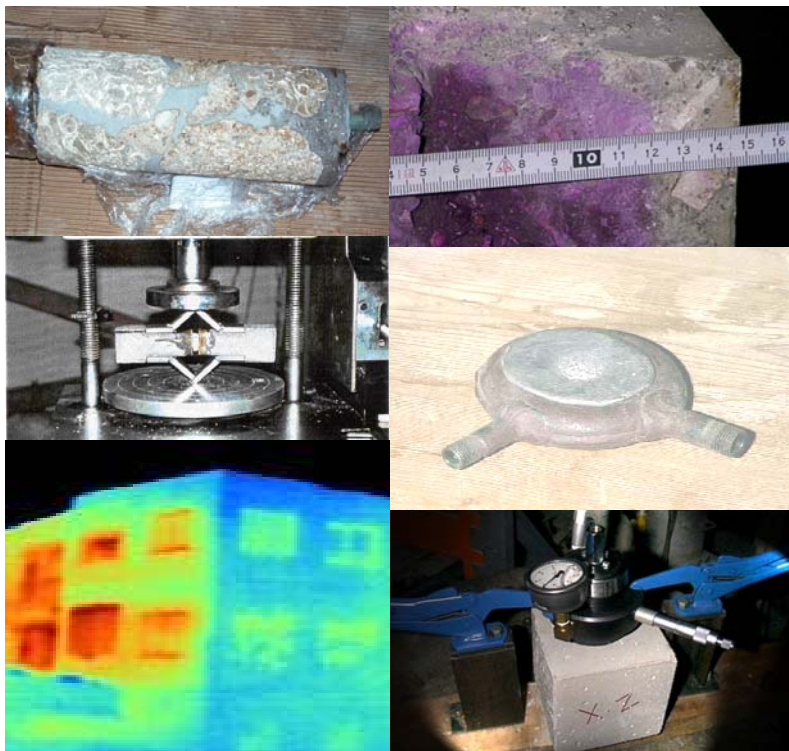


ΤΕΕ

**ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ
ΟΜΑΔΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ Π-3:**

**ΠΡΑΚΤΙΚΑ – ΔΙΔΑΚΤΙΚΑ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ.
ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

ΧΡ. ΣΠΑΝΟΣ
Μ. ΣΠΙΘΑΚΗΣ
Κ. ΤΡΕΖΟΣ



ΑΘΗΝΑ, Μάιος 2001

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

0	ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
2	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ	6
3	ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΙΣ	10
3.1	Προσεισμικός έλεγχος (Μή επείγουσες επιθεωρήσεις)	10
3.2	Μετασεισμικός έλεγχος (Επείγουσες επιθεωρήσεις σε κτίρια με ζημιές)	12
3.3	Ειδικότερες απαιτήσεις για κατασκευές από σκυρόδεμα	20
3.3.1	Γενικά	20
3.3.2	Ποιότητες υλικών	21
3.3.3	Ιδιότητες δομικών στοιχείων	21
3.3.4	Ελάχιστος αριθμός δοκιμών	21
3.3.5	Έλεγχος καταστάσεως μελών από Ω.Σ.	22
3.4	Ειδικότερες απαιτήσεις για κατασκευές από τοιχοποιία	22
3.4.1	Θλιπτική αντοχή	22
3.4.2	Μέτρο ελαστικότητας	23
3.4.3	Αντοχή σε διάτμηση	23
3.4.4	Ελάχιστος αριθμός δοκιμών	23
3.4.5	Έλεγχος καταστάσεως	23
3.5	Ειδικότερες απαιτήσεις για κατασκευές από ξύλο	24
3.6	Ειδικότερες απαιτήσεις για χάλυβα	25
4	ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΕΩΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	29
4.1	Οπτικός έλεγχος.	41
4.2	Πυρηνοληψία	41
4.2.1	Προγραμματισμός της πυρηνοληψίας	42
4.2.2	Παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή των πυρήνων	42
4.2.3	Αναγωγή αντοχής πυρήνα σε αντοχή κύβου.	44
4.2.4	Προσδιοριζόμενες ιδιότητες με τους πυρήνες	48
4.3	Μέθοδος τασικών κυμάτων - Υπέρηχοι	53
4.4	Κρουσίμετρο	62
4.5	Κρουστικές μέθοδοι	66
4.6	Εξόλκευση ήλου	66
4.7	Ραδιογραφικές μέθοδοι	67
4.8	Μαγνητικές μέθοδοι	68
4.9	Ηλεκτρικές μέθοδοι	68
4.10	Διαπερατότητα	71
4.11	Υπέρυθρη φωτογράφιση	72
4.12	Ραντάρ	74
4.13	Ενανθράκωση	75
4.14	Ενδοσκόπηση	76
4.15	Δοκιμή χαραγής	77
4.16	Δοκιμή μικροθραυσμάτων	79
4.17	Μέθοδος των επίπεδων γρύλων	80
4.18	Μέτρηση εύρους ρωγμών – έλεγχος παραμορφώσεων	83
4.18.1	Ακουστικά μηκυνσιόμετρα	84
4.18.2	Μηχανικά μηκυνσιόμετρα	84
4.18.3	Ηλεκτρικά μηκυνσιόμετρα	85

4.18.4	Μετρητές παραμορφώσεων	85
4.19	Δοκιμαστικές φορτίσεις (στατικές ή δυναμικές)	86
4.20	Δοκιμές χάλυβα	88
4.21	Χημικές αναλύσεις	89
4.22	Εμπηξη ήλου - εξόλκευση κοιλία σε στοιχεία από ξύλο	90
4.23	Διάτρηση ξύλου.....	91
4.24	Μέτρηση σκληρότητας ξύλου	91
5	ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	92
5.1	Κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα.....	92
5.2	Κτίρια από τοιχοποιία.....	92
5.3	Κτίρια από ξύλο.....	92
5.4	Κτίρια από δομικό χάλυβα	93
6	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	94
6.1	Στατιστική επεξεργασία	94
6.2	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων σκυροδέματος.....	95
6.3	Εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας.....	96
Π.1	ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΞΥΛΟΥ	102
Π.2	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΕΩΣ ΠΥΡΗΝΩΝ	111
Π.3	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	114

0 ΠΡΟΛΟΓΟΣ

1 Ακούγεται ως απαράδεκτη η διαπίστωση ότι, από αντισεισμική άποψη, οι σημερινοί Έλληνες πολίτες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες Προσδόκιμου Ζωής: α) Σ' αυτούς που κατοικούν σε κτίρια που χτίστηκαν μετά το 1995 (ή, έστω, το 1985), και β) σ' αυτούς των οποίων οι κατοικίες κατασκευάστηκαν πρωτότερα. (Ακόμα δε χειρότερα αν έχουν χτισθεί πριν από το 1959).

Τα κοινωνικά και οικονομικά κίνητρα για την αναίρεση αυτής της ανισότητας είναι τόσο ισχυρά, ώστε έπρεπε να αναληφθεί μία συστηματική εθνική δράση επί του θέματος, τέτοια ώστε να αντιμετωπίζει με πραγματισμό το σύνολο των (εν πολλοίς διακλαδικών) δυσχερειών που παρουσιάζονται και, κυρίως, να προσφέρει το μόνιμο οργανωτικό πλαίσιο για μία υπομονητική δράση σ' ολόκληρον τον απαιτούμενο χρονικόν ορίζοντα.

Το ΤΕΕ, κυρίως μετά το 1988, ανέλαβε μια τέτοια πλατειά και καινοτομική πρωτοβουλία, υπό τον τίτλο Εθνική Πολιτική «Αντισεισμικής Ενίσχυσης Υφισταμένων Κατασκευών».

2 Ανάμεσα στις ποικίλες δράσεις που ολοκληρώθηκαν κατά την α' φάση αυτού του έργου, περιλαμβάνεται και η μεθοδολογία για την αποτίμηση της αντισεισμικής ικανότητας συγκεκριμένης κατασκευής. Πρώτε δε βήμα προς τούτο, είναι η γνώση των ιδιοτήτων των υλικών που απαρτίζουν την κατασκευή. Ετσι προκύπτει και η ανάγκη προσφυγής στις έμμεσες (μή – καταστροφικές) μεθόδους εικονοληψίας και μέτρησης ιδιοτήτων. Η γνώση όμως κι η χρήση αυτών των μεθόδων δεν είναι εύκολη. Κι έχει οδηγήσει και σε επικίνδυνα σφάλματα και καταχρήσεις...

Το εγχειρίδιο που κρατάμε στα χέρια-μας, είναι η καλύτερη προσπάθεια που έχει γίνει μέχρι σήμερα για την αναίρεση αυτών των ενδεχομένων, και την ανάδειξη όλων των δυνατοτήτων των εμμέσων μεθόδων.

Στον κ. Κ. Τρέζο και στην άξια Ομάδα Εργασίας που συνέταξε αυτό εδώ το βοήθημα, οφείλονται συγχαρητήρια και ευχαριστίες.

Θ.Π. Τάσιος

Πρόεδρος της Επιτελικής Επιτροπής ΤΕΕ
για την Αντισεισμική Ενίσχυση Κατασκευών

Σημείωμα της Ομάδας Εργασίας.

Το κείμενο που ακολουθεί αποτελεί την τελική έκθεση της Ομάδας Εργασίας η οποία είχε ως θέμα «Πρακτικά – διδακτικά εγχειρίδια. Μέθοδοι για την επιτόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών». Το έργο είχε ανατεθεί στην Ομάδα Εργασίας στο πλαίσιο της Επιτελικής Ομάδας «Αντισεισμική Θωράκιση Υφισταμένων Κτιρίων» η οποία συστάθηκε κατόπιν σχετικής αποφάσεως της Διοικούσας Επιτροπής του ΤΕΕ.

Στους όρους εντολής προς την Ομάδα Εργασίας οριζόταν η εξέταση κατασκευών από ωπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχοποιία. Για λόγους πληρότητας, η Ομάδα Εργασίας θεώρησε σκόπιμο να συμπεριλάβει επίσης, αν και σε μικρότερη έκταση, τις κατασκευές από ξύλο και χάλυβα.

Εμφαση δόθηκε στον προληπτικό έλεγχο και στην αποτίμηση των κτιρίων με σκοπό την ενίσχυσή-τους και την αντισεισμική αναβάθμισή-τους. Έτσι το κείμενο αυτό δεν αναφέρεται στις οδηγίες για έλεγχο κτιρίων με ζημιές μετά από σεισμό (γίνεται μόνον μια μικρή αναφορά σε σχετικά κείμενα του ΟΑΣΠ).

Στο πλαίσιο της εργασίας, η Ομάδα εξέτασε διεξοδικώς την διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με την επιτόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών υλικών και δομικών στοιχείων. Η γενική πληροφοριακή βιβλιογραφία παρατίθεται στο τέλος, ενώ γίνεται χωριστή αναφορά σε εκείνα τα κείμενα τα οποία κυρίως απετέλεσαν την βάση συντάξεως της εκθέσεως αυτής.

Η έκθεση περιλαμβάνει τα εξής κεφάλαια: Επιθεωρήσεις (Κεφ. 3), Μέθοδοι αποτιμήσεως υλικών και δομικών στοιχείων (Κεφ. 4), Ελεγχοι επιτόπου του έργου (Κεφ. 5), Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων (Κεφ. 6). Ειδικώς για το ξύλο και επειδή οι μηχανικές ιδιότητες και οι καταστατικοί νόμοι του ξύλου είναι πολύ λιγότερο γνωστά στους Έλληνες Μηχανικούς (από ότι οι νόμοι του σκυροδέματος και της τοιχοποιίας), γι' αυτό στο Παράρτημα 1 γίνεται παρουσίαση των ιδιοτήτων του ξύλου. Τέλος, στο επόμενο Παράρτημα, γίνονται συγκριτικές εφαρμογές αναγωγής αντοχής πυρήνων σε συμβατική θλιπτική αντοχή με διάφορες μεθόδους της διεθνούς βιβλιογραφίας.

Αθήνα, Μάιος 2001

Η Ομάδα Εργασίας

Χρ. Σπανός

Μ. Σπιθάκης

Κ. Τρέζος

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη και η διαστασιολόγηση νέων κατασκευών βασίζεται σε συμβατικές ιδιότητες οι οποίες καθορίζονται κατά την φάση της μελέτης (μέσω των παραδοχών που κάνει ο Μελετητής) και ελέγχεται αν τηρούνται κατά την φάση της κατασκευής (μέσω ενός συστήματος διασφάλισης ποιότητας, ποιοτικών ελέγχων). Όταν όμως πρόκειται για επεμβάσεις σε υφιστάμενες κατασκευές, στις οποίες συνηθέστατα δεν υπάρχουν στοιχεία για τα χαρακτηριστικά των χρησιμοποιηθέντων υλικών, αυτά πρέπει να εκτιμηθούν **κυρίως επιτόπου** ή, και με κάποια μεγαλύτερη δυσκολία, στο εργαστήριο. Η εκτίμηση αυτή μπορεί να γίνει **με άμεσες ή με έμμεσες μεθόδους**. Με τις μεθόδους αυτές συνήθως προσδιορίζονται διάφορες ιδιότητες των υλικών από τις οποίες προκύπτουν κυρίως έμμεσα (και σπανιότερα άμεσα) συμπεράσματα για άλλες ιδιότητες ή χαρακτηριστικά των υλικών της κατασκευής. Για τον λόγο αυτό και οι μέθοδοι αυτές λέγονται γενικότερα και **Έμμεσες Μέθοδοι**. Όταν οι πληροφορίες από τις έμμεσες μεθόδους δεν είναι επαρκείς, τότε καταφεύγουμε και σε άμεσες μεθόδους οι οποίες όμως κατά κανόνα είναι **ημικαταστροφικές** (με την έννοια ότι προκαλούν περιορισμένης εκτάσεως φθορές, όπως π.χ. είναι η πυρηνοληψία).

Γενικότερα, ανάγκη για τον επιτόπου προσδιορισμό των ιδιοτήτων των υλικών ανακύπτει συνήθως στις εξής περιπτώσεις:

- ποιοτικού ελέγχου υφισταμένων ή νέων κατασκευών
- αμφισβήτηση της ποιότητας των υλικών υφισταμένων ή νέων κατασκευών
- προσδιορισμό των χαρακτηριστικών των υλικών προκειμένου να γίνουν εργασίες επεμβάσεων (επισκευών ή και ενισχύσεων) σε υφιστάμενες κατασκευές.

Με τον επιτόπου έλεγχο για τον προσδιορισμό των διαφόρων χαρακτηριστικών των υλικών δεν θεωρείται ότι υποκαθίστανται οι υποχρεώσεις για τους συμβατικούς ελέγχους.

Η τεχνολογία των μη καταστροφικών μεθόδων εξελίσσεται ραγδαία: οι υφιστάμενες μέθοδοι βελτιώνονται ενώ παράλληλα αναπτύσσονται και νέες. Ετσι στο παρόν κείμενο έγινε μια διεξοδική αναφορά στις κλασικές αλλά και στις πλέον σύγχρονες και γνωστές σήμερα μεθόδους ελέγχου και αποτίμησης.

2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Στο εγχειρίδιο αυτό εξετάζονται διάφορες μέθοδοι (έμμεσες ή άμεσες) για την αποτίμηση των χαρακτηριστικών των εξής δομικών υλικών:

- σκυρόδεμα
- τοιχοποιία
- ξύλο και
- χάλυβας (δομικός και χάλυβας οπλισμού σκυροδέματος)

Ειδικότερα, στην συνέχεια περιγράφονται τα βασικά βήματα επιθεωρήσεων κατασκευών (στο Κεφάλαιο 3), οι διάφορες μέθοδοι (έμμεσες ή άμεσες) για την αποτίμηση των χαρακτηριστικών υλικών δομήσεως των κατασκευών (στο Κεφάλαιο 4) καθώς και λίγα στοιχεία για τους ελέγχους δομικών στοιχείων επιτόπου του έργου.

Τέλος, στα παραρτήματα δίνονται: **α)** οι πιο διαδεδομένοι καταστατικοί νόμοι συμπεριφοράς, τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του ξύλου (Παράρτημα Π.1), **β)** συγκριτικά παραδείγματα αναγωγής της αντοχής πυρήνος σε θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος (Παράρτημα Π.2) και **γ)** στο Παράρτημα Π.3 δίνονται αφενός μεν η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την σύνταξη του παρόντος, αφ' ετέρου δε η συνιστώμενη γενική βιβλιογραφία.

Για την ευχερέστερη χρήση του εγχειριδίου, στους επόμενους τρεις πίνακες παρουσιάζονται, για κατασκευές από τα τρία βασικά υλικά (σκυρόδεμα Πιν. 2.1, τοιχοποιία Πιν. 2.2 και ξύλο Πιν. 2.3), οι διατιθέμενοι έλεγχοι και η αντίστοιχη παραπομπή στις παραγράφους του κειμένου όπου περιγράφονται αναλυτικά οι μέθοδοι.

Πίνακας 2.1 Μέθοδοι ελέγχου κατασκευών από σκυρόδεμα

Κατασκευές από σκυρόδεμα		
Οπτικοί έλεγχοι § 3.1, 3.2, 4.1		
Ενόργανοι έλεγχοι	Επιτόπου του έργου	Πυρηνοληψία § 4.2 Υπέρηχοι § 4.3 Κρουσίμετρο § 4.4 Κρουστικές μέθοδοι § 4.5 Εξόλκευση ήλου § 4.6 Ραδιογραφικές μέθοδοι § 4.7 Μαγνητικές μέθοδοι § 4.8 Δυναμικό χάλυβα, καμπύλες πολώσεως § 4.9 Υγρασία σκυροδέματος § 4.9 Διαπερατότητα § 4.10 Υπέρυθρη φωτογράφιση § 4.11 Ραντάρ § 4.12 Ενανθράκωση § 4.13 Ενδοσκόπηση § 4.14 Δοκιμή χαραγής § 4.15 Μέθοδος επίπεδων γρύλων § 4.17 Μέτρηση εύρους ρωγμών § 4.18 Έλεγχος παραμορφώσεων § 4.18 Δοκιμαστικές φορτίσεις Δυναμικές- Στατικές § 4.19 Δοκιμές χάλυβα § 4.20 Αποτελεσματικότητα επεμβάσεων § 4.2, 4.10 Έλεγχος συγκολλήσεως παλαιού δομικού στοιχείου
	Στο εργαστήριο	Αντοχή σε θλίψη § 4.2.4.1 Αντοχή σε εφελκυσμό από διάρρηξη § 4.2.4.2 Προσδιορισμός λόγου Poisson § 4.2.4.3 Προσδιορισμός μέτρων ελαστικότητας § 4.2.4.3 Προσδιορισμός φαινομένου βάρους (φυσικό, ξηρό, κορεσμού) § 4.2.4.4 Προσδιορισμός υγρασίας δοκιμίων § 4.2.4.5 Προσδιορισμός υδατοαπορροφητικότητας § 4.2.4.6 Βαθμονόμηση εμμέσων μεθόδων: κρουσίμετρο, υπέρηχοι § 4.2.4.8 Μακροσκοπικός έλεγχος μάζας δομικού στοιχείου § 4.2.4.9 Χημικές αναλύσεις § 4.21

Πίνακας 2.2 Μέθοδοι ελέγχου κατασκευών από τοιχοποιία

Κατασκευές από τοιχοποιία		
Οπτικοί έλεγχοι § 3.1, 3.2, 4.1		
Ενόργανοι έλεγχοι	Επιτόπου του έργου	Πυρηνοληψία § 4.2 Υπέρηχοι § 4.3 Κρουσίμετρο § 4.4 Κρουστικές μέθοδοι § 4.5 Ραδιογραφικές μέθοδοι § 4.7 Υπέρυθρη φωτογράφιση § 4.11 Ραντάρ § 4.12 Ενδοσκόπηση § 4.14 Δοκιμή χαραγής § 4.15 Μέθοδος επίπεδων γρύλων § 4.17 Μέτρηση εύρους ρωγμών § 4.18 Έλεγχος παραμορφώσεων § 4.18 Δοκιμαστικές φορτίσεις Δυναμικές- Στατικές § 4.19 Δοκιμές χάλυβα § 4.20 Αποτελεσματικότητα επεμβάσεων § 4.2, 4.10 Έλεγχος συγκολλήσεως παλαιού δομικού στοιχείου
	Στο εργαστήριο	Αντοχή σε θλίψη § 4.2.4.1 Αντοχή σε εφελκυσμό από διάρρηξη § 4.2.4.2 Προσδιορισμός λόγου Poisson § 4.2.4.3 Προσδιορισμός μέτρων ελαστικότητας § 4.2.4.3 Προσδιορισμός φαινόμενου βάρους (φυσικό, ξηρό, κορεσμού) § 4.2.4.4 Προσδιορισμός υγρασίας δοκιμίων § 4.2.4.5 Προσδιορισμός υδατοαπορροφητικότητας § 4.2.4.6 Βαθμονόμηση εμμέσων μεθόδων: κρουσίμετρο, υπέρηχοι § 4.2.4.8 Μακροσκοπικός έλεγχος μάζας δομικού στοιχείου § 4.2.4.9 Δοκιμή μικροθραυσμάτων § 4.16 Χημικές αναλύσεις § 4.21

Πίνακας 2.3 Μέθοδοι ελέγχου κατασκευών από ξύλο

Κατασκευές από ξύλο		
Οπτικοί έλεγχοι § 3.1, 3.2, 4.1		
Ενόργανοι έλεγχοι	Επιτόπου του έργου	Πυρηνοληψία § 4.2 Κρουσίμετρο § 4.4 Κρουστικές μέθοδοι § 4.5 Εμπηξη ήλου – εξόλκευση κοχλία § 4.22 Διάτρηση § 4.23 Μέτρηση σκληρότητας § 4.24 Υπέρυθρη φωτογράφιση § 4.11 Ενδοσκόπηση § 4.14 Μέτρηση εύρους ρωγμών § 4.18 Έλεγχος παραμορφώσεων § 4.18 Δοκιμαστικές φορτίσεις: Δυναμικές- Στατικές § 4.19 Δοκιμές χάλυβα § 4.20 Αποτελεσματικότητα επεμβάσεων § 4.2, 4.10
	Στο εργαστήριο	Αντοχή σε θλίψη § 4.2.4.1 Αντοχή σε εφελκυσμό από διάρρηξη § 4.2.4.2 Προσδιορισμός λόγου Poisson § 4.2.4.3 Προσδιορισμός μέτρων ελαστικότητας § 4.2.4.3 Προσδιορισμός φαινόμενου βάρους (φυσικό, ξηρό, κορεσμού) § 4.2.4.4 Προσδιορισμός υγρασίας δοκιμίων § 4.2.4.5 Βαθμονόμηση εμμέσων μεθόδων: κρουσίμετρο, υπέρηχοι § 4.2.4.8

3 ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΙΣ

Η επιθεώρηση είναι απαραίτητα ο πρώτος έλεγχος για την αποτίμηση της καταστάσεως ενός δομήματος (ανεξάρτητα από το υλικό κατασκευής-του). Η επιθεώρηση είναι ένας οπτικός μή καταστροφικός έλεγχος ο οποίος απαιτεί καλή γνώση της ανάλυσης και συμπεριφοράς των κατασκευών καθώς και γνώση των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών και των κατασκευαστικών μεθόδων. Η επιθεωρήσεις διακρίνονται σε:

- προσεισμικές επιθεωρήσεις, οι οποίες συνήθως δεν έχουν επείγοντα χαρακτήρα και οι οποίες γίνονται με σκοπό:
 - τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση τυχόν φθορών / βλαβών (παλαιών ή και νέων εν εξελίξει) καθώς και
 - την αποτίμηση της καταστάσεως του δομήματος ενόψει επεμβάσεων (προσθήκες, επεκτάσεις, επισκευές, ενισχύσεις)
- μετασεισμικές επιθεωρήσεις (γενικότερα μετά από μία οποιαδήποτε δράση που προκάλεσε βλάβη στον φέροντα οργανισμό) οι οποίες έχουν κατά κανόνα επείγοντα χαρακτήρα και οι οποίες γίνονται με σκοπό την διαπίστωση:
 - της τυχόν ύπαρξης κινδύνου για πρόσωπα ή περιουσίες και,
 - της καταλληλότητας ή μή της κατασκευής για άμεση και ασφαλή χρήση.

Ο μετασεισμικός έλεγχος συνήθως διενεργείται είτε αυτεπαγγέλτως είτε μετά από αίτηση του ενδιαφερομένου από επιτροπές που συστήνονται από τις αρμόδιες Υπηρεσίες.

Στην επόμενη παράγραφο 3.1 αναφέρονται τα γενικά στοιχεία που θα πρέπει να περιέχουν οι προσεισμικές επιθεωρήσεις. Για λόγους πληρότητας γίνεται περιληπτική αναφορά και στις μετασεισμικές επιθεωρήσεις, στην παράγραφο 3.2, (στο παρόν κείμενο έμφαση δίνεται κυρίως στις μεθοδολογίες οι οποίες εφαρμόζονται στον προσεισμικό έλεγχο των δομημάτων. Ο αναγνώστης παραπέμπεται σε ειδικότερα κείμενα σχετικά με τις μετασεισμικές επιθεωρήσεις, βλ. π.χ. ΟΑΣΠ «Συστάσεις για προσεισμικές και μετασεισμικές επεμβάσεις σε κτίρια», Αθήνα, Οκτώβριος 2000). Στην συνέχεια (παράγραφοι 3.3 έως και 3.6), εξειδικεύονται οι πρόσθετες απαιτήσεις των επιθεωρήσεων αναλόγως του υλικού δομήσεως του φέροντος οργανισμού.

Το βάθος και η έκταση των επιθεωρήσεων καθώς και ο βαθμός ελέγχου των υλικών εξαρτώνται από τον επιδιωκόμενο σκοπό. Ετσι, είναι προφανές ότι τα αναφερόμενα στην συνέχεια δεν είναι υποχρεωτικώς εφαρμόσιμα σε όλες τις περιπτώσεις.

3.1 Προσεισμικός έλεγχος (Μή επείγουσες επιθεωρήσεις)

Πριν από τον λεπτομερή έλεγχο, ο Μηχανικός πρέπει να καταστρώσει ένα σχέδιο για να βελτιστοποιήσει τα στοιχεία που θα συλλέξει. Μια τυπική προσέγγιση του θέματος περιλαμβάνει κατ' αρχήν τα εξής στάδια:

- Επιτόπου επίσκεψη για εξοικείωση και αναγνώριση της κατασκευής
- Συλλογή πληροφοριών σχετικά με την κατασκευή:
 - ύπαρξη ή όχι εγκεκριμένης μελέτης και, εφόσον υπάρχει, τον έλεγχό της ως προς την τήρηση των βασικών παραδοχών
 - τις συνθήκες κατασκευής του έργου (χρόνο κατασκευής, ύπαρξη προσθηκών, αυθαίρετα κτίσματα, τυχόν κακοτεχνίες που είχαν παρατηρηθεί κατά την εποχή κατασκευής της κατασκευής κλπ)
 - Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας στην οποία είχε ενταχθεί η περιοχή του κτιρίου κατά τον χρόνο κατασκευής-του.
 - τις συνθήκες περιβάλλοντος (υδρομετρικές, θερμοκρασιακές μεταβολές)
 - την χρήση της κατασκευής
 - εδαφικές συνθήκες της περιοχής σε συνδυασμό με τον τρόπο θεμελιώσεως
 - τον βαθμό συντηρήσεως του κτιρίου

- τις ύπαρξη προηγούμενων φθορών / βλαβών από προηγούμενους σεισμούς ή άλλα αίτια (π.χ. πυρκαγιά, προβλήματα από καθιζήσεις κλπ.) και την εν χρόνω εξέλιξη - τους (αν τέτοια στοιχεία διατίθενται)
- την ύπαρξη καλά δομημένων και κανονικά ή ακανόνιστα διατεταγμένων μη φερόντων, διαχωριστικών τοίχων
- την κατάσταση των ομόρων κατασκευών
- Προγραμματισμός ελέγχου
- Εκτέλεση οπτικού ελέγχου από τον οποίο ενδεχομένως να προκύψει η απαίτηση για περαιτέρω συμπληρωματικές έρευνες
- Εκτέλεση απαραίτητων συμπληρωματικών ερευνών

Η επιθεώρηση πρέπει να περιλαμβάνει τους εξής ελέγχους, μετρήσεις και δοκιμές:

- Οπτικός έλεγχος καταστάσεως κτιρίου για ύπαρξη φθορών, βλαβών, όπως:
 - Έλεγχος επιφανείας με ελαφρές κρούσεις για περίπτωση αποκολλήσεως επιχρισμάτων
 - Έλεγχος για προβλήματα υπέρξεως ανερχόμενης, ή κατερχόμενης υγρασίας στις τοιχοδομές και στους ξύλινους φορείς
 - Έλεγχος για ύπαρξη ρωγμών
 - Έλεγχος για πιθανή ύπαρξη κατακορύφων ρωγμών παράλληλων προς στους οπλισμούς, οι οποίες υποδηλώνουν παρουσία διαβρωμένων οπλισμών.
 - Αποδιοργάνωση κονιάματος δομήσεως
 - Χρωματικές αλλοιώσεις υλικών, κυρίως μετά από πυρκαγιά
 - Παρουσία ζωικών ή φυτικών φθορέων του ξύλου
- Όλα τα παραπάνω ευρήματα πρέπει να συνοδεύονται και από την αντίστοιχη πιθανή ερμηνεία.
- Εφόσον από τον πρώτο οπτικό έλεγχο προκύψει ότι υπάρχουν προβλήματα, πρέπει να γίνει περαιτέρω διερεύνηση με έλεγχους υλικών, επαλήθευση κρισίμων γεωμετρικών στοιχείων φέροντος οργανισμού και προσεγγιστικούς υπολογισμούς σεισμικών φορτίων κλπ. Οι έλεγχοι αυτοί περιλαμβάνουν:
 - Γεωμετρική αποτύπωση όλων των φερόντων στοιχείων του κτιρίου
 - Αφαίρεση επιχρισμάτων ή ξυλεπενδύσεων για τον προσδιορισμό της θέσεως των φερόντων στοιχείων
 - Αφαίρεση τεμαχίων λιθοσωμάτων για έλεγχο της μάζας και του εσωτερικού της τοιχοδομής
 - Εξέταση της καταστάσεως του σκυροδέματος, λίθων, πλίνθων και κονιαμάτων (ήχος, υφή, ευθριπτότητα κλπ)
 - Εξέταση των θραυσσιγενών επιφανειών σε περιοχές ρωγμών (αν είναι σπασμένα λιθοσώματα ή οι ρωγμές εμφανίζονται στους αρμούς, αν στις θέσεις των ρωγμών υπάρχουν θραυσμένοι οπλισμοί, τρόπος θραύσης, αστοχία αγκυρώσεων κλπ)
 - Αφαίρεση επιχρισμάτων και αποτύπωση της επιφανείας της τοιχοποιίας (εκτίμηση όγκου κονιάματος)
 - Εξέταση της καταστάσεως της τοιχοποιίας στις περιοχές εφαρμογής συγκεντρωμένων φορτίων (εδράσεις ζευκτών στέγης, δοκού ωπλισμένου σκυροδέματος, έδραση μεταλλικών ή ξύλινων πατωμάτων κλπ)

Παρόλο που η επιθεώρηση είναι ένας αποτελεσματικός και πολύ σημαντικός έλεγχος, έχει ωστόσο τα όρια-του επειδή μόνον οι ορατές επιφάνειες είναι δυνατόν να εξετασθούν. Τα κρυφά εσωτερικά ελαττώματα, ιδίως σε κατασκευές από σκυρόδεμα, παραμένουν μή παρατηρήσιμα και οι ιδιότητες των υλικών δεν είναι δυνατόν να ποσοτικοποιηθούν. Για τον λόγο αυτό ο οπτικός έλεγχος συνήθως συμπληρώνεται και με άλλες ενόργανες μεθόδους όπως αυτές αναφέρονται στις επόμενες παραγράφους.

