



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ

Πολυτεχνική Σχολή – Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Δομικών Κατασκευών – Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος

Κωνσταντίνος Χαλιορής, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Λέκτορας

τηλ./fax: 2541079632 – E-mail: chaliori@civil.duth.gr

Ημερίδα:

“Ειδικά Θέματα Αντισεισμικού Σχεδιασμού Κτιρίων - Ενισχύσεις - Επισκευές”

Έλεγχοι - Εργαστηριακές Δοκιμές - Αποτύπωση

Υλικά για επεμβάσεις σε κατασκευές

Κωνσταντίνος Χαλιορής

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

Λέκτορας ΔΠΘ

ΞΑΝΘΗ – 20 Μαΐου 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΔΟΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ
2. ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΥΛΙΚΩΝ ΔΟΜΗΣΗΣ
 - 2.1. Εισαγωγικά - Προσεισμικός και μετασεισμικός έλεγχος
 - 2.2. Έμμεσες μέθοδοι (μη καταστρεπτικές δοκιμές) για την αντοχή
 - 2.3. Άμεσες μέθοδοι (καταστρεπτικές δοκιμές) για την αντοχή
 - 2.4. Δοκιμές για τον εντοπισμό του σπλισμού
 - 2.5. Άλλες δοκιμές
3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΕΠΙΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ
 - 3.1. Εισαγωγικά
 - 3.2. Ειδικοί τύποι σκυροδέματος
 - 3.3. Πολυμερικές κόλλες - εποξειδικές ρητίνες
 - 3.4. Επισκευαστικά κονιάματα
 - 3.5. Σύνθετα υλικά από ινωπλισμένα πολυμερή (FRP)
 - 3.6. Χαλύβδινα επικολητά ελάσματα
 - 3.7. Διατμητικοί σύνδεσμοι - Αγκύρια

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΔΟΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Η ικανότητα των κατασκευών έναντι σεισμικών δράσεων δοκιμάζεται συχνά σε μια χώρα με έντονη σεισμική δραστηριότητα όπως η Ελλάδα. Τα αποτελέσματα των τελευταίων σεισμών στις κατασκευές καταδεικνύουν την απαίτηση για έλεγχο και πιθανό ανασχεδιασμό μεγάλου ποσοστού των υφιστάμενων κτιρίων, που θα οδηγήσει σε επεμβάσεις - ενισχύσεις. Στο συμπέρασμα αυτό καταλήγουν πλήθος μελετών που αφορούν στην εκτίμηση της αντοχής κτιρίων που έχουν μελετηθεί και κατασκευασθεί πριν από την εφαρμογή των πρόσθετων άρθρων του Αντισεισμικού Κανονισμού του 1985.

Η αναγνώριση του δομικού συστήματος μιας υφιστάμενης κατασκευής αποτελεί το πρωταρχικό βήμα που υποχρεούται να υλοποιήσει ο μελετητής μηχανικός πριν από κάθε άλλη ενέργεια ανασχεδιασμού και επέμβασης. Δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις που σε υφιστάμενα κτίρια, τα σχέδια της οικοδομικής άδειας (κυρίως τα στατικά σχέδια ξυλοτύπων) είναι ελλιπή ή έχουν σημαντικές διαφορές από την πραγματική κατασκευή. Ακόμα και στην περίπτωση που υπάρχουν τα σχέδια, τα οποία μακροσκοπικά φαίνεται ότι ανταποκρίνονται με την πραγματικότητα, καλό είναι να γίνει έλεγχος τουλάχιστον στα κυριότερα δομικά στοιχεία του φέροντος οργανισμού, όπως στα υποστυλώματα, στα τοιχώματα και πιθανώς σε ορισμένες δοκούς. Ο έλεγχος αυτός θα πρέπει να καλύπτει τις διαστάσεις και τους οπλισμούς των στοιχείων αυτών, έστω και δειγματοληπτικά, ώστε ο μελετητής μηχανικός να βασισθεί σε αυτά τα σχέδια της οικοδομικής άδειας.

Στις περιπτώσεις, όμως, που είτε δεν ευρέθησαν σχέδια, είτε αυτά δεν ανταποκρίνονται στην πραγματική κατασκευή, θα πρέπει να αποτυπωθεί με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια το δομικό σύστημα του κτιρίου. Η αποτύπωση αυτή περιλαμβάνει αφ' ενός τις διαστάσεις και τους οπλισμούς των δομικών στοιχείων του φέροντος οργανισμού και αφ' ετέρου την ποιότητα - κατάσταση των υλικών δόμησης.

Η αποτύπωση των διαστάσεων και κυρίως των οπλισμών στα δομικά στοιχεία του φέροντος οργανισμού υφιστάμενων κατασκευών είναι συνήθως δύσκολη και επίπονη διαδικασία. Η δυσκολία εξαρτάται κυρίως από τα μορφολογικά και αρχιτεκτονικά στοιχεία του κτιρίου (τοιχοποιίες, επενδύσεις, ψευδοροφές, η/μ εγκαταστάσεις, όμορες οικοδομές, κ.λπ.). Ορισμένες φορές μια σχετική αξιολόγηση και ιεράρχηση των δομικών στοιχείων μπορεί να μειώσει τις απαιτούμενες μετρήσεις. Η εκτίμηση της ποιότητας και της κατάστασης των υλικών δόμησης υλοποιείται με επί τόπου και με εργαστηριακές δοκιμές - ελέγχους που περιγράφονται ακολούθως.

2. ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΥΛΙΚΩΝ ΔΟΜΗΣΗΣ

2.1. Εισαγωγικά – Προσεισμικός και μετασεισμικός έλεγχος

Το πρόβλημα της επαρκούς σεισμικής προστασίας των κατασκευών για περιοχές με έντονη σεισμικότητα (Ελλάδα) έχει τεράστια κοινωνική και οικονομική σημασία. *Αυξάνεται εκθετικά με την τεχνολογική και οικονομική αύξηση του τόπου.*

Ουσιαστικότερο μέτρο για τη την αύξηση της σεισμικής προστασίας: Αύξηση της σεισμικής ικανότητας με (α) την ανάπτυξη μεθόδων και Κανονισμών σχεδιασμού, κυρίως για τις νέες και μελλοντικές κατασκευές και (β) τον προληπτικό (προσεισμικό) έλεγχο των υφιστάμενων κατασκευών, ώστε τυχόν απαίτηση για αύξηση της σεισμικής ικανότητάς τους (με ενισχύσεις).

Η σημασία του προβλήματος των υφιστάμενων κατασκευών είναι τουλάχιστον ίση με εκείνη του προβλήματος των νέων κατασκευών.

Οι πρόσφατοι σεισμοί (Θεσσαλονίκη - Βόλβη 1978, Αλκυονίδες 1981, Καλαμάτα 1986, Αίγιο 1995, Κοζάνη 1995, Αθήνα 1999) έδειξαν ότι ένα μεγάλο ποσοστό των υφιστάμενων κατασκευών παρουσιάζει σημαντικά χαμηλή σεισμική ικανότητα.

Οι νέες κατασκευές αποτελούν μικρό ποσοστό των ήδη υφιστάμενων.

Άρα, ακόμα και η “άψογη” εφαρμογή των νέων, βελτιωμένων, “τέλειων” Κανονισμών που ισχύουν (ΕΑΚ-2000 και ΕΚΩΣ-2000), η μέση στάθμη σεισμικής ικανότητας των κατασκευών μετά από 10 έτη δεν θα είναι σημαντικά υψηλότερη από σήμερα.

Συνεπώς απαιτείται παράλληλη αντιμετώπιση των *υφιστάμενων κατασκευών* (έλεγχος και ενδεχόμενες επεμβάσεις για αύξηση της σεισμικής ικανότητας) και των *μελλοντικών* (ορθός αρχικός σχεδιασμός).

2.1.1. Προσεισμικός έλεγχος και έλεγχος υλικών

Ο προσεισμικός έλεγχος των υφιστάμενων κατασκευών αφορά τον προληπτικό έλεγχο των κατασκευών χωρίς σημαντικές βλάβες και στοχεύει στην αποτίμηση της σεισμικής τους ικανότητας.

Είναι εξαιρετικά περίπλοκο θέμα γιατί εξαρτάται από πολλούς και ανεξάρτητους παράγοντες.

Ορισμένοι, γενικοί και βασικοί είναι:

- *Υλικό κατασκευής του φέροντα οργανισμού (οπλισμένο σκυρόδεμα, χάλυβας, φέρουσα τοιχοποιία).*
- *Μορφολογία κατασκευής.*
- *Έδαφος και τύπος θεμελίωσης.*
- *Χρήση, σπουδαιότητα και μέγεθος των ωφέλιμων φορτίων.*
- *Κατάσταση των δομικών υλικών, κυρίως του φέροντα οργανισμού.*

2.1.2. Μετασεισμικός έλεγχος και έλεγχος υλικών

Ο μετασεισμικός έλεγχος των κατασκευών αφορά τον έλεγχο των κατασκευών μετά από ένα σεισμό, κυρίως όταν έχουν υποστεί βλάβες και στοχεύει στην αποτίμηση της εναπομείνουσας σεισμικής τους ικανότητας ώστε να μελετηθεί, μετά την επισκευή των βλαβών, ενδεχόμενη ενίσχυση της κατασκευής.

Δυσκολότερο θέμα από το προηγούμενο γιατί εισάγεται και η παράμετρος του μεγέθους των βλαβών της κατασκευής.

Είναι απαραίτητη η διάγνωση των βλαβών στα φέροντα στοιχεία της κατασκευής αλλά και στα δομικά υλικά του φέροντος οργανισμού.

Συνεπώς, σε κάθε περίπτωση (προ ή μετασεισμικού ελέγχου των κατασκευών) είναι καθοριστική η διερεύνηση και ο έλεγχος των δομικών υλικών της κατασκευής με επί τόπου δοκιμές.

Πέραν του σεισμικού κινδύνου και της αβεβαιότητας της σεισμικής ικανότητας μιας κατασκευής, που απαιτούν τον έλεγχο των υλικών, η διάβρωση και η γήρανση των δομικών υλικών της κατασκευής επιβάλλουν αρκετές φορές την ανάγκη για λεπτομερή διερεύνηση της κατάστασης αυτών με επί τόπου δοκιμές.

2.1.3. Στόχοι και είδη των επί τόπου δοκιμών

Στόχος των επί τόπου δοκιμών είναι:

- η ποσοτική αποτίμηση της ποιότητας (μηχανικών χαρακτηριστικών) των υλικών,
- ο προσδιορισμός της θέσης, της διαμέτρου και της κατάστασης του σπλισμού,
- η ποσοτική αποτίμηση των δομικών χαρακτηριστικών (δυσκαμψία, ιδιοπερίοδος κ.λπ.) δομικών υποσυστημάτων ή και πλήρων κατασκευών,
- ο ποσοτικός προσδιορισμός της μεταβολής μεγεθών εντάσεων και παραμόρφωσης, ή βαθμού βλάβης, σε συνάρτηση με τον χρόνο.

Επαρκής αριθμός αξιόπιστων μετρήσεων επί τόπου δοκιμών είναι η βασική προϋπόθεση για την αναγνώριση του φυσικού συστήματος και εν συνεχεία αξιόπιστη αποτίμηση της κατασκευής. Τα αποτελέσματα μιας σειράς σωστά εκτελεσμένων μετρήσεων επί τόπου δοκιμών αξίζουν όσο η γνώμη 100 ειδικών. Από την άλλη, όμως, τα αποτελέσματα μιας σειράς επί τόπου δοκιμών αξίζουν όσο και ο υπεύθυνος των δοκιμών. Απαιτούνται γνώσεις, εμπειρία, ευσυνειδησία, κατάλληλη και επαρκή δειγματοληψία, σωστά βαθμονομημένα όργανα και κατάλληλη διόρθωση, ανάγνωση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Επίσης, κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων πρέπει να δίδονται όλες οι σχετικές πληροφορίες που θα επιτρέψουν την αξιόπιστη ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Τα είδη επί τόπου δοκιμών είναι:

-
- Δοκιμές για τον προσδιορισμό της αντοχής του υλικού. Διακρίνονται σε *μη καταστρεπτικές* και *καταστρεπτικές*.
 - Δοκιμές για τον εντοπισμό του οπλισμού (θέση, αριθμός και διάμετρος ράβδων) σε κατασκευές από ωπλισμένο σκυρόδεμα και ωπλισμένη τοιχοποιία.
 - Χημικές δοκιμές για τον έλεγχο της διάρκειας ζωής του σκυροδέματος και δοκιμές για τον προσδιορισμό του βαθμού διάβρωσης του σιδηρού οπλισμού.
 - Δοκιμές δομικών υποσυστημάτων και πλήρων κατασκευών για την αξιολόγηση της κατασκευής ή ενός δομικού υποσυστήματος.
 - Οπτικός έλεγχος για τον μακροσκοπικό προσδιορισμό των ρηγματώσεων και του είδους αστοχίας.

2.2. Έμμεσες μέθοδοι (μη καταστρεπτικές δοκιμές) για την αντοχή

Είναι λιγότερο δαπανηρές (πιο εύκολες και πιο γρήγορες), περισσότερο επιθυμητές από τον ιδιοκτήτη (δεν στηρίζονται στη θραύση και δεν επιφέρουν ζημιές), αλλά λιγότερο αξιόπιστες.

Αποσκοπούν στον προσδιορισμό ορισμένων ιδιοτήτων - χαρακτηριστικών του υλικού που συνδέονται έμμεσα με την αντοχή του (έμμεσες μέθοδοι).

Η αντοχή συνάγεται με κατάλληλες αναγωγές των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις μετρήσεις των έμμεσων μεθόδων. Έτσι, ο όρος “έμμεσες μέθοδοι” είναι μάλλον πιο δόκιμος από τον όρο “μη καταστρεπτικές δοκιμές”.

Διακρίνονται οι:

- Κρουστικές μέθοδοι (κρουσίμετρο αναπηδήσεως του Schmidt, σφύρα του Franck, σφύρα του Einbeck).
- Ίαχύτητα υπερήχων.
- Εξόλκευση ήλου – εκτόξευση βλημάτων (Ελληνική μέθοδος, μέθοδος WINDSOR, Ολλανδική μέθοδος, Ρωσική μέθοδος).
- Ραδιοπερατότητα.
- Συνδυασμός έμμεσων μεθόδων (προτείνεται).

⇒ Ειδική δοκιμή για ξύλο (έλεγχος αντοχής και πυκνότητας).

Οι Κανονισμοί αναφέρουν τις έμμεσες μεθόδους με ασάφεια και αοριστία. Δεν έχουν τυποποιηθεί και δεν έχουν “περάσει” στους Κανονισμούς. Βασικό μειονέκτημά τους είναι η μεγάλη διασπορά των μετρήσεων (>20-30%).

Η συνολική διασπορά είναι άθροισμα της διασποράς (α) των τιμών της αντοχής, (β) της μέτρησης της ιδιότητας, (γ) της ασάφειας στη σχέση αντοχής – μετρούμενης ιδιότητας και (δ) της θέσης της δοκιμής.

Για τον λόγο αυτό θα πρέπει:

- Χρήση από πεπειραμένο προσωπικό.
- Συσχέτιση και συνδυασμός μεθόδων.
- Τα αποτελέσματά τους να θεωρούνται ενδεικτικά.

2.2.1. Κρουστικές μέθοδοι

Στηρίζονται στη μέτρηση της επιφανειακής σκληρότητας (ή επιφανειακής ελαστικότητας) του υλικού (κυρίως σκυρόδεμα, αλλά και οπτοπλινθοδομή). Διακρίνονται:

- **Κρουσίμετρο αναπήδησεως του Schmidt:** Μετράται η αναπήδηση της μάζας που εκτοξεύεται μέσω ελατηρίου, επάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος και αναπηδά. (Είναι το επικρατέστερο στην Ελλάδα).
- **Σφύρα του Franck:** Μετράται η διάμετρος του ίχνους (ουλής) που αφήνει επάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος σφαίρα διαμέτρου 10 mm που κρούεται μέσω ελατηρίου.
- **Σφύρα του Einbeck:** Μετράται η διάμετρος του ίχνους (ουλής) που αφήνει επάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος σφαίρα διαμέτρου 25 mm που κρούεται λόγω πτώσης της από καθορισμένο ύψος.

Η συσχέτιση της αναπήδησεως με την αντοχή γίνεται με τη βοήθεια καμπυλών συσχετίσεως, οι οποίες έχουν προκύψει από πειραματικά αποτελέσματα και δίδονται από τον κατασκευαστή του οργάνου.

Κρουσίμετρο αναπήδησεως του Schmidt:

Για το σκυρόδεμα, η συσχέτιση αντοχής σκυροδέματος (f_c) - αναπήδησης μάζας (ένδειξη R') είναι: $f_c \cong 0.03 R'^{2.03}$ ($R=R' \cdot C1 \cdot C2 \cdot C3 \cdot C4$). Η ένδειξη R' εξαρτάται από την ποιότητα των αδρανών, τη συμπίκνωση και τη συντήρηση του σκυροδέματος, την υγρασία και την υφή της επιφάνειας, τον τύπο και την ποσότητα του τσιμέντου (επηρεάζει την ενανθράκωση), την ηλικία του σκυροδέματος (επηρεάζει την ενανθράκωση), τη διεύθυνση της μέτρησης.

Είναι γενικά απλή δοκιμή, περιορισμένης αξιοπιστίας (σφάλμα 15-30%) και δεν απαιτεί ιδιαίτερη προεργασία – προετοιμασία (αρκεί “τρίψιμο” της επιφάνειας για λείανσή της).

Καλό είναι, εάν είναι δυνατόν, οι μετρήσεις να γίνονται (α) μακριά από τους οπλισμούς, (β) σε στοιχεία με πάχος > 10 cm γιατί δημιουργείται ταλάντωση και (γ) σε αποστάσεις > 30 cm από ακμές.

Επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους και θα πρέπει (ή συνιστάται) να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους. Δεν ενδείκνυται σε σκυροδέματα με ασυνήθεις συνθέσεις, χαμηλής αντοχής με ελαφρά αδρανή, αμέσως μετά το ξακαλούπωμα ή πολύ υγρά (4 ή καλύτερα 14 ημέρες μετά), πολύ παλαιά ή πολύ σκληρά.

