητικών συνδέσμων που χρησιμοποιούνται στις διεπιφάνειες παλαιού και νέου σκυροδέματος [17].



Σχήμα 19 Προτεινόμενοι τρόποι διατμητικής σύνδεσης

Οι δύο, πλέον συνήθεις, τύποι είναι μεταλλικοί σύνδεσμοι με ένα ή δύο σκέλη ενώ ο τρίτος τύπος (που χρησιμοποιείται σπάνια) αφορά μικρούς κύβους από σκυρόδεμα συγκολλημένους με κόλλα στην επιφάνεια του παλαιού σκυροδέματος. Προφανώς αν από την μελέτη προκύψει η ανάγκη για πυκνούς διατμητικούς συνδέσμους, οι δίτμητοι μεταλλικοί σύνδεσμοι αποτελούν την καταλληλότερη λύση. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις χρησιμοποιούνται μονότμητοι διατμητικοί σύνδεσμοι με μορφή Γ για καλύτερη αγκύρωση στο νέο σκυρόδεμα. Στο Σχήμα 20 παρουσιάζεται μια τυπική μορφή των βλήτρων αυτού του τύπου. Στο ίδιο

σχήμα παρουσιάζονται κατασκευαστικές διατάξεις σύμφωνα με πρακτικές συστάσεις που έχουν προταθεί στην βιβλιογραφία για συνήθεις εφαρμογές της πράξης [23].



Σχήμα 20 α) Τυπική μορφή μονότμητου βλήτρου μορφής Γ
β) Τυπικές διατάξεις μονότμητων βλήτρων

7. ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΝΕΩΝ ΡΑΒΔΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Οι αγκυρώσεις νέων ράβδων οπλισμού στον υφιστάμενο φορέα καθώς και οι συνδέσεις παλαιών και νέων ράβδων αποτελούν συχνή πρακτική στις ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

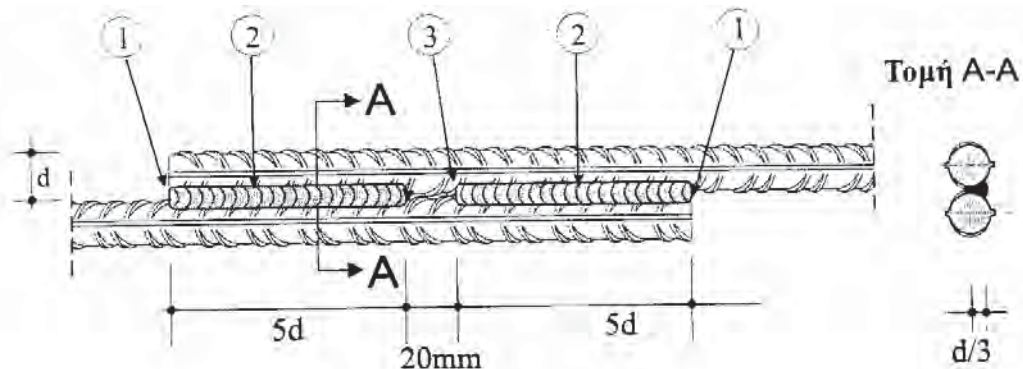
Οι αγκυρώσεις ράβδων οπλισμού σε σκληρυμένο σκυρόδεμα γίνονται με χημικό τρόπο, χρησιμοποιώντας κάποια εποξειδική κόλλα. Η όλη διαδικασία εκτέλεσης της εργασίας είναι ίδια ακριβώς με αυτή που αναπτύχθηκε, στην προηγούμενη ενότητα, για μεταλλικούς συνδέσμους, και δεν θα επαναληφθεί.

Για τις συγκολλήσεις παλαιών και νέων ράβδων οπλισμού εφαρμόζονται πιστά οι διατάξεις περί συγκολλήσεων του Κανονισμού Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος [13].