3.2 Μετασεισμικός έλεγχος (Επείγουσες επιθεωρήσεις σε κτίρια με ζημιές)¹

3.2.1 Κατασκευές από σκυρόδεμα

Μετά από ένα ισχυρό σεισμό, οι βλάβες στα υποστυλώματα, τα τοιχώματα και τους κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων μιας κατασκευής είναι από τις πιο συχνές και συγχρόνως από τις πιο σοβαρές. Η αξιολόγηση της σοβαρότητας των βλαβών στα παραπάνω στοιχεία αποτελεί πρώτη προτεραιότητα για την εκτίμηση της ασφάλειας της κατασκευής, γιατί τέτοιου είδους βλάβες μπορεί να οδηγήσουν σε τμηματική ή ολική κατάρρευση του δομήματος. Είναι από τις περιπτώσεις όπου ο μηχανικός, εκτιμώντας το επίπεδο βλάβης αμέσως μετά τον σεισμό σε στενά χρονικά περιθώρια πρέπει να αποφασίσει για άμεσα μέτρα προσωρινής υποστυλώσεως και απομάκρυνσης ενοίκων. Η εμπειρία του παρελθόντος έχει δείξει την κρισιμότητα του χρονικού διαστήματος αμέσως μετά από τον κύριο σεισμό όπου ένας ισχυρός μετασεισμός είναι πολύ πιθανός και συχνά καταστρεπτικότερος του κύριου σεισμού.

Στο Σχήμα 3.2.1.1 παρουσιάζονται τυπικές εικόνες βλάβης κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων.

Στο Σχήμα 3.2.1.2 παρουσιάζεται η κατάταξη των βαθμών βλάβης για υποστυλώματα και τοιχώματα, σύμφωνα με το CEB Bul. No162 (1983) και το EC8-Part 1.4, (1996). Μία τέτοια κατάταξη χρησιμεύει για τον προσδιορισμό των περιθωρίων ασφαλείας αφενός και για την επιλογή της καταλλήλου μεθόδου επισκευής ή ενίσχυσης αφετέρου.

Βαθμός βλάβης Α Μεμονωμένες οριζόντιες ρωγμές με πλάτος λιγότερο από 1-2 mm, με την προϋπόθεση ότι ένας απλός υπολογισμός έχει αποδείξει ότι αυτές οι ρωγμές δεν οφείλονται σε ανεπάρκεια της διατομής σε κάμψη, αλλά μάλλον σε τοπικές αδυναμίες όπως π.χ. αρμοί διακοπής εργασίας, επίδραση της εν επαφή τοιχοπλήρωσης, ανεπαρκής αγκύρωση οπλισμών, κ.τ.λ.

Βαθμός βλάβης Β Αρκετές πλατιές καμπτικές ρωγμές ή μεμονωμένες λοξές διατμητικές ρωγμές με πλάτος μικρότερο από 0.5 mm, υπό τον όρο ότι δεν παρατηρούνται παραμένουσες μετακινήσεις.

Βαθμός βλάβης C Χιαστί λοξές διατμητικές ρωγμές ή έντονη τοπική σύνθλιψη και αποδιοργάνωση του σκυροδέματος, υπό τον όρο ότι δεν παρατηρούνται άξιες λόγου παραμένουσες μετακινήσεις. Ρηγματώσεις στους κόμβους (Σχ.3.2.1.α, β) (Πενέλης και Κάππος, 1990) θεωρούνται ως βαθμός βλάβης C.

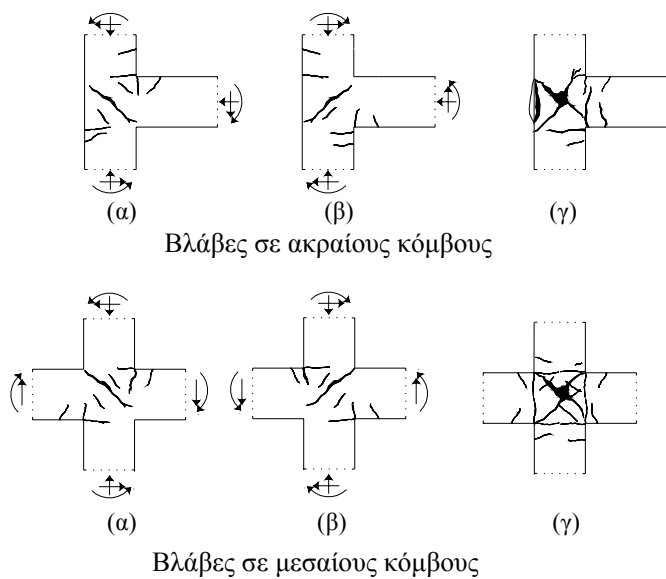
Βαθμός βλάβης D Πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στην περιοχή βλάβης, λυγισμός των διαμήκων ράβδων, διαρροή ή θραύση των συνδετήρων της περιοχής, ασυνέχεια στην περιοχή χωρίς κατάρρευση του υποστυλώματος. Προϋποτίθεται επίσης ότι οι παραμένουσες μετακινήσεις που παρατηρούνται (οριζόντιες και ιδίως οι κατακόρυφες) είναι σχετικά μικρές. Σοβαρή αποδιοργάνωση στους κόμβους (Σχ.3.2.1.γ) (Πενέλης και Κάππος, 1990) θεωρείται ως βαθμός βλάβης D.

Βαθμός βλάβης Ε Πλήρης κατάρρευση του υποστυλώματος. Ως μία γενικότερη παρατήρηση σημειώνεται ότι εάν η γενική εικόνα βλάβης συμφωνεί με μία από τις εικόνες βλάβης του Σχήματος 3.2.2 χωρίς όμως να τηρούνται οι προβλεπόμενες συνθήκες για τις παραμένουσες μετακινήσεις, τότε ως βαθμός βλάβης θεωρείται ένα επίπεδο παραπάνω απ' ότι δηλώνεται στο σχήμα. Έτσι για παράδειγμα μία βλάβη με εικόνα τύπου D, όπου όμως υπάρχουν μεγάλες κατακόρυφες μετακινήσεις, πρέπει να θεωρηθεί βαθμός βλάβης Ε.

Η απόφαση για την κρίσιμη επιλογή, μεταξύ επισκευής, ενίσχυσης και κατεδάφισης / ανακατασκευής είναι αποτέλεσμα μιας σύνθετης διαδικασίας που μπορεί να αναζητηθεί αλλού (Δρίτσος, 2000α – Pilakoutas and Dritsos, 1992). Όμως, για κατασκευές που έχουν υποστεί βλάβες από έναν ισχυρό σεισμό, ανεξάρτητα από το παραπάνω αποτέλεσμα, η εικόνα των βλαβών αποτελεί αδιάψευστο στοιχείο της σεισμικής ικανότητας που επηρεάζει ιδιαίτερα την απόφαση. Σύμφωνα με την επικρατούσα άποψη (Πενέλης, 1999):

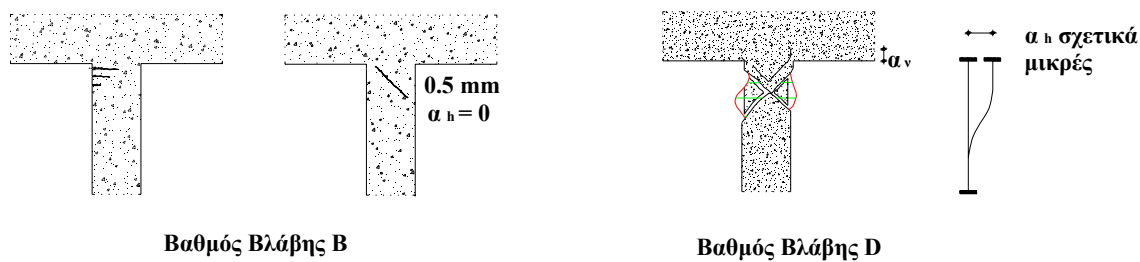
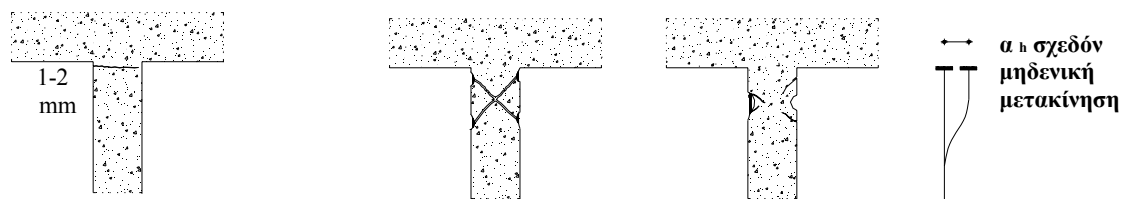
- Σε κατασκευές με μικρές βλάβες τοπικού χαρακτήρα, η επέμβαση μπορεί να περιορίζεται σε απλή επισκευή.
- Σε κατασκευές με εκτεταμένες ή βαριές βλάβες, δηλαδή βλάβες γενικού χαρακτήρα, η επέμβαση θα πρέπει να περιλαμβάνει και την ενίσχυση της κατασκευής.

¹ Το κείμενο και οι φωτογραφίες της παραγράφου 3.2.1 και 3.2.2 έχουν ληφθεί από την έκδοση του ΟΑΣΠ «Συστάσεις για προσεισμικές και μετασεισμικές επεμβάσεις σε κτίρια», Αθήνα, Οκτώβριος 2000.



Σχήμα 3.2.1.1: Βλάβες σε κόμβους πλαισίων: (ΟΑΣΠ 2000)

- (α) θλίψη κάτω παρειάς δεξιάς δοκού
- (β) θλίψη άνω παρειάς δεξιάς δοκού
- (γ) αποδιοργάνωση κόμβου από ανακυκλιζόμενη φόρτιση



Σχήμα 3.2.1.2: Βαθμοί βλάβης για υποστυλώματα και τοιχώματα (ΟΑΣΠ 2000)

3.2.2 Κατασκευές από τοιχοποιία

3.2.2.1 Εισαγωγή

Στην παράγραφο αυτή περιγράφεται η παθολογία κατασκευών από τοιχοποιία υπό κατακόρυφα και ιδιαίτερα υπό οριζόντια σεισμικά φορτία.

3.2.2.2 Παθολογία κτιρίων υπό φορτία βαρύτητας

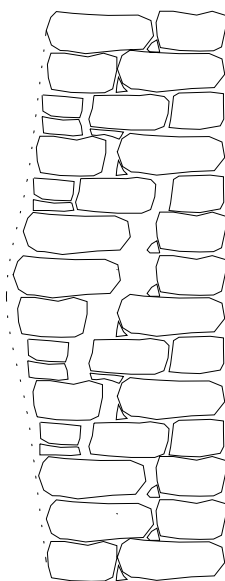
Η μεταβίβαση των κινητών κατακόρυφων φορτίων και των ιδίων βαρών των οριζόντιων δομικών στοιχείων (πατώματα, στέγες) στα κατακόρυφα (φέρουσες τοιχοποιίες) και από εκεί, μαζί με τα σημαντικά ίδια βάρη των τοίχων, στη θεμελίωση και το έδαφος, είναι συνήθως σαφής και εξασφαλισμένη σε όλους του τύπους κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία.

Τα τυχόν προβλήματα είναι συνήθως περιορισμένα και μπορούν να καταταγούν σε προβλήματα ανεπάρκειας λόγω:

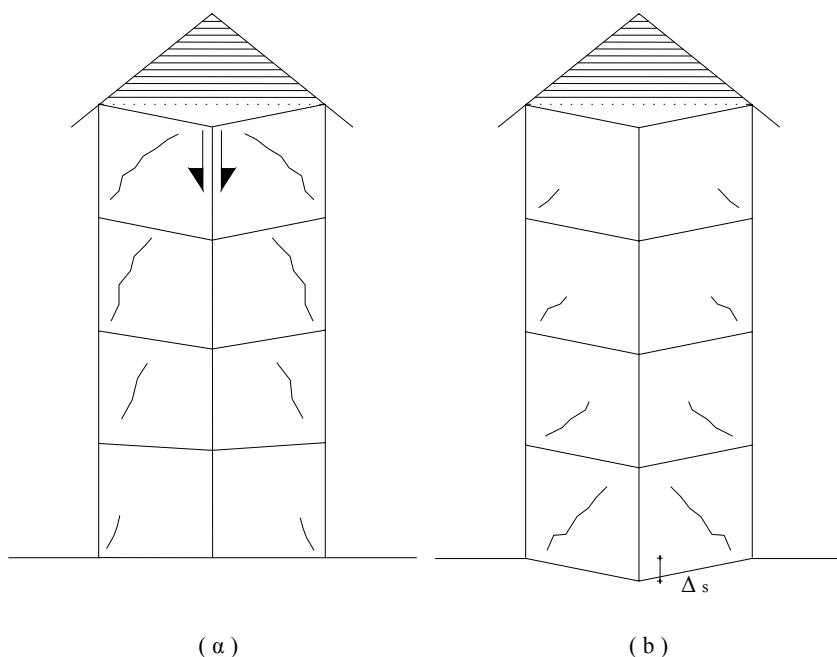
- κακού σχεδιασμού (τοπική ρηγμάτωση τοιχοποιίας υπό ισχυρά μοναχικά φορτία ή λόγω αναντιστοιχίας ανοιγμάτων καθ' ύψος).
- διαφορικών καθιζήσεων
- επεμβάσεων, διαρρυθμίσεων ή προσθηκών κατ' έκταση ή καθύψος.
- αλλαγής χρήσης (αύξηση κινητών φορτίων).
- γήρανσης υλικών.

Οι βλάβες από τα κατακόρυφα φορτία είναι συνήθως των ακόλουθων τύπων:

- υπέρβαση της θλιπτικής αντοχής η οποία εκδηλώνεται είτε με σχεδόν κατακόρυφες ρηγματώσεις είτε, ιδιαίτερα σε περίπτωση τρίστρωτης λιθοδομής, με μονόπλευρο είτε αμφίπλευρο φούσκωμα της τοιχοποιίας (δημιουργία κατακόρυφου επίπεδου διαχωρισμού κατά το πάχος του τοίχου) (Σχ. 3.2.2.2.1).
- Σε περίπτωση διαφορικών καθιζήσεων εμφανίζονται λοξές ρηγματώσεις μιας διεύθυνσης κατά μήκος της θλιβόμενης διαγωνίου (Σχ. 3.2.2.2.2b). Οι βλάβες παρουσιάζονται εντονότερες στους χαμηλούς ορόφους.
- Σε περίπτωση διαφορικής βράχυνσης υπό τα κατακόρυφα φορτία σε μεσαίους συνήθως τοίχους, εμφανίζονται λοξές ρηγματώσεις μιας διεύθυνσης στους εγκάρσιους τοίχους, παρόμοιες με αυτές της προηγούμενης περίπτωσης, με τη διαφορά ότι οι βλάβες εμφανίζονται εντονότερες στους ανώτερους ορόφους (Σχ. 3.2.2.2.2a).



Σχ. 3.2.2.2.1 Μονόπλευρο φούσκωμα τρίστρωτης λιθοδομής με ασύνδετες όψεις υπό κατακόρυφα θλιπτικά φορτία (ΟΑΣΠ 2000).



Σχ. 3.2.2.2.2 Εικόνα ρηγμάτωσης λόγω διαφορετικής βράχυνσης μεσαίου τοίχου (α) και λόγω διαφορετικής καθίζησης μεσαίου τοίχου (β) (ΟΑΣΠ 2000)

3.2.2.3 Παθολογία κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία υπό σεισμική καταπόνηση

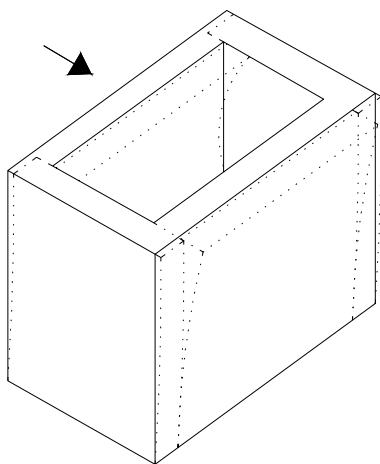
Διακρίνονται δύο ακραίες περιπτώσεις:

- Πατώματα και δώμα από πλάκες Ω.Σ. – Τοιχοποιία υψηλών αντοχών με οριζόντια και κατακόρυφα διαζώματα και ελκυστήρες: Γενικά ικανοποιητική συμπεριφορά υπό οριζόντια σεισμική φόρτιση.
- Εύκαμπτα ξύλινα πατώματα και στέγη – Παχείς τοίχοι χαμηλής αντοχής χωρίς διαζώματα και ελκυστήρες. Γενικά ανεπαρκής συμπεριφορά υπό οριζόντια σεισμική φόρτιση.

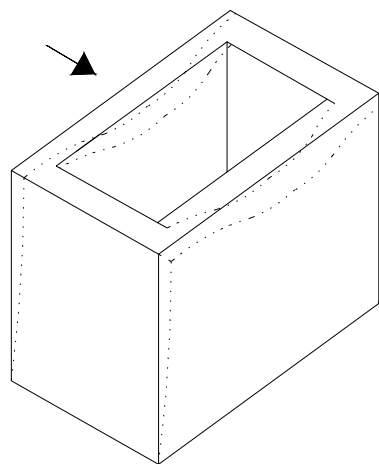
Η μεγάλη πλειοψηφία των κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία βρίσκεται συνήθως μεταξύ των δύο ακραίων προηγούμενων περιπτώσεων.

Στο Σχ. 3.2.2.2.3 φαίνονται οι τυπικές μορφές απόκρισης μονώροφου κτιρίου από φέρουσα τοιχοποιία υπό σεισμική καταπόνηση:

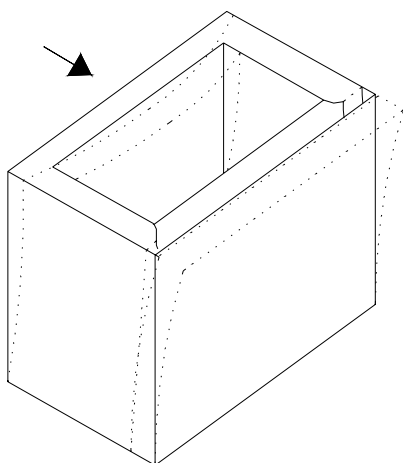
- Οι περιπτώσεις (α) και (β) αντιστοιχούν σε πλήρη απουσία διαφράγματος και διαζωμάτων με αποτέλεσμα οι τοίχοι να είναι ασύνδετοι και μετά τον αποχωρισμό τους να λειτουργούν ανεξάρτητα (κρίσιμη η εκτός επίπεδου καμπτική λειτουργία των τοίχων που είναι κάθετοι στη διεύθυνση του σεισμού).
- Στην περίπτωση (c) υπάρχει περιμετρικό διάζωμα αλλά όχι διάφραγμα στη στέψη των τοιχοποιιών. Υπό σεισμική καταπόνηση συνήθως αποφεύγεται ο αποχωρισμός των τοίχων στις γωνίες, αλλά η σχετικά μικρή εγκάρσια δυσκαμψία του διαζώματος δεν μπορεί να αποτρέψει την τοπικά έντονη εκτός επιπέδου κάμψη των τοίχων κάθετα στη διεύθυνση του σεισμού (λειτουργία τριέρειστης πλάκας σε κατακόρυφο επίπεδο).
- Στην περίπτωση (d) υπάρχει πλήρης διαφραγματική λειτουργία στο επίπεδο της στέψης των τοίχων, η οποία εξασφαλίζει τη μεταφορά και ανάληψη του συνόλου σχεδόν της σεισμικής τέμνουσας από τους τοίχους κατά τη διεύθυνση του σεισμού (λειτουργία δίσκου – υψηλή αντοχή τοιχοποιίας).



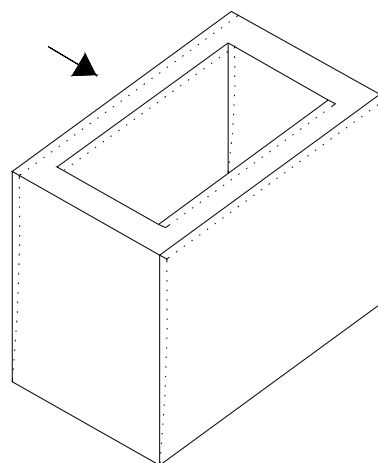
α.



γ.



β.



δ.

Σχ. 3.2.2.2.3 Τυπικές μορφές απόκρισης κτιρίων φέρουσας τοιχοποιίας υπό σεισμική καταπόνηση (ΟΑΣΠ 2000)

(α) και (β): Ασύνδετοι φέροντες τοίχοι

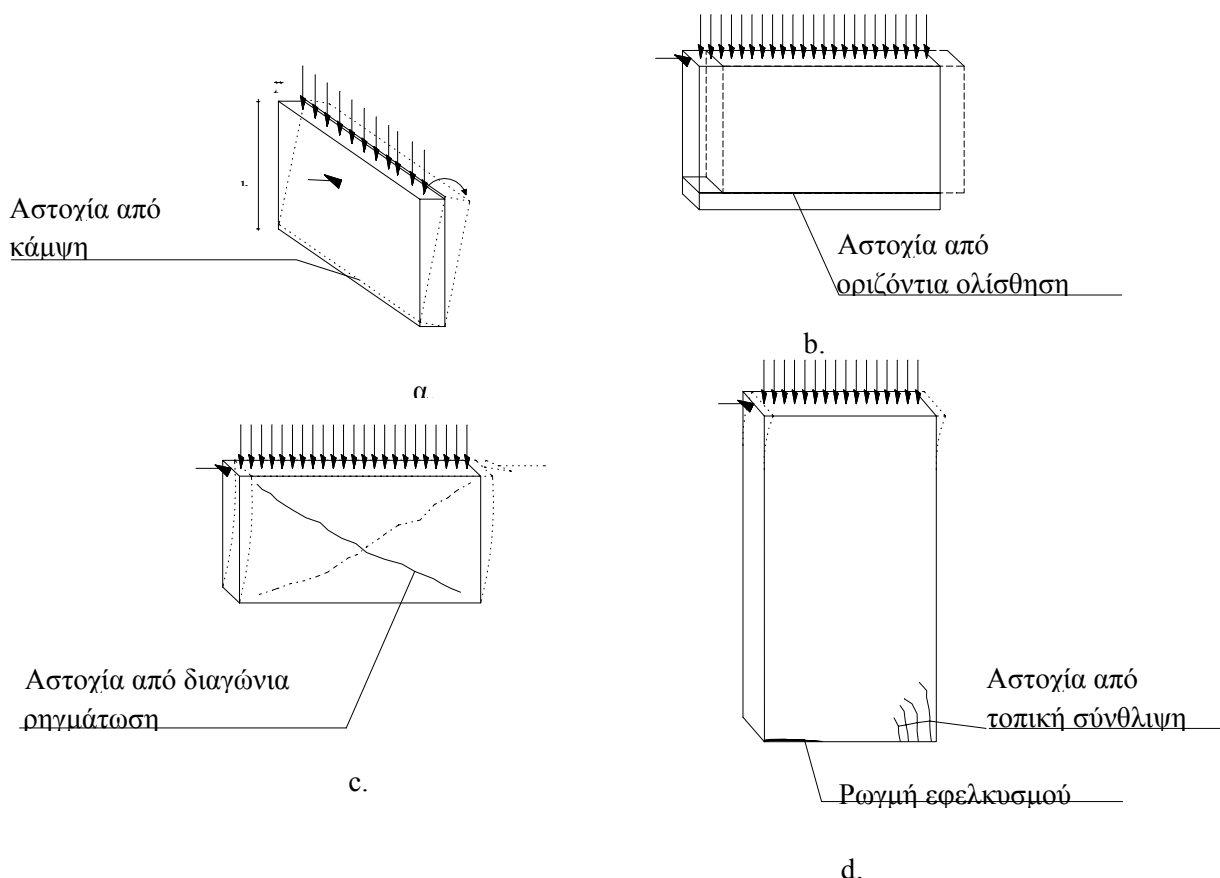
(γ): Φέροντες τοίχοι με κορυφαίο διάζωμα

(δ): Φέροντες τοίχοι με διάφραγμα στο επίπεδο της στέψης τους

Στο Σχ. 3.2.2.2.4 παρουσιάζονται οι πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας ενός μεμονωμένου τοίχου ή πεσσού.

- Ο τοίχος πρόβολος εμφανίζεται ιδιαίτερα ασθενής έναντι σεισμικής ώθησης κάθετα στο επίπεδό του (Σχ. 3.2.2.2.4α). Αντιστέκεται στις αδρανειακές δυνάμεις κυρίως με το βάρος του και την αμελητέα καμπτική αντοχή της διατομής της βάσης του.
- Σε περίπτωση που ο τοίχος-πρόβολος καταπονείται εντός του επιπέδου του, η αντίστασή του είναι πολύ μεγαλύτερη καθώς λειτουργεί ως δίσκος (shear wall). Υπάρχουν διάφορες μορφές αστοχίας ενός τέτοιου τοίχου που εξαρτώνται από τη γεωμετρία και τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας:
 - ο Ολίσθηση ή καθαρή διατμητική αστοχία κατά μήκος ενός οριζόντιου αρμού (Σχ. 3.2.2.2.4β).

- ο Διαγώνια ρηγμάτωση από λοξές κύριες εφελκυστικές τάσεις είτε με τεθλασμένη αποκόλληση-ολίσθηση κατακόρυφων και οριζόντιων αρμών είτε και με ρηγμάτωση πλίνθων ή λίθων (Σχ. 3.2.2.2.4c).
- ο Καμπτική αστοχία από συντριβή (πυκνά σχεδόν κατακόρυφα ρήγματα και εγκάρσια διάρρηξη) της θλιβόμενης γωνίας της βάσης αμέσως μετά την οριζόντια ρηγμάτωση κατά μήκος της εφελκυστικής ζώνης (Σχ. 3.2.2.2.4d).



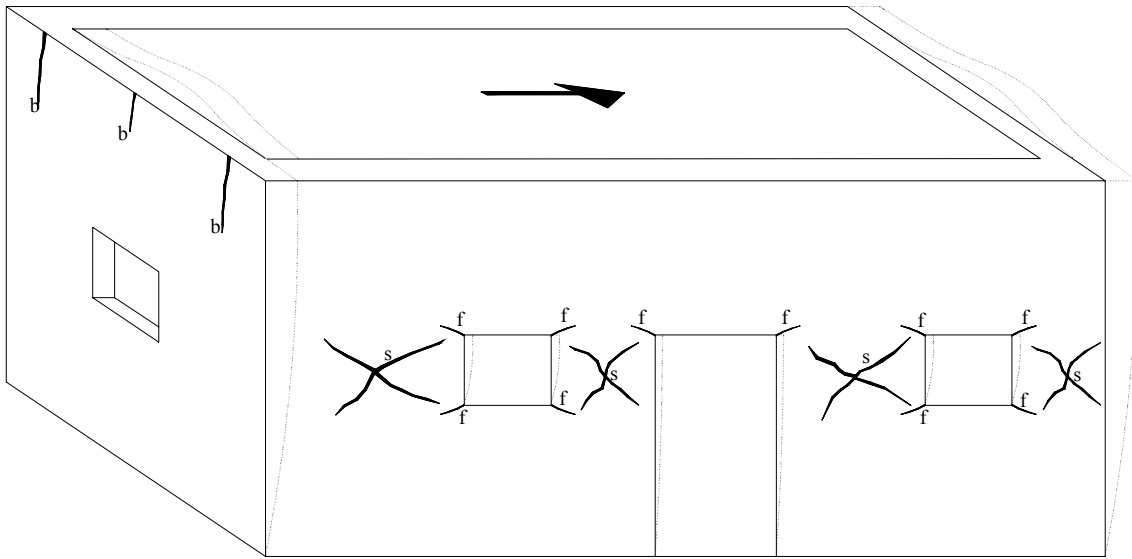
Σχ. 3.2.2.2.4 Μηχανισμοί αστοχίας ενός μεμονωμένου τοίχου-προβόλου (ΟΑΣΠ 2000)

(α) Σεισμική τέμνουσα εκτός επιπέδου, (β, γ, δ) Σεισμική τέμνουσα εντός επιπέδου

Η συμπεριφορά και απόκριση ενός κτιρίου από φέρουσα τοιχοποιία είναι πολύ πιο σύνθετη από αυτή ενός μεμονωμένου τοίχου χωρίς ανοίγματα. Στο Σχ. 3.2.2.2.5 φαίνονται οι τυπικές μορφές ρηγματώσεων που εμφανίζονται σε ένα τυπικό όροφο κτιρίου με ικανοποιητικά οριζόντια διαζώματα.