Έχουν προταθεί και άλλες σχέσεις μεταξύ αντοχής σκυροδέματος (f_c) - αναπήδησης μάζας (ένδειξη R'): $f_c = -14.796 + 1.058 \cdot R + 0.0147 \cdot R^2$

Αριθμός μετρήσεων:

- Κατά DIN: 14 μετρήσεις από τις οποίες αφαιρούνται οι 2 μεγαλύτερες μετρήσεις και οι 2 μικρότερες και λαμβάνεται ο μέσος όρος από τελικά 10 μετρήσεις.
- Κατά ASTM: 10 μετρήσεις από τις οποίες αν 1 μέτρηση διαφέρει από το μέσον όρο (των 10 μετρήσεων) περισσότερο από 7 μονάδες απορρίπτεται και λαμβάνεται ο μέσος όρος από τις 9 μετρήσεις. Εάν όμως διαφέρουν 2 μετρήσεις, τότε απορρίπτονται όλες.

Για περιπτώσεις τοιχοποιίας: Η σχέση μεταξύ θλιπτικής αντοχής οπτοπλινθοδομής (f_m) - αναπήδησης μάζας (ένδειξη R'): $f_c = -35 + 1.1 \cdot R$

Συντελεστές για τη σχέση: $f_c \cong 0.03 R^{2.03}$ ($R=R' \cdot C1 \cdot C2 \cdot C3 \cdot C4$):

C1. Ποιότητα τσιμέντου:

- Τσιμέντο Πόρτλαντ καθαρό, υψηλής αντοχής: C1 = 1.00
- Τσιμέντο με προσθήκες (ποζολάνες, σκωρίες): C1 = 0.87

C2. Ποσότητα τσιμέντου:

100	kg/m ³	C2 =	0.66
200	kg/m ³		0.85
300	kg/m ³		1.00
350	kg/m ³		1.06
400	kg/m ³		1.12
500	kg/m ³		1.24

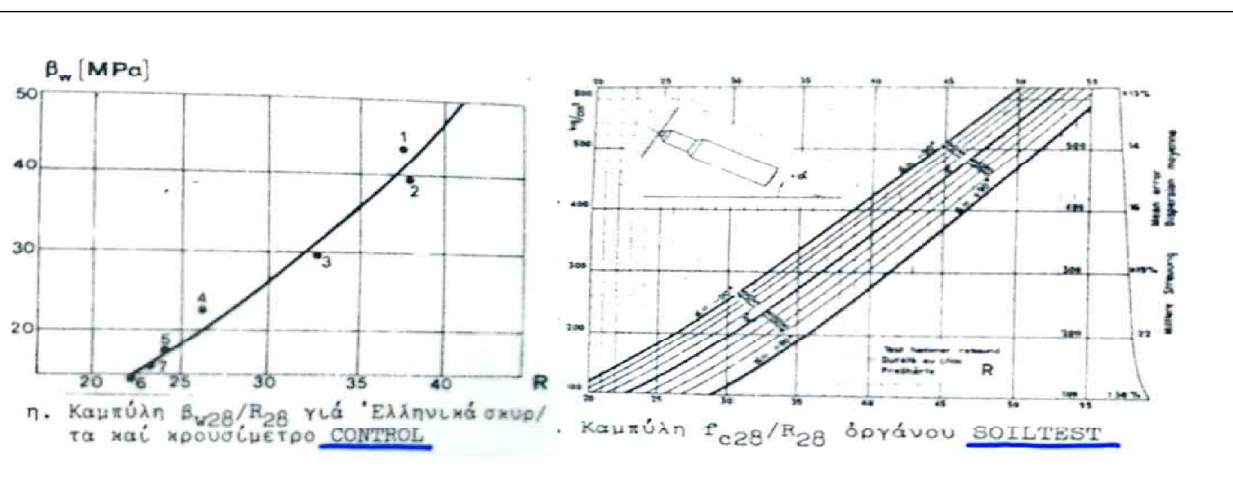


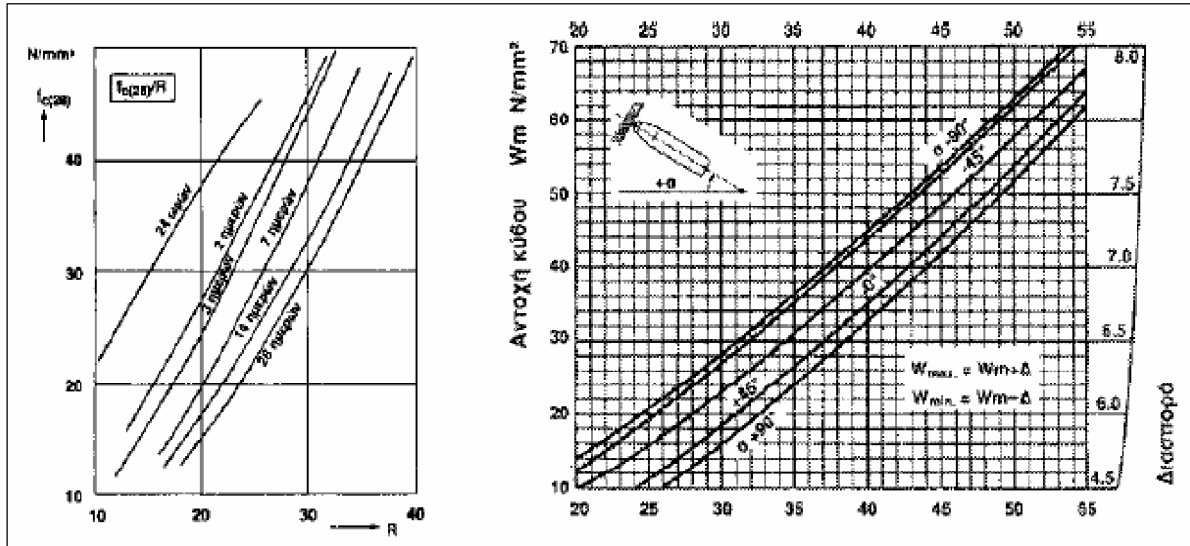
C3. Ηλικία σκυροδέματος:

6-10	ημέρες	C3 =	1.07
14-56	ημέρες (28 ημέρες)		1.00
100-300	ημέρες		0.92
5	έτη		0.80

C4. Υγρασία σκυροδέματος:

Σκυροδέμα:	χαμηλής αντοχής ($R \approx 20$)	υψηλής αντοχής ($R \approx 40$)
- κορεσμένο	C4 = 1.52	C4 = 1.12
- μέσης υγρασίας	1.00	1.00
- ξηρό	0.94	0.96





Εφαρμογή έμμεσης μεθόδου με κρουσίμετρο

Δεδομένα κατασκευής - σκυροδέματος

- Τύπος τσιμέντου: **Ελληνικού τύπου με ποζολάνες** C1 = 0.87
- Ποσοτητα τσιμέντου: **300 kg/m³** C2 = 1.00
- Ηλικία σκυροδέματος: **10 έτη** C3 = 0.80
- Υγρασία σκυροδέματος: **μέση** C4 = 1.00

$$R = R' \times C1 \times C2 \times C3 \times C4$$

άρα:

$$R = 0.696 \times R'$$

$$\text{Κυλινδρική αντοχή: } f_c = 0.03 \times R^{2.03}$$

Κρουσιμετρήσεις κατά DIN σε υποστύλωμα ($\alpha = 0^\circ$)				
α/α	R'	R'	R	f_c (MPa)
1	29	29	20.18	13.37
2	28	28	19.49	12.46
3	27	27	18.79	11.57
4	23			
5	25	25	17.40	9.90
6	29	29	20.18	13.37
7	39			
8	37	37	25.75	21.93
9	29	29	20.18	13.37
10	35	35	24.36	19.59
11	21			
12	30	30	20.88	14.33
13	34	34	23.66	18.47
14	38			
M.O.:	30.29	30.30	21.09	14.84
S:	5.38	3.61	2.51	3.66



$$f_c = 14.84 \text{ MPa}$$

$$s = 3.66 \text{ MPa}$$

2.2.2. Ταχύτητα υπερήχων

Οι υπέρηχοι είναι ελαστικοί κυματισμοί του αέρα, της ίδιας φύσης με τον ήχο, αλλά συχνότητας > 20.000 m/sec. Η ταχύτητά τους (V) μέσα από ένα υλικό συνδέεται με το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας (E_s) και την πυκνότητα (ρ) του υλικού: $V = (E_s/\rho)^{0.5}$

$$\text{Σε ελαστικά υλικά ισχύει: } V = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

(όπου E : το μέτρο ελαστικότητας και ν : ο λόγος του Poisson).

Επειδή η αντοχή ενός υλικού εξαρτάται έμμεσα από το μέτρο ελαστικότητάς του, είναι δυνατή η εκτίμηση της αντοχής του υλικού με τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Επιπλέον, είναι δυνατή η ανίχνευση τυχόν ατελειών του υλικού.

Οι υπέρηχοι παράγονται βάσει του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου από έναν ηλεκτροακουστικό κρύσταλλο (ακροδέκτη) που βρίσκεται σε επαφή με μία επιφάνεια του σκυροδέματος. Ο ήχος συλλαμβάνεται στην άλλη πλευρά από παρόμοιο κρύσταλλο ο οποίος μετατρέπει τις παλμικές ταλαντώσεις σε ηλεκτρικό ρεύμα. Μετράται ο χρόνος που χρειάστηκε να διανύσει ο ήχος και το πάχος του υλικού και άρα η ταχύτητα μετάδοσης: $V = \ell / t$



Για το σκυρόδεμα, η συσχέτιση της αντοχής (f_c) και η ταχύτητα υπερήχων (ένδειξη V') είναι:

$$f_c \cong 0.01 V'^{5.20} \quad (V=V' \cdot C1 \cdot C2 \cdot C3 \cdot C4 \cdot C5 \cdot C6)$$

Η ένδειξη V' εξαρτάται από τον τύπο και το ποσοστό των αδρανών (λεπτόκοκκα, μέγιστος κόκκος), τη συμπύκνωση και τη συντήρηση του σκυροδέματος, την υγρασία του σκυροδέματος (έμμεσα και από τη θερμοκρασία), τον τύπο και την ποσότητα του τσιμέντου, την ηλικία του σκυροδέματος, την παρουσία οπλισμού (απαιτούνται διορθώσεις στις τιμές του V'), τις ρωγμές και τους πόρους στη μάζα του σκυροδέματος.

Είναι εξαιρετικά δημοφιλής μέθοδος και εφαρμόζεται σε ευρύ φάσμα υλικών, όπως σκυρόδεμα, τοιχοποιία, ξύλο και άλλα. Σε μέταλλα χρησιμοποιείται μόνο για την ανίχνευση τυχόν εσωτερικών ατελειών (ρωγμές, πόροι).

Σε περίπτωση που υπάρχει εσωτερική ατέλεια, αυτή δρα σαν επιφάνεια ανακλάσεως για τον κυματικό παλμό. Έτσι, ο παλμός ανακλά πάνω της και επιστρέφει πίσω. Μετρώντας τον χρόνο και γνωρίζοντας την ταχύτητα του υπερηχητικού παλμού εντός του υλικού, είναι δυνατός ο υπολογισμός της θέσης της ατέλειας.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η καλή επαφή μεταξύ δοκιμίου (ή στοιχείου) και ακροδέκτη οργάνου: Λείανση του πρώτου και τοποθέτηση λεπτής στρώσης γράσου στις δύο βάσεις των ακροδεκτών.

Συντελεστές για τη σχέση: $f_c \cong 0.01 V^{5.20}$ ($V=V' \times C1 \times C2 \times C3 \times C4 \times C5 \times C6$)

C1. Ποιότητα τσιμέντου:

- Τσιμέντο ταχείας πήξεως:	C1 =	1.14
- Τσιμέντο Πόρτλαντ καθαρό, υψηλής αντοχής:		1.00
- Τσιμέντο με προσθήκες (ποζολάνες, σκωρίες):		0.90

C2. Ποσότητα τσιμέντου:

100	kg/m ³	C2 =	0.46
150	kg/m ³		0.61
200	kg/m ³		0.75
250	kg/m ³		0.88
300	kg/m ³		1.00
350	kg/m ³		1.11
400	kg/m ³		1.21
450	kg/m ³		1.30
500	kg/m ³		1.38

C3. Μέγιστος κόκκος αδρανών:

70-90	mm	C3 =	0.94
30	mm		1.00
15	mm		1.05
7	mm		1.12
3	mm		1.25
1	mm		1.71

C4. Ποσοστό λεπτόκοκκων αδρανών:

6 %	C4 =	0.96
12 %		1.00
18 %		1.04
30 %		1.10
42 %		1.16
54 %		1.22

C5. Υγρασία:

Χαμηλή	C5 =	1.04
Μέση		1.00
Υψηλή		0.80

C6. Ηλικία:

3	ημέρες	C6 =	0.73
7	ημέρες		0.87
14	ημέρες		0.95
28	ημέρες		1.00
90	ημέρες		1.10
180	ημέρες		1.18
1	έτος		1.24
5	έτη		1.36

<u>Υλικό</u>	<u>Ταχύτητα υπερήχων V (km/sec)</u>
Αέρας	0.33
Οπτοπλινθοδομή με τούβλα 6 οπών	0.35 – 0.65
Ευλεία (κάθετα προς τις ίνες)	1.50 – 2.00
Ευλεία (παράλληλα προς τις ίνες)	5.70
Λιθοδομή	2.00 – 3.00
Σκυρόδεμα	3.50 – 5.50
Χάλυβας	6.00

→ Άρα, ένα επιχρισμένο τοίχωμα από ωπλισμένο σκυρόδεμα ξεχωρίζει εύκολα από έναν επιχρισμένο τοίχο από οπτοπλινθοδομή με βάση τις μετρήσεις της ταχύτητας των υπερήχων.

Εφαρμογή έμμεσης μεθόδου με ταχύτητα υπέρηχων

Δεδομένα κατασκευής - σκυροδέματος

- Τύπος τσιμέντου:	Ελληνικού τύπου με ποζολάνες	C1 = 0.90
- Ποσοστια τσιμέντου:	300 kg/m ³	C2 = 1.00
- Max κόκκος αδρανών:	30 mm	C3 = 1.00
- Λεπτόκοκκο υλικό:	12%	C4 = 1.00
- Υγρασία σκυροδέματος:	μέση	C5 = 1.00
- Ηλικία σκυροδέματος:	10 έτη	C6 = 1.36

$$V = V' \times C1 \times C2 \times C3 \times C4 \times C5 \times C6$$

άρα:

$$V = 1.224 \times V'$$

$$\text{Κυλινδρική αντοχή: } f_c = 0.01 \times V^{5.20}$$

Μετρήσεις κατά DIN				
α/α	V'	V	V	f _c (MPa)
1	2.95	2.95	3.61	7.93
2	2.78			
3	2.76			
4	2.95	2.95	3.61	7.93
5	3.21	3.21	3.93	12.31
6	2.89	2.89	3.54	7.13
7	3.52	3.52	4.31	19.88
8	3.45	3.45	4.22	17.91
9	2.95	2.95	3.61	7.93
10	3.32	3.32	4.06	14.67
11	3.25	3.25	3.98	13.13
12	3.78	3.78	4.63	28.80
13	3.90			
14	3.95			
M.O.:	3.26	3.23	3.95	13.76
S:	0.39	0.28	0.35	6.56



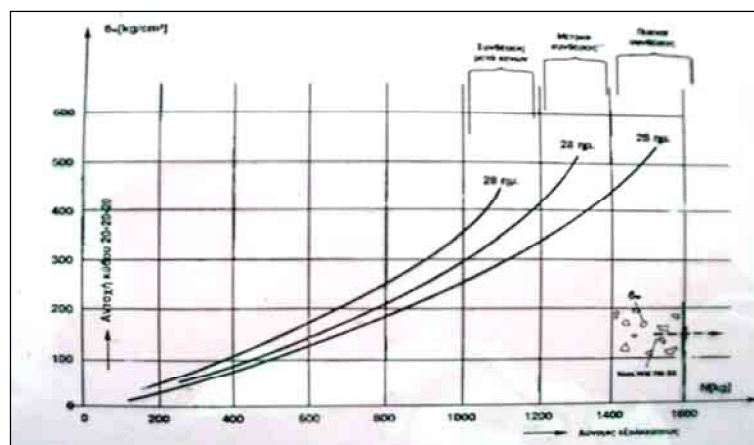
$$f_c = 13.76 \text{ MPa}$$

$$s = 6.56 \text{ MPa}$$

2.2.3. Εξόλκευση ήλου – Εκτόξευση βλημάτων

Στηρίζονται στη μέτρηση της τριβής που ασκεί το υλικό (σκυροδέμα) στην επιφάνεια ήλου (ή βλήματος) που έχει προηγουμένως εμπηχθεί στη μάζα του. Η τριβή ή αλλιώς η περιμετρική πίεση του υλικού είναι μία από τις ελαστοπλαστικές ιδιότητές του η οποία συνδέεται έμμεσα με την αντοχή του.

- **Ελληνική μέθοδος:** Χρησιμοποιείται ήλος με μήκος 40 mm και διάμετρο 4 mm. Εμπηγνύεται με εκτοξευτήρα με καυήλιο καθορισμένης ισχύος και εξοκεύεται μετά την παρέλευση 10 min από την έμπηξη με ειδικό εξολκέα με μανόμετρο με το οποίο μετράται η δύναμη εξόλκεσης. Υπάρχουν πειραματικά δεδομένα σε μορφή καμπυλών που συσχετίζουν τη δύναμη εξόλκεσης με την αντοχή του σκυροδέματος, όπως στο φαίνεται παρακάτω σχεδιάγραμμα.