Όπως είναι γνωστό, χάλυβες με ποσοστό άνθρακα C μικρότερο από 0.24% και ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα C_{eq} μικρότερο από 0.53% θεωρούνται συγκολλησιμοι. Οι παραπάνω συνθήκες εκπληρούνται για τους χάλυβες παλαιού τύπου μόνο στον StI (σήμερα S220) όπου η περιεκτικότητα σε άνθρακα είναι της τάξεως του 0, 15% και δεν εκπληρούνται στον χάλυβα τύπου St III (σήμερα S 400) όπου η περιεκτικότητα σε άνθρακα ξεπερνά το 0.30%. Παρόλα αυτά ο χάλυβας St III (S 400) όπως και κάθε άλλου τύπου χάλυβας που δεν πληροί τις παραπάνω συνθήκες χημικής σύστασης, μπορεί να θεωρηθεί συγκολλησιμος εφόσον η συγκολλησιμότητα του ελέγχεται σε εφελκυσμό και κάμψη σύμφωνα με πρότυπες δοκιμές

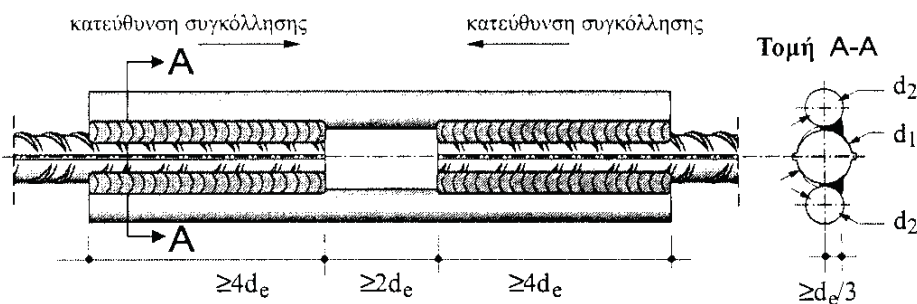
που περιγράφονται στον Κανονισμό Χαλύβων [13]. Η πλέον ενδεδειγμένη διαδικασία συγκόλλησης είναι η ηλεκτροσυγκόλληση. Η οξυγονοκόλληση φαίνεται να είναι ιδιαίτερα προβληματική και πρέπει να αποφεύγεται.

Εφόσον οι ράβδοι μπορούν να παρατεθούν σε επαφή, η ηλεκτροσυγκόλληση γίνεται από την μία μόνο πλευρά, με δύο ραφές συγκόλλησης μήκους $5d_b$ όπως φαίνεται στο Σχήμα 21. Εδώ, όπως και σε κάθε ανάλογη αναφορά που ακολουθεί, ως διάμετρος d_b λαμβάνεται η μικρότερη από τις ράβδους. Οι ραφές της συγκόλλησης ξεκινούν από τα άκρα των ράβδων (σημεία 1 του Σχήματος) και προχωρούν προς το εσωτερικό σε μήκος $5d_b$ έτσι ώστε να απομένει ανάμεσα στις απολήξεις (σημεία 3 του Σχήματος) ένα διάκενο 20 mm περίπου.



Σχήμα 21 Συγκόλληση κατά παράθεση

Οι μετωπικές ηλεκτροσυγκολλήσεις (άκρο με άκρο) ή όπως συχνά αναφέρονται «κατά κεφαλή», δεν επιτρέπονται [13,10]. Αντ' αυτών, για ηλεκτροσυγκολλήσεις ράβδων με μηδενική εκκεντρότητα μπορεί να επιλεγεί η λύση της συγκόλλησης με λωρίδες, όπου χρησιμοποιούνται δύο τμήματα ράβδων μήκους τουλάχιστον $10 d_b$ το καθένα, τα οποία τοποθετούνται συμμετρικά εκατέρωθεν των ράβδων και ηλεκτροσυγκολλούνται στα άκρα σε μήκος τουλάχιστον $4d_b$ όπως φαίνεται στο Σχήμα 22.