- Σε τοίχους κάθετα στη διεύθυνση της σεισμικής καταπόνησης εμφανίζονται, λόγω ανεπαρκούς διαφραγματικής λειτουργίας, ρωγμές τύπου β από κάμψη εκτός επιπέδου (bending). Σε περίπτωση ανεπαρκούς σύνδεσης στις ακμές με τους εγκάρσιους τοίχους, οι ρωγμές αυτές οδηγούν σε αποκόλληση των τοίχων και αστοχία τους σύμφωνα με το Σχήμα.3.2.2.2.4a.
- Σε τοίχους κατά τη διεύθυνση της σεισμικής καταπόνησης, οι πεσσοί μεταξύ των ανοιγμάτων είναι πιο εύκαμπτοι από τις ζώνες τοιχοποιίας πάνω και κάτω από τα παράθυρα. Έτσι, ουσιαστικά όλες οι παραμορφώσεις εμφανίζονται στους πεσσούς. Στις διατομές πόδα και κεφαλής των πεσσών εμφανίζονται οι ισχυρότερες ορθές (θλιπτικές και εφελκυστικές) τάσεις, ενώ η σταθερή καθ' ύψος του πεσσού τέμνουσα δύναμη προκαλεί τις μέγιστες διατμητικές τάσεις περί το κέντρο του. Η υπέρβαση της χαμηλής καμπτικής εφελκυστικής αντοχής της τοιχοποιίας προκαλεί τις καμπτικές ρωγμές τύπου f (flexure), ενώ η υπέρβαση της λοξής εφελκυστικής αντοχής της υπό τις κύριες ορθές τάσεις στο σώμα του πεσσού προκαλεί τις λοξές χιαστί καμπτοδιατμητικές ρωγμές τύπου s (shear).
- Τελικά οι πεσσοί, ανάλογα με τη γεωμετρία και τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας, αστοχούν είτε από χαίνοντα χιαστί καμπτοδιατμητικά ρήγματα, είτε από υπέρβαση της θλιπτικής

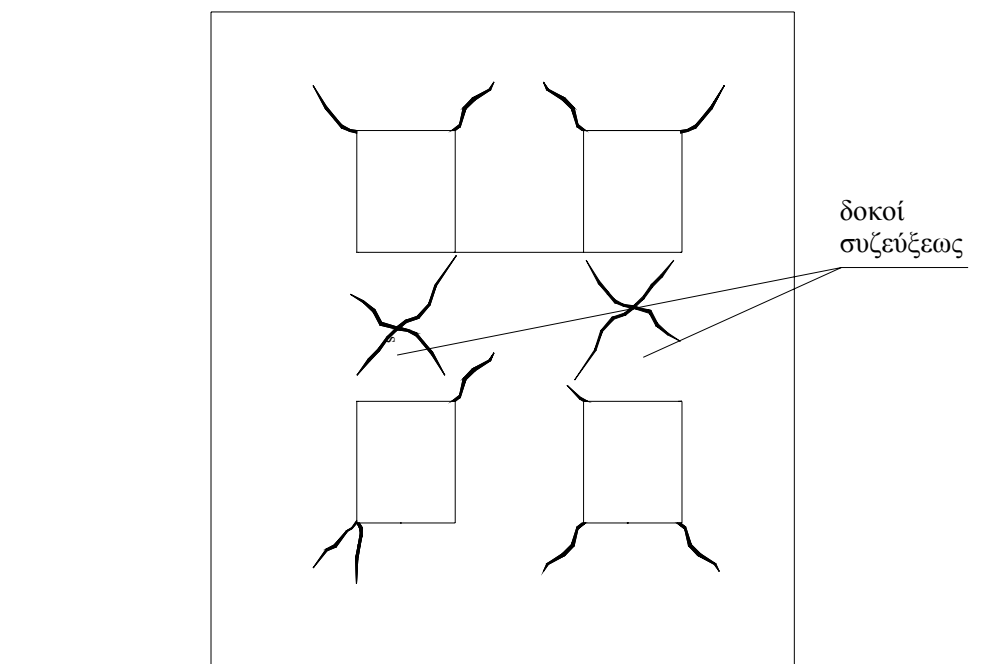
αντοχής στα άκρα της κεφαλής ή της βάσης τους μετά από διαδοχικούς κύκλους επέκτασης των ρηγμάτων τύπου f.



b : ρωγμές απο κάμψη εκτός επιπέδου
s : ρωγμές διαγώνιου εφελκυσμού
f : ρωγμές καμπτικού εφελκυσμού

Σχ. 3.2.2.2.5 Τυπικές μορφές ρηγματώσεων σε τυπικό όροφο κτιρίου από φέρουσα τοιχοποιία (ΟΑΣΠ 2000)

Στην περίπτωση ενός πολυώροφου κτιρίου με εύκαμπτα ξύλινα πατώματα χωρίς οριζόντια διαζώματα στο επίπεδο των ορόφων και με σχετικά αραιά ανοίγματα (Σχ. 3.2.2.2.6), οι ζώνες σύζευξης των ισχυρών πεσσών - προβόλων είναι οι πλέον ευαίσθητες περιοχές και καταπονούνται σε κάμψη και διάτμηση. Οι ζώνες αυτές αστοχούν συνήθως με χιαστί καμπτοδιατμητικά ρήγματα πριν από την αστοχία των πεσσών. Η αστοχία των ζωνών αυτών προκαλεί απώλεια στήριξης των πατωμάτων. Η πρόωρη αστοχία των ζωνών σύζευξης μπορεί να αποτραπεί είτε από άκαμπτα διαφράγματα (π.χ. πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος), είτε από ισχυρά διαζώματα στα επίπεδα των πατωμάτων.



Σχ. 3.2.2.2.6 Μηχανισμός αστοχίας στις ζώνες σύζευξης πεσσών ενός διώροφου τοίχου χωρίς διαζώματα ή άκαμπτα διαφράγματα στις στάθμες των ορόφων (ΟΑΣΠ 2000)

3.2.3 Κατασκευές από ξύλο

Για **κατασκευές από ξύλο** η αποτίμηση της καταστάσεως μετά από έναν σεισμό μπορεί να βασιστεί στην εξέταση μερικών βασικών σημείων του φορέα, την επισημάνση των βλαβών που αυτά παρουσιάζουν και την αξιολόγηση αυτών, ανάλογα με τις επαπειλούμενες συνέπειές τους. Μια ενδεικτική βαθμολόγηση τέτοιων βλαβών, με βαθμούς X, Y, Z, κατά αύξουσα σπουδαιότητα του κινδύνου που συνεπάγονται για την ακεραιότητα του φορέα και την ανθρώπινη ζωή, παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα 3.2.3.1. (Ε. Κατσαραγάκης, 2000).

Πίνακας 3.2.3.1 *Τυπικές βλάβες ξυλίνων κατασκευών.*

A/α	Είδος βλάβης	Βαθμός βλάβης
1	Ομοιόμορφη υποχώρηση στηρίξεων ➤ Ελαφρά, όχι σε κύρια φέροντα στοιχεία ➤ Μέτρια, μη εμφανής επίδραση στα φερόμενα στοιχεία ➤ Σοβαρή	X Y Z
2	Μόνιμη σχετική μετακίνηση πρώτου ορόφου ➤ μικρότερη του 1/60•h ➤ μεταξύ 1/20 και 1/60•h ➤ μεγαλύτερη του 1/20•h όπου: h ύψος ορόφου	X Y Z
3	Βλάβες εσωτερικών - εξωτερικών τελειωμάτων – επιχρισμάτων ➤ Ελαφρές ➤ Μέτριες ➤ Σοβαρές	X Y Z
4	Βλάβες συνδέσεων ➤ Ανατάξιμη χαλάρωση, μικρές ρηγματώσεις του ξύλου, μη διερχόμενες δια των κυρίων συνδέσεων ➤ Αστοχία μέσω συνδέσεων ➤ Ολική αστοχία συνδέσεων	X Y Z
5	Ρηγμάτωση – θραύση μελών ➤ Μικρή ρηγμάτωση στα άκρα λίγων μελών ➤ Τοπικές ρηγματώσεις γύρω από τις οπές, στις περιοχές αγκυρώσεων κλπ χωρίς αισθητή επιρροή στην φέρουσα ικανότητα του μέλους ή την σταθερότητα της κατασκευής ➤ Θραύση διατομών	X Y Z

Με βάση την προηγούμενη βαθμολόγηση, η κατάσταση μιας ξύλινης κατασκευής μετά από έναν σεισμό μπορεί να χαρακτηριστεί ως εξής :

I. Ασφαλής : Βλάβες βαθμού Y ή Z δεν υπάρχουν.

II. Επισκευάσιμη : Βλάβες βαθμού Z δεν υπάρχουν.

III. Επικίνδυνη : Επισκευάσιμη υπό όρους, υπάρχουν βλάβες βαθμού Z

3.3 Ειδικότερες απαιτήσεις για κατασκευές από σκυρόδεμα

3.3.1 Γενικά

Κατά τις επιθεωρήσεις υφισταμένων κατασκευών από σκυρόδεμα:

- Αναζητούνται η μελέτη και τα κατασκευαστικά σχέδια.
- Αν δεν υπάρχουν στοιχεία για την ποιότητα του σκυροδέματος, μια πρώτη πολύ χοντρική εκτίμηση μπορεί να γίνει από ιστορικά στοιχεία με βάση την πρακτική που ακολουθούταν την εποχή της κατασκευής (εννοείται ότι, προκειμένου να εκτελεστούν εργασίες προσθηκών ή επισκευών ή ενισχύσεων, η ποιότητα του ωπλισμένου σκυροδέματος θα έχει γίνει γνωστή με ικανοποιητική ακρίβεια χρησιμοποιώντας κατάλληλες ενόργανες μεθόδους).
- Είναι σημαντική η γνώση της κατασκευαστικής πρακτικής στην περιοχή του έργου σε συνδυασμό με την περίοδο της εκτέλεσής (τρόπος παραγωγής σκυροδέματος: μηχανικός ή «με το χέρι», τρόπος όπλισης, μήκη αγκυρώσεων, χρήση συνδετήρων ή μανδυνών κλπ).

3.3.2 Ποιότητες υλικών

Οι ιδιότητες του σκυροδέματος που κυρίως ενδιαφέρουν στην περίπτωση υφισταμένων κατασκευών από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα είναι εκείνες που σχετίζονται με την δομητική συμπεριφορά και τις απαιτήσεις ενισχύσεως. Τέτοιες είναι:

- κυρίως η θλιπτική αντοχή και σε μικρότερο βαθμό το ειδικό βάρος και το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος
- το όριο διαρροής, η εφελκυστική αντοχή και η παραμόρφωση θραύσεως του χάλυβα

Πάντως ενδέχεται να ενδιαφέρουν και άλλες ιδιότητες του σκυροδέματος όπως η εφελκυστική αντοχή, η συνάφεια, η διαπερατότητα κλπ για τις οποίες δεν υπάρχουν τυποποιημένες δοκιμές, τουλάχιστον από Ελληνικά πρότυπα, και θα πρέπει να γίνει εφαρμογή άλλων διεθνών προτύπων (όπως ASTM, DIN κλπ).

Όπως αναφέρεται και στην συνέχεια, η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος μπορεί να εκτιμηθεί προσεγγιστικά και με έμμεσες μη καταστροφικές μεθόδους (κρουσίμετρο, υπέρηχους, εξόλκευση ήλου κλπ). Πάντως, προκειμένου να γίνει επισκευή ή ενίσχυση μιας κατασκευής, οι έμμεσες μέθοδοι δεν είναι επαρκείς και θα πρέπει να συνδυάζονται και με πυρηνοληψίες.

Το όριο διαρροής καθώς και οι λοιπές ιδιότητες του χάλυβα γενικώς παραμένουν σταθερά, αν και ορισμένες περιβαλλοντικές δράσεις (όπως π.χ. θαλάσσιο περιβάλλον, χημικά εργοστάσια κλπ) προκαλούν εξασθένηση του χάλυβα. Κατά κανόνα σε ένα έργο η ποιότητα του χάλυβα είναι η ίδια, αν και στις κατασκευές της περιόδου 1970-1990 ήταν συνήθης ο συνδυασμός διαμήκους χάλυβα κατηγορίας StIII (S400) και συνδετήρων κατηγορίας StI (S220).

3.3.3 Ιδιότητες δομικών στοιχείων

Οι ιδιότητες των δομικών στοιχείων που ενδιαφέρουν, στην περίπτωση υφισταμένων κατασκευών από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα, είναι εκείνες που επηρεάζουν την συμπεριφορά του συνόλου της κατασκευής, όπως οι διαστάσεις, η αποδιοργάνωση, η θέση και αγκύρωση του οπλισμού κλπ. Ειδικότερα οι παρακάτω ιδιότητες θεωρούνται ως σημαντικές και θα πρέπει να αξιολογηθούν καταλλήλως:

- Υλοποιηθείσες διαστάσεις σε σχέση με τις αρχικές προβλεπόμενες από την μελέτη
- Υλοποιηθείσες συνθήκες στηρίξεως (άρθρωση, ελαστική πάκτωση ή πάκτωση)
- Αγκύρωση του οπλισμού
- Ικανότητα μεταφοράς εντάσεως από τους κόμβους (π.χ. περίπτωση έκκεντρης δοκού μεγάλου πλάτους στηριζομένης σε υποστυλώμα μικρών διαστάσεων).

3.3.4 Ελάχιστος αριθμός δοκιμών

Για την ανάλυση υφισταμένων κατασκευών, πρέπει κατά κανόνα να ελέγχονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά των κυρίων δομικών στοιχείων (δοκοί, υποστυλώματα, τοιχώματα). Ο αριθμός των απαραίτητων δοκιμών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες συμπεριλαμβανομένων του τύπου, του μεγέθους και της ηλικίας της κατασκευής, της προσπελασιμότητας, της παρουσίας φθορών, της επιθυμητής ακρίβειας και τέλος του κόστους. Η ακρίβεια της εκτιμήσεως μιας ιδιότητας συνδέεται άμεσα με τον αριθμό των σχετικών δοκιμών. Όσο το μέγεθος του δείγματος αυξάνει τόσο μειώνεται το εύρος του διαστήματος εμπιστοσύνης. Στην διεθνή βιβλιογραφία (FEMA 274, 2000, σελ 6-12) συνιστάται ως απολύτως ελάχιστο μέγεθος τα τρία δείγματα. Για να υπάρχει όμως η δυνατότητα να απορρίψεως ακραίων τιμών από το δείγμα, προτείνεται από ορισμένους κανονισμούς, η λήψη 6 δοκιμών. Τέλος για τον έλεγχο νωπού σκυροδέματος προτείνονται μέχρι και 12 δοκίμια (ΚΤΣ-97). Με βάση λοιπόν αυτή την λογική μπορεί να θεωρηθεί ότι για ένα μικρό κτίριο κατοικίας είναι ικανοποιητικός ένας μικρός αριθμός δειγμάτων (π.χ. 3 δοκίμια) υπό την προϋπόθεση ότι ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι μικρός (π.χ. μικρότερος από 15% για το σκυρόδεμα και μικρότερος από 5% για τον χάλυβα, σύμφωνα με το FEMA 356, 2000), άλλως συνεχίζεται η δειγματοληψία μέχρις ότου ο συντελεστής διασποράς γίνει μικρότερος από κάποια τιμή. Για μεγαλύτερες κατασκευές ο αριθμός των δοκιμών θα είναι αρκετά μεγαλύτερος από τον ελάχιστο.

Για τον χάλυβα ο ελάχιστος αριθμός των δοκιμίων θα είναι μικρότερος απ' ό,τι για το σκυρόδεμα λόγω της ομοιογένειας του υλικού και της μικρότερης διασποράς που παρουσιάζει ο χάλυβας, της φθοράς που προκαλείται και της ανάγκης για αποκατάσταση.

Γενικώς πάντως αν απαιτείται μείωση της αβεβαιότητας ως προς την ποιότητα των υλικών αυτή μπορεί να επιτευχθεί με περαιτέρω δειγματοληψίες και συνδυασμό με έμμεσες μή καταστροφικές μεθόδους. Η ενσωμάτωση των νέων πληροφοριών γίνεται χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους τύπου Bayes. Οι έμμεσες μέθοδοι πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή, κυρίως για τον έλεγχο της ομοιομορφίας των ιδιοτήτων, και στην περίπτωση της εκτιμήσεως της θλιπτικής αντοχής να βαθμονομούνται με πυρηνοληψίες.

3.3.5 Έλεγχος καταστάσεως μελών από Ω.Σ.

Εκτός από τις διάφορες ιδιότητες του ωπλισμένου σκυροδέματος, ενδιαφέρον ενδέχεται να παρουσιάζουν και λοιπές ιδιότητες ή καταστάσεις των μελών ενός φορέα από Ω.Σ.. Τέτοιες μπορεί να είναι: η παρουσία χλωριόντων, το βάθος ενανθρακώσεως, η διάβρωση του χάλυβα και η αντίστοιχη απώλεια χάλυβα λόγω διαβρώσεως, η διαπερατότητα, η ύπαρξη υγρασίας, τα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής, το εύρος ρωγμών, η εξέλιξη παραμορφώσεων συναρτήσει του χρόνου και, τέλος, η αποτελεσματικότητα επεμβάσεων (στις περιπτώσεις που έχουν γίνει επεμβάσεις).

3.4 Ειδικότερες απαιτήσεις για κατασκευές από τοιχοποιία

Κατά τις επιθεωρήσεις κατασκευών από τοιχοποιία οι μηχανικές ιδιότητες που κυρίως ενδιαφέρουν είναι η θλιπτική αντοχή, το μέτρο ελαστικότητας και η διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας.

3.4.1 Θλιπτική αντοχή

Ο προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας μπορεί να γίνει με τρεις μεθόδους (FEMA 274, 2000). Οι δύο βασίζονται στον έλεγχο τμήματος τοιχοποιίας το οποίο είτε αποσπάστηκε από υφιστάμενη κατασκευή από τοιχοποιία, είτε δομήθηκε στο εργαστήριο. Η τρίτη μέθοδος μετράει την θλιπτική αντοχή εισάγοντας επίπεδους γρύλους σε υφιστάμενη κατασκευή από τοιχοποιία.

Κατά την πρώτη μέθοδο, τμήμα της τοιχοποιίας αποσπάται από την κατασκευή και μεταφέρεται για έλεγχο στο εργαστήριο. Τα δοκίμια υποβάλλονται σε θλίψη. Το ύψος του πρίσματος πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσιο του πάχους, να περιέχει τουλάχιστον δύο οριζόντιους αρμούς κονιάματος και να είναι τουλάχιστον 0.40m. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι η δοκιμή γίνεται κάτω από καλά ελεγχόμενες συνθήκες, υπάρχει η δυνατότητα προσδιορισμού της θλιπτικής αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας της τοιχοποιίας. Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι η προσδιοριζόμενη θλιπτική αντοχή είναι μικρότερη από την πραγματική λόγω των καταπονήσεων που έχει υποστεί το δοκίμιο κατά την απόσπαση και μεταφορά από το έργο στο εργαστήριο, το κόστος της αποσπάσεως και αποκαταστάσεως.

Κατά την δεύτερη μέθοδο, κατασκευάζονται δοκίμια τοιχοποιίας από λιθοσώματα τα οποία λαμβάνονται από τμήμα της υπό εξέταση τοιχοποιία και με κονίαμα ανάλογο του κονιάματος δομήσεως της υπό εξέταση τοιχοποιίας. Απαιτείται χημική ανάλυση του κονιάματος δομήσεως ώστε να εκτιμηθούν η σύσταση και οι αναλογίες του κονιάματος. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι τα ίδια με της πρώτης μεθόδου. Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι οι συνέπειες του ερπυσμού, της υγρασίας και της θερμοκρασίας δεν λαμβάνονται υπόψη.

Κατά την τρίτη μέθοδο διανοίγονται δύο οριζόντιες σχισμές στους αρμούς σε απόσταση τεσσάρων έως έξι στρώσεων. Το πάχος της σχισμής πρέπει να είναι ικανό ώστε να είναι δυνατή η εισαγωγή ενός επίπεδου γρύλου. Στην συνέχεια ασκείται πίεση στους γρύλους και έτσι το τμήμα της τοιχοποιίας μεταξύ των δύο γρύλων βρίσκεται υπό κατακόρυφη πίεση. Η πίεση αυξάνει μέχρις αστοχίας της τοιχοποιίας. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι είναι μια μη καταστροφική μέθοδος με την οποία προσδιορίζονται η επιτόπου θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας και το μέτρο ελαστικότητας. Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι ορισμένες φορές οι επίπεδοι γρύλοι δεν είναι ικανοί να αναπτύξουν τόσο μεγάλη πίεση ώστε να προκληθεί αστοχία της δοκιμαζόμενης περιοχής.

Τέλος, εκτός από τις παραπάνω αναφερόμενες μεθόδους στις οποίες χρησιμοποιείται τμήμα τοιχοποιίας για να εκτιμηθεί η θλιπτική αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας της τοιχοποιίας, έχουν αναπτυχθεί και αρκετές ημιεμπειρικές σχέσεις με τις οποίες τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας υπολογίζονται από τα χαρακτηριστικά των επί μέρους υλικών (λιθοσωμάτων και κονιάματος, βλ. παρ. 6.3).

3.4.2 Μέτρο ελαστικότητας

Το μέτρο ελαστικότητας της τοιχοποιίας μπορεί να προσδιορισθεί από τις παραπάνω μεθόδους προσδιορισμού θλιπτικής αντοχής (παρ. 3.4.1).

Απουσία άλλης ενδείξεως, το μέτρο ελαστικότητας της τοιχοποιίας μπορεί να εκτιμηθεί ως πολλαπλάσιο της αντοχής της τοιχοποιίας $E_{\text{τοιχ}} = \alpha \cdot f_{c,\text{τοιχ}}$. ($\alpha=600$ έως 1200 , βλ. και παράγραφο 6.3)

3.4.3 Αντοχή σε διάτμηση

Η αντοχή σε διάτμηση μπορεί να υπολογισθεί με χρήση της μεθόδου των επιπέδων γρύλων όπως αναφέρεται στην παρ. 4.17.

3.4.4 Ελάχιστος αριθμός δοκιμών

Ο ελάχιστος αριθμός δοκιμών για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών σε υφιστάμενες κατασκευές από τοιχοποιία βασίζεται στα εξής κριτήρια (FEMA 274, 2000):

- Αν είναι γνωστή η συμβατική ποιότητα της τοιχοποιίας (στο σύνολό της καθώς και των επιμέρους υλικών) τότε αρκούν τρία δοκίμια για κάθε διαφορετική συμβατική ποιότητα
- Αν η συμβατική ποιότητα των υλικών δομήσεως τοιχοποιίας δεν είναι γνωστή, όπως συνήθως συμβαίνει σε υφιστάμενες παλαιές κατασκευές, τότε θα λαμβάνονται τουλάχιστον τρία δοκίμια ανά τύπο τοιχοποιίας (σύστημα δομήσεως) με ελάχιστο αριθμό δοκιμών 6 ανά κτίριο, ή ανά τύπο τοιχοποιίας (σύστημα δομήσεως). Ο αριθμός των δειγμάτων μπορεί να αυξηθεί όταν τα αποτελέσματα έχουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ-τους.

3.4.5 Έλεγχος καταστάσεως

Ο οπτικός έλεγχος και η μακροσκοπική εξέταση της καταστάσεως τοιχοποιίας έχουν σκοπό:

- την αναγνώριση του τύπου τοιχοποιίας (σύστημα δομήσεως)
- την εξέταση της γενικής καταστάσεως της τοιχοποιίας
- τις φθορές / βλάβες που υπάρχουν στην τοιχοποιία και τις πιθανές αιτίες που τις προκάλεσαν (σεισμός, επίδραση εδάφους, φυσικοχημικές δράσεις).
- την αναγνώριση του στατικού συστήματος και του τρόπου μεταφοράς φορτίων από την ανωδομή στο έδαφος.

Εκτός από την οπτική επιθεώρηση και την μακροσκοπική εξέταση ο έλεγχος της καταστάσεως της τοιχοποιίας μπορεί να γίνει τόσο με έμμεσες (μή καταστροφικές) μεθόδους, όσο και με ελάχιστα καταστρεπτικούς ελέγχους. Τέτοιοι έλεγχοι είναι:

- Υπέρηχοι (§ 4.3)
- Κρουσίμετρο (§ 4.4)
- Ραδιογραφικές μέθοδοι (§ 4.7)
- Διαπερατότητα (§ 4.10)
- Υπέρυθρη φωτογράφιση (§ 4.11)
- Ενδοσκοπήσεις (§ 4.14)
- Δοκιμή χαραγής (§ 4.15)
- Δοκιμή μικροθραυσμάτων (§ 4.16)
- Μέθοδος επίπεδων γρύλων (§ 4.17)
- Δοκιμαστικές φορτίσεις (§ 4.19)
- Δοκιμές χάλυβα (§ 4.20)
- Χημικές αναλύσεις (§ 4.21)

Λεπτομερής αναφορά στους ελέγχους αυτούς γίνεται στο Κεφάλαιο 4.

3.5 Ειδικότερες απαιτήσεις για κατασκευές από ξύλο

Οι έλεγχοι που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους καλύπτουν τις κατασκευές από σκυρόδεμα και τοιχοποιία. Οι κατασκευές όμως από ξύλο χρήζουν ιδιαίτερης αντιμετώπισης. Έτσι στην συνέχεια γίνεται περιγραφή των ελέγχων που ακολουθούνται σε ξύλινες κατασκευές.

Η μακροχρόνια χρήση του ξύλου, μέσα στους αιώνες, έχει δημιουργήσει την εντύπωση ότι πρόκειται ένα γνωστό υλικό, ώστε πολλοί να μην αναγνωρίζουν την ανάγκη βαθύτερης, επιστημονικής γνωριμίας του και όταν το συναντούν σε δομικά έργα δεν είναι σε θέση να γνωρίζουν πολλά για τον «χαρακτήρα» του.

Σε αντίθεση με τα άλλα υλικά, όπως τσιμέντο, χάλυβα και αλουμίνιο, που παράγονται με ελεγχόμενες βιομηχανικές διαδικασίες και προδιαγραφές, το ξύλο είναι προϊόν που παράγεται από ένα πολύ μεγάλο αριθμό βοτανικών ειδών δένδρων, δηλαδή ζωντανών οργανισμών που μεγαλώνουν με διαφορετικές γενετικές καταβολές και επιδράσεις του περιβάλλοντος. Έτσι το ξύλο είναι συγκριτικά πολύπλοκότερο. Αρκετές φορές ξυλεία ίδιου δασικού είδους εμφανίζει σημαντικές διαφορές στην ποιότητα. Σ' αυτό συντελούν οι παρακάτω παράγοντες :

- το κλίμα του τόπου
- το έδαφος
- η μορφή του δάσους

Η γνώση μας για την συμπεριφορά του ξύλου, όσο και της κατασκευής, όταν αυτή υποβάλλεται σε σεισμική φόρτιση, είναι ανεπαρκής. Είναι αλήθεια ότι κατά τους σεισμούς των τελευταίων δεκαετιών, τα οικοδομήματα από ξύλινο φορέα, επέδειξαν μια αξιοζήλευτη συμπεριφορά, ενισχύοντας την πεποίθηση για την αντισεισμική ικανότητα της ξύλινης κατασκευής. Η παραπάνω διαπίστωση αποκτά μεγαλύτερη σημασία αν αναλογιστούμε ότι οι περισσότερες ξύλινες κατασκευές – δυστυχώς ακόμη και σήμερα – δεν έχουν κατασκευασθεί βάσει μελέτης και χωρίς φυσικά την επίβλεψη Πολιτικού Μηχανικού, αλλά βάσει των κανόνων της τέχνης και της τεχνικής και φυσικά της εμπειρίας του τεχνίτη.

Σε υπάρχουσες κατασκευές, θα πρέπει να γίνει έρευνα της κατάστασης στην οποία βρίσκεται το ξύλο. Για να γίνει αυτό, θα πρέπει να γνωρίζει ο Μηχανικός ποία είναι τα ευαίσθητα σημεία, όπου η πιθανότητα προσβολής του ξύλου από φθορές είναι μεγαλύτερη.

Η επιθεώρηση είναι συνήθως ο πρώτος έλεγχος κατά την αποτίμηση κατασκευών από ξύλο. Παρόλο που η επιθεώρηση είναι ένας οπτικός, μη καταστροφικός, έλεγχος, για τα κτίσματα με ξύλινο φορέα είναι πολύ σημαντικός και αποτελεσματικός όταν πραγματοποιείται με επιμέλεια.

Τα σημαντικότερα σημεία μιας επιθεώρησης, σε κατασκευή με ξύλινο φορέα είναι τα εξής :

- Αναγνώριση του είδους της χρησιμοποιούμενης ξυλείας και της ποιότητάς της.
- Γενική αναγνώριση του στατικού μοντέλου του φορέα του κτιρίου. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ποία τμήματα του φορέα φορτίζονται και με ποιες δράσεις και ποία είναι αφόρτιστα. Πολλές φορές η δυσκολία ερμηνείας των βλαβών σε ξύλινους φορείς οφείλεται στο γεγονός ότι δεν γνωρίζουμε τον τρόπο λειτουργίας του φορέα.
- Έλεγχος της κατάστασης στην οποία βρίσκεται το ξύλο, ως υλικό, από την φυσική φθορά του χρόνου.
- Έλεγχος για την ύπαρξη ρωγμών στο ξύλο, οι οποίες είναι υπεύθυνες, εκτός από την ενδεχόμενη μείωση της αντοχής του, και για την διάνοιξη διόδων στις περιβαλλοντικές δράσεις, οι οποίες βλάπτουν το ξύλο και τα συνδετικά στοιχεία.
- Έλεγχος για σημεία του φορέα με αυξημένα ποσοστά υγρασίας.
- Έλεγχος για εύρεση φυτικών και ζωικών φθορέων του ξύλου. Η παρουσία των ζωικών φθορέων γίνεται αντιληπτή, από τις διάφορες οπές οι οποίες εντοπίζονται στο ξύλο, σε περιοχές με αυξημένη υγρασία και ελλιπή αερισμό. Η παρουσία των φυτικών φθορέων γίνεται αντιληπτή με τη χρωματική αλλαγή του ξύλου και την ανάπτυξη μυκήτων.
- Έλεγχος των κόμβων του φορέα και ιδιαίτερα σε όλους τους μεταλλικούς συνδέσμους.