- **Μέθοδος Windsor:** Παρόμοια με την προηγούμενη. Ειδικής μορφής ακίδα εκτοξεύεται με ένα είδος πιστολιού. Μετράται η δύναμη εξόλκεσης.
- **Ολλανδική μέθοδος:** Παρόμοια με τις προηγούμενες. Προτείνεται η τοποθέτηση βυσμάτων κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης και η εξόλκεσή τους μετά την σκλήρυνση. Ομοίως μετράται η δύναμη εξόλκεσης.
- **Ρωσική μέθοδος:** Προβλέπεται η εκτόξευση βλήματος καθορισμένου τύπου και από ορισμένη απόσταση με πυροβόλο όπλο (!!!) και εν συνεχεία η εκτίμηση της ζημιάς που προκαλείται.



2.2.4. Ραδιοπερατότητα

Η μέθοδος στηρίζεται στη συσχέτιση της ραδιοπερατότητας (ή ραδιο-απορροφήσεως) με την αντοχή. Δεν έχει ευρεία εφαρμογή για την εκτίμηση της αντοχής. Προσδιορίζει με ιδιαίτερη ακρίβεια τη θέση και τη διάμετρο των σπλισμών.

2.2.5. Συνδυασμός έμμεσων μεθόδων

Η ακρίβεια με την οποία εκτιμάται η αντοχή αυξάνεται σημαντικά εάν χρησιμοποιηθούν (α) δύο (ή περισσότερες) έμμεσες μέθοδοι ή (β) μία έμμεση μέθοδος σε συνδυασμό με πυρηνοληψία (καταστρεπτική μέθοδος).

Σε περίπτωση εφαρμογής δύο έμμεσων μεθόδων η τελική αντοχή f_c υπολογίζεται:

$$f_c = \frac{f_{c1} \cdot s_2 + f_{c2} \cdot s_1}{s_1 + s_2}$$

(όπου f_{c1} και f_{c2} οι αντοχές όπως προκύπτουν από τις επί μέρους μεθόδους και s_1 και s_2 οι τυπικές αποκλίσεις των αποτελεσμάτων κάθε μεθόδου).

Εφαρμογή:

Κρουσίμετρο:

($R = 21.09$)

$f_{c1} = 14.8 \text{ MPa}$

$s_1 = 3.66 \text{ MPa}$

Υπέρηχοι:

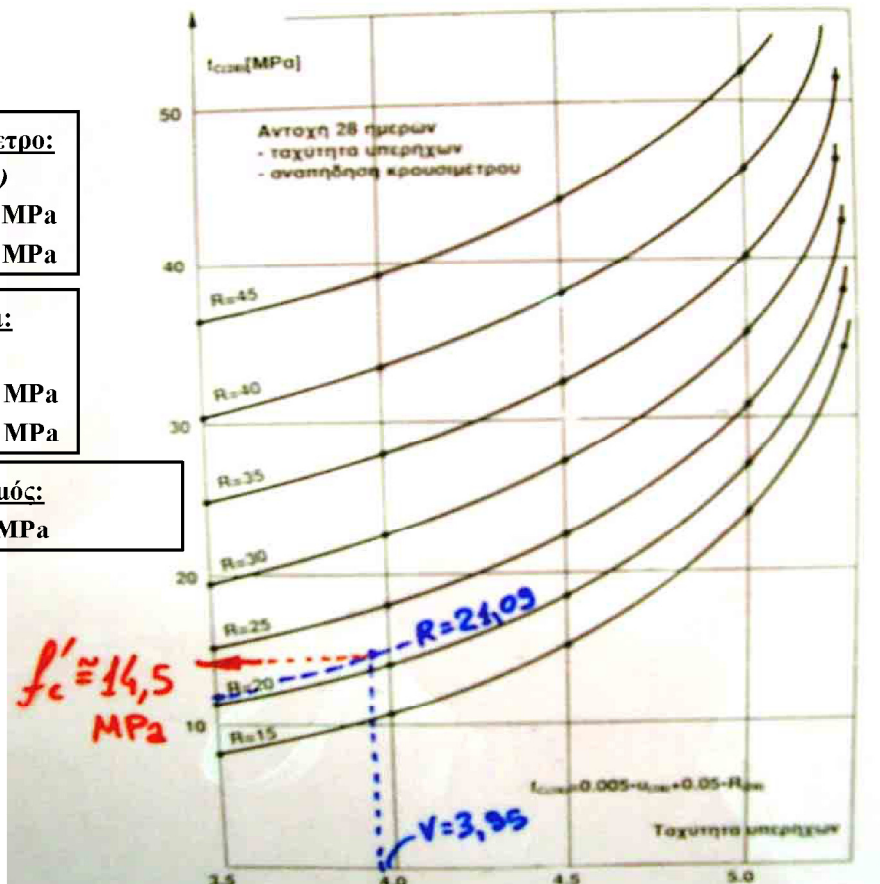
($V = 3.95$)

$f_{c2} = 13.8 \text{ MPa}$

$s_2 = 6.56 \text{ MPa}$

Συνδυασμός:

$f_c = 14.5 \text{ MPa}$



2.3. Άμεσες μέθοδοι (καταστρεπτικές δοκιμές) για την αντοχή

Είναι δαπανηρές (δύσκολες, απαιτούν μεγάλα μηχανήματα και χρονοβόρες), μη επιθυμητές από τον ιδιοκτήτη (στηρίζονται στη θραύση και επιφέρουν ζημιές), αλλά αξιόπιστες. Αποσκοπούν στον κατ' ευθείαν προσδιορισμό της αντοχής του υλικού με θραύση δοκιμίων που έχουν ληφθεί από την κατασκευή (άμεσες μέθοδοι).

Ο όρος άμεσες μέθοδοι είναι μάλλον πιο δόκιμος, δεδομένου ότι οι “καταστροφές” που προκαλούν δεν έχουν μεγάλη έκταση και η αποκατάστασή τους γίνεται σχετικά εύκολα.

Διακρίνονται:

- Αποκοπόμενοι πυρήνες ή πυρηνοληψία (καρότα) σε δομικά στοιχεία από σκυρόδεμα και από οπτοπλινθοδομή.
- Επί τόπου δοκιμές διατμήσεως τοιχοποιίας.

2.3.1. Πυρηνοληψία

Επί τόπου αποκοπή κυλινδρικού δοκιμίου καθορισμένης διαμέτρου από το υπό εξέταση υλικό. Αποφυγή κοπής τμήματος σιδηρού οπλισμού (κυρίως διαμήκων ράβδων ή ράβδων με διάμετρο $\varnothing > 8$ mm) και για αυτό συνήθως προαπαιτείται έλεγχος της θέσης των υφιστάμενων ράβδων του σκυροδέματος. Απαιτείται η αποκατάσταση της “ζημιάς” (οπής πυρήνα). Εν συνεχεία, εργαστηριακό έλεγχο του δοκιμίου, συνήθως θραύση σε θλίψη κατά τον άξονά του έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία των επίπεδων επιφανειών του (λείανση ή “καπέλωμα” των επίπεδων επιφανειών του δοκιμίου ώστε να είναι παράλληλες μεταξύ τους).

Για το σκυρόδεμα, τα αποτελέσματα ανάγονται ώστε να υπολογισθεί η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος και κατά συνέπεια να προσδιορισθεί η ποιότητά του (C12/15, C16/20 κ.λπ.)



Έλεγχος θέσεως σιδηρού οπλισμού ώστε να αποφευχθεί η κοπή ράβδου κατά την πυρηνοληψία



Πυρηνοληψίες σε υποστυλώματα με κατάλληλο περιστροφικό τρυπάνι με αδαμαντοκορόνα



Πυρήνας (“καρότο”) από σκυροδέμα υφιστάμενου υποστυλώματος – Δοκιμή πυρήνα σε αξονική θλίψη μετά από “καπέλωμα” των επίπεδων επιφανειών του ώστε να είναι παράλληλες

Για την εκτίμηση της κατηγορίας αντοχής διαστρωμένου σκυροδέματος μιας κατασκευής υπάρχουν δύο μέθοδοι:

- α) Η μέθοδος που περιγράφεται από την Προδιαγραφή ΕΛΟΤ 344
- β) Η μέθοδος που περιγράφεται από την Εγκύκλιο Ε7/1997 του ΥΠΕΧΩΔΕ.

2.3.2. Προδιαγραφή ΕΛΟΤ 344

Για την μετατροπή της αντοχής πυρήνων σκυροδέματος σε συμβατική αντοχή κανονικού κυβικού δοκιμίου πλευράς 20 cm, η προδιαγραφή ΕΛΟΤ 344 καθορίζει τα ακόλουθα:

- Η διάμετρος του πυρήνα πρέπει να είναι τουλάχιστο 100 mm.
- Η διάμετρος του πυρήνα πρέπει να είναι τουλάχιστο 3πλάσια του μέγιστου κόκκου αδρανών.
- Το ύψος του πυρήνα πρέπει να είναι τουλάχιστο ίσο προς τη διάμετρό του.
- Ο πυρήνας πρέπει να είναι απαλλαγμένος από τεμάχια χάλυβα σπλισμού.
- Από το άκρο του πυρήνα πρέπει να αποκόπτεται τεμάχιο ύψους τουλάχιστο 20 mm εφ’ όσον αντιστοιχεί σε ελεύθερη επιφάνεια σκυροδέματος.

Αν “ $\beta_{\pi, \Phi/h}$ ” είναι η αντοχή του πυρήνα διαμέτρου Φ και ύψους h μετά την αναγωγή του στην ηλικία των 28 ημερών, η συμβατική αντοχή “ $\beta_{\sigma, w}$ ” όπως καθορίζεται στον Κανονισμό (δηλαδή η αντοχή κυβικού δοκιμίου πλευράς 20 cm που συντηρείται και θραύεται σε ηλικία 28 ημερών, με τον τρόπο που καθορίζει ο Κανονισμός), μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση:

$$\beta_{\sigma,w} = \left(\frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3}{k_\phi k_c k_d} \right) \beta_{\pi,\Phi/h}$$

Οι συντελεστές μέσα στην παρένθεση εισάγουν την επιρροή των διαφορών στη συντήρηση και στη γεωμετρία και είναι οι ακόλουθοι:

k_ϕ = συντελεστής που εξαρτάται από τη διάμετρο του πυρήνα και είναι

Διάμετρος πυρήνα Φ =	100 cm	150 cm
k_ϕ =	0.85	0.95

k_c = συντελεστής που εξαρτάται από τη διαφορά συντηρήσεως και είναι

Συντήρηση	Υγρή	Συνήθης	Πλημμελής
k_c =	1.00	0.90	0.80

k_d = συντελεστής που εξαρτάται από το πάχος του στοιχείου και είναι

Πάχος στοιχείου	>25 cm	<15 cm
k_d =	1.00	0.95

λ_1 : συντελεστής για την αναγωγή της αντοχής κυλίνδρου με λόγο h/Φ , σε αντοχή κυλίνδρου με λόγο $h/\Phi = 2$ και είναι:

h/Φ =	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	0.90
λ_1 =	1.00	0.98	0.95	0.91	0.85	0.82

λ_2 : συντελεστής για την αναγωγή της αντοχής κυλίνδρου με λόγο $h/\Phi=2$, σε αντοχή κυλίνδρου διαστάσεων 15/30 και είναι:

Φ =	10 cm	12,5 cm	15 cm
λ_2 =	0.96	0.98	1.00

λ_3 : συντελεστής για την αναγωγή της αντοχής κυλίνδρου 15/30 σε αντοχή κύβου 20×20×20 cm. Η συσχέτιση αυτή εξαρτάται από την αναμενόμενη αντοχή του σκυροδέματος:

$\beta_{20 \times 20 \times 20}$ =	120	160	225	300	≥ 450
λ_3 =	1.30	1.25	1.22	1.18	1.14

Για τις ενδιάμεσες τιμές, οι τιμές των συντελεστών βρίσκονται με γραμμική παρεμβολή.

2.3.3. Εγκύκλιος Ε7 – Εκτίμηση της κατηγορίας αντοχής του σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών

1. Αντικείμενο

Η εγκύκλιος αυτή εφαρμόζεται στην ειδική περίπτωση που πρόκειται να εκτιμηθεί η κατηγορία αντοχής του διαστρωμένου σκυροδέματος μιας υφιστάμενης κατασκευής. Η Εγκύκλιος αυτή δεν υποκαθιστά τους ελέγχους συμμορφώσεως και τους επανελέγχους του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος - 97, οι οποίοι εφαρμόζονται, υποχρεωτικά, σε κάθε έργο.

2. Παραδοχές

Γίνονται αποδεκτό ότι για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας ενός έργου η κατηγορία αντοχής του διαστρωμένου σκυροδέματος την ημέρα του ελέγχου με πυρήνες όπως περιγράφεται στα επόμενα.

Σημειώνεται ότι με την εγκύκλιο αυτή η αντοχή των πυρήνων δεν συσχετίζεται με την αντοχή συμβατικών δοκιμών και συνεπώς από την κατηγορία αντοχής που προκύπτει με τον έλεγχο των πυρήνων δεν διαπιστώνεται η κατηγορία αντοχής στην οποία ανήκε το νωπό σκυρόδεμα την ημέρα της διαστρώσεως του.

3. Λιαδικασία ελέγχου

3.1. Η κατασκευή διαχωρίζεται σε τμήματα (παρτίδες) σκυροδέματος, δηλαδή σε περιοχές που φαίνεται πως διαστρώθηκαν σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Στο διαχωρισμό αυτόν βοηθούν το είδος και η μορφή της κατασκευής, οι διαστάσεις, οι αρμοί εργασίας και διαστολής και λοιπά. Για παράδειγμα, ανήκουν σε διαφορετικά τμήματα (παρτίδες):

- α) Διαφορετικοί όροφοι.
- β) Πλάκες από υπερκείμενες σκάλες ή τοιχία.
- γ) Υποστυλώματα που διαχωρίζονται από υπερκείμενες πλάκες με αρμούς εργασίας.

3.2. Κάθε τμήμα (παρτίδα) ελέγχεται χωριστά με έξι πυρήνες που κόβονται σε τυχαίες θέσεις αυτού του τμήματος (παρτίδας), χωρίς να προηγηθεί η διαβροχή του σκυροδέματος που προβλέπεται στο άρθρο 13.7.1. του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος - 97.

3.3. Η κοπή και η προετοιμασία για έλεγχο των πυρήνων γίνεται κατά τον ακόλουθο τρόπο: Οι πυρήνες κόβονται με κατάλληλο περιστροφικό τρυπάνι, με αδαμαντοκορόνα σε καλή κατάσταση, από σημείο που δεν είναι κοντά σε ακμές δομικών στοιχείων ή σε αρμούς εργασίας.

Πρέπει να καταβάλλεται προσπάθεια, ώστε οι πυρήνες να μην περιέχουν οπλισμό. Πυρήνες που θα περιέχουν τμήματα σιδηρού οπλισμού διαμέτρου μεγαλύτερης από 8 mm θα απορρίπτονται.

Η διάμετρος των πυρήνων πρέπει να είναι 10 ± 0.5 cm και το ύψος τους, πριν από την επίστρωση του κονιάματος επιπεδώσεως (καπέλωμα) 9.5-12.5 cm.

Οι πυρήνες που αποκόπτονται, διαμορφώνονται με κοπή ή άλλη επεξεργασία, έτσι ώστε να

προκύπτουν επίπεδα βάσεων κάθετα στις γενέτειρες του πυρήνα. Πριν από τη δοκιμή αποκόπεται μήκος ίσο τουλάχιστο με 2 cm από το άκρο του πυρήνα, σε περίπτωση που αυτό προέρχεται από επιφάνεια σκυροδέματος που διαμορφώθηκε χωρίς ζυλότυπο.

Τελικά οι βάσεις του πυρήνα επιπεδώνονται με ειδική κονία επιπεδώσεως (καπέλωμα).

Η συντήρηση των πυρήνων μέχρι τον έλεγχό τους, γίνεται σε συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας, κατά το δυνατόν παρόμοιες με εκείνες λειτουργίας του έργου, από το οποίο αποκόπηκαν. Ως μήκος του δοκιμίου, που μορφώθηκε όπως προηγούμενα αναφέρεται, παίρνεται ο μέσος όρος των μετρήσεων δύο αντιδιαμετρικών γενετειρών με ακρίβεια 1 mm. Η διάμετρος του δοκιμίου μετρείται περίπου στο μέσο του ύψους του και σε δύο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις, με ακρίβεια 0.5 mm.