Σχήμα 22 Συγκόλληση με λωρίδες

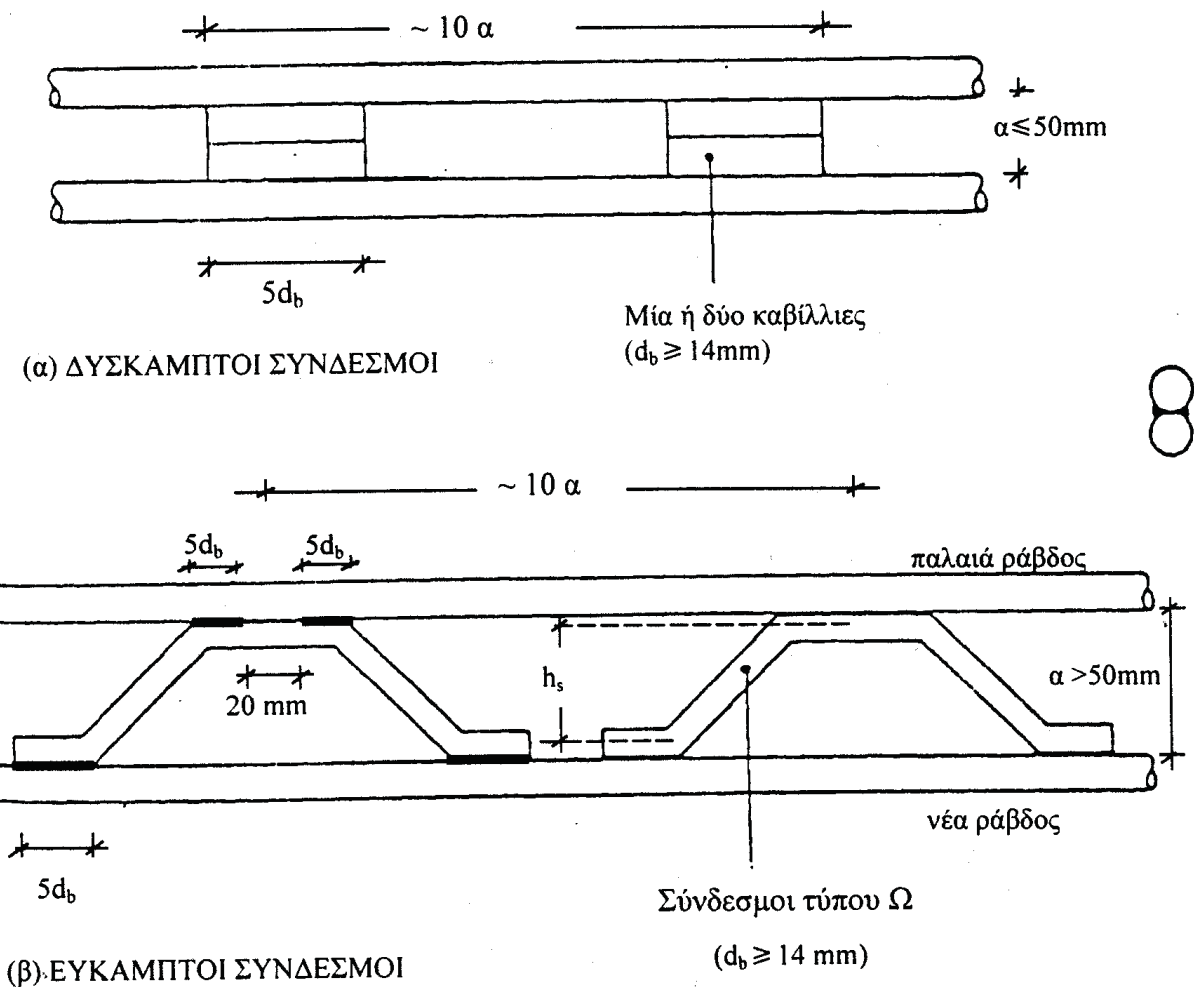
Και σ' αυτήν την περίπτωση οι ραφές των συγκολλήσεων γίνονται μόνο από την μία πλευρά και ξεκινούν από τα εξωτερικά σημεία (σημεία 1 στο Σχήμα 21) και προχωρούν προς το εσωτερικό (σημεία 3 στο σχήμα 21), αφήνοντας ένα κενό ίσο περίπου με $2d_b$.

Σε όλες τις περιπτώσεις τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να είναι είτε με βασική επένδυση είτε με ολική επένδυση ρουτιλίου. Η διάμετρος των ηλεκτροδίων πρέπει να είναι σύμφωνη με τα προβλεπόμενα στον Κανονισμό Τεχνολογίας Χαλύβων [13] και είναι της τάξεως του 1/5 της διαμέτρου των προς συγκόλληση ράβδων.

Στην περίπτωση που οι προς συγκόλληση ράβδοι βρίσκονται σε μικρή μεταξύ τους απόσταση αλλά όχι σε επαφή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σύνδεσμοι μεταλλικά παρεμβλήματα

που θα ηλεκτροσυγκολληθούν στις εκατέρωθεν ράβδους και θα γεφυρώνουν την απόσταση. Οι σύνδεσμοι αυτοί θα πρέπει να είναι από συγκολλησιμο χάλυβα, ή δυνατόν, της ίδιας ποιότητας χάλυβα με τις προς συγκόλληση ράβδους.