3.6 Ειδικότερες απαιτήσεις για χάλυβα

Στον έλεγχο των υλικών πρέπει να συμπεριληφθούν και οι χάλυβες (σιδηροπλισμοί ή δομικοί χάλυβες) με τους απαραίτητους ελέγχους που πρέπει να γίνουν ούτως ώστε να αποκτήσουμε στοιχεία αφενός μεν για την κατάταξη τους σε κατηγορία (λείος ή νευροχάλυβας), αφετέρου για τον προσδιορισμό και έλεγχο άλλων φυσικοχημικών χαρακτηριστικών.

Πριν από οποιονδήποτε έλεγχο ή δειγματοληψία, πρέπει να γίνεται αναγνώριση των χαλύβων (κυρίως για τους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος). Για τον σκοπό αυτό, το Παράρτημα 1 του Κανονισμού Τεχνολογίας χαλύβων είναι χρήσιμο. Για την διευκόλυνση του αναγνώστη, γίνεται εδώ μια σύντομη αναφορά στο ιστορικό χρήσεως χαλύβων, που κατά καιρούς χρησιμοποιούνταν στην Ελλάδα (το κείμενο που ακολουθεί είναι από τον Κανονισμό Τεχνολογίας Χαλύβων, Παράρτημα 1).

Μέχρι την αρχή της δεκαετίας του 1960 η κατηγορία χάλυβα που χρησιμοποιούνταν στην χώρα μας ήταν ο χάλυβας StI κατά DIN 488 ή S220 κατά ΕΛΟΤ 959, δηλαδή λείες ράβδοι, προϊόν θερμής έλασης από χάλυβα, συγκολλησιμο υπό προϋποθέσεις, η τυπική χημική σύνθεση του οποίου φαίνεται στον Πίνακα 3.2. Ο χάλυβας αυτός ελάχιστα χρησιμοποιείται σήμερα.

Από την δεκαετία του 60 και μετά εμφανίζεται ο χάλυβας StIII (κατά DIN 488) που από το 1987 μέχρι σήμερα διατίθεται με την ονομασία S400 (κατά ΕΛΟΤ 959). Πρόκειται για ράβδους με νευρώσεις, από χάλυβα συγκολλησιμο υπό προϋποθέσεις, που οφείλει την αντοχή του στην χημική του σύνθεση και είναι προϊόν θερμής έλασης. Η τυπική χημική του σύνθεση φαίνεται στον Πίνακα 3.2 και χρησιμοποιείται και αυτός ελάχιστα σήμερα. Στην χώρα μας χρησιμοποιήθηκε με τρεις διαφορετικές σημάνσεις, αυτές του σχήματος 3.6.1.

Την ίδια περίοδο, τις δεκαετίες '60 και '70, εμφανίζεται και ο ελικοχάλυβας, που ήταν προϊόν ψυχρής κατεργασίας. Η ψυχρή κατεργασία συνίστατο στην στρέψη του χάλυβα ο οποίος προερχόταν από θερμή έλαση και είχε την χημική σύνθεση του χάλυβα StI. Μετά την στρέψη, ο χάλυβας αποκτούσε την αντοχή του χάλυβα StIII. Η μορφή των ράβδων του χάλυβα αυτού είναι αυτή του σχήματος 3.6.2, ενώ η τυπική χημική του σύνθεση φαίνεται στον Πίνακα 3.2.

Στις αρχές της δεκαετίας του '90 εμφανίζονται στην χώρα μας οι νευροχάλυβες StIV (κατά DIN 488) ή S500s² και S500 (κατά ΕΛΟΤ 971 και 959 αντίστοιχα). Πρόκειται για χάλυβες υψηλής αντοχής, συγκολλησίμους (S500s) ή συγκολλησίμους υπό προϋποθέσεις (S500).

Κατά την ίδια περίοδο εμφανίστηκε ο χάλυβας κατηγορίας S400s (κατά ΕΛΟΤ 971), ο οποίος είναι συγκολλησίμιος, με μηχανικά χαρακτηριστικά όμοια του StIII αλλά χρησιμοποιήθηκε ελάχιστα.

Η κατηγορία χάλυβα S500 χρησιμοποιήθηκε στην χώρα μας και χρησιμοποιείται και σήμερα με δύο διαφορετικές μορφές νευρώσεων, αυτές του σχήματος 3.6.3. Στον Πίνακα 3.2 αναφέρεται η τυπική χημική σύνθεσή-του. Οι χάλυβες κατηγορίας S500 είναι προϊόντα θερμής έλασης χωρίς καμία παρά πέρα θερμική ή ψυχρή κατεργασία και οφείλουν την αντοχή τους στη χημική τους σύνθεση. Χάλυβες S500, προϊόντα ψυχρής κατεργασίας, χρησιμοποιούνται μόνο στα πλέγματα.

Σε αντίθεση με τους παραπάνω χάλυβες, οι χάλυβες κατηγορίας S400s και S500s που χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται σήμερα στην χώρα μας είναι συγκολλησίμιος και προϊόντα θερμής έλασης χωρίς καμία παραπέρα κατεργασία ή προϊόντα θερμής έλασης που ακολουθείται από μια άμεση εν σειρά διαδικασία θερμικής κατεργασίας. Η υψηλή αντοχή επιτυγχάνεται στην μεν πρώτη περίπτωση με προσθήκη νιοβίου (Nb), βαναδίου (V) ή τιτανίου (Ti), ενώ στην δεύτερη περίπτωση με μια επιφανειακή μαρτενσιτική βαφή του χάλυβα (μέσω απότομης ψύξεως).

² Το πεζό λατινικό γράμμα «s» μετά το όριο διαρροής σημαίνει ότι ο χάλυβας είναι συγκολλησίμιος. Η απουσία του γράμματος «s» υποδηλώνει ότι ο χάλυβας είναι συγκολλησίμιος υπό προϋποθέσεις. Στην διεθνή βιβλιογραφία, πολλές φορές για τους «συγκολλησίμους υπό προϋποθέσεις χάλυβες» χρησιμοποιείται και ο όρος «μή συγκολλησίμιος χάλυβες», όμως η ονομασία αυτή είναι παραπλανητική αφού οι χάλυβες αυτοί μπορούν να συγκολληθούν υπό ορισμένες προϋποθέσεις. Οι προϋποθέσεις αυτές είναι: είτε η χημική σύνθεση του χάλυβα να καλύπτει τις απαιτήσεις του πίνακα 4.21 είτε να καλύπτουν τις μηχανικές δοκιμές σε εφελκυσμό και κάμψη σύμφωνα με το ΕΛΟΤ 959 (βλ και παρ. 3.5.2 του Κανονισμού Τεχνολογίας Χαλύβων) (βλ επίσης και παραγράφους 4.20 Δοκιμές Χάλυβα και 4.21 Χημικές αναλύσεις)

Στο σχήμα 3.6.4 φαίνεται η μορφή των νευρώσεων του χάλυβα κατηγορίας S400s που χρησιμοποιήθηκε στην χώρα μας και ελάχιστα χρησιμοποιείται σήμερα, ενώ στο Σχήμα 3.6.5 φαίνονται οι δύο διαφορετικές μορφές νευρώσεων με τις οποίες σημαίνεται ο χάλυβας S500s που χρησιμοποιείται και έχει επικρατήσει σε μεγάλο βαθμό στην χώρα μας σήμερα. Η μεν πρώτη σήμανση συμφωνεί με τα πρότυπα DIN 488 και EU 80-85, ενώ η δεύτερη με το νέο Ευρωπαϊκό πρότυπο ENV10080. Η τυπική χημική σύνθεση της κατηγορίας αυτής φαίνεται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2. Τυπικές χημικές συνθέσεις, τρόποι παραγωγής και περίοδοι χρήσεις διαφόρων κατηγοριών ΧΩΣ

Κατηγορία Χάλυβα	Τυπική χημική σύνθεση				Τρόπος Παραγωγής	Περίοδος χρήσης (δεκαετίες)
	C%	Mn%	Si%	V%		
St I ή S 200	0,08-0,12	≈0,50	≈0,10	-	Θ.Ε.-Χ.	έως '60
St III ή S400	0,30-0,40	0,80-1,00	0,20-0,30	-	Θ.Ε.-Χ.	'60 έως '90
St III ή S400s	≈0,15	0,60-1,00	0,15-0,30	-	Θ.Ε.-Χ.	αρχές '90
St III ελικ/βας	0,10-0,15	≈0,50	≈0,10	-	Θ.Ε.&Ψ.Κ.	'60 & '70
St IV ή S500	0,35-0,40	1,00-1,20	0,20-0,30	0,02-0,03	Θ.Ε.-Χ.	αρχές '90
St IV ή S500	0,40-0,45	≈0,20	0,20-0,30	-	Θ.Ε.-Χ.	αρχές '90
St IV ή S500s	0,18-0,20	1,00-1,20	0,20-0,30	0,04-0,09	Θ.Ε.-Χ.	αρχές '90
St IV ή S500s	0,15-0,20	0,60-1,00	0,15-0,30	-	Θ.Ε.-Θ.	αρχές '90

Σημ.: Θ.Ε.-Χ. Θερμή έλαση

Θ.Ε.-Θ. Θερμή έλαση με εν σειρά θερμική κατεργασία

Ψ.Κ. (Ψ.Κ.-Ο. ή Ψ.Κ.-Σ.) Ψυχρή κατεργασία (με ολκή ή με στέψη)

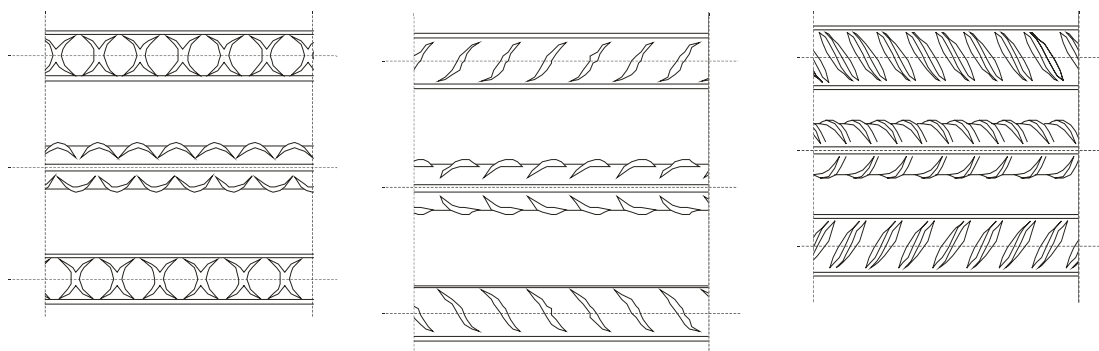
Ελεγχτοι - Δοκιμές

Οι ιδιότητες που συνήθως ελέγχονται είναι οι εξής:

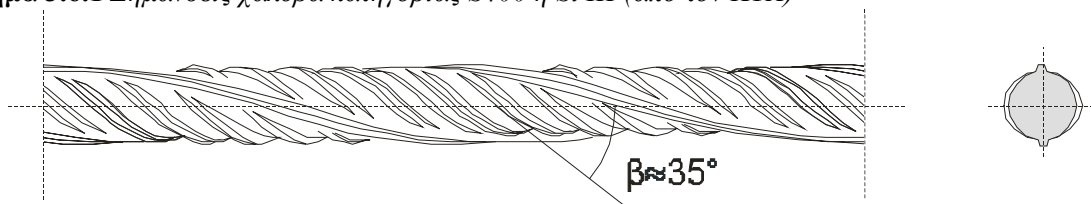
- Οριο διαρροής
- Εφελκυστική αντοχή
- Παραμόρφωση θραύσεως
- Δοκιμή σε κάμψη - ανάκαμψη ή αναδίπλωση, μόνο για χάλυβες οπλισμένου σκυροδέματος
- Διαστάσεις
- Χημική σύσταση κυρίως όταν πρόκειται να γίνουν συγκολλήσεις
- Έλεγχος διαβρώσεως

Οι έλεγχοι / δοκιμές γίνονται σύμφωνα με τα παρακάτω πρότυπα:

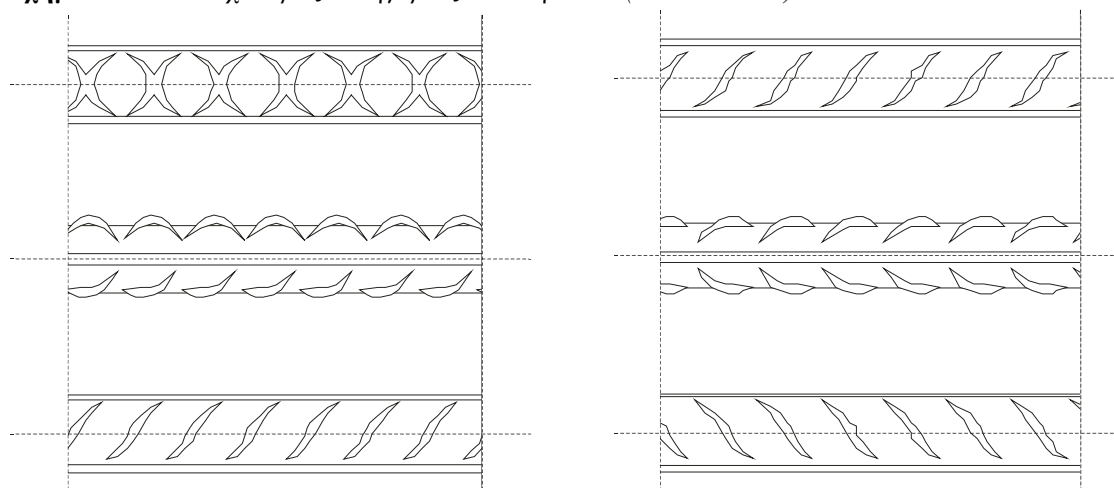
- Δοκιμή εφελκυσμού, ΕΛΟΤ 1045
- Δοκιμή αναδίπλωσης, ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971
- Δοκιμή κάμψης - ανάκαμψης, ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971
- Έλεγχος χημικής σύστασης, ΕΛΟΤ 971
- Έλεγχος διαβρώσεως δια εμβαπτίσεως σε διάλυμα υδροχλωρικού οξέως, σύμφωνα με το DIN 50905 - Part 3/78.



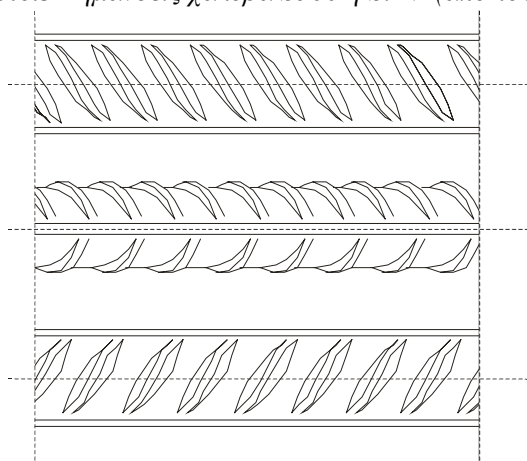
Σχήμα 3.6.1 Σημάνσεις χάλυβα κατηγορίας S400 ή St III (από τον KTX)



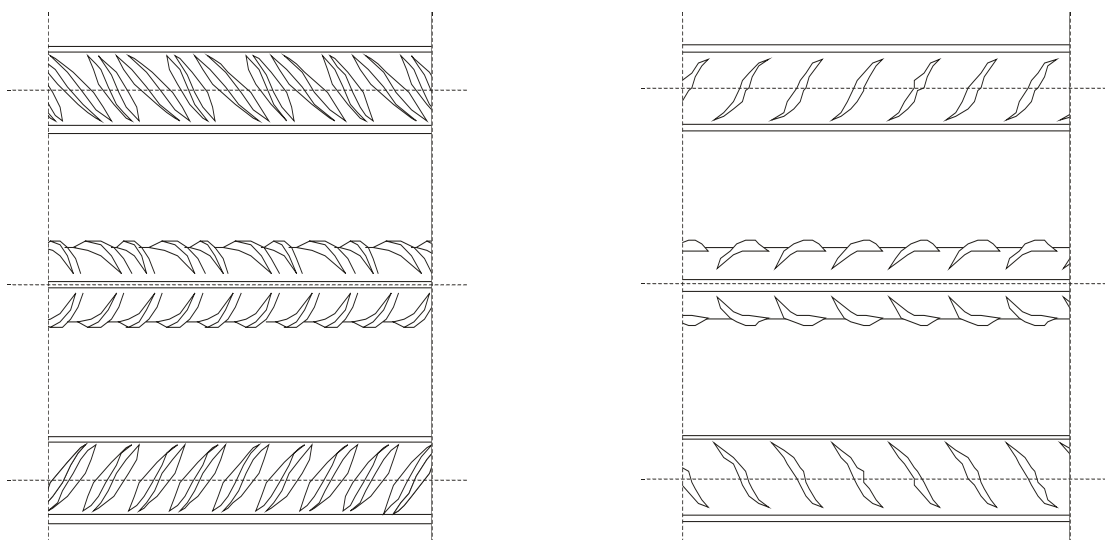
Σχήμα 3.6.2 Ελικοχάλυβας κατηγορίας S400 ή St III (από τον KTX)



Σχήμα 3.6.3 Σημάνσεις χάλυβα S500 ή St IV (από τον KTX)



Σχήμα 3.6.4 Σήμανση χάλυβα S400s (από τον KTX)



Σχήμα 3.6.5 Σήμανσης χάλυβα S500s ή St IV (από τον KTX)

4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΕΩΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.

Με σκοπό την διερεύνηση της συμπεριφοράς των υλικών των υφιστάμενων κτιρίων, αλλά και τον έλεγχο εν γένει της καταστάσεως των υφιστάμενων κατασκευών (π.χ. ύπαρξη κενών ή φωλεών στο εσωτερικό των τοίχων ή φερόντων δομικών στοιχείων, κατάσταση χάλυβα κλπ), έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι ελέγχου επί τόπου και στο εργαστήριο. Αυτές οι μέθοδοι διακρίνονται σε :

- **έμμεσες (μη καταστροφικές) μεθόδους**, οι οποίες πρακτικά εφαρμόζονται με μηδενική επέμβαση στην κατασκευή και σε
- **ελάχιστα καταστρεπτικές**, η εφαρμογή των οποίων απαιτεί την αποκοπή μικρών τεμαχίων από φέροντα στοιχεία της κατασκευής.

Όπως είναι φυσικό, η χρήση των έμμεσων (μη καταστρεπτικών) μεθόδων προτιμάται στην περίπτωση κατασκευών με μεγάλη Ιστορική και Αρχιτεκτονική αξία, για τις οποίες έχει σημασία να αποφευχθεί η διαταραχή της μορφής των. Παρ' όλα αυτά, θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι έμμεσες (μη καταστροφικές) μέθοδοι, οι οποίες επί πλέον, παρουσιάζουν και χαμηλό κόστος εφαρμογής, έχουν μειωμένη αξιοπιστία και μπορούν να χρησιμεύσουν κυρίως για την προκαταρκτική διερεύνηση της καταστάσεως μιας κατασκευής, καθώς τα αποτελέσματά - τους είναι ποιοτικώς μόνον αξιοποιήσιμα. Πάντως, οι έμμεσες (μη καταστροφικές) μέθοδοι παρέχουν και άλλες σημαντικές πληροφορίες όπως;

- ομοιογένεια των χαρακτηριστικών της κατασκευής
- εντοπισμό περιοχών ασυνέχειας με ανώμαλη συμπεριφορά κλπ.

Οι ελάχιστα καταστρεπτικές μέθοδοι είναι πολύ πιο αξιόπιστες, η δε χρήση-τους, ακόμη και σε μνημεία εξαιρετικής αξίας, είναι κατάλληλη, υπό τον όρο, βεβαίως, να επιλέγεται αντιπροσωπευτική θέση στην οποία εκτελούνται οι δοκιμές, καθώς και να είναι αποδεκτές η έκταση της επεμβάσεως και η μέθοδος αποκαταστάσεως του τοπικού τραύματος.

Οι έμμεσες, μη καταστροφικές μέθοδοι, και οι ημικαταστροφικές μέθοδοι που εξετάζονται στο κεφάλαιο αυτό είναι:

- Οπτικός έλεγχος
- Πυρηνοληψία
- Μέθοδος τασικών κυμάτων - Υπέρηχοι
- Κρουσίμετρο
- Κρουστικές μέθοδοι
- Εξόλκευση ήλου
- Ραδιογραφικές μέθοδοι
- Μαγνητικές μέθοδοι
- Ηλεκτρικές μέθοδοι
- Διαπερατότητα
- Υπέρυθρη φωτογράφιση
- Ραντάρ
- Ενανθράκωση
- Ενδοσκοπήσεις
- Δοκιμή χαραγής
- Δοκιμή Μικροθραυσμάτων
- Μέθοδος των επίπεδων γρύλων
- Μέτρηση εύρους ρωγμών – έλεγχος παραμορφώσεων
- Δοκιμαστικές φορτίσεις (στατικές ή δυναμικές)
- Δοκιμές χάλυβα
- Χημικές αναλύσεις
- Εμπηξη ήλου - εξόλκευση κοχλία
- Διάτρηση
- Μέτρηση σκληρότητας

Στον επόμενο πίνακα 4 παρουσιάζονται συνοπτικά οι παραπάνω μέθοδοι (η αρχή και το πεδίο εφαρμογής-τους). Στην συνέχεια γίνεται λεπτομερής αναφορά σε κάθε μια μέθοδο ξεχωριστά. Αναφέρονται οι αρχές, ο εξοπλισμός, η διαδικασία ελέγχου και η αξιολόγηση των μεθόδων. Επίσης αναφέρονται τυπικές εφαρμογές καθώς και τα όρια εφαρμογής των μεθόδων. Έτσι ο Μηχανικός θα είναι σε θέση να προγραμματίσει και να αξιολογήσει τα αποτελέσματα των μεθόδων αυτών. Για την σύνταξη του κεφαλαίου αυτού έχουν χρησιμοποιηθεί τα σχετικά εγχειρίδια, κανονισμοί, ACI 228.2R 1998, FEMA 356, 2000, FEMA 274, 2000,, Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος ΥΠΕΧΩΔΕ 1997α, Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος, ΥΕΧΩΔΕ 2000 καθώς και αρκετές επιστημονικές ανακοινώσεις που έχουν δημοσιευθεί σε συνέδρια και διεθνή περιοδικά και οι οποίες αναφέρονται στην βιβλιογραφία.

Πίνακας 4. Συγκριτικός πίνακας μεθόδων ελέγχου

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχο-ποιία	Σκυρό-δεμα	Ξύ-λο	Επί-τόπου	Στο εργαστήριο
1	Οπτικός έλεγχος (παρ. 4.1)	Με τον οπτικό έλεγχο εντοπίζονται και καταγράφονται οι φθορές – βλάβες που υπάρχουν σε ένα υφιστάμενο κτίριο	Κατά τον οπτικό έλεγχο εντοπίζονται και καταγράφονται οι φθορές – βλάβες που παρουσιάζει μία κατασκευή. Έτσι, ο έλεγχος συνίσταται στην καταγραφή, πάνω σε σχέδια ή σκαριφήματα, των εξής στοιχείων: • ρωγμές (θέση και εύρος) • διαβρωμένοι οπλισμοί • προβλήματα υγρασίας, ανερχόμενης ή κατερχόμενης • Ανωμαλίες και φθορές σε σκυρόδεμα και χάλυβα, όπως : απόμιξη, φωλιές, αποθέσεις αλάτων, δημιουργία μικροσταλακτιτών, απολεπίσεις, αποφλοιώσεις, άτακτη ρηγμάτωση, απόσπαση τεμαχίων, εκτινάξεις, ίχνη - κηλίδες σκουριάς, χρωματικές αλλοιώσεις, απογυμνωμένοι οπλισμοί, θραυσμένοι οπλισμοί, κατάσταση τενόντων προεντάσεως (κώνοι αγκυρώσεως, σωλήνες και καλώδια προεντάσεως, κατάσταση τσιμεντενέματος)	ACI201.1R ACI207.3R ACI224.1R ACI326R	+	+	+	+	

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο εργαστήριο
2	Πυρηνοληψία (παρ. 4.2)	Ημικαταστροφική μέθοδος η οποία βασίζεται στην διάτρηση και αποκοπή κυλινδρικού δοκιμίου	Μέθοδος για τον προσδιορισμό: • Αντοχής σε θλίψη, • Αντοχής σε εφελκυσμό από διάρρηξη • Αντοχής σε εφελκυσμό από κάμψη • Μέτρο ελαστικότητας • Λόγου Poisson • Υγρασίας δοκιμίου • Υδατοαπορροφητικότητας • Πορώδους • Μάζας • Φαινόμενου βάρους • Αποτελεσματικότητας επεμβάσεων (πληρότητα ενέσεων κόλλας, ή ενεμάτων)	Κ.Τ.Σ. – 97 Εγκύκλιος Ε 7 ΕΛΟΤ 344 DIN 52105 DIN 52112 ISO/7034 BSI 6089 ASTM C42	+	+	+	+	+
3	Μέθοδος τασικών κυμάτων - Υπέρηχοι (παρ. 4.3)	Εμμεσες μέθοδοι οι οποίες βασίζονται στην διάδοση τασικών κυμάτων δια μέσου του υλικού ή στην αντήχηση (υπερηχητικών ή κρουστικών κυμάτων) Με την μέθοδο αυτή γίνεται μέτρηση του χρόνου διαδόσεως των υπερήχων δια μέσου τμήματος σκυροδέματος ή τοιχοποιίας γνωστού μήκους. (Παραλλαγές της μεθόδου: αντανάκλαση σε ελεύθερη επιφάνεια ή σε ρωγμή)	Πρόκειται για μεθόδους με τις οποίες γίνεται μέτρηση της σχετικής καταστάσεως του σκυροδέματος ή τοιχοποιίας με βάση την ταχύτητα διαδόσεως των υπερήχων. Με τις μεθόδους αυτές γίνεται: • Προσδιορισμός θλιπτικής αντοχής του δομικού στοιχείου³ • Εντοπισμός κοιλιοτήτων στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων • Εκτίμηση βάθους επιφανειακών ρωγμών • Προσδιορισμός ομοιομορφίας • Αποτίμηση βάθους στρώματος δομικού στοιχείου που έχει υποστεί φθορά	ISO 8047 ASTM C597 RILEM NDT1 BSI 1881/203	+	+	+	+	+

³Υστερα από κατάλληλη βαθμονόμηση

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο εργαστήριο
4	Κρουσίμετρο (παρ. 4.4)	Εμμεση μέθοδος η οποία βασίζεται στην μέτρηση της επιφανειακής σκληρότητας σκυροδέματος, λίθων και κονιάματος	Μέθοδος για: - τον έμμεσο προσδιορισμό θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος, λίθων ή κονιάματος⁴, - έλεγχο ομοιομορφίας - έλεγχο επιφανειακής σκληρότητας και ομοιογένειας υλικών δομήσεως, κυρίως του σκυροδέματος	ASTM C805 RILEM NDT3 BSI 1881/202 ISO DIS8145	+	+		+	+
5	Κρουστικές μέθοδοι (παρ. 4.5)	Εμμεσες μέθοδοι οι οποίες βασίζονται στην ανάλυση συχνοτήτων των παλμών κατά την διάδοση-τους διαμέσου του σκυροδέματος	Μέθοδοι για : - τον προσδιορισμό κακοτεχνιών στο εσωτερικό στοιχείων από σκυρόδεμα, - την εκτίμηση πάχους επιφανειακών στοιχείων και του μήκους γραμμικών στοιχείων (πασάλων)	ASTM D4580 ASTM C1383	+	+		+	+
6	Εξόλκευση ήλου (παρ. 4.6)	Εμμεση μέθοδος η οποία βασίζεται στην μέτρηση της δύναμewς εξόλκευσεως ειδικού ήλου ο οποίος εμπίγνυται κρουστικώς στην επιφάνεια του δομικού στοιχείου (σκυροδέματος, κονιάματος ή ξύλου)	Μέθοδος για τον: - προσδιορισμό της αντοχής του δομικού στοιχείου σκυροδέματος⁴, - έλεγχο ομοιομορφίας (σκυροδέματος, κονιάματος ή ξύλου).		+	+		+	+

⁴Υστερα από κατάλληλη βαθμονόμηση

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο εργαστήριο
7	Ραδιογραφική μέθοδος (παρ. 4.7)	Μη καταστροφική μέθοδος η οποία βασίζεται στην προσβολή της ελεγχόμενης επιφάνειας με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που διέρχεται δια μέσου της μάζας του δομικού στοιχείου	- Μέτρηση πυκνότητας του δομικού στοιχείου, - εντοπισμός οπλισμών και κενών - σπληνιώσεων στην μάζα του δομικού στοιχείου	BS 1881/205 ASTM C1040	+	+		+	
8	Μαγνητικές μέθοδοι (παρ. 4.8)	Μη καταστροφικές μέθοδοι οι οποίες βασίζονται στην μεταβολή του μαγνητικού πεδίου από την παρουσία του χάλυβα σε δομικό στοιχείο	Μέθοδοι προσδιορισμού - θέσεως χάλυβα, - εκτίμηση διαμέτρου και - επικάλυψεως οπλισμού.	BS 1881/204		+		+	+
9	Ηλεκτρικές μέθοδοι (παρ. 4.9)	Ημικαταστροφικές μέθοδοι οι οποίες βασίζονται στην μεταβολή του δυναμικού ή της εντάσεως ηλεκτρικού ρεύματος	Μέθοδοι με την οποίες γίνεται έλεγχος πιθανότητας διαβρώσεως του σιδηροπλισμού και όχι της ταχύτητας διαβρώσεως	ACI 222R-85 ASTM C876-87		+		+	+
10	Διαπερατότητα (παρ. 4.10)	Μη καταστροφική μέθοδος (όταν εφαρμόζεται επί τόπου του έργου) και ημικαταστροφική (όταν εφαρμόζεται στο εργαστήριο). Η μέθοδος βασίζεται στην μέτρηση της ροής ρευστού (αέρα ή ύδατος) δια μέσου τους σκυροδέματος υπό δεδομένες συνθήκες.	- Σύγκριση σκυροδεμάτων με διάφορες συνθέσεις, - έλεγχος ωρίμανσης σκυροδέματος.		+	+		+	+