3.4. Η αναγωγή της αντοχής κάθε πυρήνα σε αντοχή κυβικού δοκιμίου X_c ακμής 15 cm, γίνεται με πολλαπλασιασμό της αντοχής του πυρήνα με τους συντελεστές L1, L2, L3 και L4. Ο συντελεστής L4 θα έχει πάντοτε τιμή 1,03 (παράγραφος 13.7.9 του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος - 97). Οι τιμές των συντελεστών L1, L2, και L3, που προέκυψαν από τους αντίστοιχους συντελεστές λ_1 , λ_2 και λ_3 του Σχεδίου Προτύπου ΕΛΟΤ - 344 δίνονται στους ακόλουθους Πίνακες 1, 2 και 3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

H:D	L1	H:D	L1	H:D	L1
0.90	0.820	1.09	0.872	1.27	0.913
0.91	0.823	1.10	0.874	1.28	0.915
0.92	0.826	1.11	0.876	1.29	0.916Σ
0.93	0.829	1.12	0.879	1.30	0.918
0.94	0.832	1.13	0.881	1.31	0.920
0.95	0.835	1.14	0.884	1.32	0.921
0.96	0.838	1.15	0.886	1.33	0.923
0.97	0.841	1.16	0.888	1.34	0.924
0.98	0.844	1.17	0.891	1.35	0.926
0.99	0.847	1.18	0.893	1.36	0.928
1.00	0.850	1.19	0.896	1.37	0.929
1.01	0.852	1.20	0.898	1.38	0.931
1.02	0.855	1.21	0.900	1.39	0.932
1.03	0.857	1.22	0.903	1.40	0.934
1.04	0.860	1.23	0.905	1.41	0.936
1.05	0.862	1.24	0.918	1.42	0.937
1.06	0.864	1.25	0.910	1.43	0.939
1.07	0.867	1.26	0.912	1.44	0.940
1.08	0.869			1.45	0.942

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

D cm	L2	D cm	L2
9.5	0.956	10.1	0.961
9.6	0.957	10.2	0.962
9.7	0.958	10.3	0.962
9.8	0.958	10.4	0.963
9.9	0.959	10.5	0.964
10.0	0.960		

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

Αντοχή Κυλίνδρου 15x30cm MPa	L3	Αντοχή Κυλίνδρου 15x30cm MPa	L3	Αντοχή Κυλίνδρου 15x30cm MPa	L3	Αντοχή Κυλίνδρου 15x30cm MPa	L3
<9.2	1.300	13.9	1.244	21.2	1.204	29.9	1.168
9.4	1.297	14.2	1.242	21.5	1.202	30.4	1.166
9.6	1.294	14.5	1.241	21.9	1.200	30.9	1.165
9.8	1.292	14.9	1.239	22.3	1.198	31.4	1.163
10.0	1.289	15.3	1.237	22.6	1.196	31.9	1.162
10.2	1.285	15.6	1.235	23.0	1.194	32.4	1.160
10.4	1.283	16.0	1.233	23.3	1.192	32.9	1.159
10.6	1.281	16.3	1.231	23.6	1.190	33.4	1.158
10.8	1.278	16.6	1.229	24.0	1.188	33.9	1.157
11.0	1.275	17.0	1.227	24.3	1.186	34.4	1.155
11.2	1.272	17.4	1.225	24.7	1.184	34.9	1.154
11.4	1.269	17.7	1.223	25.0	1.182	35.4	1.152
11.6	1.266	18.0	1.222	25.4	1.180	35.9	1.151
11.8	1.264	18.4	1.220	26.0	1.178	36.4	1.149
12.0	1.261	18.7	1.218	26.4	1.177	36.9	1.148
12.2	1.258	19.1	1.216	26.9	1.176	37.4	1.146
12.4	1.255	19.5	1.214	27.4	1.174	37.9	1.145
12.6	1.253	19.8	1.212	27.9	1.173	38.4	1.144
12.8	1.250	20.1	1.210	28.4	1.172	38.9	1.143
13.1	1.248	20.5	1.208	28.9	1.171	39.4	1.141
13.5	1.246	20.9	1.206	29.4	1.169	>39.5	1.140

3.5 Από τις έξι ανηγμένες αντοχές X_n υπολογίζεται η τυπική αντοχή f_π του τμήματος (παρτίδας) με τον τύπο:

$$f_\pi = \bar{X}_n - 1,6 \times S \quad \text{όπου} \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{I=1}^{I=n} \left(X_I^\pi - \bar{X}_n \right)^2}{n-1}}$$

όπου: \bar{X}_n είναι ο μέσος όρος των $n = 6$ ανηγμένων αντοχών και S είναι η τυπική απόκλιση.

Παράδειγμα: Έστω ότι σε έξι πυρήνες διαμέτρου 10.0 cm, που είχαν ύψη 10.6, 10.6, 10.7, 11.1, 10.6, 10.8 cm βρέθηκαν κατά τον έλεγχο της αντοχής τους σε θλίψη αντοχές αντίστοιχα 16.8, 26.1, 22.2, 21.5, 24.1, 20.0 MPa.

Στον παρακάτω Πίνακα αναγράφονται τα διάφορα στάδια υπολογισμών από τους οποίους τελικά προκύπτει η μέση

ανηγμένη αντοχή κόβου ακμής 15 cm ίση με: $X_{\pi}^{\delta} = 22.7 \text{ MPa}$ και η τυπική απόκλιση: $S = 3.08 \text{ MPa}$. Συνεπώς, η τιμή της τυπικής αντοχής κόβου ακμής 15 cm είναι: $f_{\pi} = 22.7 - 1.60 \times 3.08 = 17.8 \text{ MPa}$.

Έχοντας υπόψη τον Πίνακα 2.2 του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος - 97 είναι:

$15 < 17.8 < 20 \rightarrow (C12/15) < \text{κατηγορία σκυροδέματος παρτίδας} < (C16/20)$

Άρα το τμήμα (παρτίδα) σκυροδέματος που αντιπροσωπεύεται από τους πιο πάνω έξι πυρήνες ανήκει στην κατηγορία σκυροδέματος C12/15.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

a/a	D cm	H cm	H:D	Αντοχή πυρήνα MPa	L1	L2xL4 0,960x1,03	L1xL2xL4	Αντοχή Κυλίνδρου 15x30cm MPa	L3	Αντοχή κόβου ακμής 15 X _π MPa
1	10.0	10.6	1.06	16.7	0.989	0.989	0.854	14.3	1.242	17.8
2	10.0	10.6	1.06	26.1	0.864	0.989	0.854	22.3	1.198	26.7
3	10.0	10.7	1.07	22.2	0.867	0.989	0.857	19.0	1.216	23.1
4	10.0	11.1	1.11	21.5	0.876	0.989	0.866	18.6	1.219	22.7
5	10.0	10.6	1.06	24.1	0.864	0.989	0.854	20.6	1.208	24.9
6	10.0	10.8	1.08	20.0	0.869	0.989	0.859	17.2	1.226	21.1

3.6. Αν σε μια μικρή περιοχή το σκυρόδεμα παρουσιάζει ελαττώματα από κακή κατασκευή (π.χ. κακή συμπίκνωση, απόμιξη κ.λπ.) ή εξωτερικά αίτια (π.χ. πυρκαγιά) και ζητείται η αντοχή του σκυροδέματος, σε αυτή την περιοχή θα κόβονται τρεις πυρήνες. Μετά την αναγωγή των αντοχών των πυρήνων σε αντοχές κυβικών δοκιμίων σύμφωνα με τα αναφερόμενα στην παράγραφο 3.4 θα υπολογίζεται η τυπική αντοχή f_{π} του σκυροδέματος σε αυτήν την περιοχή ως μέσος όρος των τριών αντοχών κυβικών δοκιμίων, καθώς και η χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος της μικρής αυτής περιοχής σύμφωνα με τα αναφερόμενα στην παράγραφο 3.5 αυτής της Εγκυκλίου.

3.7. Στην περίπτωση που πρόκειται να γίνει εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας μιας κατασκευής, εναπόκειται στον μελετητή μηχανικό να αποφασίσει αν αυτή η φέρουσα ικανότητα θα κριθεί από την αντοχή των περιοχών με ελαττωματικό σκυρόδεμα (παράγραφος 3.6) ή όχι. Αν δηλαδή η έκταση και η θέση αυτών των περιοχών σε συνάρτηση με το είδος και τη μορφολογία της κατασκευής επηρεάζουν τόσο τη στατική λειτουργία, ώστε να θεωρηθεί ότι αυτή έχει την αντοχή που προκύπτει από τους πυρήνες που περιγράφονται στην παράγραφο 3.6 αυτής της Εγκυκλίου και όχι από τους πυρήνες της παραγράφου 3.5.

3.8. Με την προηγούμενη διαδικασία γίνεται εκτίμηση της κατηγορίας αντοχής σκυροδέματος με βάση τα κυβικά δοκίμια. Η αντίστοιχη κατηγορία αντοχής σκυροδέματος για κυλινδρικά δοκίμια θα λαμβάνεται από τον Πίνακα 2.2 του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος - 97.

Η Εγκύκλιος αυτή τίθεται σε ισχύ συγχρόνως με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος - 97. Μετά την ημερομηνία ισχύος της καταργούνται: (α) Η εγκύκλιος Ε58/ΕΚ3α/2779/504/8.4.85 και (β) Η απόφαση με αρ. πρωτ. οικ. ΕΚ3α/2445/353/27.3.87 της Δ/σης Τεχνικών Υλικών του ΚΕΔΕ.

2.4. Δοκιμές για τον εντοπισμό του σιδηρού οπλισμού

Οι δοκιμές αυτές δίδουν τη δυνατότητα προσδιορισμού των κάτωθι:

- Θέση οπλισμού (ακριβή θέση ράβδων ή συνδετήρων, επικάλυψη).
- Ποσότητα οπλισμού (αριθμός ράβδων και συνδετήρων).
- Διάμετρος οπλισμού.

Είναι εξαιρετικά απαραίτητες αφ' ενός σε περιπτώσεις προσεισμικού και μετασεισμικού ελέγχου κατασκευών και αφ' ετέρου πριν από τη χρήση όλων σχεδόν των δοκιμών για την αντοχή και ποιότητα του σκυροδέματος (ή της οπτοπλινθοδομής σε περίπτωση ωπλισμένης τοιχοποιίας): *κρουσιμετρήσεις, ταχύτητα υπερήχων, πυρηνοληψίες*. Διακρίνονται:

• **Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος:** Ταχύτατη και αξιόπιστη μέθοδος (σφάλμα, ανάλογα με την περίπτωση και το δομικό στοιχείο < 5 έως 10 %). Δυσκολίες σε περιπτώσεις πολλών στρώσεων οπλισμού και ράβδων με μεγάλη επικάλυψη (> 150 mm).

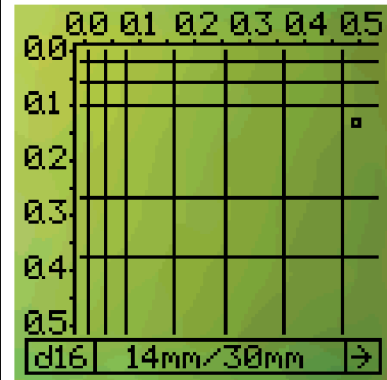
Βασίζεται στην επαγωγή ηλεκτρικού ρεύματος σε αγωγίμα υλικά υπό την επίδραση εξωτερικού μαγνητικού πεδίου. Τυχούσες διακοπές στη ροή του ηλεκτρικού φορτίου που προέρχονται από “αλλαγές” στο υλικό επιδρούν στο μαγνητικό πεδίο. Αυτές οι “αλλαγές” υποδεικνύουν την ύπαρξη κάποιας άλλης ιδιότητας ή μορφολογίας (υγρασία, διάβρωση κ.λπ.). Κυρίως όμως χρησιμεύουν για τον εντοπισμό του οπλισμού.



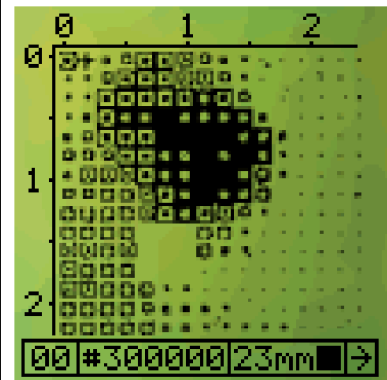
1η δυνατότητα: Εντοπισμός της “αλλαγής” στο σήμα του οργάνου και κατά συνέπεια της **θέσης του οπλισμού**. Ταυτόχρονα προσδιορίζεται η **επικάλυψη** του οπλισμού και εν συνεχεία η **διάμετρός** του. Σε περίπτωση ύπαρξης άλλων κοντινών ράβδων, το όργανο επιδέχεται διόρθωση στην τιμή της διαμέτρου.

```
d16|s(min)>25|#100000
-----
n=40/Mean x̄= 25mm
Min/Max=15/30mm
sa=+/-6.8mm
smaller s(min)=32%
Current Value Memo
35 30
mm
```

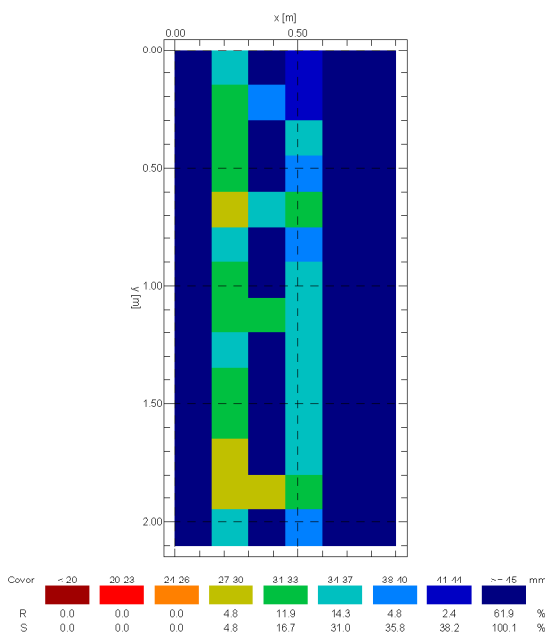
2η δυνατότητα: Με τη χρήση κατάλληλου τροχήλατου εξαρτήματος του οργάνου, είναι δυνατή η καταγραφή των **κατακόρυφων και οριζόντιων ράβδων** του υπό εξέταση δομικού στοιχείου (μέτρηση με πλέγμα). Τα δεδομένα αποθηκεύονται και μεταφέρονται σε Η/Υ για περαιτέρω επεξεργασία.



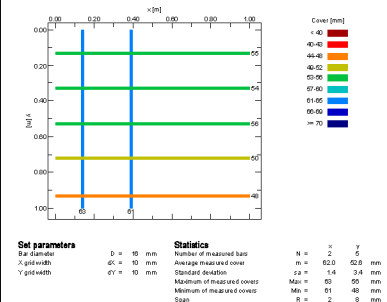
3η δυνατότητα: Με τη χρήση του τροχήλατου εξαρτήματος του οργάνου, είναι δυνατή η καταγραφή – **σάρωση** όλων των “**αλλαγών**” που υπάρχουν στο υπό εξέταση δομικό στοιχείο ή υλικό, υπό μορφή τιμών επικαλύψεων. Τα δεδομένα αποθηκεύονται και μεταφέρονται σε Η/Υ για περαιτέρω επεξεργασία.



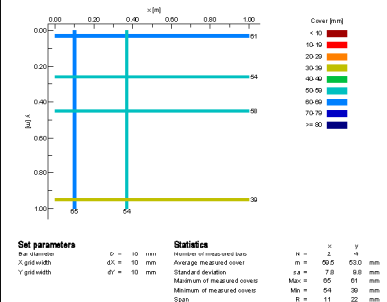
PROCEQ - PROFOMETER 5 (V2.2.3, 52.2733) Rebar Locator
 Title: K14 - level 01 Date: 06-Oct-2003 Name:
 Remarks:



PROCEQ - PROFOMETER 5 (V2.2.3, 52.2733) Rebar Locator
 Title: K14 - level 01 Date: 06-Oct-2003 Name:
 Remarks:



PROCEQ - PROFOMETER 5 (V2.2.3, 52.2733) Rebar Locator
 Title: K14 - level 01 Date: 06-Oct-2003 Name:
 Remarks:



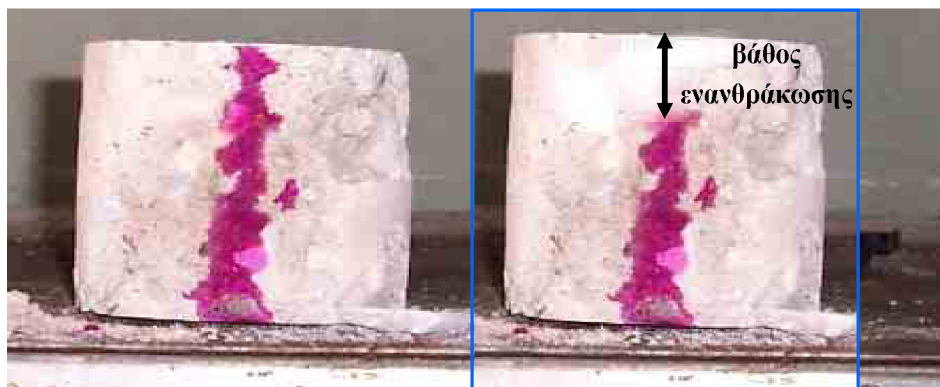
- **Ραδιογραφία – Μέθοδοι ακτινογραφίας:** Παρέχει αυξημένη αξιοπιστία και επιτρέπει και τον προσδιορισμό του βαθμού διάβρωσης του οπλισμού. Προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλης ραδιενεργού πηγής – ακτίνων X ή γ εμπρός από το δομικό στοιχείο και στρώσης ειδικού φιλμ ή πλάκας πίσω από αυτό για την αποτύπωση του ίχνους των οπλισμών. Επί πλέον, προσδιορίζονται και τυχόν ατέλειες (ρηγματώσεις, κοιλότητες, κ.λπ.) του υλικού.

- **Θερμογραφική μέθοδος:** Λειτουργεί όπως η υπέρυθη θερμογραφία. Γίνεται απεικόνιση της θερμικής κατανομής άνω στην επιφάνεια του υλικού αφού αυτό θερμανθεί. Ανιχνεύονται, πέραν των οπλισμών, τυχόν ατέλειες και ανωμαλίες του υλικού (ρωγμές, κοιλότητες, αποκολλήσεις, διάβρωση σκυροδέματος κ.λπ.). Αποτελεί συνήθη πρακτική για τη διερεύνηση του καταστρώματος γεφυρών μέσω μετρήσεων της ομοιόμορφης αύξησης ή μείωσης της επιφανειακής θερμοκρασίας λίγες ώρες μετά την ανατολή ή τη δύση του ήλιου, αντίστοιχα. Παρέχει ακριβή αποτελέσματα αλλά έχει σχετικά υψηλό κόστος.

2.5. Άλλες δοκιμές

2.5.1. Χημικές δοκιμές για τη διάρκεια ζωής σκυροδέματος

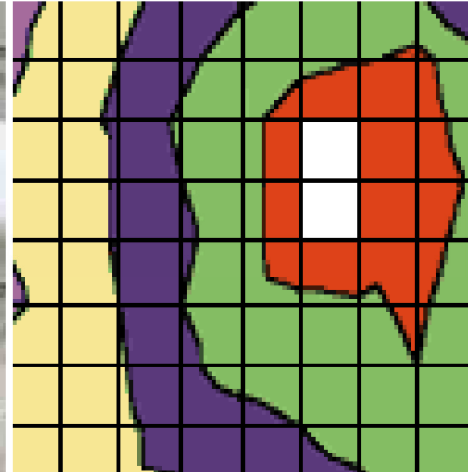
Έλεγχος βάθους ενανθράκωσης: Η επιφανειακή ενανθράκωση του σκυροδέματος έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια της αλκαλικής προστασίας της επικάλυψης του οπλισμού σε διάβρωση. Το βάθος ενανθράκωσης μετράται με εφαρμογή στην επιφάνεια του σκυροδέματος διαλύματος φαινοφθαλεΐνης (δείκτης pH). Το χρώμα της επιφάνειας του σκυροδέματος μετά τον ψεκάσμο συγκρίνεται με κατηγοριοποιημένα αποτελέσματα ελέγχων που υποδεικνύουν τις περιοχές σοβαρής ενανθράκωσης (αλλαγή χρώματος σημαίνει ότι δεν υφίσταται ενανθρακωμένο σκυρόδεμα).