Στην πράξη, ανάλογα με την απόσταση των ράβδων, χρησιμοποιούνται οι δύο τύποι συνδέσμων που φαίνονται στο Σχήμα 23: (α) οι «δύσκαμπτοι» σύνδεσμοι και (β) οι «εύκαμπτοι» σύνδεσμοι [17]. Σε κάθε περίπτωση η διατομή των συνδέσμων δεν πρέπει να υπολείπεται της μικρότερης διατομής των συγκολλούμενων ράβδων. Στο Σχήμα 23, d_b είναι η μικρότερη από τις διαμέτρους των ράβδων.



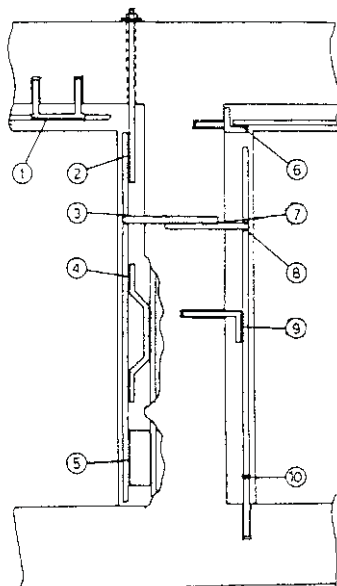
Σχήμα 23 Σύνδεσμοι παλαιών-νέων ράβδων οπλισμού
α) Δύσκαμπτοι σύνδεσμοι, β) Εύκαμπτοι σύνδεσμοι

Οι «δύσκαμπτοι σύνδεσμοι» εφαρμόζονται όταν η καθαρή απόσταση μεταξύ των ράβδων δεν ξεπερνάει τα 50 mm. Συνήθως χρησιμοποιούνται τμήματα ράβδων οπλισμού («καβίλλιες»), μήκους της τάξεως του $5d_b$ με διάμετρο ανάλογο προς το υπάρχον κενό. Εάν το κενό δεν μπορεί να καλυφθεί από την διάμετρο μιας ράβδου, μπορούν να ηλεκτροσυγκολληθούν σε σειρά δύο τμήματα ράβδων. Η τελευταία περίπτωση απεικονίζεται στο Σχήμα 23α

Όταν η απόσταση είναι μεγαλύτερη από 50 mm, χρησιμοποιούνται οι «εύκαμπτοι» σύνδεσμοι, με μορφή Z ή Ω. Στο Σχήμα 23β παρουσιάζεται η περίπτωση εύκαμπτων συνδέσμων με μορφή Ω. Συχνά στη πράξη, οι σύνδεσμοι αυτού του τύπου, ονομάζονται

"πάπιες", ενώ όταν χρησιμοποιούνται σε υποστυλώματα ονομάζονται και "αναρτήρες" (βλ. § 5.4.1.2.2).

Στο Σχήμα 24 απεικονίζονται διάφοροι τύποι συγκολλήσεων που είναι πιθανόν να χρησιμοποιηθούν στις επεμβάσεις [23]. Ο τρόπος εκτέλεσης των συγκολλήσεων αυτών ποικίλει ανάλογα με τη θέση που βρίσκονται τα προς συγκόλληση τμήματα. Αυτό επηρεάζει την ικανότητα διείσδυσης της «πάστας» του ηλεκτροδίου και ως εκ τούτου και την πρόσφυση της συγκόλλησης στο μέταλλο.



Σχήμα 24 Είδη συγκολλήσεων στις επεμβάσεις
(1,8) "Ουρανός", (2,4,5,9) "Ανεβατό" (ή "Κατεβατό")
(3) "Πλάκα", (6, 7) "Οριζόντιο", (10) "Κατά κεφαλή"

Η συγκόλληση «ανεβατό» (κατακόρυφη συγκόλληση με φορά προς τα πάνω) είναι πολύ δύσκολο να γίνει σωστά και απαιτεί επενδυμένα ηλεκτρόδια. Αν και έχει πολύ καλή διείσδυση έχει δύο βασικά μειονεκτήματα: α) Το λειωμένο μέταλλο και η προστατευτική πάστα τείνουν να γυρίσουν προς τα πίσω λόγω της βαρύτητας, δημιουργώντας εγκλείσεις πάστας στη ραφή συγκόλλησης και μείωση της διατομής της. β) Στο τέλος της ραφής συγκόλλησης δημιουργείται ένας «κρατήρας» στο βασικό μέταλλο, πράγμα που μειώνει τη διατομή του. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί μόνο αν ο τεχνίτης είναι ειδικευμένος και προσεκτικός.