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο εργαστήριο
11	Υπέρυθρη φωτογράφιση (παρ. 4.11)	Μη καταστροφική μέθοδος η οποία βασίζεται στην μεταβολή της θερμικής αγωγιμότητας δια μέσου δομικού στοιχείου (σκυροδέματος, χάλυβα, τοιχοποιίας, ξύλου) παρουσία ελαττωμάτων, φθορών ή διαφορετικών υλικών	• Έλεγχος ρωγμών και αποφλοιώσεων σε δάπεδα και καταστρώματα γεφυρών, • έλεγχος υγρασίας σε κτίρια, • έλεγχος ιστορικών κτιρίων, • εντοπισμός διαφορετικών υλικών	ASTM D4788	+	+		+	+
12	Ραντάρ (παρ. 4.12)	Μη καταστροφική μέθοδος η οποία βασίζεται στην μελέτη της ανακλάσεως ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων καθώς διέρχονται από υλικά με διαφορετικές διηλεκτρικές σταθερές.	• Προσδιορισμός μεταλλικών αντικειμένων και κενών σε δάπεδα, • περιοχές με αυξημένη υγρασία, • εκτίμηση του πάχους στοιχείων	ASTM D4748		+		+	
13	Ενανθράκωση (παρ. 4.13)	Ημικαταστροφική μέθοδος η οποία βασίζεται στην μεταβολή του PH του σκυροδέματος δομικού στοιχείου από την παρουσία διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂)	Ψεκάζεται διάλυμα φαινολοφθαλεΐνης σε φρεσκοθραυσμένες ή φρεσκοκομμένες επιφάνειες σκυροδέματος. Προσδιορίζεται το βάθος ενανθράκωσης το οποίο επηρεάζει την παθητική προστασία του χάλυβα και τις ενδείξεις του κρουσιμέτρου.			+		+	

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο εργαστήριο
14	Ενδοσκοπήση (παρ. 4.14)	Μη καταστροφική μέθοδος με την οποία μπορεί να ελεγχθεί και φωτογραφηθεί η κατάσταση της μάζας δομικού στοιχείου αφού προηγηθεί μικρή διάτρηση	Μέθοδος με την οποία διανοίγεται μικρή οπή 10 έως 15 mm, εισάγεται ο σωλήνας του ενδοσκοπίου, ελέγχεται ή και φωτογραφίζεται το εσωτερικό ή η παράπλευρη επιφάνεια της διατήσεως για: - Εντοπισμό κοιλοτήτων, κενών, φωλεών σε σκυρόδεμα ή τοιχοποιία - Κατάσταση οπλισμού (διαβρωμένων ή μή) κυρίως προεντεταμένων στοιχείων - Κατάσταση / πληρότητα ενέσεων (κόλλας ή ενεμάτων)		+	+	+	+	
15	Δοκιμή χαραγής (παρ. 4.15)	Ημικαταστροφική έμμεση μέθοδος με την οποία ελέγχεται η θλιπτική αντοχή του κονιάματος. Η μέθοδος βασίζεται στην επιφανειακή σκληρότητα του κονιάματος	Μέθοδος για τον - έμμεσο προσδιορισμό θλιπτικής αντοχής κονιάματος⁵ - έλεγχο ομοιομορφίας - έλεγχο επιφανειακής σκληρότητας και ομοιογένειας υλικών δομήσεως		+			+	
16	Δοκιμή Μικρο-θραυσμάτων (παρ. 4.16)	Ημικαταστροφική μέθοδος με την οποία τεμάχια κονιάματος τα οποία αποσπώνται από το έργο εγκιβωτίζονται σε ειδικές μήτρες στο εργαστήριο και υποβάλλονται σε θλίψη	Μέθοδος για τον προσδιορισμό της εφελκυστικής αντοχής κονιάματος⁵		+			+	

⁵ Υστερα από κατάλληλη βαθμονόμηση

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο εργαστήριο
17	Μέθοδος των επίπεδων γρύλων (παρ. 4.17)	Ημικαταστροφική μέθοδος: δοκιμή θλίψης επί τόπου του έργου σε πραγματική κλίμακα.	Η δοκιμή συνίσταται στην επιβολή κατακορύφου θλιπτικού φορτίου σε τμήματα τοιχοποιίας μέσω επίπεδων γρύλων με ταυτόχρονη καταγραφή οριζοντίων και κατακορύφων παραμορφώσεων. Απαιτείται διάνοιξη οριζοντίων και κατακορύφων σχισμών στην τοιχοποιία. Με την μέθοδο αυτή προσδιορίζονται : • Θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας • Μέτρο ελαστικότητας • Λόγος Poisson • Λόγος εγκάρσιας διογκώσεως τοιχοποιίας		+			+	
18	Μέτρηση εύρους ρωγμών – έλεγχος παραμορφώσεων (παρ. 4.18)	Μη καταστροφικές μέθοδοι με τις οποίες γίνεται μέτρηση και παρακολούθηση των παραμορφώσεων σε δοκιμές που γίνονται στο εργαστήριο ή επί τόπου του έργου	Ο έλεγχος / μέτρηση γίνεται με τα παρακάτω όργανα: • Ακουστικά μηκυνσιόμετρα • Μηχανικά μηκυνσιόμετρα • Ηλεκτρικά μηκυνσιόμετρα • Μετρητές μετακινήσεων Εφαρμόζονται για την : • Παρακολούθηση και καταγραφή μακροχρόνιων παραμορφώσεων • Παρακολούθηση και καταγραφή παραμορφώσεων που προέρχονται από παροδικά φορτία		+	+	+	+	+

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο εργαστήριο
19	Δοκιμαστικές φορτίσεις (στατικές ή δυναμικές) (παρ. 4.19)	Μη καταστροφικές μέθοδοι με τις οποίες γίνεται πειραματικός έλεγχος της φέρουσας ικανότητας ή των δυναμικών χαρακτηριστικών (απόσβεση και ιδιοπερίοδος) μιας κατασκευής, καθώς και παρακολούθηση της παραμορφώσεως των υλικών	Ανάλογα με την μέθοδο που εφαρμόζεται ελέγχονται τα εξής χαρακτηριστικά: Στατική μέθοδος - Φέρουσα ικανότητα (η κατασκευή φορτίζεται με φορτίο μεγαλύτερο του φορτίου λειτουργίας) - παραμορφώσεις υλικών και δομικών στοιχείων, από τα οποία κατασκευάζονται διαγράμματα τάσεως – παραμορφώσεως ή φορτίου - παραμορφώσεως - από τα παραπάνω διαγράμματα γίνεται υπολογισμός του μέτρου ελαστικότητας Δυναμική φόρτιση - προσδιορισμός δυναμικών χαρακτηριστικών (ιδιοπερίοδος και απόσβεση) - μέτρηση παραμορφώσεων	ACI 437 ACI 318	+	+	+	+	
20	Δοκιμές χάλυβα (παρ. 4.20)	Ημικαταστροφικές δοκιμές οι οποίες γίνονται στον χάλυβα (σιδηροπλισμό ή μορφοσίδηρο) για τον έλεγχο, αφ' ενός των μηχανικών χαρακτηριστικών, αφ' ετέρου της χημικής σύστασης και ελέγχου διαβρώσεως	Με τις μεθόδους αυτές ελέγχονται τα εξής: - Οριο διαρροής - Οριο θραύσεως - Παραμόρφωση θραύσεως - Δοκιμή κάμψης - ανάκαμψης, αναδίπλωσης (μόνο για χάλυβες οπλισμένου σκυροδέματος) - Χημική σύσταση - Έλεγχος διαβρώσεως	ΕΛΟΤ1045 ΕΛΟΤ 959 ΕΛΟΤ 971 ENV 10080 DIN 488 EU 80-85 DIN 50905	+	+		+	+

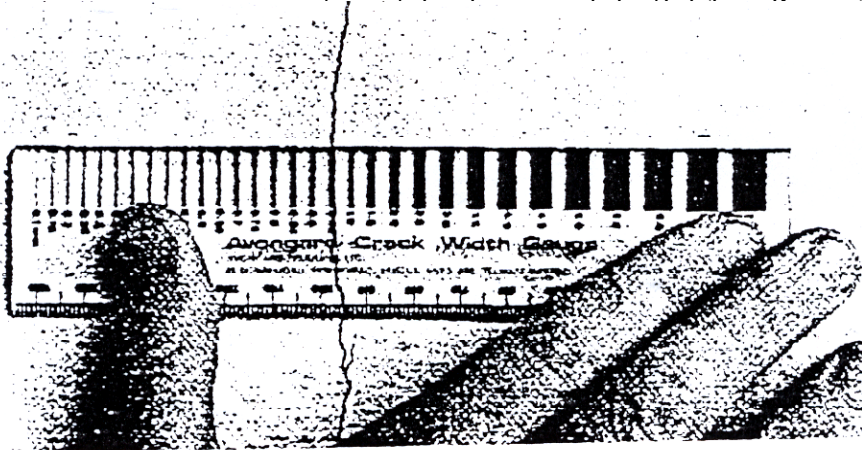
Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο εργαστήριο
21	Χημικές αναλύσεις (παρ. 4.21)	Ημικαταστροφικές δοκιμές με τις οποίες, σε δείγματα που προσκομίζονται στο εργαστήριο, γίνεται χημική ανάλυση για τον προσδιορισμό της συνθέσεως	Με τις μεθόδους αυτές ανιχνεύονται τα εξής: Σε κονιάματα - Διοξείδιο πυριτίου, SiO₂ - Τριοξείδιο θείου, SO₃ - Οξείδιο Αργιλίου και Σιδήρου, Al₂O₃ + Fe₂O₃ - Οξείδιο Ασβεστίου, CaO - Οξείδιο Μαγνησίου, MgO - Οξείδιο Νατρίου, Na₂O - Οξείδιο Καλίου K₂O Σε σκυροδέματα - Ποσοστό χλωριόντων κατά βάρος τσιμέντου Σε χάλυβας - C, Mn, Si, V	ASTM C1218 ASTM C1202 ASTM C1152	+	+		+	+
22	Εμπηξη ήλου – εξόλκευση κοχλία (παρ. 4.22)	Εμμεση μη καταστροφική μέθοδος με την οποία με ειδικό εργαλείο γίνεται έμπηξη ήλου και μετρίεται το μήκος διεισδύσεως. Παραλλαγή: μετρίεται η δύναμη για την εξόλκευση ενός τυποποιημένου κοχλία	Απλή, γρήγορη μέθοδος με πολλές αβεβαιότητες, συνιστάται να εφαρμόζεται κατόπιν βαθμονομήσεως				+	+	
23	Διάτρηση (παρ. 4.23)	Εμμεση μη καταστροφική μέθοδος με την οποία με ειδικό ηλεκτρικό τρυπάνι γίνεται τρύπα στο ξύλο και καταγράφεται η καμπύλη της δυσκολίας προώθησής της διατρήσεως	Απλή, γρήγορη μέθοδος με πολλές αβεβαιότητες, συνιστάται να εφαρμόζεται κατόπιν βαθμονομήσεως. Επίσης μπορεί να γίνει έλεγχος των προϊόντων διατρήσεως για τον σχηματισμό μακροσκοπικής εικόνας της καταστάσεως του ξύλου				+	+	

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο εργαστήριο
24	Μέτρηση σκληρότητας (παρ. 4.24)	Εμμεση μη καταστροφική μέθοδος σύμφωνα με την οποία μετριέται το αποτύπωμα που σχηματίζεται από την πτώση πρότυπου βάρους στην επιφάνεια ξύλου ή μετάλλου.	Εφαρμόζεται ως εξής σε ξύλο ή χάλυβα: Ξύλο Βάρος πέφτει από συγκεκριμένο ύψος και μετριέται το αποτύπωμα. Λόγω μεγάλων αβεβαιοτήτων, συνιστάται να εφαρμόζεται κατόπιν βαθμονομήσεως. Χάλυβα Εφαρμόζεται σύμφωνα με τις πρότυπες δοκιμές Brinell, Rockwell, Vickers				+	+	+

4.1 Οπτικός έλεγχος.

Εκτός της επιθεώρησης που είναι ο πρώτος οπτικός έλεγχος και περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. Κεφ. 3), ο οπτικός έλεγχος συμπληρώνεται και με τις παρακάτω οπτικές ενόργανες μεθόδους:

- η χρήση **ειδικού μεγεθυντικού φακού** με ενσωματωμένη μετρητική κλίμακα για την μέτρηση του εύρους των ρωγμών (απαιτείται καλός πρόσθετος τεχνητός φωτισμός). Χρειάζεται προσοχή κατά την εκτίμηση του εύρους της ρωγμής μιας και τα χείλη των ρωγμών σε σκυρόδεμα δεν είναι ποτέ δύο παράλληλες ευθείες ώστε να ορίζεται μονοσήμαντα η απόστασή τους. Αντιθέτως, μια ρωγμή εξεταζόμενη με μεγεθυντικό φακό παρουσιάζει εντονότερες μεταβολές εύρους έτσι ώστε να είναι δύσκολος ο ορισμός ενός ενιαίου εύρους ρωγμής. Για τον λόγο αυτό, απαιτείται μέτρηση του εύρους της ρωγμής σε αρκετές θέσεις και, αν το πλάτος της δεν είναι σταθερό, κατασκευή ιστογράμματος και εκτίμηση του εύρους της ρωγμής από την συχνότερη τιμή. Σε διαφορετική περίπτωση (καμπτικές ρωγμές) σύνταξη σκαριφημάτων με μέτρηση του εύρους της ρωγμής σε διάφορες θέσεις. Εκτίμηση του εύρους της ρωγμής μπορεί να γίνει συγκρίνοντας μακροσκοπικά την ρωγμή με γραμμές μεταβλητού πάχους (από 0.1mm έως 2.0mm) χαραγμένες σε διαφανές πλαστικό το οποίο τοποθετείται για σύγκριση πάνω στην ρωγμή (βλ. Σχ. 4.1.1)



Σχ. 4.1.1. Εκτίμηση εύρους ρωγμής (Καραντώνη)

- η χρήση **ενδοσκοπίου** η οποία περιγράφεται στην παρ. 4.14

4.2 Πυρηνοληψία

Παρ' όλο που ο σχεδιασμός των έργων από Ω.Σ. βασίζεται στην συμβατική αντοχή του σκυροδέματος (όπως αυτή προσδιορίζεται από τα συμβατικά δοκίμια), πολλές φορές αναζητείται η επιτόπου του έργου αντοχή του σκυροδέματος. Το πρόβλημα συνήθως γίνεται περιπλοκότερο επειδή δεν έχουν ληφθεί συμβατικά δοκίμια. Έτσι η εκτίμηση της επιτόπου αντοχής του σκυροδέματος γίνεται είτε με Εμμεσες Μεθόδους, (κρουσίμετρο, υπέρηχοι, εξόλκευση ήλου), είτε με Πυρηνοληψία. Με τις Εμμεσες Μεθόδους, η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος δεν μετριέται άμεσα, αλλά εκτιμάται εμμέσως από τη συσχέτισή-της με κάποια άλλη ιδιότητα του σκυροδέματος, (π.χ. επιφανειακή σκληρότητα, ελαστικότητα, πυκνότητα, εφελκυστική αντοχή κλπ.). Επειδή η έμμεση εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος γεννά πολλά ερωτηματικά ως προς την ακρίβεια των μεθόδων αυτών, όλοι οι διεθνείς κανονισμοί επιβάλλουν την παράλληλη λήψη πυρήνων απ' τα εξεταζόμενα, με έμμεσες μεθόδους, μέλη μιας κατασκευής. Εκτός από την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, με τους πυρήνες μπορούμε να εξετάσουμε ακόμη: α) γενικότερα την ποιότητα του σκυροδέματος μιας κατασκευής, β) την θέση και το μέγεθος των ράβδων οπλισμού, γ) την ύπαρξη ρωγμών ή άλλων αστοχιών μέσα στη μάζα του σκυροδέματος, δ) την αποτελεσματικότητα των ενέσεων κόλλας κλπ. Το βασικό πλεονέκτημα των πυρηνοληψιών είναι η αμεσότητα του προσδιορισμού της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, επιτόπου του έργου. Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι **α)** το σχετικά υψηλό κόστος (συγκριτικά με τις έμμεσες μεθόδους), **β)** η δυσκολία λήψης πυρήνων από υποστυλώματα. Πρακτικώς πυρήνες λαμβάνονται κυρίως από πλάκες, οι οποίες όμως, εκ των πραγμάτων

(λόγω προσθήκης ύδατος κατά την σκυροδέτηση των πλακών, κακής δόνησης, κακής συντήρησης), έχουν σαφώς μειωμένη αντοχή και γ) η ευαισθησία των αποτελεσμάτων τόσο κατά την λήψη και θραύση των πυρήνων (καροτιέρα, επιπέδωση βάσεων κλπ) όσο και στην αξιολόγηση και αναγωγή σε “συμβατική αντοχή” (βλ. Παράρτημα Π 2).

4.2.1 Προγραμματισμός της πυρηνοληψίας

Για την ορθή εξαγωγή συμπερασμάτων από μια πυρηνοληψία θα πρέπει να έχει γίνει ένας ορθός προγραμματισμός. Συγκεκριμένα θα πρέπει να αποφασισθούν η διάμετρος και το μήκος των πυρήνων, τα δομικά στοιχεία από όπου θα γίνει η πυρηνοληψία και οι θέσεις των πυρήνων πάνω στα δομικά στοιχεία καθώς και ο αριθμός των πυρήνων. Στην διεθνή βιβλιογραφία συνιστάται η **διάμετρος** των αποκοπτόμενων πυρήνων, προκειμένου για τον έλεγχο της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, να είναι 10 έως 15 cm, αλλά σε κάθε περίπτωση τριπλάσια του μεγέθους του μέγιστου αδρανούς που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή του εξεταζόμενου σκυροδέματος (ISO DIS7034, Petersons 1971, Plowman et al 1974, Campbel-Tobin 1967, BS 6089). Αξίζει να επισημανθεί στο σημείο αυτό ότι τα μεγαλύτερης διαμέτρου δοκίμια δίνουν ακριβέστερα αποτελέσματα γιατί καταστρέφονται λιγότερο κατά την διαδικασία κοπής και λείανσής τους και επειδή είναι λιγότερο ευαίσθητα. Σε έρευνες που έγιναν (Campbel-Tobin 1967, Szyrula-Grossman 1990) και στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν πυρήνες διαμέτρου 5 και 10 cm διαπιστώθηκε ότι οι πυρήνες με διάμετρο 10cm έδωσαν αντοχές ίσες με το 88% της αντοχής κυλινδρικών δοκιμίων συντηρημένων σε συνθήκες εργαστηρίου, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για πυρήνες διαμέτρου 5cm ήταν από 65% έως 70%. Με άλλα λόγια η αντοχή των πυρήνων διαμέτρου 10cm παρουσιάζεται 20% περίπου αυξημένη σε σχέση με την αντοχή των πυρήνων διαμέτρου 5cm. Πυρήνες διαμέτρου 5cm χρησιμοποιούνται κυρίως για έλεγχο στο εσωτερικό της μάζας του σκυροδέματος (π.χ. αποτελεσματικότητα ενέσεων κόλλας). Για το **επιδιωκόμενο μήκος του πυρήνα** (ή άλλως για την τιμή του λόγου ύψος / διάμετρο L/D) δεν υπάρχει μια μονοσήμαντη συνιστώμενη τιμή, αλλά όπως φαίνεται απ’ τις διάφορες δημοσιεύσεις, η τιμή του λόγου L/D μπορεί να κυμανθεί από 0.95 έως 2.0. Οι μεγάλες τιμές προσεγγίζουν την γεωμετρία των συμβατικών κυλινδρικών δοκιμίων διαμέτρου 15cm και ύψους 30cm. Στην πράξη όμως, για πυρήνες διαμέτρου 10cm θα έπρεπε το πάχος του στοιχείου να ήταν πάνω από 25cm και επειδή πυρήνες συνήθως λαμβάνονται από πλάκες, οι οποίες συνήθως δεν έχουν και τόσο μεγάλο πάχος, γι’ αυτό είναι ανεκτές τιμές του λόγου κοντά στην μονάδα. Η **απόσταση** των αποκοπτόμενων πυρήνων απ’ τις ακμές των εξεταζόμενων στοιχείων πρέπει να είναι τουλάχιστον 8cm (Malhotra - Carrette 1980), ενώ η μεταξύ τους απόσταση πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 4D (D η διάμετρος του πυρήνα) (Malhotra - Carrette 1990, Petersons 1971). Ο **συνιστώμενος αριθμός** των αποκοπτόμενων πυρήνων από κάθε εξεταζόμενο δομικό στοιχείο ποικίλει ανάλογα με τους ερευνητές και κανονισμούς. Ετσι: **α)** κατά το ACI 228 και τον Petersons, 1970, θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 3. Αν η μέση αντοχή των 3 πυρήνων είναι ίση με το 85% της συμβατικής αντοχής του σκυροδέματος f_c , ή η αντοχή του καθενός ίση με το 75% της f_c , τότε το σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται ικανοποιητικής αντοχής. **β)** κατά τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος, 1997, (παρ 13.7.3) ο αριθμός των πυρήνων μπορεί να φθάσει και τους 12 σε περίπτωση επανελέγχου. Πάντως, επειδή συχνότατα ορισμένοι πυρήνες αστοχούν (ρωγμή εντός του σκυροδέματος, ύπαρξη οπλισμού, κακή επιπέδωση κλπ) καλόν είναι να λαμβάνονται δύο επιπλέον εφεδρικοί πυρήνες **γ)** κατά την Εγκύκλιο Ε 7, ΥΠΕΧΩΔΕ 1997α, (παρ. 3.1, 3.2) η κατασκευή διαχωρίζεται σε τμήματα (παρτίδες) σκυροδέματος και κάθε παρτίδα ελέγχεται με έξι (6) πυρήνες που κόβονται από τυχαίες θέσεις.

4.2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή των πυρήνων.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε όταν χρησιμοποιούμε την μέθοδο των πυρήνων για την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος μιας κατασκευής είναι το πρόβλημα της **παρουσίας ράβδων οπλισμού**. Οι διεθνείς κανονισμοί συνιστούν να αποφεύγεται η κοπή πυρήνων από περιοχές δομικών στοιχείων που περιέχουν οπλισμούς, (ISO DIS7034). Στις περιπτώσεις που η αποφυγή κοπής οπλισμού είναι αδύνατη η επίδραση της παρουσίας τους στην αντοχή των πυρήνων εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως: το μέγεθος των ράβδων οπλισμού, ο λόγος L/D των πυρήνων, η θέση των ράβδων οπλισμού μέσα στους πυρήνες καθώς και η συμβατική αντοχή του σκυροδέματος της κατασκευής. Στο BS 6089 (1981) προτείνεται ο πολλαπλασιασμός της αντοχής των πυρήνων που περιέχουν οπλισμό με τον διορθωτικό συντελεστή:

$$1.0 + 1.5 \cdot \Sigma[(D_r \cdot H)/(D_c \cdot L)], \text{ όπου:}$$

D_r : διάμετρος οπλισμού

D_c : διάμετρος πυρήνα

H : απόσταση οπλισμού απ' την κοντινότερη πλευρά του πυρήνα

L : μήκος πυρήνα

έτσι ώστε: $f_{c,core,red} = f_{c,core} * (1.0 + 1.5 * \Sigma[(D_r * H) / (D_c * L)])$

Στον πίνακα που ακολουθεί συνοψίζονται οι απόψεις διαφόρων ερευνητών, σχετικά με την μείωση της αντοχής των πυρήνων που περιέχουν οπλισμό (Loo et al 1989).

Πίνακας 4.1 Επίδραση της παρουσίας οπλισμού

Συγγραφέας	Μεταβολή αντοχής (%)	L/D (μήκος / διάμετρο)
Gaynor	-4 έως -18	2
Plowman et al 1974	-3 έως -12	2
Lewandowski	-3	1.5
Petersons, 1971	-4	
Loo et al, 1989	Σημαντική	2
	Μηδενική*	1

* Ενδέχεται να παρατηρηθεί και αύξηση μέχρι 9% για πυρήνες $D/L=100/100\text{mm}$.

Η ύπαρξη **μιας** ράβδου οπλισμού μέσα στους αποκοπόμενους πυρήνες έχει ως συνέπεια την μείωση της μετρούμενης αντοχής κατά 8-9% (Plowman et al 1974), ενώ με **δύο** ράβδους οπλισμού η μείωση γίνεται 11-13%.

Οι πυρήνες μετά την κοπή και την λείανσή τους συνηθίζεται να καλύπτονται (**καπέλωμα**) με διάφορα υλικά (high alumina cement mortar, sulphur-sand mixture), για την διόρθωση των ατελειών που δημιουργούνται κατά την κοπή / επιπέδωση των παράλληλων επιφανειών τους. Οι διαφοροποιήσεις της θλιπτικής αντοχής που εισάγονται από το καπέλωμα οφείλονται στο υλικό του καπελώματος αλλά και στην αντοχή του ίδιου του πυρήνα. Οι διαφοροποιήσεις αυτές ενδέχεται να είναι σημαντικές: κατά τον Petersons (1971) μπορεί να φθάσουν και στο 30%. Γενικώς το καπέλωμα προκαλεί μείωση της αντοχής από 2% έως και 20% (Petersons 1971, Tassios 1984). Για την αποφυγή της μεταβλητής αυτής επιδράσεως του καπελώματος συνιστάται (Petersons 1971) να αποφεύγεται το καπέλωμα και η απαραίτητη επιπέδωση των επιφανειών να γίνεται με ειδικά μηχανήματα λείανσεως.

Η **θέση** του πυρήνα καθύψος του δομικού στοιχείου από το οποίο αποκόπτεται έχει πολύ μεγάλη σημασία. Η γενική άποψη που επικρατεί στην διεθνή βιβλιογραφία (Plowman et al 1974, Tassios 1984, BS 6089, Murrey-Long 1987) είναι ότι παρουσιάζεται, κατά μέσον όρο, μια μείωση της τάξεως του 25% της αντοχής ενός πυρήνα ο οποίος έχει αποκοπεί από το “πάνω” μέρος ενός δομικού στοιχείου σε σχέση με την αντοχή πυρήνα ο οποίος έχει αποκοπεί από το “κάτω” μέρος του ίδιου δομικού στοιχείου. Η τιμή όμως αυτή εξαρτάται από το είδος του δομικού στοιχείου.

Ειδικότερα για τις **πλάκες**, οι Plowman, Smith και Sherrieff (1974) εξειδικεύοντας την έρευνά τους, συσχέτισαν την αντοχή πυρήνων κομμένων από πλάκες με την αντοχή κυβικών δοκιμίων. Τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν είναι τα ακόλουθα:

$$f_{c,core,slab,bot}/f_{c,cube} = 91\%$$

$$f_{c,core,slab,top}/f_{c,cube} = 73\%$$

$$f_{c,core,full\ slab\ depth}/f_{c,cube} = 68\%$$

τα οποία εμμέσως οδηγούν σε μια τιμή του λόγου $f_{c,top}/f_{c,bot} = 0.73/0.91 = 0.80$. Οι Petersons (1971) και Bickley (1992) αναφέρουν ότι για πλάκες ο λόγος της αντοχής στην κορυφή προς την αντοχή στην βάση f_{top}/f_{bot} είναι μεταξύ 0.8 και 0.9, ενώ το BS6089 (1981) αναφέρει 0.75 και οι Τάσιος & Τρέζος (1994) αναφέρουν την τιμή ~0.85.

Ο Petersons (1971) αναφέρει επίσης για **δοκούς και υποστυλώματα** ότι ο λόγος αυτός είναι πάλι από 0.8 έως 0.9. Ο Τάσιος (1984) αναφέρει ότι για υποστυλώματα ο λόγος αυτός μπορεί να μεταβάλλεται από 0.90 έως 0.70 ενώ το BS 6089 δίνει ως παράδειγμα για τα υποστυλώματα την τιμή ~0.87. Σε μεταγενέστερη έρευνα οι Τάσιος & Τρέζος (1994) αναφέρουν ότι ο λόγος αυτός παρουσιάζει μεγάλη διασπορά και η εκτίμησή-του από πυρηνοληψίες έδειξε ότι μπορεί να είναι από 0.70 έως 1.00.

Η **διεύθυνση κοπής** των πυρήνων μπορεί να είναι κάθετη ή παράλληλη προς την διεύθυνση σκυροδετήσεως των δομικών στοιχείων. Αποκοπή πυρήνων με διεύθυνση παράλληλη με την διεύθυνση σκυροδετήσεως έχουμε στις πλάκες, ενώ με διεύθυνση κάθετη προς τη σκυροδέτηση στα υποστυλώματα, στα τοιχεία και στις δοκούς. Η επίδραση της διεύθυνσης κοπής στην μετρούμενη αντοχή του σκυροδέματος εξετάστηκε από πολλούς ερευνητές. Η πλειονοψηφία τους (Lyse-Johansen 1962, Τάσιος 1984, Sullivant 1991, Bangey 1990) δίνει ότι ο λόγος $f_{c,core,hORIZ}/f_{c,core,VERT}$ κυμαίνεται από 0.90 έως 0.95.

Πάντως είναι πρακτικώς δύσκολο να δοκιμασθούν οι πυρήνες σε θλίψη κατά διεύθυνση που να αντιστοιχεί στην διεύθυνση κατά την οποία επιβάλλονται και τα φορτία στην κατασκευή (έτσι η εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας υποεκτιμάται).

Ο Bloem D. (1968) κατασκευάζοντας μια πλάκα τοποθέτησε μέσα σ' αυτή καλούπια κυλινδρικών δοκιμών (push-out cylinders) στα οποία σκυροδέτησε ταυτόχρονα με την πλάκα, χρησιμοποιώντας την ίδια τεχνική δόνησης και συντήρησης. Παράλληλα παρασκεύασε και άλλα κυλινδρικά δοκίμια (molded cylinders), χρησιμοποιώντας τις τεχνικές που προβλέπονται απ' τους διεθνείς κανονισμούς. Τα αποτελέσματα στα οποία κατέληξε είναι τα εξής:

$$f_{c,core} = 0.90 \text{ έως } 0.80 f_{c,molded \text{ cylinders}}$$

$$f_{c,core} = 0.93 f_{c,push-out \text{ cylinders}}$$

4.2.3 Αναγωγή αντοχής πυρήνα σε αντοχή κύβου.

Στην διεθνή αλλά και Ελληνική βιβλιογραφία έχουν προταθεί πολλές σχέσεις αναγωγής της αντοχής του πυρήνα σε (συμβατική) αντοχή κύβου.