Έλεγχος χλωριόντων: Η παρουσία υδατοδιαλυτών χλωριόντων πέρα από ένα συγκεκριμένο όριο στο σκυρόδεμα (> 0.20% ανά μονάδα βάρους) θεωρείται σοβαρή ένδειξη διάβρωσης για κατασκευές από σκυρόδεμα. Η δοκιμή περιλαμβάνει ανάλυση δείγματος σκυροδέματος για τον προσδιορισμό της ποσότητας των χλωριόντων. Είναι γρήγορη και μικρού κόστους.

2.5.2. Προσδιορισμός βαθμού διάβρωσης οπλισμού

Πραγματοποιείται με τη μέτρηση του ηλεκτρικού δυναμικού ράβδων οπλισμού σκυροδέματος αποτελεί κριτήριο του κινδύνου διάβρωσης του οπλισμού και ένδειξη πιθανών ηλεκτροχημικών αντιδράσεων που έχουν γίνει στην επιφάνεια του σκυροδέματος.



Το όργανο περιλαμβάνει εξάρτημα που παράγει ηλεκτρικό δυναμικό στο σκυρόδεμα και μετρώντας τις τιμές του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται, εντοπίζονται οι περιοχές με διαβρωμένο οπλισμό

Ενδείξεις διαφοράς δυναμικού με στέλεχος (εξάρτημα οργάνου) από Cu/CuSO_4	Πιθανότητα διάβρωσης του υπό έλεγχο σιδηρού οπλισμού
λιγότερη (αρνητική) από -0.20 Volts	90% πιθανότητα ότι δεν υπάρχει διάβρωση
μεταξύ -0.20 και -0.35 Volts	αυξημένη πιθανότητα διάβρωσης
μεγαλύτερη (αρνητική) από -0.35 Volts	90% πιθανότητα διάβρωσης

2.5.3. Δοκιμές δομικών υποσυστημάτων & κατασκευών

Δοκιμή στατικής φόρτισης – αποφόρτισης: Είναι γνωστή και ως “δοκιμαστική φόρτιση” ή “καθολική φόρτιση” στον παλαιό Κανονισμό Σκυροδέματος. Αποτελεί έσχατο μέσον ελέγχου και τείνει να εγκαταλειφθεί. Βασίζεται στην φόρτιση – αποφόρτιση πλακών από ωπλισμένο σκυρόδεμα με φορτίο 1.5 φορά μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο φορτίο της πλάκας. Εν συνεχεία, μετράται το παραμένον βέλος (δ_{res}) και συγκρίνεται με το μέγιστο βέλος (δ_{max}) κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Το δομικό σύστημα της πλάκας θεωρείται “υγιές” εφ’ όσον ισχύει: $\delta_{\text{res}} \leq 0.25 \cdot \delta_{\text{max}}$

Δοκιμές ταλάντωσης: Οι δοκιμές αυτές μπορούν να δώσουν μια μεγάλη ποικιλία ποσοτικών δομικών χαρακτηριστικών, ιδιαίτερα σημαντικών για τη σεισμική συμπεριφορά δομικών υποσυστημάτων και πλήρων κατασκευών. Διακρίνονται σε:

- Δοκιμές ασθενών ταλαντώσεων: Η διέγερση της κατασκευής γίνεται από συνήθεις πηγές μικροδονήσεων περιβάλλοντος, όπως κυκλοφορία οχημάτων, άνεμος και ανθρώπινες δονήσεις.
- Δοκιμές μετρίων ταλαντώσεων: Απαιτείται πηγή σημαντικής διέγερσης, όπως εκρήξεις ή γεννήτριες ταλαντώσεων.
- Δοκιμές ισχυρών ταλαντώσεων: Απαιτείται πηγή σημαντικής διέγερσης, όπως εκρήξεις ή γεννήτριες ταλαντώσεων.

Τα όργανα καταγραφής ποικίλουν από απλά μονοκαναλικά μέχρι πολύπλοκα πολυκαναλικά και σε συνδυασμό με αναλυτές Fourier. Με τις δοκιμές ταλάντωσης προσδιορίζονται:

- ιδιοπερίοδοι
- ιδιομορφές
- αποσβέσεις μεταφορικών και στροφικών ταλαντώσεων
- κέντρο δυσκαμψίας
- θέσεις και βαθμός μεταβολής του λόγου δυσκαμψίας προς μάζα
- δυσκαμψία διαφραγμάτων
- βαθμός αλληλεπίδρασης εδάφους – ανωδομής
- βαθμός συνεργασίας τοιχοποιιών πλήρωσης με βασικό δομικό σύστημα κ.ά.

2.5.3. Οπτικός έλεγχος

Χρησιμοποιείται κατά κανόνα για τον προσδιορισμό των ρηγματώσεων, αποφλοιώσεων και άλλων επιφανειακών ατελειών. Ορισμένες φορές χρειάζεται μεγεθυντικός φακός ή ρωγμοσκόπιο. Η εφαρμογή του οπτικού ελέγχου, αν και απλή και χωρίς ιδιαίτερο κόστος, είναι ιδιαίτερα αποδοτική, ιδιαίτερα όταν συνδυασθεί με άλλη μέθοδο.

Επιπλέον, ο αξιόπιστος προσδιορισμός της μεταβολής των μεγεθών έντασης και παραμόρφωσης σε συνάρτηση με τον χρόνο έχει ιδιαίτερη σημασία για ειδικές κατασκευές. Για την εκτίμηση του κινδύνου άμεσης τοπικής ή γενικής αστοχίας της κατασκευής ο ρυθμός μεταβολής του βαθμού βλάβης με τον χρόνο έχει ζωτική σημασία. Προφανώς, όταν ο ρυθμός βλάβης αυξάνεται με τον χρόνο υπάρχει άμεσος κίνδυνος αστοχίας και απαιτείται γρήγορη αντιμετώπιση.



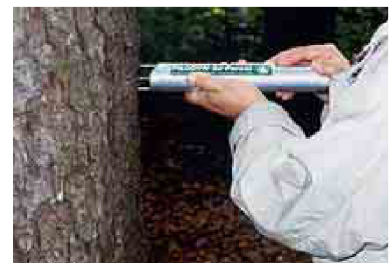
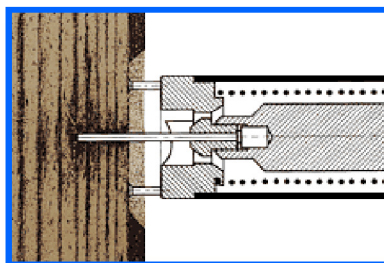
Υπάρχουν αρκετά ειδικά ηλεκτρονικά όργανα (jointmeters, crackmeters, strain gauges) για τον προσδιορισμό της μεταβολής των μεγεθών παραμόρφωσης (σκυρόδεμα, χάλυβας, κ.λπ.) σε συνάρτηση με τον χρόνο με ιδιαίτερη αξιοπιστία. Η απλούστερη δοκιμή προσδιορισμού της μεταβολής βαθμού βλάβης (ρηγμάτωσης) με τον χρόνο είναι η τοποθέτηση κάθετα προς τον επιφανειακό άξονα της ρωγμής ειδικού πλαστικού δείκτη μεταβολής ρωγμής και παρακολούθηση – καταγραφή των ενδείξεών του κατά καθορισμένα χρονικά διαστήματα.



2.5.4. Δοκιμή πυκνότητας και αντοχής σε ξύλο δόμησης

Είναι μία ταχεία και εύκολη δοκιμή που μπορεί να εφαρμοσθεί τόσο σε ξύλο δόμησης (“νεκρή ξυλεία”) όσο και σε “ζωντανή ξυλεία” (δέντρο). Ανήκει στις “μη καταστρεπτικές” δοκιμές, δεδομένου ότι δεν γίνεται σχεδόν καμία ζημιά στο ξύλο.

Η διαδικασία της δοκιμής περιλαμβάνει την έμπηξη μιας ειδικής ακίδας – βελόνας στη μάζα του ξύλου από το όργανο, το οποίο προηγουμένως έχει τοποθετηθεί – προσαρμοσθεί στην επιφάνεια του ξύλου. Μετράται το βάθος έμπηξης της βελόνας, βάσει του οποίου προκύπτει η τιμή της πυκνότητας και της αντοχής του ξύλου με τη χρήση σχετικών πινάκων.



3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΕΠΙΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ

3.1. Εισαγωγικά

Η μελέτη για επισκευή – ενίσχυση κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα οδήγησε σε πειραματισμούς με νέα υλικά, προηγμένης τεχνολογίας των οποίων η συμπεριφορά αποδείχθηκε κατά ένα μεγάλο ποσοστό αρκετά ικανοποιητική έτσι ώστε τα τελευταία χρόνια η χρήση τους να γίνεται σε ένα ευρύ πεδίο κατασκευών.

Η επιλογή της κατάλληλης λύσης για την επισκευή ή την ενίσχυση μιας κατασκευής από ωπλισμένο σκυρόδεμα, προϋποθέτει καλή γνώση των υλικών και των τεχνικών που διατίθενται για τέτοιου είδους επεμβάσεις. Συχνά απαιτείται να χρησιμοποιηθούν νέα υλικά και νέες τεχνολογίες σε συνδυασμό με τροποποιημένα παραδοσιακά υλικά.

Τα υλικά αυτά διακρίνονται σε απλά και σύνθετα:

Απλά υλικά

- Τσιμέντο.
- Κονίες, ασβέστης, γύψος, και οργανικά συνδετικά υλικά.
- Αδρανή υλικά.
- Νερό.
- Χάλυβας.
- Πρόσθετα βελτιωτικά για κονιάματα και σκυροδέματα.
- Εποξειδικές ρητίνες.
- Εποξειδικά και άλλα υλικά ενισχύσεως με ενέσεις σε φέροντα στοιχεία και σε οργανισμούς πλήρωσεως.

Σύνθετα υλικά

- Σκυρόδεμα.
- Έτοιμα τσιμεντοκονιάματα σε σακιά (νέος τύπος εγχύτου σκυροδέματος).
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και εκτοξευόμενο κονίαμα.
- Κονιάματα δομήσεως.
- Κονιάματα με πλαστικά γαλακτώματα και σκληρυνόμενα υδατοαιωρήματα ρητινών για επιχρίσματα.
- Λεπτόρρευστος τσιμεντοπολτός και λεπτά τσιμεντοκονιάματα ενέσεων για πλήρωση ρωγμών τοιχοποιίας.
- Εποξειδικό κονίαμα και εποξειδικό σκυρόδεμα.
- Ασφαλτούχα προϊόντα.
- Ινωπλισμένα πολυμερή FRP – Fibre Reinforced Polymers. Τα σύνθετα αυτά υλικά αποτελούνται από συνεχείς ίνες, συνήθως άνθρακα ή γυαλιού και σπανιότερα αραμιδίου, σε συνδυασμό με εποξειδική ρητίνη.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι για να επισκευασθεί ή/και να ενισχυθεί ένα κτίριο με βλάβες από σεισμό. Οι περισσότεροι είναι οι γνωστοί των συνήθων κατασκευών, οι οποίοι όμως έχουν ανάγκη από ιδιαίτερη επιμέλεια για να εκπληρώσουν το σκοπό τους. Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν αναπτυχθεί και ορισμένες νεώτερες μέθοδοι και έχουν παρασκευαστεί και νέα υλικά (όπως το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, οι εποξειδικές ρητίνες, τα έτοιμα κονιάματα, τα ινωπλισμένα πολυμερή κ.λπ.), που σε ορισμένες περιπτώσεις συνδυαζόμενες με τις γνωστές μεθόδους κατασκευής, ή και μόνες τους, εξυπηρετούν καλύτερα και ασφαλέστερα για απαιτήσεις των επισκευών από σεισμό. Οι κυριότερες μέθοδοι, οι οποίες είναι γενικά αποδεκτές για τις επισκευές ή/και ενισχύσεις είναι:

- Επισκευή με έγχυτο σκυρόδεμα.
- Επισκευή με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (shotcrete ή gunite).
- Επισκευή με τσιμεντενέσεις ή με τσιμεντοκονιάματα.
- Επισκευή με εποξειδικές ρητίνες, εποξειδικά κονιάματα και εποξειδικά σκυροδέματα.
- Τοποθέτηση ράβδων ως ενίσχυση επιφάνειας.
- Τοποθέτηση μεταλλικών πλακών ως εξωτερική ενίσχυση.
- Μανδύες από ινωπλισμένα πολυμερή (FRPs).
- Ενίσχυση οπλισμών με ηλεκτροσυγκόλληση νέων.
- Ενίσχυση με συγκόλληση (επικόλληση) χαλυβοελασμάτων σε σκυρόδεμα (beton plaque).
- Ενίσχυση υποστυλωμάτων με μορφοσίδηρο.
- Ενίσχυση με σύνθετα υλικά.
- Ειδικές μέθοδοι επισκευών με έγκριση της μεθόδου από αρμόδια υπηρεσία.

Στη συνέχεια, γίνεται μία σύντομη αναφορά στα διάφορα υλικά και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται συχνότερα στις επεμβάσεις των κατασκευών. Τα θέματα που θα αναπτυχθούν είναι τα εξής:

- Ειδικοί τύποι σκυροδέματος.
- Πολυμερικές κόλλες – εποξειδικές ρητίνες.
- Επισκευαστικά κονιάματα.
- Επικολλητά φύλλα ή υφάσματα από ινωπλισμένα πολυμερή (FRPs).
- Χαλύβδινα επικολλητά ελάσματα.
- Διατμητικοί σύνδεσμοι – Αγκύρια.

3.2. Ειδικοί τύποι σκυροδέματος

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.

Ακολούθως αναπτύσσονται οι παρακάτω ειδικοί τύποι σκυροδέματος που κυρίως χρησιμοποιούνται στις επεμβάσεις:

- Το έγχυτο σκυρόδεμα σταθερού όγκου
- Το πολυμερικό σκυρόδεμα
- Το σκυροτσιμεντόπηγμα
- Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που μερικές φορές χρησιμοποιείται με προσθήκη ινών (εκτοξευόμενο ινοσκυρόδεμα ή ινωπλισμένο σκυρόδεμα).

3.2.1. Έγχυτο σκυρόδεμα σταθερού όγκου

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.

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. Ένα πρόσθετο θετικό χαρακτηριστικό είναι η αυξημένη αντοχή του σε επιφανειακή φθορά και σε δράση χημικών.

3.2.2. Σκυρόδεμα με πολυμερή

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

Χαρακτηρίζεται από ένα πλήθος πλεονεκτημάτων ιδιαίτερα σημαντικών στην τεχνολογία των επεμβάσεων, όπως:

- Οι 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!
- 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.
- Επιτυγχάνεται εξαιρετικά καλή πρόσφυση με το παλαιό σκυρόδεμα, εξασφαλίζοντας σχεδόν μονολιθική συμπεριφορά του τελικού πολυφασικού στοιχείου.
- 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%.

- 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.

Ως μειονεκτήματα αναφέρεται 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.

3.2.3. Σκυροτσιμεντόπηγμα

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. Πλεονεκτεί ως προς το συμβατικό σκυρόδεμα επειδή έχει μικρότερη συστολή ξήρανσης, μεγαλύτερη αντοχή στο χρόνο, μεγαλύτερη στεγανότητα και ικανοποιητική πρόσφυση στο παλαιό σκυρόδεμα.

3.2.4. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (shotcrete ή guniting) είναι σκυρόδεμα λεπτής διαβάθμισης αδρανών που σκυροδετείται με εκτόξευση. Η εφαρμογή του απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό.