Η συγκόλληση «κατεβατό» (κατακόρυφη συγκόλληση με φορά προς τα κάτω) είναι δύσκολη κατασκευαστικά, απαιτεί επενδυμένα ηλεκτρόδια και το κυριότερο μειονέκτημά της είναι ότι έχει πολύ μικρή διείσδυση άρα και μικρή ικανότητα μεταφοράς φορτίων.

Η συγκόλληση «ουρανός» (συγκόλληση στο κάτω μέρος στοιχείων τοποθετημένων στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο) καθώς και η συγκόλληση «οριζόντιο» (συγκόλληση οριζόντια σε στοιχεία τοποθετημένα στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο) εκτός της κατασκευαστικής τους δυσκολίας δεν έχουν άλλα μειονεκτήματα ενώ η συγκόλληση «πλάκα» (συγκόλληση στο πάνω μέρος στοιχείων τοποθετημένων στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο) είναι η πλέον εύκολη.

Από μία έρευνα που έγινε στο Πανεπιστήμιο Πατρών [10] σε χάλυβες S400, των οποίων η περιεκτικότητα σε άνθρακα ξεπερνούσε το 0,24% μπορούν να επισημανθούν οι παρακάτω χρήσιμες οδηγίες για την εκτέλεση των συγκολλήσεων:

α) Η ηλεκτροσυγκόλληση «κατεβατό», η οξυγονοσυγκόλληση και ηλεκτροσυγκόλληση «κατά κεφαλή», πρέπει να αποφεύγονται.

- β) Η συγκόλληση «ανεβατό» πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτικά κυρίως προς το τέλος της ραφής και αν υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης να γίνεται διακοπτόμενα.
- γ) Μικρή προθέρμανση των προς συγκόλληση οπλισμών είναι χρήσιμη.
- δ) Το μήκος των ραφών και ο τρόπος εκτέλεσης της ηλεκτροσυγκόλλησης πρέπει να συμφωνεί απόλυτα με τα οριζόμενα στους κανονισμούς.

Από την ίδια έρευνα προκύπτουν οι παρακάτω ιδιαίτερα σημαντικές διαπιστώσεις:

- α) Ο συγκολλημένος χάλυβας παρουσιάζει μικρότερη παραμόρφωση αστοχίας από τον ασυγκόλλητο χωρίς όμως αλλαγή στην τάση και την παραμόρφωση διαρροής.
- β) Οι συγκολλήσεις ράβδων οπλισμού στο εργοτάξιο πρέπει να γίνονται από τεχνίτες ειδικά εκπαιδευμένους για τέτοιου είδους συγκολλήσεις. Συγκολλήσεις που έγιναν από τεχνίτες που είχαν εμπειρία συγκολλήσεων μόνο από εργασίες σε μη φέροντα μεταλλικά στοιχεία (π. χ. μεταλλικές πόρτες, κάγκελα κ. λ. π.) αστόχησαν στην περιοχή συγκόλλησης σε ιδιαίτερα υψηλό ποσοστό. Είναι ιδιαίτερα ανησυχητικό ότι η μέχρι σήμερα εμπειρία από εργασίες μετασεισμικών επεμβάσεων στον ελληνικό χώρο δείχνει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των εργασιών ηλεκτροσυγκόλλησης γίνεται από τεχνίτες χωρίς την απαραίτητη ειδικευση.

Τέλος από την μέχρι σήμερα επιστημονική γνώση επί του θέματος επισημαίνονται οι παρακάτω χρήσιμες πρακτικές πληροφορίες:

- (α) Ηλεκτροσυγκόλληση ράβδων οπλισμού μπορεί να γίνει ακόμα και στην περίπτωση που οι παλαιές ράβδοι οπλισμού είναι οξειδωμένες. Προϋποτίθεται βέβαια ότι απομακρύνεται προηγουμένως επιμελώς η σκουριά και η ηλεκτροσυγκόλληση γίνεται πάνω στο υγιές τμήμα των ράβδων .
- (β) Εάν οι παλαιές ράβδοι είναι StI (S220), τότε οι νέες ράβδοι μπορεί να είναι οποιουδήποτε τύπου αρκεί να είναι συγκολλησιμες δηλαδή S500s ή S400s. Του ίδιου τύπου θα πρέπει να είναι και τα τυχόν παρεμβλήματα.

Στην περίπτωση που οι παλαιές ράβδοι είναι StIII (S400) συνιστάται όπως οι προς συγκόλληση νέες ράβδοι και τα τυχόν μεταλλικά παρεμβλήματα είναι από χάλυβα S400s διαφορετικά θα χρησιμοποιηθεί S500s.