Faccaoru (1976)

Ο Faccaoru κατέληξε στην εξής σχέση αναγωγής αντοχής πυρήνα σε αντοχή κύβου:

$$f_c = a * b * c * f_{c,core} \quad (1)$$

οι συντελεστές a, b, c λαμβάνονται από τους παρακάτω πίνακες 4.2 έως 4.4.

Πίνακας 4.2 Τιμές του συντελεστή αναγωγής a (σχέση (1)) συναρτήσει της διαμέτρου Φ του πυρήνα.

Φ (mm)	50	70	100	120	150	170
A	1.25	1.15	1.02	0.98	1.05	1.10

Πίνακας 4.3 Τιμές του συντελεστή αναγωγής b (σχέση (1)) συναρτήσει του λόγου h/Φ.

h/Φ	0.50	0.75	1.00	1.12	1.25	1.37	1.50	2.00
B	0.62	0.82	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.20

Πίνακας 4.4 Τιμές του συντελεστή αναγωγής c (σχέση (1)) συναρτήσει της κατεργασίας.

Κατεργασία	άνευ κοπής	μία εγκάρσια κοπή	δύο εγκάρσιες κοπές	ρωγμή
C	1.00	1.10	1.20	1.15

Plowman et al (1974)

Μια άλλη σχέση που δίνεται στη βιβλιογραφία είναι και η ακόλουθη:

$$f_c = f_{c,core} * F_1 * F_2 * F_3 \quad (2)$$

όπου οι τιμές των συντελεστών F_i λαμβάνονται από τους παρακάτω πίνακες 4.5 έως και 4.7.

Πίνακας 4.5 Τιμές του συντελεστή F_1 (σχέση (2)) συναρτήσει του λόγου L/D .

L/D	0.90-1.00	1.00-1.25	1.25-1.50	1.50-1.75	1.75-2.00
F_1	1.00	1.06	1.13	1.19	1.24

Πίνακας 4.6 Τιμές του συντελεστή F_2 (σχέση (2)) συναρτήσει της παρουσίας οπλισμού.

Οπλισμός	κανένας	ένας μικρός	Ένας μεγάλος
F_2	1.02	1.05	1.10

Πίνακας 4.7 Τιμές του συντελεστή F_3 (σχέση (2)).

Συντήρηση	Θερμοκρασία	
	t>50 F	t<50F
	F_3	F_3
στο νερό (άναξ. πάχους)	1.00	1.10
υγρασία, πάχος < 300mm	1.15	1.20
στον αέρα, πάχος > 300mm	1.15	1.20
στον αέρα, πάχος < 300mm	1.30	1.40

British Standard 6089 (1981)

Το BS6089 (1981), προτείνει δύο διαφορετικές σχέσεις αναγωγής της αντοχής πυρήνων σε αντοχή κύβου. Η μία σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πυρήνες χωρίς οπλισμό, ενώ η άλλη για πυρήνες με οπλισμούς κάθετους στον άξονα του πυρήνα.

α) πυρήνες χωρίς οπλισμούς:

$$f_c = [D/(1.5+1/\lambda)] * f_{c,core} \quad (3a)$$

όπου $D=2.5$ για πυρήνες κομμένους κατά την οριζόντια διεύθυνση.

$D=2.3$ για πυρήνες κομμένους κατά την κατακόρυφη διεύθυνση.

λ είναι ο λόγος μήκος / διάμετρος του πυρήνα.

β) πυρήνες με οπλισμούς:

$$f_c = [D/(1.5+1/\lambda)] * f_{c,core} * (1.0 + 1.5 \Sigma \Phi_i * d / \Phi_c * l) \quad (3b)$$

όπου Φ_i είναι η διάμετρος του οπλισμού.

Φ_c είναι η διάμετρος του πυρήνα.

d η απόσταση της ράβδου οπλισμού απ' την κοντινότερη επίπεδη πλευρά του πυρήνα.

l το ύψος του πυρήνα.

Monday and Dhir.

Ο Bugney J. (1990), παρουσιάζει τις απόψεις των Monday and Dhir για την συσχέτιση της αντοχής του πυρήνα με την αντοχή κύβου. Οι Monday and Dhir προτείνουν την εξής σχέση αναγωγής:

$$f_c = A * f_{c,core} - B * f_{c,core}^2 \quad (4)$$

όπου $f_{c,core}$ είναι η αντοχή πυρήνα με λόγο $l/d=2.0$, A, B σταθερές με τιμές 1.5 και 0.007 αντίστοιχα.

ΕΛΟΤ 344

Τέλος, σύμφωνα με το σχέδιο προτύπου ΕΛΟΤ 344, η αναγωγή της αντοχής πυρήνα σε συμβατική αντοχή γίνεται με την εξής σχέση:

$$f_c = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3}{K_\varphi \cdot K_c \cdot K_d} f_{c,core} \quad (5)$$

όπου:

K_φ συντελεστής εξαρτώμενος απ' την διάμετρο του πυρήνα.

0.85 για πυρήνες διαμέτρου 100mm

0.95 για πυρήνες διαμέτρου 150mm

K_c συντελεστής εξαρτώμενος απ' την συντήρηση του έργου.

1.00 για υγρές συνθήκες συντήρησης

0.90 για καλές συνθήκες συντήρησης

0.80 για κακές συνθήκες συντήρησης

K_d συντελεστής εξαρτώμενος απ' το πάχος του στοιχείου απ' όπου ελήφθη ο πυρήνας.

1.00 για πάχη μεγαλύτερα των 25cm

0.95 για πάχη μικρότερα των 15cm

λ_1 συντελεστής γεωμετρίας του πυρήνα, συναρτήσει του λόγου h/d (ύψους h προς διάμετρο d) βλ Πίνακα 4.8 (υπό την προϋπόθεση ότι πρόκειται περί σκυροδέματος κατηγορίας ίσης ή ανωτέρας του B160).

λ_2 συντελεστής διαμέτρου (βλ Πίνακα 4.9)

λ_3 συντελεστής κατηγορίας σκυροδέματος (βλ Πίνακα 4.10)

Πίνακας 4.8 Τιμές του συντελεστή λ_1 (σχέση 5)

h/d	1.75	1.50	1.25	1.00	0.90
λ_1	0.98	0.95	0.91	0.85	0.82

Πίνακας 4.9 Τιμές του συντελεστή λ_2 (σχέση 5)

$d(\text{cm})$	10.0	12.5	15.0
λ_2	0.96	0.98	1.00

Πίνακας 4.10 Τιμές του συντελεστή λ_3 (σχέση 5)

$f_c (\text{kg/cm}^2)$	120	160	225	300	450
λ_3	1.30	1.25	1.22	1.18	1.14

Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (1997α) και Εγκύκλιος Ε7 (1997β)

Ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (1997α) και η Εγκύκλιος Ε7 (1997β) βασίζονται στο πρότυπο ΕΛΟΤ αλλά με συντηρητικότερες τιμές των παραμέτρων (βλ εφαρμογή στο Παράρτημα Π.2).

Στον παρακάτω πίνακα 4.11 συνοψίζονται οι οδηγίες για της πυρηνοληψίες

Πίνακας 4.11 Σύνοψη οδηγιών για πυρηνοληψίες.

Προ-έλευση	Γεωμ. Μεγέθη		Αριθμός Πυρήνων	Επίδρ. Καπελώ-ματος στην αντοχή	Από-σταση από ακμή (cm)	Από-σταση μεταξύ (cm)	Επίδραση οπλισμού στην αντοχή	Διαφοροποίηση της αντοχής καθύψος και ανά δομικό στοιχείο $f_{c,bot}/f_{c,top}$				Διεύθυν-ση κοπής f_{hor}/f_{ver}	Μεταβλητό-τητα	
	D(cm)	L/D						υποστ	τοιχ	δοκοί	πλάκες		Πυ-ρήνες	Συμβ. Δοκίμ.
NEKΩΣ	≥ 10 ή > 0.9 $3d_{aggr}$ 1.75	-					Να αποφεύ-γεται							
ISO DIS7034	10 ή 15	0.95 - 2.1					Να αποφεύγεται							
BS 6089	10 ή 15	> 0.5					*(1)	1.25	1.25	1.25	1.25	1.09		
Sullivan (1991)	10 ή 15	1.0 - 1.2	-									< 1.00		
Petersons (1971)	7 έως 15	1.0	> 3	+30%	4D			1.40	1.25	1.20	1.15	0.90		
Plowman-Smith (1974)	10 ή 15	> 0.95					μείωση 8-13%				1.25			
Camplel-Tubin (1967)														
Szypula-Crossma n (1990)														
Mahlorta-Carette (1980)		2.0			8cm	4cm							3.3%	4.6%
Loo et al (1989)							L/D= =2.0 σημαντική μείωση =1.0 μηδενική επίδρ =100/100 αύξηση 9%							
ACI 228 (1988)			3 αν $f_{c,cor}=0.85f_c$										5.0%	4.0%
Tassios (1984)				μείωση 2-20%				1.25				0.95		
Marrey-Long (1987)								1.10 1.15	1.10 1.15					
Bugney (1990)	10 ή 15	1.0 - 2.0			30cm							0.93	6.0%	3.0%
Lyse-Johansen (1962)												0.93		
Bloem (1968)													6.0%	2.3%

$$(1) f_c = f_{c,cor} * (1 + 1.5 * [\Sigma \{ (D_r * H) / (D_c * L) \}])$$

Πίνακας 4.12 Σχέσεις αναγωγής της αντοχής πυρήνα σε αντοχή συμβατικού δοκιμίου

Προέλευση	Σχέση	Παρατηρήσεις
Facaoaru	$f_c = a \cdot b \cdot c \cdot f_{core}$	a βλ Πίνακα 4.2 b βλ Πίνακα 4.3 c βλ Πίνακα 4.4
Powman - Smith	$f_c = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot f_{core}$	F_1 βλ Πίνακα 4.5 F_2 βλ Πίνακα 4.6 F_3 βλ Πίνακα 4.7
BSI	$f_c = \{D/(1.5+1/\lambda)\} \cdot f_{core}$	$D=2.3$ έως 2.5 (βλ κείμενο) $\lambda = o$ λόγος ύψους προς διάμετρο πυρήνα βλ και Πίνακα 4.11
Monday Dhir	$f_c = 1.5 \cdot f_{core} - 0.007 \cdot [f_{core}]^2$	Υποτίθεται ότι $l/d=2.0$
ΕΛΟΤ 344	$f_c = f_{core} [(\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3) / (K_\phi \cdot K_c \cdot K_d)]$	λ_1 βλ Πίνακα 4.8 λ_2 βλ Πίνακα 4.9 λ_3 βλ Πίνακα 4.10 K_ϕ, K_c, K_d βλ κείμενο

4.2.4 Προσδιοριζόμενες ιδιότητες με τους πυρήνες

Με τους πυρήνες είναι δυνατός ο προσδιορισμός των εξής ιδιοτήτων του σκυροδέματος:

- Αντοχή σε Θλίψη
- Αντοχή σε Εφελκυσμό από διάρρηξη
- Μέτρο Ελαστικότητας
- Λόγος Poisson
- Φαινόμενο βάρος (φυσικό, ξηρό, κορεσμού)
- Υγρασία δοκιμίου
- Υδατοαπορροφητικότητα
- Πορώδες
- Ταχύτητα διαδόσεως υπερήχων (για βαθμονόμηση των εμμέσων μεθόδων)
- Έλεγχος μάζας δομικού στοιχείου (ομοιογένεια, ομοιομορφία σκυροδέματος, έλεγχος εσωτερικής δομής τοιχοποιίας κλπ.)
- Αποτελεσματικότητα επεμβάσεων (πληρότητα ρωγμών σκυροδέματος με κόλλες ή τοιχοποιίας με ενέματα κλπ)
- Συνάφεια παλιού νέου σκυροδέματος (έγχυτου ή εκτοξευόμενου)

Η πυρηνοληψία, εκτός από τις κατασκευές από σκυρόδεμα, εφαρμόζεται και σε κατασκευές από τοιχοποιία. Για τις κατασκευές από σκυρόδεμα υπάρχουν τόσο ελληνικά όσο και διεθνή πρότυπα τα οποία καλύπτουν την δοκιμή αυτή, βλ. και 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3). Αντίθετα όμως για κατασκευές από τοιχοποιία δεν διατίθενται αντίστοιχα πρότυπα και η δοκιμή καλύπτεται μόνο από επιστημονικές ανακοινώσεις οι οποίες έχουν δημοσιευθεί τόσο σε ελληνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο.

Με βάση τα προαναφερθέντα, για την ορθή εξαγωγή συμπερασμάτων από μία πυρηνοληψία, θα πρέπει να γίνεται κατάλληλη επιλογή της διαμέτρου και του λόγου ύψους προς διάμετρο αναλόγως του επιδιωκόμενου σκοπού:

Διάμετρος για τον προσδιορισμό θλιπτικής αντοχής:

- για τον έλεγχο αντοχής σκυροδέματος σε θλίψη συνιστάται οι πυρήνες να έχουν διάμετρο 10 cm,

- για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας, η διάμετρος των δοκιμίων ποικίλει από 5 έως 15 ή και 20 cm, (πυρήνες διαμέτρου 5 cm συνιστώνται για δειγματοληψία σε κονιάματα ή συμπαγείς πλίνθους, η διάμετρος των 10 cm συνιστάται για δειγματοληψίες λίθων και η διάμετρος των 15 και 20 cm για περίπτωση δειγματοληψιών σε τοιχοποιία).

Διάμετρος για έλεγχο λοιπών χαρακτηριστικών:

- για το σκυρόδεμα συνιστάται οι πυρήνες να έχουν ελάχιστη διάμετρο 5 cm περίπου, (έλεγχος μάζας, αποτελεσματικότητα επεμβάσεων πληρότητα ρωγμών, έλεγχοι συναφείας κλπ)
- για την τοιχοποιία συνιστάται οι πυρήνες να έχουν ελάχιστη διάμετρο 10 ÷ 15 cm περίπου (έλεγχος εσωτερικής δομής της τοιχοποιίας, έλεγχος αποτελεσματικότητας εφαρμογής ενεμάτων κλπ).

Λόγος μήκους προς διάμετρο πυρήνα: (L/D)

- όταν πρόκειται για έλεγχο αντοχής ο λόγος ύψους / διάμετρο L/D, πρέπει να κυμαίνεται από 0.95 έως 2.00.
- όταν πρόκειται για λοιπούς ελέγχους ο λόγος ύψους / διάμετρο L/D, ποικίλει ανάλογα με την προς έλεγχο ιδιότητα. Όταν θέλουμε να ελέγξουμε την συνάφεια παλιού - νέου σκυροδέματος αρκούν πυρήνες το μήκος των οποίων να είναι μεγαλύτερο από το πάχος του νέου σκυροδέματος κατά 3÷5 cm. Όταν θέλουμε να ελέγξουμε την εσωτερική δομή της τοιχοποιίας, ή την αποτελεσματικότητα των επεμβάσεων π.χ. ενεμάτων, πληρότητα ρωγμών, ομοιομορφία, ομοιογένεια μάζας σκυροδέματος απαιτείται αρκετά μεγάλο μήκος δοκιμίου (ιδανική περίπτωση το μήκος του πυρήνα να είναι ίσο με το πάχος του προς έλεγχο στοιχείου)
- Όταν από τον πυρήνα, ο οποίος θα αποκοπεί, θα ελεγχθούν και άλλες ιδιότητες εκτός από την θλιπτική αντοχή, τότε το μήκος του πυρήνα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το μήκος που απαιτούν οι εκάστοτε δοκιμές.

Στην συνέχεια δίνονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά της κάθε δοκιμής

4.2.4.1 Αντοχή σε Θλίψη

Οι αποκοπόμενοι πυρήνες έχουν διάμετρο από 5 ÷ 20 cm περίπου και μήκος τουλάχιστον όσο και η διάμετρος και γενικότερα σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω. Μεταφέρονται στο εργαστήριο και διαμορφώνονται (αποκόπτονται τα άκρα-τους και ιδίως το ενανθρακωμένο τμήμα, καπελώνονται ούτως ώστε οι επιφάνειες φορτίσεως να είναι επίπεδες, παράλληλες μεταξύ-τους και κάθετες προς τον διαμήκη άξονα) υποβάλλονται σε δοκιμή μονοαξονικής θλίψης σύμφωνα με το αντίστοιχο πρότυπο. (βλ. Σχ. 4.2.4.1.1)

Η αντοχή του πυρήνα σε μονοαξονική θλίψη υπολογίζεται από την σχέση

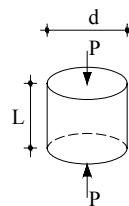
$$\sigma = \frac{P}{\left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} \right)}$$

όπου :

P : μέγιστο θλιπτικό φορτίο

d : διάμετρος δοκιμίου

σ : τάση θραύσεως



Σχ. 4.2.4.1.1

4.2.4.2 Αντοχή σε Εφελκυσμό από διάρρηξη

Οι αποκοπόμενοι πυρήνες έχουν διάμετρο από 5 ÷ 20 cm περίπου και μήκος από μερικά εκατοστά έως όση είναι η διάμετρος. Εδώ πρέπει να τονισθεί ότι τουλάχιστον για το σκυρόδεμα από τον ίδιο πυρήνα μπορεί να μορφωθεί ένα δοκίμιο για δοκιμή μονοαξονικής θλίψης και ένα δοκίμιο για δοκιμή διαρρήξεως. Προσοχή απαιτείται στην περίπτωση που το τμήμα που προορίζεται για δοκιμή διαρρήξεως είναι

ενανθρακωμένο (το οποίο θα δώσει και καλύτερα αποτελέσματα). Μεταφέρονται στο εργαστήριο και διαμορφώνονται (αποκόπτονται τα άκρα των, ώστε οι επιφάνειες να είναι παράλληλες επίπεδες και κάθετες προς την γενέτειρα του δοκιμίου,) υποβάλλονται σε δοκιμή θλίψης κατά γενέτειρα (Brazilian test) σύμφωνα με το αντίστοιχο πρότυπο. (βλ. Σχ. 4.2.4.2.1)

Η εφελκυστική αντοχή από διάρρηξη υπολογίζεται από την σχέση:

$$\sigma = \frac{2 \bullet P}{\pi \bullet d \bullet L}$$

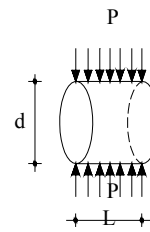
όπου :

P : μέγιστο θλιπτικό φορτίο

d : διάμετρος δοκιμίου

L: το μήκος του δοκιμίου

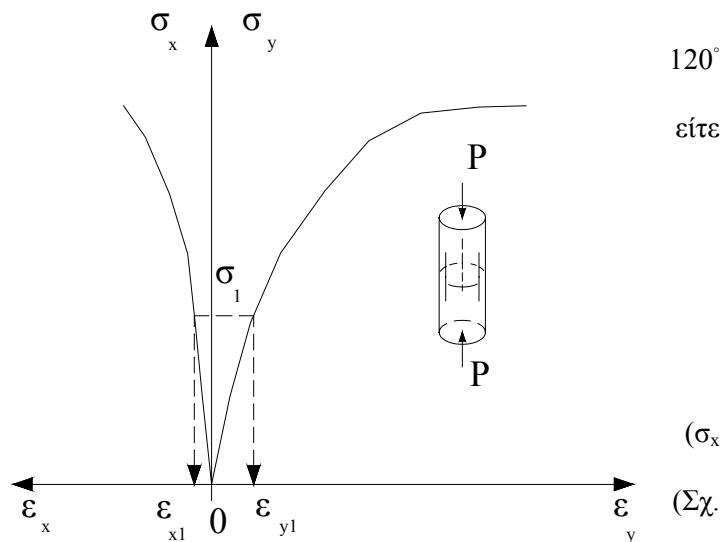
σ : τάση θραύσεως



Σχ. 4.2.4.2.1

4.2.4.3 Προσδιορισμός μέτρου ελαστικότητας και λόγου Poisson (ν)

Ο προσδιορισμός Μέτρου Ελαστικότητας και λόγου Poisson γίνεται από την δοκιμή θλίψεως αφού έχουν κολληθεί κατακόρυφα και οριζόντια ηλεκτρομηκυσσιόμετρα για την ταυτόχρονη μέτρηση των παραμορφώσεων κατά την επιβολή του φορτίου. Τα κατακόρυφα ηλεκτρομηκυσσιόμετρα έχουν κολληθεί παράλληλα προς τις γενέτειρες ανά γωνίες στο μέσον του ύψους. Τα οριζόντια ηλεκτρομηκυσσιόμετρα έχουν κολληθεί: πάνω στα κατακόρυφα (στο μέσον του ύψους των κατακορύφων) είτε μεταξύ των κατακορύφων (στο μέσον του ύψους του δοκιμίου). Τα δοκίμια υποβάλλονται σε θλίψη με ταυτόχρονη μέτρηση των παραμορφώσεων (απαιτούνται ειδικά όργανα καταγραφής φορτίου και μέτρησης παραμορφώσεων). Στην συνέχεια κατασκευάζονται τα διαγράμματα ($\sigma_x - \epsilon_x$), ($\sigma_y - \epsilon_y$) από τα οποία προσδιορίζονται το μέτρο ελαστικότητας και ο λόγος Poisson, (4.2.4.3.1). Το μέτρο ελαστικότητας υπολογίζεται από την κλίση του διαγράμματος στο 1/3 περίπου του φορτίου θραύσεως.



Σχ.4.2.4.3.1

4.2.4.4 Προσδιορισμός φαινομένου βάρους (φυσικό, ξηρό, κορεσμού)

Ο προσδιορισμός του φαινομένου βάρους (φυσικού, ξηρού, κορεσμού) γίνεται αφού υπολογίσουμε το βάρος του δοκιμίου (δια ζυγίσεως), και τον όγκο του (είτε δι' εμβαπτισμού μέσα σε υγρό, είτε γεωμετρικά δια μετρήσεως διαμέτρου και μήκους με ακρίβεια σε τρεις πλευρές αντίστοιχα για κάθε στοιχείο).

Το φαινόμενο βάρος υπολογίζεται από την σχέση :

$$\gamma = \frac{B}{V}$$

όπου :

B : το βάρος του δοκιμίου (φυσικό, ξηρό, κορεσμού)

V : ο όγκος του δοκιμίου

γ : το φαινόμενο βάρος (φυσικό, ξηρό, κορεσμού)

4.2.4.5 Προσδιορισμός υγρασίας δοκιμίου

Ο προσδιορισμός της υγρασίας του δοκιμίου γίνεται αφού υπολογίσουμε το βάρος του δοκιμίου ως έχει και του ξηρού δοκιμίου (δια ξηράνσεως έως σταθερού βάρους σε θερμοκρασία το πολύ 100 °C).

Η υγρασία υπολογίζεται από την σχέση :

$$w = \frac{B_{\Phi\psi\sigma\iota\kappa\omicron} - B_{\Xi\eta\rho\omicron}}{B_{\Xi\eta\rho\omicron}} \times 100 \quad [\%]$$

όπου :

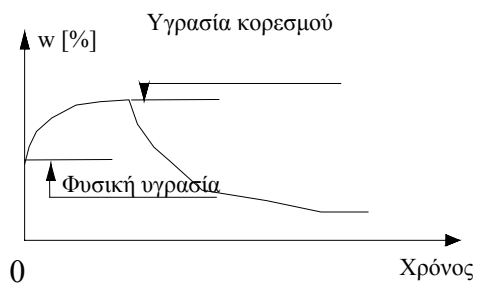
$B_{\Phi\psi\sigma\iota\kappa\omicron}$: το Φυσικό βάρος του δοκιμίου

$B_{\Xi\eta\rho\omicron}$: το Ξηρό βάρος του δοκιμίου

w : υγρασία του δοκιμίου

4.2.4.6 Προσδιορισμός υδατοαπορροφητικότητας

Ο προσδιορισμός της υδατοαπορροφητικότητας γίνεται με εμβαπτισμό του δοκιμίου σε δοχείο μέχρι να σταθεροποιηθεί το βάρος. Το νερό πρέπει να καλύπτει το δοκίμιο το πολύ 20mm. Η ζύγιση γίνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα μέχρι να σταθεροποιηθεί το βάρος του δοκιμίου. Στην συνέχεια γίνεται ξήρανση του δοκιμίου σε θερμοκρασία το πολύ 100°C έως σταθερού βάρους με ταυτόχρονη ζύγιση ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Συντάσσεται το διάγραμμα μεταβολής της υγρασίας συναρτήσει του χρόνου από το οποίο προσδιορίζεται η φυσική υγρασία, η υγρασία κορεσμού καθώς και ο ρυθμός προσρόφησης ή αποβολής υγρασίας. Τα διαγράμματα αυτά ποιοτικά έχουν την μορφή που φαίνεται στο σχήμα, Σχ. 4.2.4.6.1



Σχ. 4.2.4.6.1

4.2.4.7 Βαθμονόμηση των έμμεσων μεθόδων (κρουσίμετρο και υπέρηχοι)

Οι μετρήσεις αυτές γίνονται στο εργαστήριο για βαθμονόμηση των έμμεσων μεθόδων (κρουσίμετρο υπέρηχοι).

Υπέρηχοι: Οι υπέρηχοι είναι δυνατόν να βαθμονομηθούν είτε στο έργο είτε στο εργαστήριο. Στο μεν έργο με μετρήσεις υπερήχων στα δομικά στοιχεία από τα οποία, ταυτοχρόνως, αποκόπτονται πυρήνες, στο δε εργαστήριο ως εξής: μετά την αποκοπή των άκρων των πυρήνων, και πριν το καπέλωμά τους, γίνεται μέτρηση του χρόνου διαδόσεως του κύματος και με γνωστή την απόσταση πομπού - δέκτη, υπολογίζεται η ταχύτητα μετάδοσης του κύματος. Ο πομπός και ο δέκτης τοποθετούνται κατά τον άξονα του δοκιμίου. Τα δοκίμια αφού καθαρισθούν με ιδιαίτερη προσοχή ούτως ώστε οι επιφάνειες φορτίσεως να είναι καθαρές και πλήρως απαλλαγμένες από γράσα, λάδια και λοιπές λιπαντικές ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν κατά την μέτρηση του χρόνου διαδόσεως του κύματος, δοκιμάζονται σε θλίψη ή διάρρηξη. Τα στοιχεία αυτά είναι πολύτιμα συνδυαζόμενα και με όσα αναφέρονται στην παράγραφο 4.3, για την αξιολόγηση των επιτόπου μετρήσεων.

Κρουσίμετρο: Το κρουσίμετρο βαθμονομείται με λήψη μετρήσεων επί τόπου του έργου από τις ίδιες θέσεις όπου λαμβάνονται πυρήνες (πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι παράγοντες που επηρεάζουν τις ενδείξεις του κρουσιμέτρου)

4.2.4.8 Έλεγχος μάζας δομικού στοιχείου

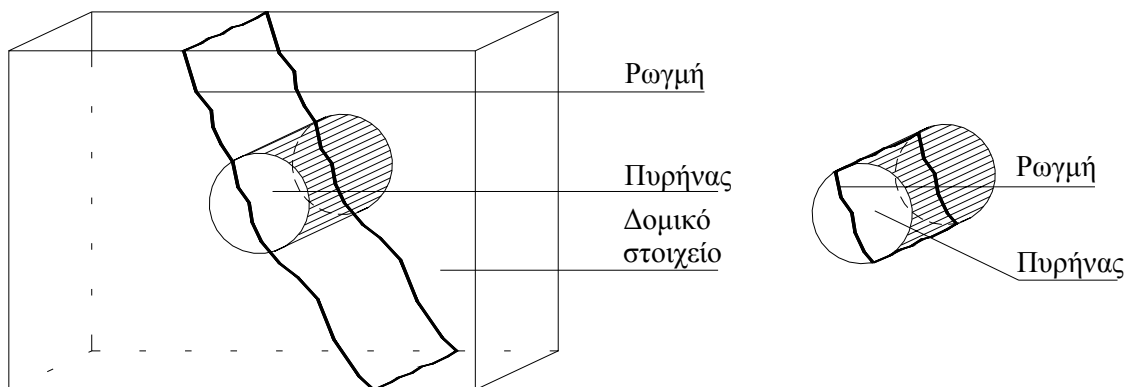
Τα δείγματα που λαμβάνονται από μια κατασκευή ελέγχονται μακροσκοπικά ως προς την ομοιογένεια, ομοιομορφία εσωτερική δομή κλπ. Στο Σχ. 4.2.4.8.1 δίνονται χαρακτηριστικές φωτογραφίες από δειγματοληψία σε τοιχοποιία.



Σχ. 4.2.4.8.1 Πυρήνες από τοιχοποιία.

4.2.4.9 Αποτελεσματικότητα επεμβάσεων

Ο τρόπος ελέγχου αφορά αποκλειστικά περιπτώσεις όπου έχουν γίνει εργασίες επεμβάσεων με εισπίεση ενέσεων κόλλας (εποξειδικών ή ακρυλικών ρητινών) σε στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα ή εισπίεση ενεμάτων σε κτίρια από τοιχοποιία, είτε για εμποτισμό μάζας, είτε για πλήρωση ρωγμών Σχ. 4.2.4.9.1, Σχ. 4.2.4.9.2. Ο έλεγχος αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων (πλήρωση ρωγμών, κενών) ελέγχεται με αποκοπή πυρήνων, για μεν τα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος ελάχιστης δυνατής διαμέτρου, για δε τα στοιχεία από τοιχοποιία διαμέτρου 10 έως 20 cm, και μήκους ανάλογα με το μήκος του στοιχείου. Η ελάχιστη απαίτηση, για να χαρακτηριστεί αποτελεσματική η επέμβαση, είναι να έχει πληρωθεί το 90 % του ορατού στον πυρήνα μήκος της ρωγμής. Αν το μήκος της ρωγμής είναι $L=d+h+d+h$, θεωρείται αποτελεσματική η επέμβαση όταν έχει πληρωθεί το 90 % του L , όπου : d = διάμετρος του πυρήνα και h = ύψος του πυρήνα.



Σχ. 4.2.4.9.1



Σχ. 4.2.4.9.2 Δοκίμιο από τοιχοποιία στην οποία είχαν γίνει ενέματα ομογενοποίησης μάζας

4.2.4.10 Έλεγχος συγκολλήσεως παλαιού δομικού στοιχείου με μανδύα

Ο έλεγχος συγκολλήσεως παλιού δομικού στοιχείου, με μανδύα σκυροδέματος (έγχυτο ή εκτοξευόμενο) γίνεται τόσο επί τόπου του έργου όσο και στο εργαστήριο. Και στις δύο περιπτώσεις απαιτείται ή λήψη δοκιμίων (πυρήνων) τουλάχιστον 15 μέρες μετά την επέμβαση. Η διάμετρος του δοκιμίου είναι 10 cm περίπου.