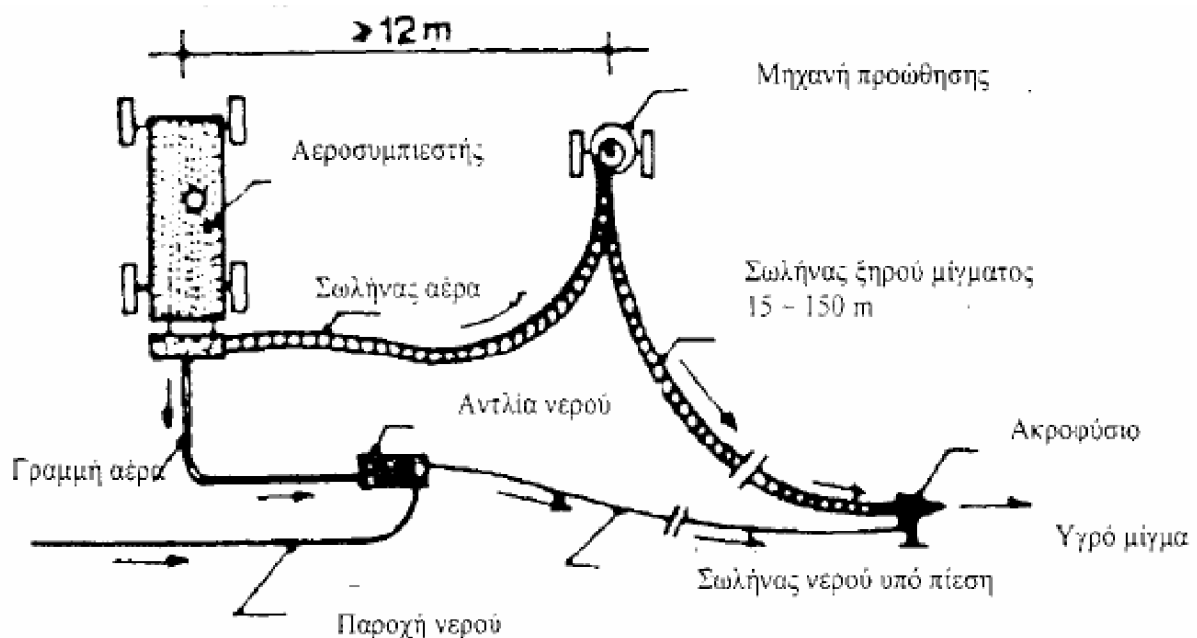


Χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος

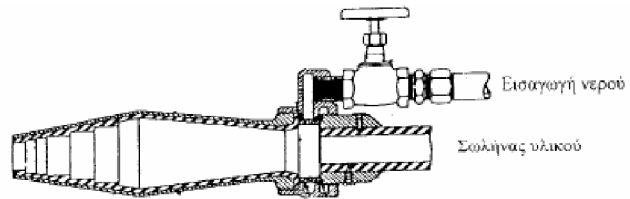
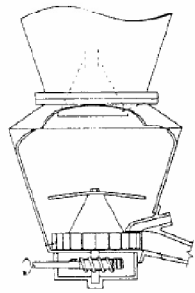
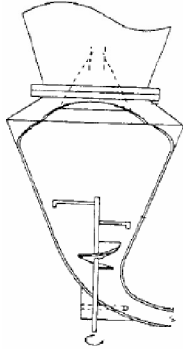
Η ευρέως διαδεδομένη χρήση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στις επισκευές και κυρίως ενισχύσεις κατασκευών ωπλισμένου σκυροδέματος ή ακόμα και κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία οφείλεται κυρίως στα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Έχει υψηλή θλιπτική αντοχή επειδή ο υδατοσυντελεστής είναι χαμηλός και επειδή επιτυγχάνεται υψηλή συμπύκνωση λόγω της μεγάλης ταχύτητας εκτόξευσης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι αντοχές της τάξης των 70 MPa βρίσκονται μέσα στα πλαίσια συνήθους εφαρμογής της τεχνικής. Γενικά όμως, οι αντοχές που επιδιώκονται δεν ξεπερνούν τα 50 MPa, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι αντοχές μέχρι 35 MPa επιτυγχάνονται σχετικά εύκολα.
- 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.
- 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.
- Η εγκατάσταση είναι κινητή και σε συνδυασμό με το είδος του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται επιτρέπει την σκυροδέτηση σε δύσκολες και δυσπρόσιτες θέσεις.

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.



Τυπική εγκατάσταση για ξηρή ανάμιξη



Μηχανή προώθησης

Ακροφύσιο

Στην ξηρή ανάμιξη ο έλεγχος της ποσότητας του νερού ανάμιξης γίνεται στο ακροφύσιο με εμπειρικό τρόπο 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 μικρότερο χρονικό διάστημα. Επίσης ο εξοπλισμός είναι κατάλληλος για χρήση σε μεγάλες αποστάσεις από τη θέση εγκατάστασης, ενώ το κόστος της συνολικής εγκατάστασης δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό (αρκετά χαμηλότερο από το αντίστοιχο κόστος της υγρής ανάμιξης).

Από πειραματικά αποτελέσματα προκύπτει ότι στην περίπτωση ξηράς ανάμιξης, η διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας εκτοξευόμενου σκυροδέματος παλαιού στοιχείου είναι υπερδιπλάσια της αντίστοιχης αντοχής για υγρά ανάμιξη.

Στην υγρή ανάμιξη 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 ξηρή 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.

Στην υγρή ανάμιξη η ποσότητα νερού ελέγχεται στον αναμκτήρα οπότε μπορεί να μετράται επακριβώς, και υπάρχει μεγαλύτερη εγγύηση για τη πλήρη ανάμιξη του νερού με τα άλλα συστατικά. Όταν χρησιμοποιείται η υγρή ανάμιξη η σκόνη και το τσιμέντο που διαφεύγουν προς το περιβάλλοντα χώρο είναι σημαντικά μειωμένα σε σύγκριση με ότι συμβαίνει στην

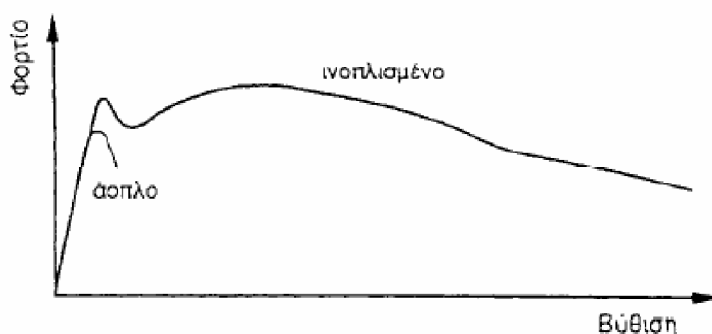
ξηρή ανάμιξη. Γι' αυτό η τεχνική αυτή είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για χώρους που δεν αερίζονται επαρκώς όπως στην κατασκευή υπογείων έργων, σηράγγων και λοιπά. Αξίζει να παρατηρηθεί ότι το κόστος των υλικών παραγωγής εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι σημαντικά μικρότερο στην περίπτωση της υγρής ανάμιξης, επειδή τότε το ανακλώμενο (και συνεπώς άχρηστο) υλικό είναι λιγότερο.

Η επιτυχία της τεχνικής εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων, όπως:

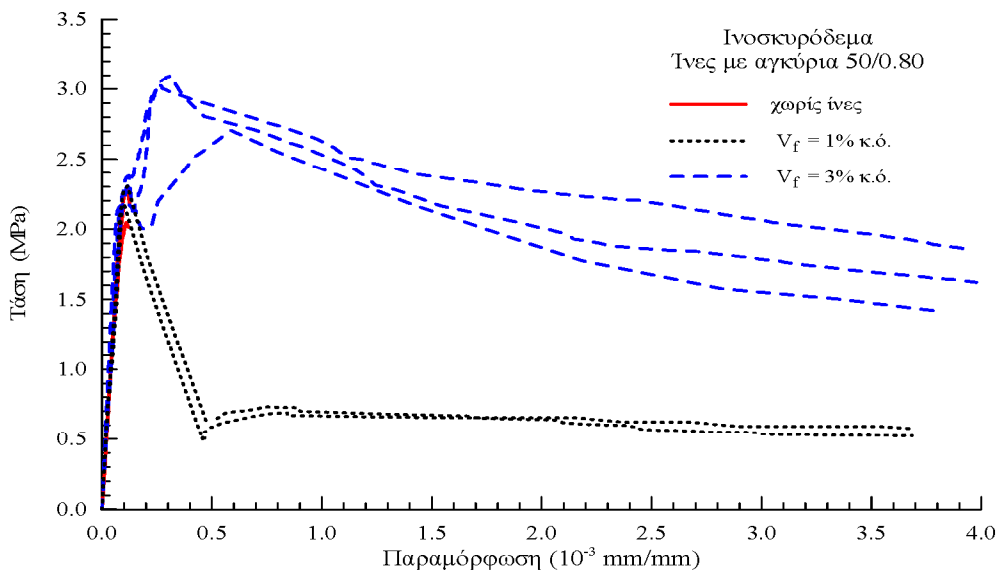
- Οι αναλογίες των υλικών του μίγματος (αδρανή, τσιμέντο και κυρίως νερό).
- Οι προδιαγραφές του αεροσυμπιεστή όσον αφορά την επαρκή παροχή και συμπίεση του αέρα.
- Η προετοιμασία της επιφάνειας βάσης, η οποία περιλαμβάνει όλες τις εργασίες που σχεδόν πάντοτε απαιτείται να προηγηθούν της επαφής νέου και παλαιού σκυροδέματος. Θα πρέπει να απομακρυνθεί κάθε τμήμα αποσθρωμένου 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.
- Ο χειρισμός της εκτόξευσης, ώστε η ροή να διατηρείται σταθερή, η γωνία εκτόξευσης να είναι η σωστή για την εκάστοτε επιφάνεια διάστρωσης και το υλικό να κατανέμεται ομοιόμορφα πίσω από τις ράβδους του οπλισμού.

3.2.5. Εκτοξευόμενο ινοσκυρόδεμα

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% κατ' όγκο. Για ίνες χάλυβα το μέγιστο ποσοστό είναι συνήθως 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. 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.



Επιρροή των ινών στη συμπεριφορά σε κάμψη



Επιρροή των χαλύβδινων ινών στη συμπεριφορά σε άμεσο εφελκυσμό

Η αύξηση της παραμόρφωσης αστοχίας του ινοσκυροδέματος 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.

3.3. Πολυμερικές κόλλες – εποξειδικές ρητίνες

Οι πολυμερικές κόλλες είναι συγκολλητικά υλικά που δημιουργούνται από την επί τόπου ανάμιξη 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 ιδιαίτερα αυξημένες ιδιότητες.

Πλεονεκτήματα των τεχνικών σύνδεσης που βασίζονται στις πολυμερικές κόλλες σε σύγκριση με άλλα συστήματα σύνδεσης είναι ότι:

- Η κατανομή των φορτίων γίνεται σε μεγαλύτερη επιφάνεια μειώνοντας έτσι τις τοπικές εντάσεις.
- Η χρήση τους επιτρέπει την πλήρη επαφή των προς σύνδεση στοιχείων χωρίς να απαιτούνται τροποποιήσεις στο σχήμα ή την επιφάνεια επαφής τους.
- Δημιουργούν ένα αδιαπέραστο φράγμα υγρασίας.

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

Μειονέκτηματα των τεχνικών επεμβάσεων που χρησιμοποιούν ρητίνες είναι:

- Ο χρόνος εργασιμότητας τους (pot life), δηλαδή ο χρόνος που η ρευστότητά τους επιτρέπει να χρησιμοποιηθούν, είναι μικρός.
- Τα στοιχεία που συγκολλήθηκαν θα πρέπει να παραμείνουν αδιατάρακτα για όσο χρόνο (ώρες ή ημέρες) διαρκεί η συγκόλλησή τους
- Η μικρή αντοχή του υλικού σε υψηλές θερμοκρασίες. Η κόλλα – ρητίνη 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.
- 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.

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

- Η συγκόλληση νωπού ή σκληρυμένου σκυροδέματος σε σκληρυμένο σκυρόδεμα,
- Η συγκόλληση άλλων υλικών στο σκυρόδεμα,
- Οι αγκυρώσεις ράβδων σε σκληρυμένο σκυρόδεμα και
- Η επισκευή ρωγμών στο σκυρόδεμα (ρητινενέσεις).

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.

Μερικά από τα βασικά πλεονεκτήματα της τεχνικής των ρητινενέσεων είναι:

- 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.
- Οι υψηλές αντοχές εφελκυσμού και συνάφειας των ρητινών με το σκυρόδεμα, εμποδίζουν την αύξηση του εύρους και του μήκους των ρωγμών.
- Οι κόλλες που χρησιμοποιούνται δεν είναι υλικά ευάλωτα από παράγοντες που συχνά επιδρούν δυσμενώς στην κατασκευή, όπως 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.
- 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 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, αναφέρονται τα ακόλουθα:

- Η ανάγκη χρησιμοποίησης εξειδικευμένου και έμπειρου προσωπικού.
- Οι σοβαροί κίνδυνοι που προκύπτουν από την ανεπιτυχή εφαρμογή της μεθόδου.
- Το χαμηλό μέτρο ελαστικότητας.

Στο Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών διεξήχθη ευρύ πρόγραμμα πειραματικών δοκιμών με στόχο την διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της επισκευής δομικών στοιχείων από ωπλισμένο σκυρόδεμα με χρήση ρητινών.

Δοκιμάστηκαν άνω των 40 δοκιμών κόμβων δοκού – υποστυλώματος και δοκών με διάφορες διαστάσεις και διατάξεις όπλισης υπό ανακυκλιζόμενη καταπόνηση (ψευδοσεισμική). Εν συνεχεία επισκευάστηκαν με ρητινενέσεις και επαναφορτίστηκαν με το ίδιο ιστορικό φόρτισης. Η τεχνική της επισκευής που εφαρμόστηκε περιλαμβάνει τις παρακάτω εργασίες:

- α) Επιφανειακή σφράγιση των αρμών των ρωγμών με θιξοτροπικό εποξειδικό υλικό (πάστα) ώστε να εμποδίζεται η διαρροή προς τα έξω του λεπτόρρευστου ενέματος που θα ακολουθήσει. Πρακτικά, τίθεται μία στρώση από πάστα εποξειδικής ρητίνης γύρω από όλη τη περιοχή του συστήματος ρωγμών. Σε αυτή τη φάση τοποθετούνται και ειδικά ακροφύσια σε διάφορες θέσεις επί των αρμών των ρωγμών για να είναι δυνατή η εισαγωγή του ενέματος και η εξαγωγή του εγκλωβισμένου αέρα κατά τις ρητινενέσεις.
- β) Ρητινενέσεις υπό πίεση με λεπτόρρευστες εποξειδικές ρητίνες. Οι ρητίνες εισάγονται με τη χρήση των ακροφυσίων που τοποθετήθηκαν κατά τη φάση της επιφανειακής σφράγισης των ρωγμών. Οι ρητίνες είναι λεπτόρρευστες για να είναι δυνατή η εισαγωγή τους σε πολύ μικρού εύρους ρωγμές (μέχρι 0.1 mm). Η εισαγωγή γίνεται με ισχυρή πίεση ώστε η ρητίνη να γεμίσει όλο τον κενό χώρο των εσωτερικών ρωγμών της μάζας του σκυροδέματος, εκδιώκοντας ταυτόχρονα τον υπάρχοντα εγκλωβισμένο αέρα. Το ένεμα που χρησιμοποιήθηκε στις δοκιμές που αναφέρονται στην εργασία αυτή ήταν διγλυκιδυλοαιθέρας διφαινόλης Α με εποξύ (ρητίνη) και τροποποιημένη αλειφατική αμίνη (σκληρυντής) σε αναλογία 3:1.
- γ) Τα επισκευασμένα στοιχεία παρέμειναν αφόρτιστα τουλάχιστον 6 ημέρες ώστε οι ρητίνες να αποκτήσουν το σύνολο της αντοχής τους.

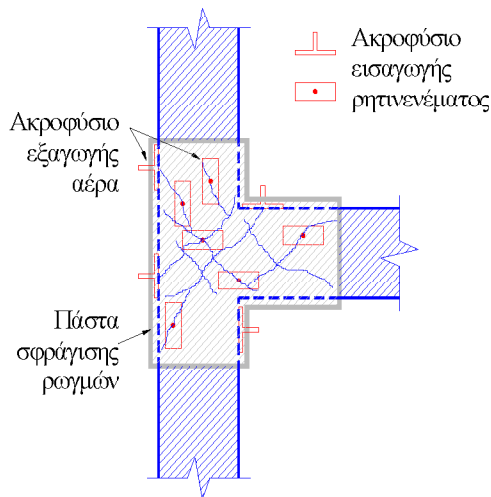
Οι αντοχές του ρητινενέματος διαπιστώθηκαν κατόπιν ειδικών δοκιμών ως εξής, αντοχή εφελκυσμού σε κάμψη 60.8 MPa και σε καθαρή θλίψη 92.2 MPa.

Από τα πειραματικά αποτελέσματα προκύπτει ότι κατά τη φόρτισή τους τα επισκευασμένα δοκίμια σε σχέση με την αρχική φόρτιση προ της επισκευής παρουσίασαν:

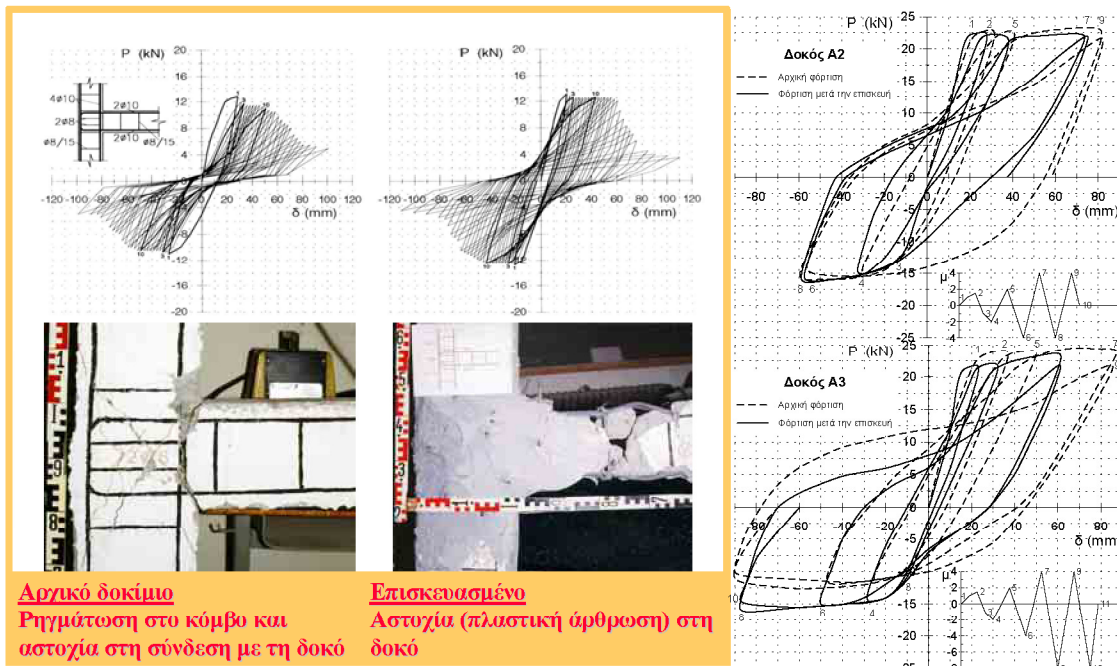
- Ίση ή και μεγαλύτερη ικανότητα μεγίστου φορτίου.
- Ίδια περίπου δυσκαμψία φορτίσεως.
- Ικανοποιητική δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας.