Γενικά για συγκολλήσεις ισχύει ο Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων [13].

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Α.Π.Θ., (1987) "Επισκευή Ζημιών από Σεισμό σε Κτίρια-Οδηγίες", Θεσσαλονίκη.
2. Δέμης Σ., Πηλακούτας Κ., Δρίτσος Σ., Τριανταφύλλου Θ., (1999) "Ανθεκτικότητα Ινοπλισμένων Πολυμερών στο Σκυρόδεμα", Πρακτικά 13^{ου} Ελληνικού Συνεδρίου, Ρέθυμνο.
3. Δρίτσος Σ., (1994) "Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο σκυρόδεμα", Εκδόσεις Παν. Πατρών, Πάτρα.
4. Ε.Μ.Π., (1978) "Συστάσεις για τις Επισκευές Κτιρίων Βλαμμένων από Σεισμό", Αθήνα.
5. (Ε.Π.Ρ.Κ.), (1994) Εταιρείες Παραγωγής Ρητινών και Κονιαμάτων "Φύλλα Πληροφοριών".
6. Ζαβλιάρης Κ., (1983) "Επισκευές Φερουσών Κατασκευών Σκυροδέματος με τις Τεχνικές των Ενέσεων Εποξειδικών Ρητινών και του Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος".
7. Δελ.Συλ.Πολιτ.Μηχανικών, Νο 152.
8. Καρέλα Ν., Αναστασοπούλου Θ., (1998) "Κόστος Επισκευών στην Πόλη του Αιγίου, μετά τον Σεισμό της 15/6/95", Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Παν. Πατρών, Πάτρα.
9. Σπανουδάκης Ι., Young R., Κουντούρης Σ., Πολυζωίδης Δ., (1984) "Μελέτη Μηχανικών Ιδιοτήτων Εποξειδικών Ρητινών που περιέχουν Αδρανή Σφαιρικού Σχήματος από Γυαλί", Δελτ. Συλ. Πολιτ. Μηχανικών, Νο 166.
10. Τζωρτζάκης Ι., Λαμπίρης Γ., Δρίτσος Σ., (1990) "Προβλήματα στις Συγκολλήσεις Οπλισμού για την Επισκευή και Ενίσχυση των Κατασκευών", Πρακτικά 9^{ου} Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Καλαμάτα.
11. Τριανταφύλλου Θ., (1998) "Προηγμένες Τεχνολογίες Υλικών και Κατασκευών", Εκδόσεις Παν. Πατρών, Πάτρα.
12. ΥΠΕΧΩΔΕ, (1997) Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων "Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος-97" Υπ.Απόφ. Δ14/19164, 28-3-1997, ΦΕΚ 315Β/17-4-1997.
13. ΥΠΕΧΩΔΕ, (2000) Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων "Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος", ΦΕΚ 381/Β/24-3-2000 και Εν.Δελτ.ΤΕΕ τεύχ.2100, Αθήνα.
14. ACI Committee 224, (1990) "Control of Cracking in Concrete Structures" and "Causes Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures", ACI 224R-89, ACI 224.1R-89, ACI Manual of Concrete Practice, Part 3 .
15. ACI Committee 506, (1990) "Guide to Shotcrete", ACI 506R-85, ACI Manual of Concrete Practice, Part 5.
16. ACI Committee 503, (1992) "Guide for the Selection of Polymer Adhesives with Concrete", ACI Materials Journal, Vol.89(1).
17. CEB Bulletin No 162, (1983) "Assessment of Concrete Structures and Design Procedures for Upgrading", Paris.
18. Dntsos S., Plakoutas K., (1992) "Temperature Effects on the Bond of Resin Anchored Reinforcement", Proc. of International Conference: Bond in Concrete, Riga, Latvia.
19. Dritsos S., Pilakoutas K., (1994) "Strengthening Existing RC Structures by Additional Reinforcement", Proc. of International Conference on Rehabilitation, Renovation and Repairs of Structures, Visakhapatnam, India.
20. Edwards S., (1993) "Crack Injection, The most Appropriate Repair Technique", Proc. of 5th International Conference on Structural Faults and Repair, Edinburgh.
21. 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.

22. 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.
23. Tezcan S., Ikizogullari S., (1998) "Stresses Along the Periphery of Infilled Shear Walls in Retrofitted Frames", Proc. of 2nd Japan- Turkey Workshop on Earthquake Engineering, Istanbul.