4.3 Μέθοδος τασικών κυμάτων - Υπέρηχοι

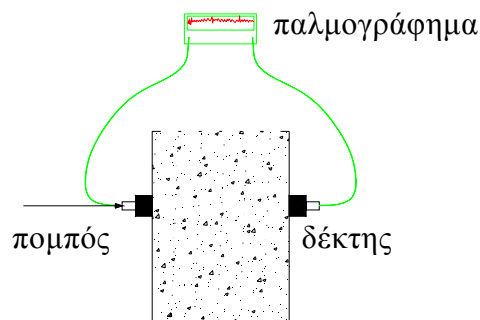
Διάφορες μέθοδοι βασισμένες στην διάδοση (τασικών) κυμάτων διαμέσου του σκυροδέματος χρησιμοποιούνται για τον μη καταστροφικό έλεγχο κατασκευών από σκυρόδεμα και τοιχοποιία. Στις μεθόδους αυτές ανήκουν η μέθοδος των υπερήχων καθώς και μια σειρά μεθόδων που βασίζονται στην ηχώ («αντήρηση», «αντίλαλο») εξ αντανάκλασεως υπερηχητικών ή κρουστικών κυμάτων.

Η μέθοδος των υπερήχων⁶ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της ομοιομορφίας ενός στοιχείου, τον εντοπισμό ανωμαλιών (ύπαρξη ρωγμών, κοιλοτήτων, πάχος στρώματος που έχει υποστεί φθορά), την αποτίμηση του μέτρου ελαστικότητας, ενώ ύστερα από κατάλληλη βαθμονόμηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος. Οι κρουστικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται συνήθως όταν δεν είναι προσπελάσιμες οι δύο πλευρές ενός στοιχείου για την εκτίμηση του πάχους ή του μήκους ενός στοιχείου (π.χ. πλάκα επί εδάφους, έγχυτος πάσσαλος) και για τον προσδιορισμό ανωμαλιών στην μάζα του σκυροδέματος.

Τασικά κύματα εμφανίζονται όταν μια πίεση ή μια παραμόρφωση εφαρμόζονται απότομα, π.χ. με κρούση, στην επιφάνεια ενός στερεού. Η διαταραχή διαδίδεται δια μέσου του στερεού όπως τα ηχητικά κύματα στον αέρα. Η ταχύτητα διαδόσεως των τασικών κυμάτων σε ένα στερεό είναι συνάρτηση του μέτρου ελαστικότητας, του λόγου του Poisson, της πυκνότητας και της γεωμετρίας του στερεού. Η εξάρτηση αυτή επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τα χαρακτηριστικά του στερεού παρακολουθώντας την διάδοση των τασικών κυμάτων δια μέσου του στερεού.

Μέθοδος των υπερήχων

Είναι μια έμμεση μή καταστροφική μέθοδος. Τα κύρια στοιχεία της συσκευής των υπερήχων φαίνονται στο σχήμα 4.3.1: η συσκευή αποτελείται από δύο κρυστάλλους εκ των οποίων ο ένας είναι πομπός και ο άλλος δέκτης. Οι δύο κρύσταλλοι τοποθετούνται αντικριστά σε δύο παράλληλες επιφάνειες του υπό εξέταση στοιχείου.

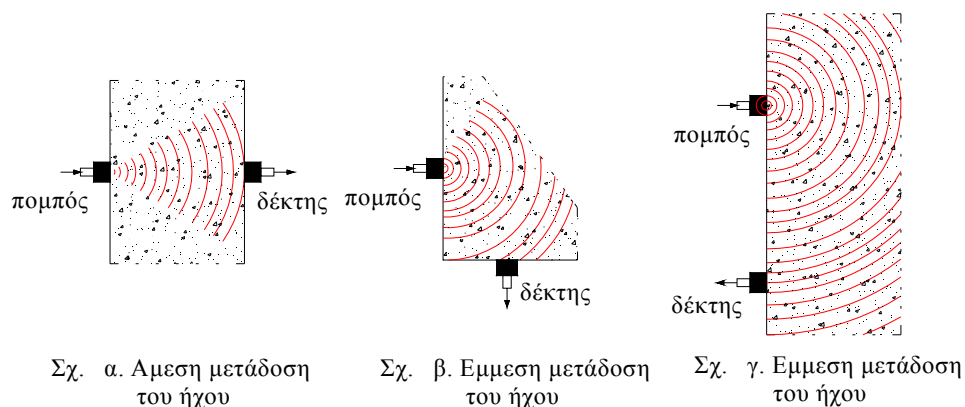


Σχ. 4.3.1 Διάταξη συσκευής υπερήχων

Οι κρύσταλλοι αποτελούνται από πιεζοηλεκτρικά κεραμικά στοιχεία τα οποία αλλάζουν μέγεθος όταν τους εφαρμόζεται ηλεκτρικό ρεύμα ή παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα όταν αλλάζουν μέγεθος. Η επιβολή κατάλληλου ρεύματος έχει ως συνέπεια ο κρύσταλλος πομπός να πάλλεται με την φυσική του συχνότητα. Η ταλάντωση του κρυστάλλου παράγει τασικά κύματα τα οποία διαδίδονται δια μέσου του σκυροδέματος. Εν τω μεταξύ, ταυτόχρονα με την δημιουργία του παλμού του ηλεκτρικού ρεύματος, ένα ηλεκτρονικό χρονόμετρο ακριβείας τίθεται σε λειτουργία. Μόλις ο παλμός φθάσει στον δέκτη παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο σταματά το χρονόμετρο και στην οθόνη της συσκευής αναγράφεται ο αντίστοιχος χρόνος. Αν το πάχος του δοκιμίου είναι ίσο με L , ο χρόνος που χρειάστηκε το υπερηχητικό κύμα για να το διανύσει T , τότε η ταχύτητα των υπερήχων V (συνήθως σε km/s) δίνεται απ' τον τύπο: $V=L/T$.

Μετρήσεις με την μέθοδο των υπερήχων μπορούν να γίνουν με τρεις τρόπους (βλ. Σχ 4.3.2). Ο πρώτος είναι τοποθετώντας τους δύο κρυστάλλους σε δύο αντικριστές πλευρές του προς εξέταση δοκιμίου (direct transmission), (βλ. Σχ 4.3.2α) ο δεύτερος τοποθετώντας-τους σε δύο κάθετες μεταξύ τους πλευρές (semi-direct transmission), (βλ. Σχ 4.3.2β) ενώ στον τρίτο οι κρύσταλλοι τοποθετούνται στην μοναδική προσιτή πλευρά του δομικού στοιχείου (indirect or surface transmission) (βλ. Σχ 4.3.2γ).

⁶ Η μέθοδος των υπερήχων αναφέρεται σε κύματα που είναι πάνω από την ακουστική περιοχή ~20kHz.



Σχ.4.3.2 Τρόποι εφαρμογής μεθόδου υπερήχων

Όπως γίνεται εύκολα κατανοητό ο πρώτος τρόπος μετρήσεως της ταχύτητας των υπερήχων είναι ο περισσότερο ακριβής, επειδή με την τοποθέτηση των κρυστάλλων αντικριστά επιτυγχάνεται η μεταφορά της μέγιστης ενέργειας απ' τον πομπό στον δέκτη, ενώ ταυτόχρονα η μέτρηση του, διανυόμενου απ' το υπερηχητικό κύμα, μήκους του δομικού στοιχείου γίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια. Η ακρίβεια των μετρήσεων με τον δεύτερο τρόπο παρουσιάζεται μειωμένη, καθώς είναι δύσκολο να προσδιοριστεί επακριβώς η πορεία που διατρέχει το ηχητικό κύμα μέσα στην μάζα του σκυροδέματος και άρα δύσκολο να μετρηθεί το μήκος L . Για την απλούστευση των ενεργειών μας θεωρείται ότι το μήκος L που διανύει το κύμα είναι ίσο με την απόσταση μεταξύ των κέντρων των δύο κρυστάλλων. Ο τρίτος τρόπος χρησιμοποιείται όταν είναι προσιτή η μία μόνον πλευρά του προς εξέταση δοκιμίου, ή όταν αναζητείται το βάθος μιας επιφανειακής ρωγμής, ή τέλος όταν υπάρχουν υποψίες για διαφοροποίηση της ποιότητας του σκυροδέματος απ' την επιφάνεια προς το κέντρο του στοιχείου.

Για την καλύτερη επαφή των κρυστάλλων στην επιφάνεια του σκυροδέματος χρησιμοποιείται λιπαντική ουσία, η οποία καλύπτει τις ατέλειες της εξωτερικής επιφάνειας του στοιχείου. Η λιπαντική ουσία μπορεί να είναι γράσο, βαζελίνη ή γενικά κάποιο παράγωγο του πετρελαίου. Πρέπει να τοποθετείται σε μικρή ποσότητα γιατί διαφορετικά προκαλεί αθέλητες διαφοροποιήσεις στην μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων. Οι διαφοροποιήσεις αυτές οφείλονται στο γεγονός ότι η ταχύτητα διαδόσεως των υπερήχων είναι διαφορετική στο σκυροδέμα από ότι στην χρησιμοποιούμενη λιπαντική ουσία. Παράλληλα με την χρήση των ανωτέρω λιπαντικών ουσιών, κατά την διάρκεια της μέτρησης, θα πρέπει οι κρύσταλλοι να πιέζονται με μεγάλη δύναμη πάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Στην περίπτωση που οι εξωτερικές επιφάνειες του σκυροδέματος είναι πολύ ανώμαλες θα πρέπει, πριν την τοποθέτηση της λιπαντικής ουσίας, να γίνεται επιπέδωση των επιφανειών με την χρήση ηλεκτρικού περιστροφικού τριβείου.

Η ιδιοσυχνότητα των κρυστάλλων είναι συνήθως 50kHz. Γενικώς μικρότερης συχνότητας κρύσταλλοι (20kHz) χρησιμοποιούνται σε στοιχεία με μεγάλη μάζα σκυροδέματος, ενώ μεγαλύτερης συχνότητας κρύσταλλοι (>100kHz) χρησιμοποιούνται σε στοιχεία μικρού πάχους όταν απαιτείται ακριβέστερη μέτρηση του χρόνου διαδόσεως.

Πριν από κάθε μέτρηση της ταχύτητας των υπερήχων πρέπει να ελέγχεται η ένδειξη του οργάνου. Για άμεση επαφή των δύο κρυστάλλων η ένδειξη πρέπει να είναι μηδέν, ενώ αν χρησιμοποιείται η ειδική ράβδος βαθμονομήσεως πρέπει να είναι τόση όση αναγράφεται στην ράβδο. Η ακρίβεια πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ $\pm 1\%$ κατά ISO DIS 8047 (1982) ή $\pm 2\%$ κατά ASTM C597 (1983).

Παράγοντες που επηρεάζουν την μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων:

Υγρασία: Όταν, στο δοκιμαζόμενο στοιχείο, το ποσοστό υγρασίας είναι υψηλό παρατηρείται μια αύξηση της μετρούμενης ταχύτητας των υπερήχων ISO DIS 8047(1982). Ο Λογοθέτης (1979) συνιστά τη χρήση των διορθωτικών συντελεστών που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 4.13:

Πίνακας 4.13 Επίδραση της συντήρησης στην ταχύτητα των υπερήχων

Συντήρηση Σκυροδέματος	Διορθωτικός Συντελεστής (πολλαπλασιάζεται η μετρηθείσα ταχύτητα)
Σε ξηρό αέρα	1.03
Συμβατική	1.00
Στο νερό	0.97

Θερμοκρασία του Σκυροδέματος: Έχει παρατηρηθεί ότι όταν η θερμοκρασία κυμαίνεται από +5°C έως +30°C δεν παρατηρείται καμία σημαντική διαφοροποίηση στην μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων (ISO DIS 8047 (1982), RILEM NDT1 (1972)). Αντίθετα, όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη από +5°C παρατηρείται αύξηση της ταχύτητας των υπερήχων επειδή το ύδωρ των πόρων μετατρέπεται σε πάγο, ενώ όταν η θερμοκρασία είναι υψηλότερη από +30°C παρατηρείται μείωση της ταχύτητας των υπερήχων η οποία πιθανόν προέρχεται από τις εσωτερικές μικρορηγματώσεις που σημειώνονται στην μάζα του σκυροδέματος σ' αυτές τις θερμοκρασίες. Στον πίνακα 4.14 δίνονται οι διορθωτικοί συντελεστές, με τους οποίους προσυζηξάνεται (ή μειώνεται) η μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων, όταν η θερμοκρασία βρίσκεται εκτός του διαστήματος +5°C έως +30°C.

Πίνακας 4.14 Επίδραση της θερμοκρασίας σκυροδέματος στην ταχύτητα των υπερήχων κατά RILEM NDT1 (1972).

Θερμοκρασία	Διόρθωση της μετρούμενης ταχύτητας των υπερήχων	
	Ξηρές συνθήκες	Υγρές συνθήκες
°C	%	%
60	+5.0	+4.0
40	+2.0	+1.7
20	±0.0	±0.0
0	-0.5	-1.0
-4	-1.5	-7.5

Μήκος Διαδρομής (path length): Το B.S. 1881/203 (1986) δίνει ότι το ελάχιστο μήκος διαδρομής πρέπει να είναι ίσο με 100mm για σκυροδέματα με μέγιστο μέγεθος αδρανούς 20mm και ίσο με 150mm για μέγιστο μέγεθος αδρανούς μεταξύ 20mm και 40mm. Στο ISO DIS 8047 (1982) αναφέρεται ότι το ελάχιστο μήκος διαδρομής θα πρέπει να είναι πενταπλάσιο του μέγιστου κόκκου αδρανών, και σε καμία περίπτωση μικρότερο των 150mm. Είναι όμως δυνατό, όπως αναφέρεται στο ASTM C597 (1983), το μήκος διαδρομής να κυμαίνεται από 50mm έως 15m. Το ανώτερο όριο του μήκους διαδρομής εξαρτάται απ' την κατάσταση της εξωτερικής επιφάνειας του στοιχείου, όπως επίσης και από τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος από το οποίο είναι κατασκευασμένο. Πρέπει να τονιστεί ότι για μεγάλα μήκη απαιτούνται συχνότητες της τάξεως των 20kHz, ενώ αντίθετα για μικρά μήκη οι συχνότητες μπορούν να φτάσουν και τα 200kHz. Στην δημοσίευση της RILEM NDT1 (1972) για τις μη καταστρεπτικές μεθόδους, δίνεται ο πίνακας 4.15 για την επιλογή της συχνότητας ανάλογα με το μήκος διαδρομής.

Πίνακας 4.15 Απαιτούμενη συχνότητα οργάνου συναρτήσει του μήκους διαδρομής των υπερήχων RILEM NDT1 (1972).

Μήκος διαδρομής (mm)	Συχνότητα (kHz)	Ελάχιστη εγκάρσια απόσταση (mm)
100 – 700	>60	70
200 – 1500	>40	150
>1500	>20	300

Σχήμα και Διαστάσεις δοκιμίου: Η ταχύτητα των υπερήχων δεν εξαρτάται από το σχήμα και τις διαστάσεις των δοκιμαζόμενων στοιχείων, εκτός και αν η διάσταση είναι μικρότερη από την επιτρεπόμενη. Όταν η διάσταση του δοκιμίου είναι μικρή, τότε έχουμε μία μείωση και στην ταχύτητα των υπερήχων. Η μείωση αυτή εξαρτάται κυρίως από τον λόγο του μήκους κύματος προς την ελάχιστη διάσταση του δοκιμίου. Στον πίνακα 4.16 φαίνεται η συνιστώμενη ελάχιστη διάσταση του δοκιμίου συναρτήσει της συχνότητας του οργάνου και της ταχύτητας των υπερήχων κατά το BSI 1881/203 (1986).

Πίνακας 4.16 Ελάχιστη διάσταση δοκιμίου συναρτήσει της συχνότητας του οργάνου.

Συχνότητα (kHz)	Ελάχιστη επιτρεπόμενη διάσταση δοκιμίου (mm)		
	Ταχύτητα υπερήχων (km/s)		
	3.5	4.0	4.5
24	146	167	188
54	65	74	83
82	43	49	55
150	23	27	30

Ράβδοι Οπλισμού: Η μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων, στις περιοχές των δομικών στοιχείων που περιέχουν ράβδους οπλισμού, είναι συνήθως υψηλότερη σε σχέση με την ταχύτητα που μετράται σε περιοχές ελεύθερες από οπλισμό. Η αύξηση αυτή δικαιολογείται από το γεγονός ότι στον χάλυβα η ταχύτητα των υπερήχων είναι από 1.2 έως 2.0 φορές μεγαλύτερη από την ταχύτητα στο σκυρόδεμα. Η παρατηρούμενη αύξηση εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό των ράβδων οπλισμού, την διάμετρό τους και την απόσταση του κέντρου των κρυστάλλων από τον διαμήκη άξονα των ράβδων (RILEM NDT1 1972, BSI 181/203 1986, ISO DIS 8047, 1982). Άλλοι παράγοντες που μπορούν να οδηγήσουν στην αύξηση της ταχύτητας των υπερήχων είναι ακόμη η συχνότητα των υπερήχων και η κατάσταση της εξωτερικής επιφάνειας των ράβδων του οπλισμού. Επιγραμματικά μπορεί να αναφερθεί ότι το σύνολο των ερευνητών συνιστούν να αποφεύγονται να γίνονται μετρήσεις σε περιοχές με υψηλό ποσοστό οπλισμού και κυρίως παράλληλα προς αυτούς. Όταν όμως τέτοιες μετρήσεις είναι αναπόφευκτες, τότε, κατά την RILEM NDT1 (1972), τα αποτελέσματα των μετρήσεων θα πρέπει να διορθώνονται σύμφωνα με τα παρακάτω:

α) Αξονες οπλισμών κάθετοι προς την διεύθυνση μετρήσεως:

$$v_c/v = (1-L_s/L)/[1-L_s*v/(L*v_s)]$$

όπου:

v_c : η διορθωμένη ταχύτητα των υπερήχων

v : η ταχύτητα των υπερήχων στο οπλισμένο σκυρόδεμα (η ταχύτητα που μετράμε).

v_s : η ταχύτητα των υπερήχων στον χάλυβα από 5.2km/sec έως 6.0km/sec.

L : το πάχος του στοιχείου που εξετάζουμε.

$L_s = \Sigma \Phi_i$ το συνολικό μήκος της διαδρομής μέσα από τους χάλυβες.

β) Αξονες οπλισμών παράλληλοι προς την διεύθυνση μετρήσεως:

Ο διορθωτικός συντελεστής εξαρτάται: i) από την απόσταση μεταξύ του άξονα διαδρομής του κύματος και την ράβδο οπλισμού, καθώς και ii) από την ταχύτητα των υπερήχων στο καθαρό από οπλισμούς σκυρόδεμα.

Η ταχύτητα διαδόσεως των υπερήχων στο σκυρόδεμα v_c δίνεται από την σχέση:

$$\frac{v_c}{v} = \frac{v_c}{v_s} + 2 \cdot \frac{a}{L} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v_c}{v_s}\right)^2}$$

για $4\{a/L\}^2 < (V_s - V_c)/(V_s + V_c)$

όπου:

v : η ταχύτητα των υπερήχων στο οπλισμένο σκυρόδεμα (η ταχύτητα που μετράμε).

v_c : η ταχύτητα των υπερήχων στο καθαρό σκυρόδεμα.

v_s : η ταχύτητα των υπερήχων στον χάλυβα (σε km/s)

a : η απόσταση μεταξύ της ράβδου οπλισμού και του πλησιέστερου κρυστάλλου

L : το μήκος διαδρομής

Η επίδραση των οπλισμών μηδενίζεται όταν $4\{a/L\}^2 > (V_s - V_c)/(V_s + V_c)$.

Εντατική κατάσταση του σκυροδέματος: Η ταχύτητα των υπερήχων αυξάνει ελαφρά όταν το σκυρόδεμα φορτίζεται προοδευτικά σε χαμηλά επίπεδα, αλλά μειώνεται απότομα όταν η εξωτερική τάση γίνει ίση με το 70% της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος (Poronics - Poronics 1991). Το φαινόμενο αυτό ερμηνεύεται απ' το γεγονός ότι με την προοδευτική αύξηση της τάσεως μειώνονται τα κενά στην μάζα του σκυροδέματος, με αποτέλεσμα να έχουμε μικρότερους χρόνους διαδόσεως των υπερήχων. Αντίθετα όταν η τάση είναι μεγάλη και εφαρμοστεί απότομα, τότε δημιουργούνται ρωγμές στη μάζα του σκυροδέματος, με συνέπεια να έχουμε αύξηση του χρόνου διαδόσεως των υπερηχητικών κυμάτων. Ο Λογοθέτης (1979) αναφέρει ότι τόσο η εντατική κατάσταση του σκυροδέματος, όσο και ο αριθμός των κύκλων φορτίσεως και αποφορτίσεως σε υψηλές τάσεις επηρεάζουν την ταχύτητα των υπερήχων, (αύξηση των τάσεων προκαλεί μείωση της ταχύτητας «ν». Στον πίνακα 4.17 δίνονται οι αναγκαίες διορθώσεις που πρέπει να γίνονται για κάθε περίπτωση. Οι τιμές που παρατίθενται πρέπει να προστίθενται στις μετρούμενες ταχύτητες.

Πίνακας 4.17 Διόρθωση της ταχύτητας των υπερήχων συναρτήσει της εντατικής καταστάσεως (Λογοθέτης 1979).

Σκυρόδεμα	Κύκλος φορτίσεως	σ/f_c	$\Delta V/V$
Πρωτοφορτιζόμενο	1 ^{ος}	0.0-0.4	0
		0.4-0.6	0.06* σ/f_c
		0.6-0.8	{0.04+0.2[(σ/f_c)-0.6]}
Προφορτισθέν και πλήρως αποφορτισθέν	2 ^{ος}	0.0-0.5	4%
	3 ^{ος}		6%
	4 ^{ος}		8%

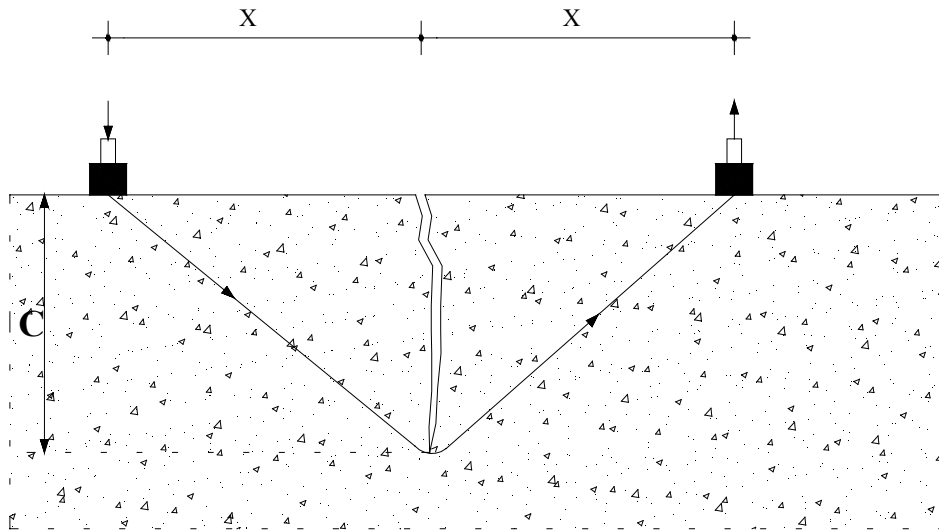
Εκτίμηση του βάθους ρωγμής ή του πάχους κατεστραμμένου επιφανειακού στρώματος: Η μέθοδος των υπερήχων, εκτός από την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος, βοηθάει ακόμη στον προσδιορισμό της ύπαρξης και του μεγέθους κατασκευαστικών σφαλμάτων, ρωγμών και πόρων μέσα στην μάζα του σκυροδέματος (BSI 1881/203 1986, RILEM NDT1 1972). Η ύπαρξη μίας ρωγμής μπορεί να διαπιστωθεί μόνο όταν το μήκος της είναι μεγαλύτερο από το πλάτος του κρυστάλλου-πομπού ή μεγαλύτερο από το μήκος κύματος του υπερήχου που χρησιμοποιείται. Αν υπάρχει ρωγμή τέτοιων διαστάσεων μέσα σε ένα δομικό στοιχείο, τότε όταν τοποθετηθούν οι κρύσταλλοι κατά μήκος του άξονα του, ο χρόνος διαδόσεως του υπερηχητικού κύματος παρουσιάζεται σημαντικά αυξημένος σε σχέση με τον χρόνο διαδόσεως που παρατηρείται όταν τοποθετήσουμε τους κρυστάλλους σε γειτονικές θέσεις χωρίς ρωγμές. Για να είναι οι μετρηθέντες χρόνοι συγκρίσιμοι, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ομοιογένεια του

σκυροδέματος του εξεταζόμενου στοιχείου. Η εκτίμηση του βάθους μιας επιφανειακής ρωγμής, κάθετης στην επιφάνεια, μπορεί να γίνει τοποθετώντας τους κρυστάλλους όπως φαίνεται στο Σχ. 4.3.3. Δίνουμε στο L τις τιμές 150mm και 300mm και μετράμε τους χρόνους διαδόσεως των υπερήχων t_1 και t_2 . Χρησιμοποιώντας αυτές τις τιμές υπολογίζουμε το βάθος της ρωγμής C (σε mm) ως εξής: $(C/150)^2 = [4t_1^2 - t_2^2] / [t_2^2 - t_1^2]$

όπου:

t_1 : ο χρόνος διαδόσεως για L=150mm

t_2 : ο χρόνος διαδόσεως για L=300mm

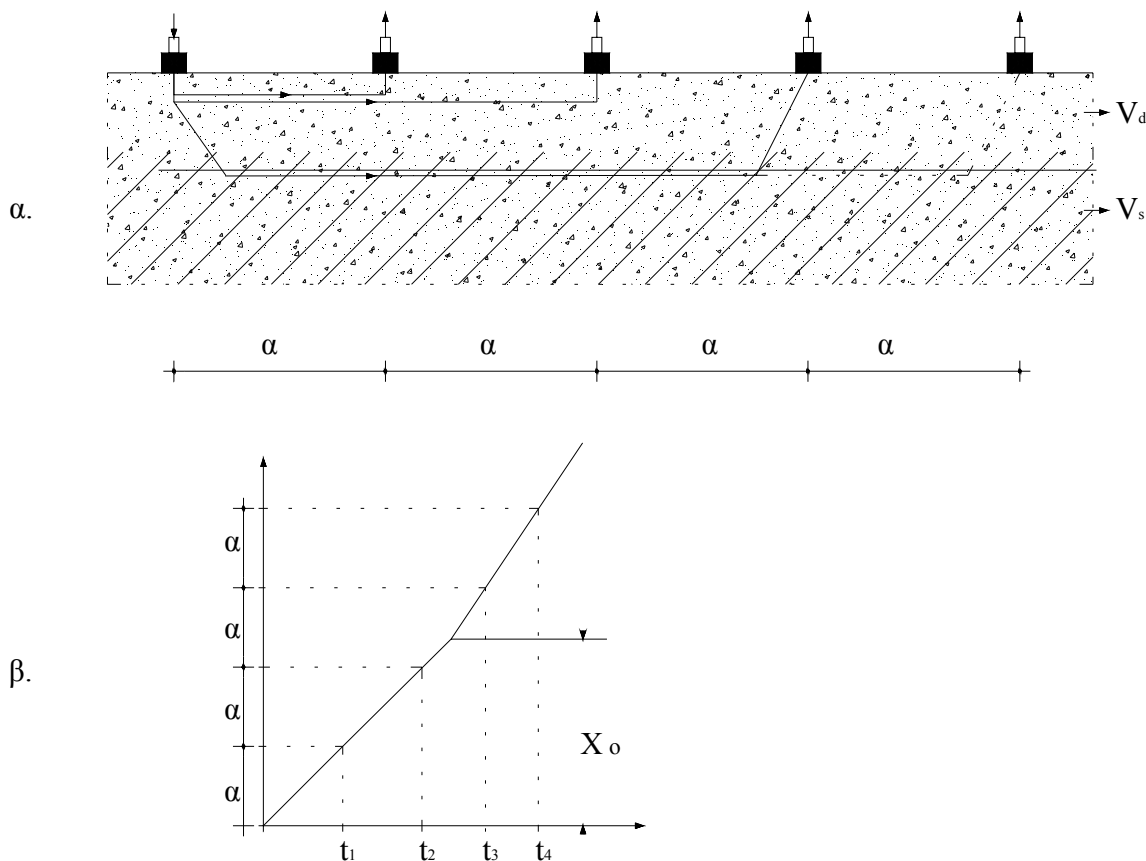


Σχ. 4.3.3 Εκτίμηση βάθους ρωγμής

Η ύπαρξη εσωτερικών ρωγμών ή κενών προκαλούν περίθλαση των υπερήχων με αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου διαδόσεως των υπερήχων. Ετσι, αν δεν είναι γνωστή η εσωτερική κατάσταση του στοιχείου, η φαινομενικά μειωμένη ταχύτητα των υπερήχων, μπορεί να θεωρηθεί ότι οφείλεται στην μειωμένη αντοχή του σκυροδέματος Σχ. 4.3.3.