Επισημαίνεται η σημαντική ευαισθησία της επιτυχίας της επισκευής στην ικανοποιητική πλήρωση του συστήματος ρωγμών της περιοχής βλάβης με ρητίνη, γεγονός που δείχνει ότι ο βαθμός της καλότεχνης εφαρμογής της μεθόδου στο εργοτάξιο επηρεάζει τα αποτελέσματα.

Ενδεικτικά, ορισμένα πειραματικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα. Σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν, η τεχνική επισκευής στοιχείων ωπλισμένου σκυροδέματος με χρήση ρητινών έδωσε πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα.



Επισκευή περιοχής κόμβου με ρητινένεσις σε δοκίμιο κόμβου δοκού – υποστύλωματος στο Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος ΔΠΘ



Αργικό δοκίμιο
Ρηγάτωση στο κόμβο και αστοχία στη σύνδεση με τη δοκό

Επισκευασμένο
Αστοχία (πλαστική άρθρωση) στη δοκό

Πειραματικά αποτελέσματα από την επισκευή δοκιμίων με ρητινένεσις σε κόμβο δοκού – υποστύλωματος και δοκών στο Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος ΔΠΘ

3.4. Επισκευαστικά Κονιάματα

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
- Τα κονιάματα με βάση το τσιμέντο.

Τα κονιάματα με πολυμερή παράγονται με δύο τρόπους:

- Με αντικατάσταση του τσιμέντου με πολυμερές.
- 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 ωπλισμένο 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.

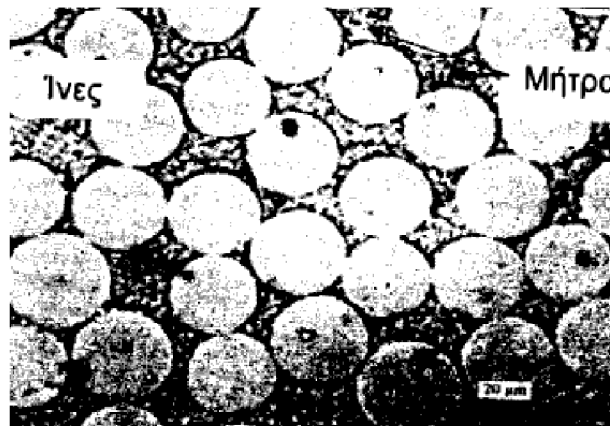
Τα κονιάματα με βάση το τσιμέντο δημιουργούνται από ειδικές κονίες με προσθήκη μικρής ποσότητας νερού, της τάξεως 10-20% του βάρους του κονιάματος. Οι κονίες είναι μίγματα τσιμέντου με λεπτόκοκκα αδρανή που η διάμετρος τους συνήθως δεν ξεπερνά τα 2.5 mm, σε συνδυασμό με υπερευστοποιητικά υλικά και πρόσμικτα 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 πλεονεκτήματα

αυτών των κονιαμάτων είναι οι υψηλές αντοχές που οφείλονται στο χαμηλό υδατοτσιμεντοσυντελεστή, η ταχεία ανάπτυξη αντοχής, η μεγάλη ρευστότητα, που μπορεί να επιτευχθεί χωρίς μείωση της αντοχής, λόγω παρουσίας υπερευστοποιητών και η εξουδετέρωση της συστολής ξήρανσης, λόγω της παρουσίας των ειδικών προσθέτων που προκαλούν σταδιακή αύξηση του όγκου του κονιάματος.

3.5. Σύνθετα υλικά από ινωπλισμένα πολυμερή (FRP)

Τα ινωπλισμένα 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 ακόλουθο πίνακα δίνονται τυπικά χαρακτηριστικά των ινών.



Τομή σύνθετου υλικού σε μεγέθυνση

Τυπικές ιδιότητες ινών

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

Τα χαρακτηριστικά των ινωπλισμένων 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:

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

όπου: E_{FRP} , E_r , E_f είναι τα μέτρα ελαστικότητας του σύνθετου υλικού, της κόλλας και των ινών αντίστοιχα και V_r , V_f είναι τα κατ' όγκο ποσοστά κόλλας και ινών.

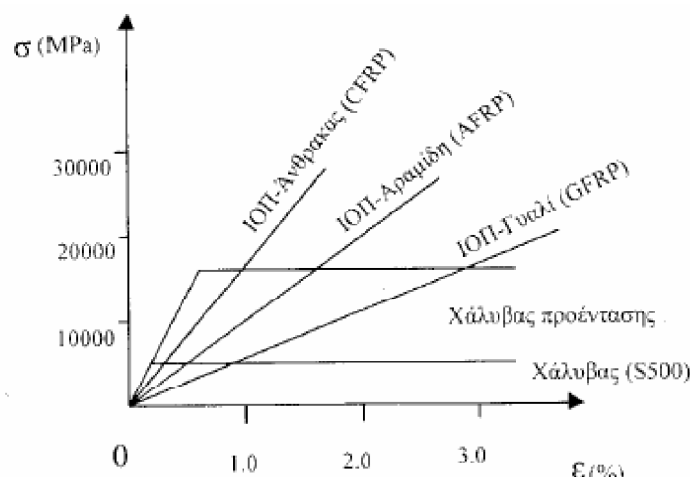
Προφανώς ισχύει $V_r + V_f = 1$ και επειδή $E_f \gg E_r$ μπορεί να θεωρηθεί: $E_{FRP} = E_f \times V_f$

Η εφελκυστική αντοχή των σύνθετων υλικών είναι 3-4 φορές μεγαλύτερη από αυτή του κοινού χάλυβα S500s και για βραχυχρόνια φόρτιση κυμαίνεται σε 1500-2500 MPa. Εξάλλου μπορεί να θεωρηθεί ότι οι παραπάνω σχέσεις 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%. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τυπικές τιμές για το μέτρο ελαστικότητας και την παραμόρφωση αστοχίας των σύνθετων υλικών.

Τιμές μέτρου ελαστικότητας και παραμόρφωσης αστοχίας συνθέτων υλικών και χάλυβα

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 %

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται τυπικές καμπύλες τάσεων-παραμορφώσεων για σύνθετα υλικά μαζί με την αντίστοιχη καμπύλη για χάλυβα.



Σχέσεις τάσης-παραμόρφωσης για σύνθετα υλικά σε εφελκυσμό

Ως αρνητικά χαρακτηριστικά των σύνθετων υλικών αναφέρονται τα ακόλουθα:

■ Τα σύνθετα υλικά συμπεριφέρονται πλήρως ελαστικά, μέχρι την αστοχία τους. Η παντελής έλλειψη πλαστικής συμπεριφοράς, που συνεπάγεται και αδυναμία απορρόφησης ενέργειας από το υλικό, αποτελεί ένα από τα βασικά μειονεκτήματα των σύνθετων υλικών. 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-πλαστική συμπεριφορά .

■ Η χαμηλή αντίστασή τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Ως γνωστόν η κόλλα καίγεται σε θερμοκρασίες υψηλότερες από 250° C.

■ 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 αραμίδη 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 αραμίδη βρίσκονται ενδιάμεσα.

■ Οι τεχνικές δυσκολίες που αντιμετωπίζονται κατά την αγκύρωσή τους, ιδιαίτερα στις περιοχές των κόμβων.

Κατασκευαστικές λεπτομέρειες για την τοποθέτηση υφασμάτων από FRP

Σε περιπτώσεις ενίσχυσης δοκών σε κάμψη, τα ινωπλισμένα πλαστικά τοποθετούνται στο κάτω πέλμα, παράλληλα στην διεύθυνση του ήδη υπάρχοντος χαλύβδινου οπλισμού. Σε περιπτώσεις υποστυλωμάτων, η ενίσχυση γίνεται τυλίγοντας λωρίδες με το απαραίτητο μήκος και πλάτος γύρω από τα υποστυλώματα, είτε κατά την μια είτε και κατά τις δύο διευθύνσεις.

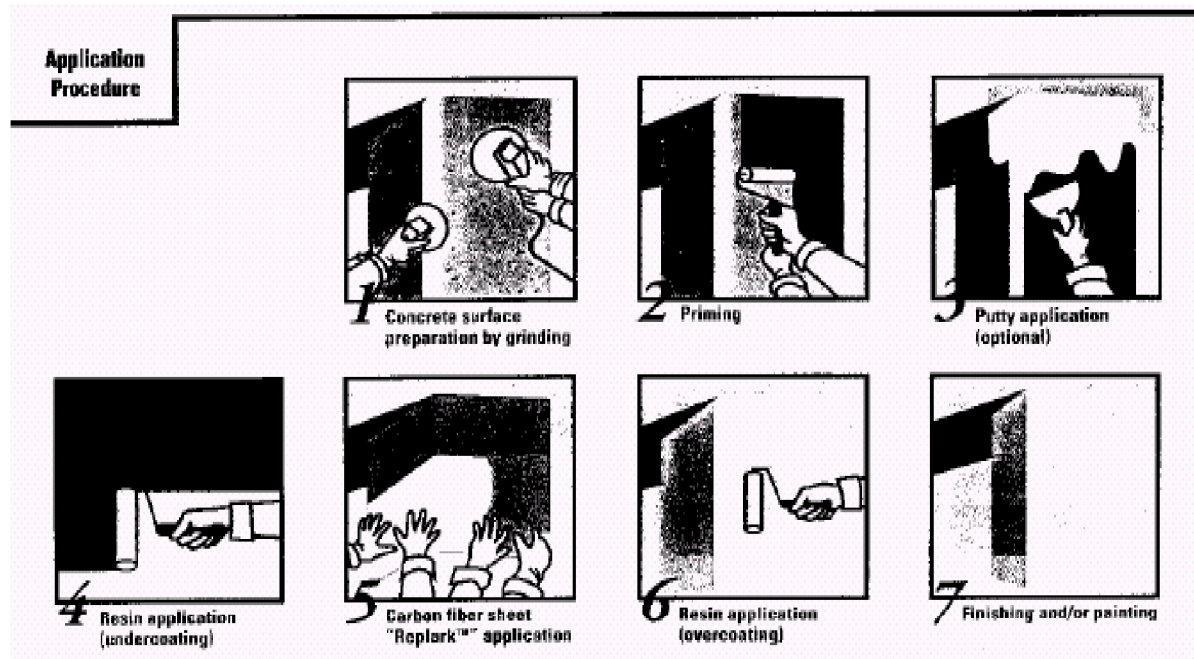
Τα στάδια της απαραίτητης προεργασίας και της τοποθέτησής τους είναι:

Πριν από την συγκόλληση των σύνθετων υλικών πρέπει πρώτα η επιδερμική στρώση σκυροδέματος στην επιφάνεια που θα επικολληθεί να απομακρυνθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε τα αδρανή να γίνουν ορατά. Στη συνέχεια λειαίνονται οι γωνίες των δοκών ή των υποστυλωμάτων για να μην “πληγωθούν” οι ίνες των σύνθετων υλικών, ώστε να αποκτήσουν γωνία καμπυλότητας ίση με $r = 3 \text{ cm}$.

Επόμενο στάδιο είναι ο καθαρισμός της επιφάνειας από την σκόνη και η διαβροχή της με νερό. Η διαδικασία αυτή ακολουθείται ανεξαρτήτως του σύνθετου υλικού που χρησιμοποιείται, ενώ εν συνεχεία ο τρόπος επικόλλησής τους διαφέρει, όσον αφορά το είδος της ρητίνης που χρησιμοποιείται και την αναλογία των συστατικών της.

Στη συνέχεια εφαρμόζεται στην επιφάνεια ένα παχύρρευστο υλικό, το οποίο είναι συνήθως εποξειδικός στόκος, αποτελούμενο από δύο συστατικά με συγκεκριμένη αναλογία και χαρακτηριστικά. Μετά το τέλος αυτής της διαδικασίας θα πρέπει η επιφάνεια να έχει λειανθεί πλήρως.

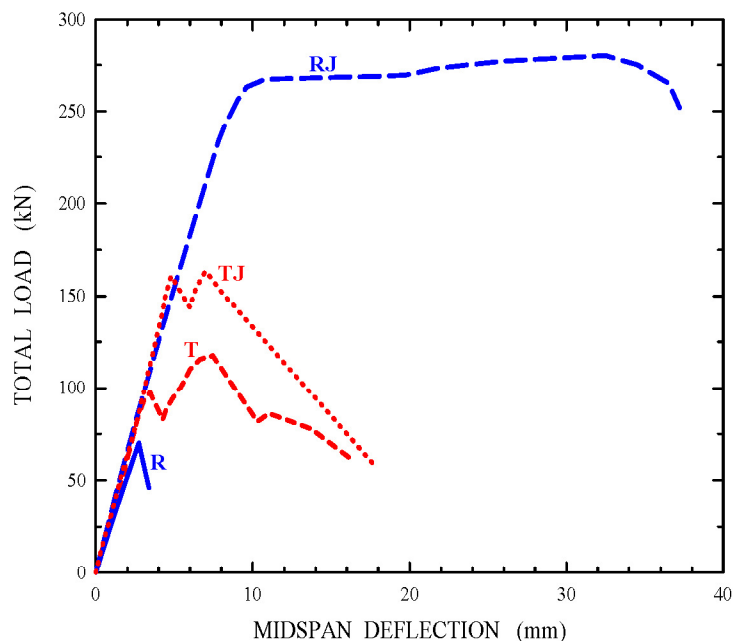
Ακολούθως, τοποθετείται στην επιφάνεια ένα στρώμα λεπτόρρευστης εποξειδικής ρητίνης, επίσης με συγκεκριμένη αναλογία και χαρακτηριστικά και επάνω σε αυτό, αφού περάσει ένα κατάλληλο χρονικό διάστημα της τάξης των 20 min, επικολλάται το FRP, αφού όμως πρώτα έχει καθαριστεί με ασετόν. Μετά από 20-60 min αποκαλύπτονται οι ίνες αφαιρώντας το προστατευτικό κάλυμμα και τοποθετούνται πάνω σε αυτές ένα δεύτερο στρώμα της ίδιας εποξειδικής ρητίνης.



Διαδικασία τοποθέτησης των FRP



Ενίσχυση δοκού στο Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος ΔΠΘ με υφάσματα από ινωπλισμένα πολυμερή με ίνες άνθρακα (C-FRP)



Αποτελέσματα διατμητικών δοκών ενισχυμένων με ανθρακούφασματα (Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος ΔΠΘ)

3.6. Χαλύβδινα επικολλητά ελάσματα

Η χρήση χαλύβδινων ελασμάτων που επικολλώνται στην εξωτερική επιφάνεια δομικών στοιχείων από ωπλισμένο σκυρόδεμα είναι μία πρακτική τεχνική ενίσχυσης και στοχεύει στην συμπλήρωση του ελλείμματος του υφιστάμενου οπλισμού, με νέους οπλισμούς. Η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για την αύξηση της καμπτικής αντοχής δοκών και πλακών ή της διατμητικής αντοχής των δοκών.

Τα χαλύβδινα ελάσματα επικολλώνται, χρησιμοποιώντας κάποια κατάλληλη εποξειδική ρητίνη, 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 υπό την μορφή κλειστών μανδύων για την ενίσχυση υποστλωμάτων με την τεχνική της περισφιξης.

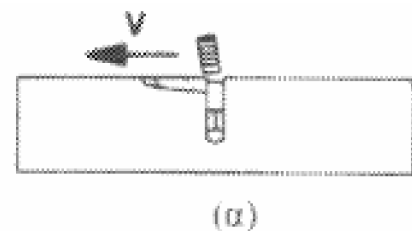
Η ευκολία εφαρμογής της τεχνικής σε συνδυασμό με την ελάχιστη όχληση που προκαλείται στη χρήση του δομήματος και το χαμηλό κόστος αποτελούν τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου. Κύρια μειονεκτήματα της τεχνικής είναι η ευκολία διάβρωσης του χάλυβα που συχνά διαπιστώνεται εντονότερη στην εσωτερική επιφάνεια των ελασμάτων. Απαιτείται ως εκ τούτου συνεχής συντήρηση που τελικά αυξάνει το κόστος. Εξάλλου η προφανής δυσκολία άμεσης διαπίστωσης της διάβρωσης στην εσωτερική πλευρά των ελασμάτων, αυξάνει τους

κινδύνους για απροειδοποίητη αστοχία της διεπιφάνειας και τελικά ένα ανεπιθύμητο τρόπο αστοχίας των στοιχείων. Ακόμα, από εργαστηριακές δοκιμές έχει παρατηρηθεί αποκόλληση του μεταλλικού ελάσματος από την επιφάνεια του σκυροδέματος σε σχετικά μικρές παραμορφώσεις, κυρίως λόγω της κακής συνεργασίας ελάσματος – σκυροδέματος.

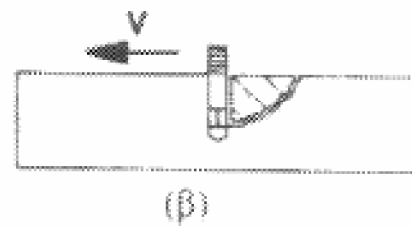
3.7. Διατμητικοί σύνδεσμοι – Αγκύρια

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. Οι πιθανοί τρόποι αστοχίας για ένα βλήτρο είναι:

α. Αφορά την περίπτωση που αστοχεί ο χάλυβας του βλήτρου στη θέση της διεπιφάνειας. Αυτός ο τύπος αστοχίας μπορεί να συμβεί όταν το βλήτρο βρίσκεται σε ικανές αποστάσεις από τα όρια του στοιχείου που αγκυρώνεται και το σκυρόδεμα είναι υψηλής αντοχής.



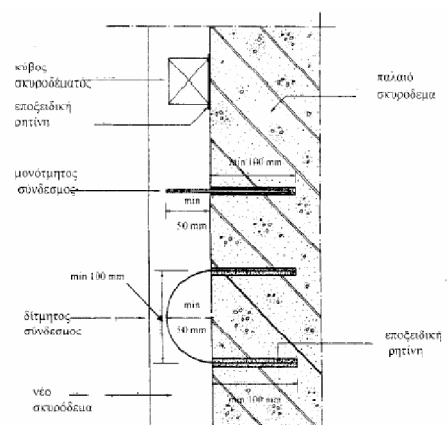
β. Αφορά την περίπτωση που αστοχεί το σκυρόδεμα στο περιβάλλον του βλήτρου λόγω της πλευρικής πίεσης που ασκεί το βλήτρο στην κατεύθυνση του διατμητικού φορτίου και διαρροής της ράβδου – βλήτρου.



γ. Αφορά την περίπτωση αστοχίας του σκυροδέματος με τη μορφή απόσχισης ενός πλευρικού κώνου λόγω μικρών αποστάσεων του βλήτρου από τα όρια του στοιχείου ακύρωσης. Αυτός ο τρόπος είναι συνήθης όταν το βλήτρο έχει μικρές επικαλύψεις είτε προς τη διεύθυνση εφαρμογής του διατμητικού φορτίου είτε σε κατεύθυνση κάθετη προς την εφαρμογή του διατμητικού φορτίου.



Οι δύο, πλέον συνήθεις, τύποι διατμητικών συνδέσμων 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 δίμητοι μεταλλικοί σύνδεσμοι αποτελούν την καταλληλότερη λύση. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις χρησιμοποιούνται μονόμητοι διατμητικοί σύνδεσμοι με μορφή Γ για καλύτερη αγκύρωση στο νέο σκυρόδεμα.



BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ACI Committee 503, (1992), "Guide for the Selection of Polymer Adhesives with Concrete", ACI Materials Journal, Vol. 89(1).
2. ACI Committee 506, (1990), "Guide to Shotcrete", ACI 506R-85, ACI Manual of Concrete Practice, Part 5.
3. ACI, (1977), "Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete", ACI 214/77, American Concrete Institute, Detroit.
4. ASTM C 39, (1993), "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens", Book of ASTM Standards, Philadelphia.
5. ASTM C 597, (1983), "Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete", Book of ASTM Standards, Philadelphia.
6. ASTM C 805, (1985), "Standard Test Method for Rebound number of Hardened Concrete", Book of ASTM Standards, Philadelphia.
7. ASTM C 900, (1987), "Pullout Strength of Hardened Concrete", Book of ASTM Standards, Philadelphia.
8. BSI 1881/202, (1986), "Testing Concrete: Rebound Hammer".
9. BSI 1881/203, (1986), "Testing Concrete: Pulse Velocity".
10. BSI 6089, (1981), "Assessment of Concrete Strength in Existing Structures".
11. CEB Bulletin No 145, (1982), "Design of Concrete Structures for Fire Resistance".
12. CEB Bulletin No 162, (1983), "Assessment of Concrete Structures and Design Procedures for Upgrading", Paris.
13. CEN Tech. Com., 250/SC8, Eurocode 8 – Part 1.2, (1995), "Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures: General Rules for Buildings", ENV 1998-1-2, Brussels.
14. CEN Tech. Com., 250/SC8, Eurocode 8 – Part 1.4, (1996), "Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures: Strengthening and Repair of Buildings", prENV 1998-1-4., Brussels.
15. Chalioris C.E., (2003), "Shear Performance of RC Beams using FRP Sheets Covering Part of the Shear Span", Proceedings of the 1st International Conference on Concrete Repair, St-Malo, Brittany, France, Vol. 2, pp. 809-816.
16. Chalioris C.E., (2007), "Analytical Model for the Torsional Behaviour of Reinforced Concrete Beams Retrofitted with FRP Materials", Engineering Structures, Vol. 29, No. 12, pp. 3263-3276.
17. Chalioris C.E., Favvata M.J., Karayannis C.G., (2008), "Reinforced Concrete Beam-Column Joints with Crossed Inclined Bars under Cyclic Deformations", Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol. 37, No. 5, pp. 881-897.
18. Chalioris C.E., (2008), "Torsional Strengthening of Rectangular and Flanged Beams using Carbon Fibre-Reinforced-Polymers – Experimental Study", Construction and Building Materials, Vol. 22, No. 1, pp. 21-29.
19. Chalioris C.E., Favvata M.J., Karayannis C.G., (2008), "A New Method for the Seismic Rehabilitation of Old Exterior Reinforced Concrete Beam-Column Joints", Proceedings of the 7th European Conference on Structural Dynamics (Eurodyn 2008), Southampton, UK, Proceedings in CD form, paper number E245.
20. Chalioris C.E., Karayannis C.G., (2009), "Effectiveness of the use of Steel Fibres on the Torsional Behaviour of Flanged Concrete Beams", Cement and Concrete Composites, Vol. 31, No. 5, pp. 331-341.
21. Dritsos, S.E., (2007), "Seismic strengthening of columns by adding new concrete", Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Vol. 40, No. 2, pp. 49-68.
22. Engindeniz, M., Kahn, L.F., & Zureick, A., (2005), "Repair and strengthening of reinforced concrete beam-column joints: state of the art", ACI Structural Journal, Vol.89, No. 2, (102-S18).
23. FEMA-273/1997, (1997), NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Issued by FEMA Washington D.C..
24. Filiatrault, A. & Lebrun, I., (1996), "Seismic rehabilitation of reinforced concrete joints by epoxy pressure injection technique", Seismic Rehabilitation of Concrete Structure, SP-160, G.M. Sabnis, A.C. Shroff & Kahn L.F., eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., pp. 73-92
25. French, C.W., Thorp, G.A. & Tsai, W., (1990), "Epoxy repair techniques for moderate earthquake damage", ACI Structural Journal, Vol. 87, No. 4, pp. 416-424.
26. Joint ACI – ASCE Committee 352, (2002), "Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures (ACI 352R-02)", American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.: 37

27. Kalifa, A., Gold, W.J., Nanni, A. & Aziz, A.M., (1998), "Contribution of externally bonded FRP to shear capacity of RC flexural members", *Journal of Composites for Construction*, ASCE, Vol. 2, No. 4, pp. 195-202.
28. Karayannis C.G., Chalioris C.E., Sideris K.K., (1998), "Effectiveness of RC Beam-Column Connection Repairing using Epoxy Resin Injections", *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 217-240.
29. Karayannis C.G., Chalioris C.E., (2000), "Capacity of RC Joints Suffered Early-age Cyclic Loading", *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 4, No. 4, pp. 479-510.
30. Karayannis C.G., Chalioris C.E., (2003), "Experimental Investigation of the contribution of bonded C-FRP jackets to shear capacity of RC beams", *Proceedings of the International Symposia "Celebrating Concrete: People and Practice"*, University of Dundee, Scotland, UK, Vol. Role of Concrete in Sustainable Development, pp. 689-696.
31. Karayannis C.G., Chalioris C.E., (2003), "Strengthening of shear T-beams using carbon FRP", *Proceedings of the 1st International Conference on Concrete Repair*, St-Malo, France, Vol. 2, pp. 775-782.
32. Karayannis C.G., Chalioris C.E., Sirkelis C.E., (2003), "Repair of Reinforced Concrete T-beam – Column Joints using Epoxy Resin Injections", *Proceedings of the 1st International Conference on Concrete Repair*, St-Malo, Brittany, France, Vol. 2, pp. 793-800.
33. Karayannis C.G., Sirkelis G.M., (2005), "Improvement of seismic capacity of external beam-column joints using continuous spiral shear reinforcement", *ERES, Conference on Earthquake Resistant Engineering Structures*. Skiathos. Greece, pp. 147-156
34. Karayannis C.G., Sirkelis G.M. & Chalioris C.E., (2006), "Seismic performance of RC beam-columns joints retrofitted using light RC jacket – Experimental study", *Proceedings of the 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Geneva, Switzerland, PN 136.
35. Karayannis C.G., Sirkelis G.M., (2008), "Strengthening and Rehabilitation of RC Beam–Column Joints using Carbon-FRP Jacketing and Epoxy Resin Injection", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 37, No. 5, pp. 769-790.
36. Karayannis C.G., Chalioris C.E., Sirkelis G.M., (2008), "Local Retrofit of Exterior RC Beam-Column Joints using Thin RC Jackets – An Experimental Study", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 37, No. 5, pp. 727-746.
37. Paulay, T. & Park, R., (1984), "Joints of reinforced concrete frames designed for earthquake resistance", *Research report 84-9*, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
38. Standard Association of the New Zealand, (1982), "Code of Practice for the Design of Concrete Structures (NZS3101:1982)", Wellington, Part 1: 127 & Part 2: 156.
39. Sugano S., (1981), "State-of-the-Art in Aseismic Strengthening of Existing RC Buildings in Japan", Takenaka, Rep. No 25.
40. Tsonos, A.G., (2008), "Effectiveness of CFRP-jackets and RC-jackets in Post-earthquake and Pre-earthquake Retrofitting of Beam-Column Subassemblages", *Engineering Structures*, Vol. 30, No. 3, pp. 777-793.
41. UNIDO/UNDP, (1983), "Repair and Strengthening of Reinforced Concrete, Stone and Brick Masonry Buildings", *Building Construction Under Seismic Conditions in the Balkan Regions*, Vol.5, Vienna.
42. UNIDO/UNDP, (1985), "Post - Earthquake Damage Evaluation and Strength Assessment of Buildings Under Seismic Conditions", Volume 4, Vienna.
43. Vougioukas, E., Zeris, C.A. & Kotsovos, M.D., (2005), "Toward safe and efficient use of fiberreinforced polymer for repair and strengthening of reinforced concrete structures", *ACI Structural Journal*, Vol. 102, No. 4, pp. 525-534.
44. E.M.Π., (1987), "Συστάσεις για τις Επισκευές Κτιρίων Βλαμμένων από Σεισμό", Αθήνα.
45. Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ-2000). ΦΕΚ 2184 Β'/20-12-1999, ΦΕΚ Β' 781/18-6-2003 και ΦΕΚ Β' 1154/12-8-2003.
46. Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος (ΕΚΩΣ-2000). ΦΕΚ 1329 Β'/6-11-2000 και ΦΕΚ Β' 1153/12-8-2003.
47. ΕΛΟΤ-344, (1984), "Συσχέτιση της Αντοχής Αποκοπόμενου Πυρήνος Σκυροδέματος εκ Θραυστών Ασβεστολιθικών Αδρανών προς την Συμβατική Αντοχή".
48. Καλευράς Βλ., (1988), "Έλεγχος και Επεμβάσεις στις Κατασκευές", Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΔΠΘ.
49. Καραγιάννης Χ.Γ., (2002), "Τεχνικές Ελέγχου και Επεμβάσεων στις Κατασκευές Ωπλισμένου Σκυροδέματος", Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΔΠΘ.
50. Καραγιάννης Χ.Γ., (2008), "Σχεδιασμός Κατασκευών από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα Έναντι Σεισμού", εκδόσεις Σοφία, Θεσσαλονίκη.
51. Καραγιάννης Χ.Γ., Οικονόμου Χ.Μ., (2003), "Κατασκευές Ωπλισμένου Σκυροδέματος – Σημειώσεις μαθήματος", Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΔΠΘ.

- 52.Καραγιάννης Χ.Γ., Φωτοπούλου Μ., Χριστοφορίδης Ι., Χαλιωτής Κ.Ε., (1996), “Παρατηρήσεις και ΣΥμπεράσματα από τη Συμπεριφορά των Κατασκευών κατά το Σεισμό Αγίου 16/6/95”, Πρακτικά 12ου Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Λεμεσός, Κύπρος, Τόμος ΙΙΙ, σελ. 347-360.
- 53.Καραγιάννης Χ.Γ., Χαλιωτής Κ.Ε., Σίδερης Κ., Οικονόμου Χ., (1996), “Πειραματική Διερεύνηση της Ικανότητας Ακραιοών Κόμβων Ο/Σ Επισκευασμένων με Ρητίνες”, Πρακτικά 12ου Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Λεμεσός, Κύπρος, Τόμος ΙΙΙ, σελ. 363-374.
- 54.Καραγιάννης Χ.Γ., Χαλιωτής Κ.Ε., (1998), “Επισκευή με χρήση Ρητινών Στοιχείων Ωπλισμένου Σκυροδέματος με Βλάβες από Σεισμό”, Περιοδικό Επιστημονική έκδοση Κτίριο, Τεύχος Γ, σελ. 31-38.
- 55.Καραγιάννης Χ.Γ., Χαλιωτής Κ.Ε., (2000), “Πειραματική Διερεύνηση της Συμπεριφοράς του Ινοσκυροδέματος σε Άμεσο Εφελκυσμό”, Περιοδικό Επιστημονική έκδοση Κτίριο, Τεύχος Α, σελ. 45-54.
- 56.Καραγιάννης, Χ.Γ., Χαλιωτής, Κ.Ε., Φαββατά Μ.Ι., (2002), “Επισκευή κόμβων υποστυλωμάτων – δοκών με χρήση εποξειδικών ρητινών”, Περιοδικό Σκυρόδεμα, Τεύχος 3, σελ. 4-18.
- 57.Καραγιάννης Χ.Γ., Χαλιωτής Κ.Ε., (2002), “Επέμβασις – Ενίσχυσις του Εκπαιδευτικού Δομήματος επί της οδού Αγίας Σοφίας 3 στην Θεσσαλονίκη”, Ερευνητικό Έργο με επιστ. υπεύθυνο καθηγητή Χρ. Καραγιάννη, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΔΠΘ.
- 58.Καραγιάννης Χ.Γ., Χαλιωτής Κ.Ε., (2003), “Έλεγχος και Διερεύνηση Υφιστάμενης Κατάστασης & Πρόταση Αποκατάστασης της Σεισμικής Ικανότητας του Νεοκλασσικού κτιρίου του 1926 επί της Λ. Νίκης 63 στην Θεσσαλονίκη”, Ερευνητικό Έργο με επιστ. υπεύθυνο καθηγητή Χρ. Καραγιάννη, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΔΠΘ.
- 59.Καραγιάννης, Χ.Γ., Σιρκελής, Γ.Μ., Χαλιωτής, Κ.Ε., Μαυροειδής, Π., (2003), “Ακραιοί κόμβοι Ω.Σ. με σπειροειδείς οπλισμούς. Πειραματική διερεύνηση”, Πρακτικά 14ου Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Κως, Τόμος Α, σελ. 332-342.
- 60.Καραγιάννης Χ.Γ., Χαλιωτής Κ.Ε., (2005), “Ενίσχυση Δομικού Συστήματος – Αποκατάσταση Σεισμικής Ικανότητας 1ου Λυκείου Ναυπλίου”, Ερευνητικό Έργο με επιστ. υπεύθυνο καθηγητή Χρ. Καραγιάννη, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΔΠΘ.
- 61.Καραγιάννης Χ.Γ., (2006), “Ειδική εισήγηση: Επισκευές - Ενισχύσεις Στοιχείων από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα – Έμφαση σε Ακραιοί Κόμβους Δοκού - Υποστυλωμάτων”, Πρακτικά 15ου Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Αλεξανδρούπολη.
- 62.Καραγιάννης Χ.Γ., Χαλιωτής Κ.Ε., (2008), “Έλεγχος και Διερεύνηση Υφιστάμενης Κατάστασης & Πρόταση Αποκατάστασης της Σεισμικής Ικανότητας των Εκπαιδευτικών Κτιρίων του 1939 του 1ου Γυμνασίου Άργους (Μπουσουλοπούλειου)”, Ερευνητικό Έργο με επιστ. υπεύθυνο καθηγητή Χρ. Καραγιάννη, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΔΠΘ.
- 63.Καραγιάννης Χ.Γ., Χαλιωτής Κ.Ε., Τσιούκας Β., (2008), “Φωτογραμμετρική Αποτύπωση, Παθολογία και Μελέτη Αποκατάστασης του Διατηρητέου Κτιρίου «ΤΕΛΩΝΕΙΟ» Ναυπλίου”, Ερευνητικό Έργο με επιστ. υπεύθυνο καθηγητή Χρ. Καραγιάννη, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΔΠΘ.
- 64.Καραγιάννης Χ.Γ., Φαββατά Μ., Χαλιωτής Κ.Ε., Τσιούκας Β., (2009), “Διερεύνηση, Αποτύπωση, Έλεγχος της Υφιστάμενης Κατάστασης και Στατικές Εργασίες για την Αποκατάσταση του «ΚΑΠΙΝΟΜΑΓΑΖΟΥ» του Δ. Αλεξανδρούπολης”, Ερευνητικό Έργο με επιστ. υπεύθυνο καθηγητή Χρ. Καραγιάννη, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΔΠΘ.
- 65.ΟΑΣΠ, (1999), “Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ-2000)”, ΦΕΚ 2184/Β/20.12.99.
- 66.ΟΑΣΠ, (2001), “Συστάσεις για Προσεισμικές και Μετασεισμικές Επεμβάσεις σε Κτίρια”.
- 67.Οικονόμου Χρ., (1993), “Τεχνολογία του Σκυροδέματος”, Β' έκδοση, Θεσσαλονίκη.
- 68.Σπανός Χ., Σπιθάκης Μ., Τρέζος Κ., (2002), “Μέθοδοι για την Επιτόπου Αποτίμηση των Χαρακτηριστικών των Υλικών”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα.
- 69.Γάσσιος Θ., Τρέζος Κ., Μαραβέλιας Χ., (1991), “Επιτόπου Προσδιορισμός της Αντοχής του Σκυροδέματος και Συσχέτιση με τη Συμβατική Αντοχή”, Πρακτικά 10ου Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Ρόδος.
- 70.ΥΠΕΧΩΔΕ, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, (1995), “Κανονισμός για την Μελέτη και την Κατασκευή Έργων από Σκυρόδεμα”, Αθήνα.
- 71.ΥΠΕΧΩΔΕ, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, (1997), “Εγκύκλιος Ε7, Εκτίμηση της κατηγορίας αντοχής του σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών”, Έκδοση ΚΕΔΕ, Αθήνα.
- 72.ΥΠΕΧΩΔΕ, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, (1997), “Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος – 97”, Υπ. Απόφ. 14/19164, 28-3-1997, ΦΕΚ 315Β/17-4-1997.
- 73.Χαλιωτής Κ.Ε., Καλαμαράς Ε., (2006), “Στρέψη Δοκών και Πλακοδοκών από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα Ενισχυμένων με Ανθρακοϋφάσματα”, Πρακτικά 15ου Ελληνικού Συνεδρίου Σκυροδέματος, Αλεξανδρούπολη, Τόμος Α, σελ. 428-438.