Η ίδια τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του πάχους του επιφανειακού στρώματος το οποίο επηρεάστηκε από μια πυρκαγιά ή παγετό με αποτέλεσμα να έχει μικρότερη ταχύτητα διαδόσεως από ότι το υποκείμενο υγιές στρώμα. Η μέτρηση εκτελείται μετρώντας τον χρόνο διαδόσεως των υπερήχων ως συνάρτηση της αποστάσεως μεταξύ των δύο κρυστάλλων πομπού και δέκτη. Γίνεται η υπόθεση ότι τα κύματα φθάνουν στον δέκτη κατά μήκος δύο διαδρομών: η διαδρομή 1 είναι ευθεία κατά μήκος του κατεστραμμένου σκυροδέματος και η διαδρομή 2 είναι τεθλασμένη διαμέσου του κατεστραμμένου - του υγιούς και ξανά του κατεστραμμένου σκυροδέματος. Για μικρές αποστάσεις μεταξύ των δύο κρυστάλλων συντομότερη είναι η διαδρομή 1, ενώ για μεγαλύτερες αποστάσεις συντομότερη είναι η διαδρομή 2 (Σχ.4.3.4α). Κάνοντας την γραφική παράσταση του χρόνου διαδόσεως συναρτήσει της αποστάσεως «x» των κρυστάλλων, η ύπαρξη κατεστραμμένης επιφάνειας φαίνεται από την αλλαγή της κλίσεως των δεδομένων (Σχ.4.3.4β). Η απόσταση x_0 όπου οι χρόνοι διαδόσεως των δύο διαδρομών είναι ίσοι βρίσκεται από την τομή των δύο ευθειών όπως φαίνεται στο Σχ. 4.3.4. Από τις κλίσεις των ευθειών υπολογίζονται οι ταχύτητες των υπερήχων στο κατεστραμμένο και στο υγιές σκυρόδεμα, v_d και v_s αντίστοιχα. Το πάχος του κατεστραμμένου στρώματος βρίσκεται από την σχέση (Chung και Law, 1985):

$$d = \frac{x_0}{2} \sqrt{\frac{v_s - v_d}{v_s + v_d}}$$



Σχ. 4.3.4 Εκτίμηση πάχους κατεστραμμένου επιφανειακού στρώματος με την μέθοδο των υπερήχων.

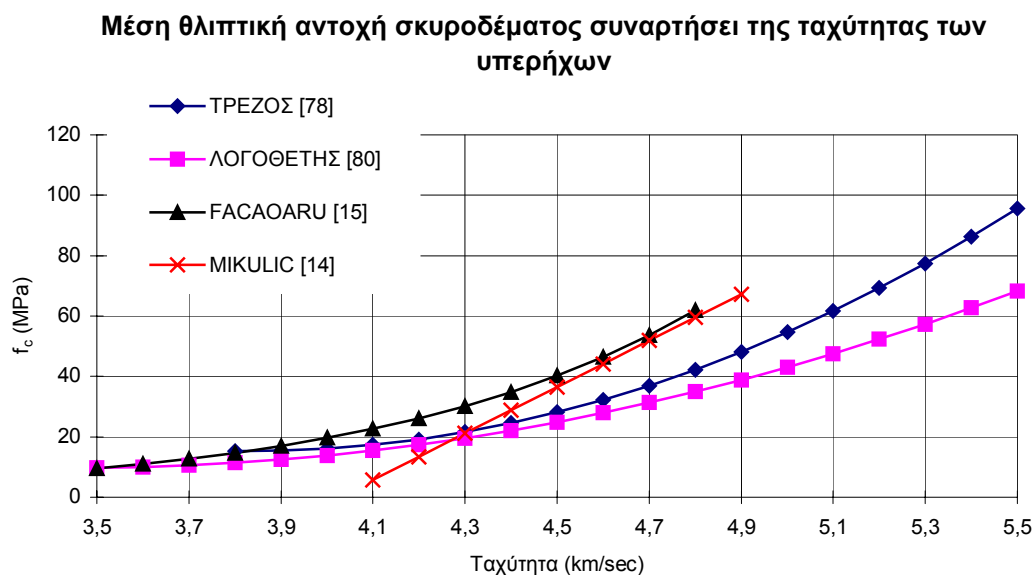
Βεβαίως η μέθοδος είναι εφαρμόσιμη όταν το εξωτερικό στρώμα έχει μικρότερη ταχύτητα διαδόσεως των υπερήχων από ότι το εσωτερικό στρώμα.

Συσχέτιση αντοχής συμβατικών δοκιμών και ταχύτητας υπερήχων.

Στο Σχ. 4.3.5 που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκριτικά διάφορες καμπύλες που έχουν προταθεί στην διεθνή βιβλιογραφία και οι οποίες συσχετίζουν την ταχύτητα των υπερήχων με την μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. Πάντως σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά: το διάστημα εμπιστοσύνης 90% μπορεί να εκτείνεται μέχρι και $\pm 0.25f_{cm}$ εκατέρωθεν των μέσων καμπυλών.

Γι' αυτό δεν συνιστάται η άμεση εφαρμογή των καμπυλών αυτών χωρίς προηγούμενη βαθμονόμηση.

Η βαθμονόμηση μπορεί να γίνει με την παρασκευή ειδικών δοκιμών (με διαφορετικές αντοχές) προκειμένου για έλεγχο σκυροδέματος το οποίο δεν έχει ακόμη παραχθεί. Τα δοκίμια που θα χρησιμοποιηθούν (κυβικά ή κυλινδρικά) πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο μεγάλα, ούτως ώστε να εξαφανιστεί η επίδραση του μεγέθους από τα αποτελέσματα. Κύβοι 15cm ή μεγαλύτεροι πρέπει να προτιμώνται. Είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται δοκίμια με ξηρές επιφάνειες. Σε περίπτωση που έχουν συντηρηθεί σε υγρές συνθήκες θα πρέπει να μεταφέρονται για 2 ημέρες πριν τη δοκιμή σε συνθήκες εργαστηρίου. Σε κάθε κυβικό δοκίμιο πρέπει να γίνονται δύο μετρήσεις σε δύο κάθετες διευθύνσεις και λαμβάνεται ο μέσος όρος. Αν δεν είναι εφικτή η παρασκευή ειδικών δοκιμών (π.χ. στην περίπτωση ελέγχου υπάρχουσών κατασκευών) τότε η βαθμονόμηση μπορεί να γίνει με πυρήνες που λαμβάνονται από την κατασκευή που πρόκειται να ελεγχθεί. Στα αποτελέσματα προσαρμόζεται με παλινδρόμηση παραβολική ή εκθετική σχέση της μορφής: $f_c = av^2 + bv + c$ ή $f_c = ae^{bv}$ αντιστοίχως.



Σχ. 4.3.5 Συσχέτιση μέσης θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος με ταχύτητα υπερήχων

Στον επόμενο πίνακα 4.18 δίνονται στοιχεία από την διεθνή βιβλιογραφία (A. Neville 1975 & Taywood Eng. Ltd 1986) για ποιοτική κατάταξη του σκυροδέματος αναλόγως των ενδείξεων των υπερήχων.

Πίνακας 4.18

A/a	Ταχύτητα Υπερήχων v [km/s]	Ποιότητα
1	> 4,500	Εξαιρετική
2	3,500 ÷ 4,500	Καλή
3	2,500 ÷ 3,500	Μέτρια
4	< 2,500	Κακή
5	< 2,000	Απόμειξη, ρωγμές

Παρακολούθηση της εξελίξεως της αντοχής του σκυροδέματος: Η μέθοδος των υπερήχων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της εξελίξεως της αντοχής του σκυροδέματος με διαδοχικές μετρήσεις κατά χρονικά διαστήματα. Η ταχύτητα διαδόσεως των υπερήχων είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος και αντιστρόφως ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας της πυκνότητας του σκυροδέματος. Αν δεχθούμε εξ άλλου ότι το μέτρο ελαστικότητας είναι επίσης ανάλογο της τετραγωνικής ρίζας της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, προκύπτει ότι η ταχύτητα των υπερήχων είναι ανάλογη της τετάρτης ρίζας της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. Αυτό σημαίνει ότι, για μια δεδομένη σύνθεση σκυροδέματος και καθώς αυξάνει η αντοχή του σκυροδέματος με τον χρόνο, υπάρχει μια αναλογικώς μικρότερη αύξηση της ταχύτητας των υπερήχων. Όπως αναφέρεται στην έκθεση του ACI 228 (1996), από σχετικό δημοσίευμα της RILEM φαίνεται ότι μια αύξηση της αντοχής σκυροδέματος μικρής ηλικίας από 3.4MPa σε 10.3MPa μπορεί να έχει αύξηση της ταχύτητας των υπερήχων από 4.0km/s σε 4.6km/s. Αλλά σε μεγαλύτερης ηλικίας σκυροδέμα η αύξηση της αντοχής από 27.6MPa σε 34.5MPa μπορεί να έχει αύξηση της ταχύτητας των υπερήχων από 5.09km/s σε 5.22km/s. Δηλαδή σε μεγάλες ηλικίες η ταχύτητα των υπερήχων δεν είναι ευαίσθητη στην αύξηση της αντοχής.

Λοιπές εφαρμογές: Με την μέθοδο των υπερήχων ελέγχονται, αποτιμώνται και δίνονται πληροφορίες για τις εξής ιδιότητες:

- έλεγχος ομοιογένειας και ομοιομορφίας ενός δομικού στοιχείου,

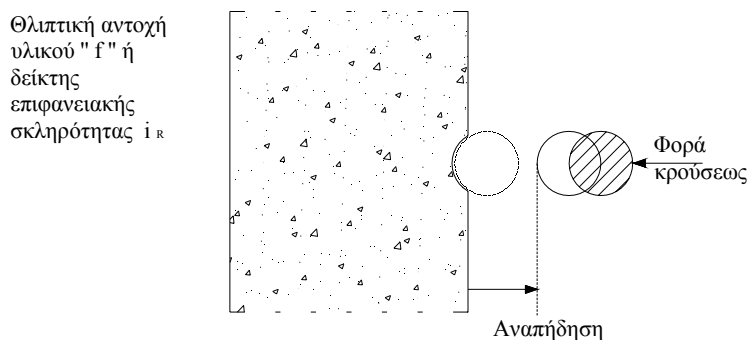
- αποτιμάται η αντοχή, μέτρο ελαστικότητας και ο λόγος Poisson των συνιστώντων υλικών,
- αποτιμώνται οι αλλοιώσεις των υλικών που ενδεχομένως γίνονται με την πάροδο του χρόνου στις ιδιότητες των υλικών, οι οποίες οφείλονται σε διάφορα αίτια (διάβρωση, πυρκαγιά, κλπ)
- διαπιστώνεται η ύπαρξη ελαττωμάτων π.χ. κοιλότητες, ρωγμές, πόροι κλπ, ή άλλες ανωμαλίες στην μάζα των δομικών στοιχείων.

Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί είτε σε δομικά στοιχεία από σκυρόδεμα, είτε σε δομικά στοιχεία από τοιχοποιία.

4.4 Κρουσίμετρο

Η μέθοδος του κρουσίμετρου είναι μια μη καταστρεπτική μέθοδος εκτιμήσεως της αντοχής του σκυροδέματος, η οποία βασίζεται στην μέτρηση της επιφανειακής σκληρότητας των δομικών στοιχείων που εξετάζονται. Με την μέθοδο αυτή εξετάζεται η ποιότητα του σκυροδέματος της εξωτερικής επιφάνειας των κατασκευών και σε βάθος έως 30mm. Η μέθοδος του κρουσίμετρου μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα για την αντοχή ενός δομικού στοιχείου μόνο όταν συνδυαστεί και με άλλες μεθόδους. Στο ASTM C805 (1985) προτείνεται ο συνδυασμός της μεθόδου του κρουσίμετρου με την ημικαταστρεπτική μέθοδο των πυρήνων, ώστε να συσχετισθεί η ένδειξη R του κρουσίμετρου με την αντοχή του σκυροδέματος.

Η αρχή της μεθόδου φαίνεται στο Σχήμα 4.4.1. Μια μεταλλική μάζα προσκρούει στην επιφάνεια του εξεταζόμενου υλικού. Το ύψος αναπήδησής αυτής της μάζας εξαρτάται από την ελαστικότητα του υλικού και, επομένως, από την αντοχή -του.



Σχ. 4.4.1 Αρχή της μεθόδου

Πριν την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται απομάκρυνση των επιχρισμάτων και τοπική λείανση των δομικών στοιχείων στις θέσεις εφαρμογής. Απαιτούνται 10 τουλάχιστον κρουσίμετρήσεις σε κάθε θέση.

Εφαρμογές: Η μέθοδος του κρουσίμετρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διαπίστωση της ομοιογένειας του σκυροδέματος των εξεταζόμενων δομικών στοιχείων, κυρίως πριν τον έλεγχο τους από άλλες μεθόδους όπως πυρηνοληψία και εξόλκευση ήλου. Η ομοιογένεια και η ποιότητα του σκυροδέματος μας ενδιαφέρουν ακόμη στα προεντεταμένα δομικά στοιχεία, όπου περιοχές με χαμηλή ποιότητα σκυροδέματος μπορεί να οδηγήσουν σε αστοχία του έργου. Η μέτρηση του δείκτη επιφανειακής σκληρότητας πρέπει να γίνεται για ηλικίες σκυροδέματος μεταξύ 14 ημερών και 3 μηνών. Για τέτοιες ηλικίες το σφάλμα των μετρήσεων μπορεί να φτάσει το 15%, ενώ αντίθετα για σκυροδέματα ηλικίας μεγαλύτερης των 3 μηνών, για τα οποία δεν έχουμε αρκετά στοιχεία για την σύνθεση και συντήρησή τους, το σφάλμα φτάνει το 25%

Παράγοντες που επηρεάζουν την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος με την μέθοδο του κρουσίμετρου.

Τύπος τσιμέντου: Γενικώς, οι διάφοροι τύποι τσιμέντου Portland δεν επηρεάζουν σημαντικά τις ενδείξεις του κρουσίμετρου (λιγότερο από 10%). Ομως, αν χρησιμοποιηθούν οι καμπύλες που έχουν προκύψει για

σκυροδέματα από τσιμέντο Portland σε σκυροδέματα από high alumina cement μπορεί να προκύψουν πλασματικώς αντοχές έως και 100% μεγαλύτερες. Ενώ αντιστοίχως για σκυροδέματα από supersulphated cement μπορεί να προκύψουν έως και 50% χαμηλότερες αντοχές. Πρέπει λοιπόν, να γίνεται βαθμονόμηση του οργάνου για τον κάθε τύπο τσιμέντου που πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε (RILEM NDT2, NDT3 1984, BSI 1881/202 1986). Η επίδραση της περιεκτικότητας του σκυροδέματος σε τσιμέντο δεν ξεπερνά το 10%. Αντίθετα χρειάζονται ξεχωριστές βαθμονομήσεις για σκληρά και για μαλακά αδρανή, καθότι τα αποτελέσματα που δίνουν παρουσιάζονται σημαντικά διαφοροποιημένα (RILEM NDT2, NDT3, 1984).

Τύπος και γεωμετρία των εξεταζόμενων δοκιμών: Οι επιφάνειες που δοκιμάζονται με την μέθοδο του κρουσίμετρου πρέπει να είναι απόλυτα λείες. Επιφάνειες οι οποίες προκύπτουν από καλούπια κατασκευασμένα από διάφορα υλικά (ξύλο, μέταλλο) ανταποκρίνονται διαφορετικά στη μέθοδο του κρουσίμετρου. Οι επιφάνειες που δημιουργούνται με την χρήση μυστριού είναι σκληρότερες από αυτές που προκύπτουν από καλούπι και οι τιμές του δείκτη επιφανειακής σκληρότητας παρουσιάζουν σημαντική διασπορά. Συμπερασματικά μπορεί να αναφερθεί ότι οι προς δοκιμή επιφάνειες θα πρέπει ή να προέρχονται από καλούπι ή να λειαίνονται αν είναι ανώμαλες, καθότι έχει παρατηρηθεί ότι οι ενδείξεις του κρουσίμετρου στις λείες επιφάνειες είναι αυξημένες σε σχέση με τις ενδείξεις στις ανώμαλες επιφάνειες ISO DIS 8045 (1982), RILEM NDT2, NDT3 (1984). Πρέπει να τονιστεί ακόμη ότι εκτός από τις ανώμαλες επιφάνειες, ακατάλληλες για δοκιμή είναι επίσης και οι επιφάνειες που προκύπτουν από κοπή (π.χ. με τροχό). Η γεωμετρία των δοκιμών (κύλινδρος ή κύβος) δεν επιφέρει πρακτικώς καμμία μεταβολή στον μετρούμενο δείκτη επιφανειακής σκληρότητας (R).

Υγρασία: Η παρουσία υψηλού ποσοστού υγρασίας στο σκυρόδεμα του εξεταζόμενου στοιχείου έχει σαν αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των ενδείξεων του κρουσίμετρου σε σχέση με τις μετρήσεις που παίρνουμε για ξηρά στοιχεία. Η μείωση αυτή του δείκτη επιφανειακής σκληρότητας, ανάλογα με το ποσοστό υγρασίας, μπορεί να φτάσει το 20% (RILEM NDT2, NDT3 1984, BSI 1881/202 1986).

Θερμοκρασία: Η θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά την διάρκεια των μετρήσεων πρέπει να είναι από 10°C έως 30°C. Μετρήσεις που γίνονται σε χαμηλές θερμοκρασίες (κοντά στους 0°C) δίνουν αυξημένες ενδείξεις κρουσίμετρου (ISO DIS 8045 1982), γι' αυτό καλό είναι να αποφεύγονται οι μετρήσεις σ' αυτές τις θερμοκρασίες.

Ενανθράκωση: Όταν τα δομικά στοιχεία είναι μεγάλης ηλικίας ή εκτίθενται σε περιβάλλον πλούσιο σε CO₂ αναπτύσσεται το φαινόμενο της ενανθρακώσεως. Το φαινόμενο αυτό, προκαλεί αύξηση των ενδείξεων του κρουσίμετρου έως και 50% (RILEM NDT2, NDT3 1984) για σταθερή συμβατική αντοχή σκυροδέματος f_c . Γίνεται εύκολα κατανοητό ότι για μεγάλα βάθη ενανθρακώσεως η διαφορά μεταξύ της συμβατικής αντοχής f_c και της $f_c(R)$ είναι τόσο μεγάλη, που μας επιτρέπει να πούμε ότι γι' αυτές τις τιμές του βάθους ενανθρακώσεως η μέθοδος του κρουσίμετρου παύει να είναι ένα αντικειμενικό κριτήριο για την εκτίμηση της αντοχής μιας κατασκευής. Σε πολλές περιπτώσεις όμως είμαστε υποχρεωμένοι να πάρουμε αποφάσεις για την φέρουσα ικανότητα μιας υπάρχουσας κατασκευής στηριζόμενοι σε μετρήσεις που κάνουμε πάνω σε ενανθρακωμένα στοιχεία σκυροδέματος. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού προτείνεται η αφαίρεση ενός στρώματος πάχους έως 5mm από την εξωτερική-τους επιφάνεια (ASTM C805 1985).

Από την (Τρέζος et al 1994) έχει προκύψει η παρακάτω μεταβολή της αντοχής συναρτήσει του βάθους ενανθρακώσεως:

$$f_c(R)/f_c(akt)=1.0+0.04*x$$

όπου:

x : το βάθος ενανθρακώσεως σε mm

$f_c(R)$: η αντοχή του σκυροδέματος προσδιοριζόμενη με το κρουσίμετρο αγνοώντας της ενανθράκωση

$f_c(akt)$: η πραγματική αντοχή

Διεύθυνση κρουσιμετρήσεως: Η διεύθυνση κρουσιμετρήσεως επηρεάζει σημαντικά τον μετρούμενο δείκτη επιφανειακής σκληρότητας (R). Πρέπει να σημειωθεί ότι ανάλογα με την διεύθυνση κρουσιμετρήσεως (οριζόντια ή κατακόρυφη) θα πρέπει να γίνονται οι σχετικές διορθώσεις των μετρήσεών-μας σύμφωνα με τις οδηγίες που δίνονται στο εγχειρίδιο του οργάνου (RILEM NDT2, NDT3 1984, BSI 1881/202 1986).

Πίνακας 4.19 Επίδραση της διεύθυνσης κρουσιμετρήσεως στην ένδειξη του κρουσιμέτρου.

R	Διορθώσεις για γωνίες κλίσεως: (+ προς τα πάνω, - προς τα κάτω)			
	+90°	+45°	-45°	-90°
10			+2.4	+3.2
20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1
40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7
50	-3.1	-2.1	+1.6	+2.2
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7

Αριθμός και θέσεις δοκιμών: Στο εγχειρίδιο του κρουσίμετρου Schmidt, τύπου N, τονίζεται ότι ο αριθμός των κρουσιμετρήσεων θα πρέπει να είναι από 5 έως 10 ανά θέση. Η διάμετρος της περιοχής στην οποία γίνεται ένα σύνολο μετρήσεων (θέση), θα πρέπει να είναι μεταξύ 150 και 300 mm (Facaoaru 1976, ISO DIS 8045 1982, RILEM NDT2, NDT3 1984, BSI 1881/203 1986). Ως τελική τιμή της μετρήσεως στην υπόψη θέση, θα λαμβάνεται ο μέσος όρος των κρουσιμετρήσεων της θέσεως αυτής. Αν μια κρουσιμέτρηση διαφέρει περισσότερο από 5 μονάδες απ' την μέση τιμή της θέσεως θεωρείται απορριπτέα. Το ASTM: C 805-85 (1985) αναφέρει ότι δεν λαμβάνεται σαν σωστό το σύνολο των κρουσιμετρήσεων μιας θέσεως όταν δύο μετρήσεις διαφέρουν από το μέσο όρο κατά 7 μονάδες. Πάνω στο ίδιο θέμα αναφέρεται από το ISO/DIS 8045 (1982) ότι ο αριθμός των κρουσιμετρήσεων ανά θέση θα πρέπει να είναι 9. Αν το 20% των μετρήσεων μιας θέσεως διαφέρει από τον μέσο όρο περισσότερο από 6 μονάδες, η μέτρηση της θέσεως θεωρείται αναξιόπιστη και επαναλαμβάνεται.

Σημεία που πρέπει να αποφεύγονται: Τα σημεία κρουσιμετρήσεως θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 30mm μακριά από τις ακμές ή τις απότομες ασυνέχειες του δοκιμίου. Περιοχές με οπλισμούς θα πρέπει, όσο είναι δυνατόν, να αποφεύγονται. Λεπτοί τοίχοι και πλάκες (με πάχος μικρότερο των 12cm) δίνουν μειωμένες ενδείξεις, λόγω της ταλαντώσεως που δημιουργείται απ' την κρουσιμέτρηση. Οι κανονισμοί δίνουν ότι το ελάχιστο πάχος, των δοκιμαζόμενων με την μέθοδο του κρουσίμετρου (R), μελών μιας κατασκευής πρέπει να είναι 100mm (ASTM C805 1985, ISO DIS 8045 1982). Στην βιβλιογραφία αναφέρεται ότι για κρουσιμετρήσεις σε πλάκες με μεγάλο λόγο l/h πρέπει να λαμβάνεται υπόψη διορθωτικός συντελεστής:

$$\Delta R = +4 \cdot (0.05 \cdot l/h - 1), \text{ για } l/h > 20,$$

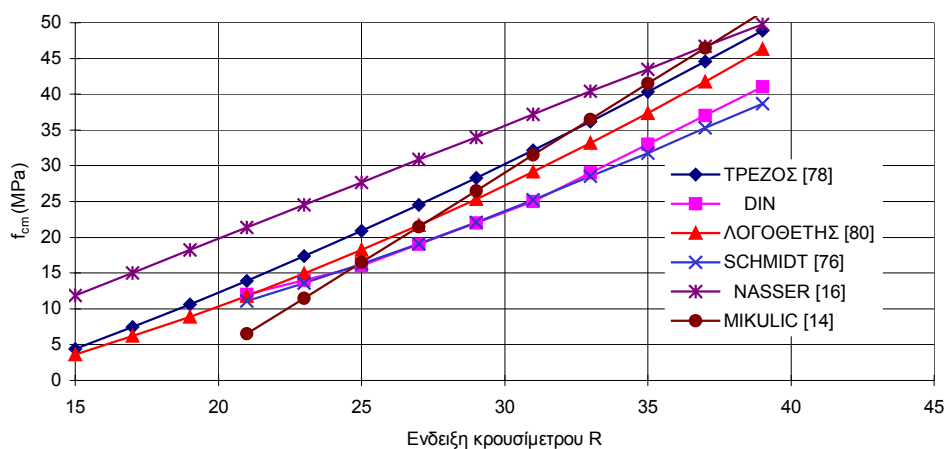
όπου l το άνοιγμα της πλάκας και h το πάχος της.

Συντελεστής μεταβλητότητας: Οι Murray A., Long A. (1987) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η μέση αντοχή, όπως υπολογίζεται με τις έμμεσες μεθόδους, είναι σχεδόν η ίδια με την μέση αντοχή των συμβατικών δοκιμίων. Εκείνο που αυξάνεται κατά 50% σε σύγκριση με τα συμβατικά δοκίμια στις έμμεσες μεθόδους είναι η διασπορά. Στο ACI ο συντελεστής μεταβλητότητας C.O.V. της μεθόδου του κρουσίμετρου δίνεται ίσος με 10%, ενώ για την μέθοδο των υπερήχων κυμαίνεται από 0.4 έως 1.1%. Στα BSI 1881/202 1986 αναφέρεται ότι ο συντελεστής μεταβλητότητας των μεμονωμένων μετρήσεων κάθε ομάδας μετρήσεων είναι συνήθως 10%. Μπορεί όμως να κυμανθεί μεταξύ του 2% και 15%. Ο συντελεστής μεταβλητότητας μειώνεται όσο αυξάνεται η αντοχή του σκυροδέματος και αυξάνεται όσο αυξάνεται το μέγεθος των αδρανών.

Μέθοδος συσχέτισεως αντοχής συμβατικών δοκιμών και δείκτη επιφανειακής σκληρότητας: Στο Σχ. 4.4.2 που ακολουθεί (Τρέζος et al 1994) παρουσιάζονται συγκριτικά διάφορες καμπύλες που έχουν προταθεί στην διεθνή βιβλιογραφία και οι οποίες συσχετίζουν την ένδειξη του κρουσίμετρου με την μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. Πάντως σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά: το διάστημα εμπιστοσύνης 90% μπορεί να εκτείνεται μέχρι και $\pm 0.25f_{cm}$ εκατέρωθεν των μέσων καμπυλών. **Γι' αυτό δεν συνιστάται η άμεση εφαρμογή των καμπυλών αυτών χωρίς προηγούμενη βαθμονόμηση.** Η βαθμονόμηση μπορεί να γίνει με την παρασκευή ειδικών δοκιμών (με διαφορετικές αντοχές). Τα δοκίμια που θα χρησιμοποιηθούν (κυβικά ή κυλινδρικά) πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο μεγάλα, ούτως ώστε να εξαφανιστεί η επίδραση του μεγέθους από τα αποτελέσματα. Κύβοι 15cm ή μεγαλύτεροι πρέπει να προτιμώνται. Ο πλέον ικανοποιητικός τρόπος μετρήσεως του δείκτη επιφανειακής σκληρότητας των κύβων είναι να τους τοποθετούμε στην μηχανή επιβολής θλιπτικού φορτίου και αφού τους επιβάλουμε θλιπτική τάση περίπου 1MPa να κάνουμε τις μετρήσεις σε δύο απ' τις πλευρές που προέκυψαν από καλούπι. Είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται δοκίμια με ξηρές επιφάνειες. Σε περίπτωση που έχουν συντηρηθεί σε υγρές συνθήκες θα πρέπει να μεταφέρονται για 2 ημέρες πριν τη δοκιμή σε συνθήκες εργαστηρίου. Ο ελάχιστος αριθμός των μετρήσεων σε κάθε δοκίμιο πρέπει να είναι 9. Οι θέσεις δοκιμών θα πρέπει να απέχουν μεταξύ τους καθώς και απ' τις ακμές του δοκιμίου 30mm. Στην συνέχεια υπολογίζεται ο μέσος όρος και η διασπορά των μετρήσεων για κάθε ένα από τα 30 περίπου δοκίμια που απαιτούνται για να έχουμε μια καλή συσχέτιση συμβατικής αντοχής (f_c) και δείκτη επιφανειακής σκληρότητας (R). Στα αποτελέσματα προσαρμόζεται με παλινδρόμηση παραβολική ή εκθετική σχέση της μορφής:

$f_c = av^2 + bv + c$ ή $f_c = ae^{bv}$ αντιστοίχως.

Μέση θλιπτική αντοχή σκυροδέματος συναρτήσει της ένδειξης του κρουσίμετρου



Σχ. 4.4.2 Καμπύλες συσχέτισεως μέσης θλιπτικής αντοχής και ένδειξεως του κρουσίμετρου (Τρέζος et al 1996)

Στον πίνακα 4.20 δίνονται στοιχεία από την διεθνή βιβλιογραφία (A. Neville 1975 & Taywood Eng. Ltd 1986) για ποιοτική κατάταξη του σκυροδέματος αναλόγως των ενδείξεων του κρουσίμετρου.

Πίνακας 4.20

A/A	Δείκτης Κρουσιμετρήσεως R	Ποιότητα
1	> 45	Εξαιρετική
2	$35 \div 45$	Καλή
3	$25 \div 35$	Μέτρια
4	$20 \div 25$	Κακή
5	< 20	Απόμειξη, ρωγμές

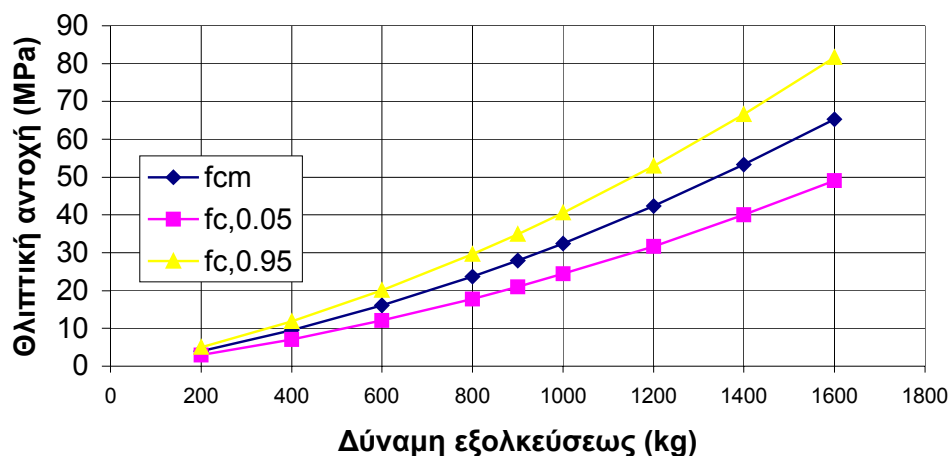
4.5 Κρουστικές μέθοδοι

Ενα από τα μειονεκτήματα της άμεσης (απευθείας) μέτρησης του χρόνου διαδόσεως των υπερήχων είναι ότι πρέπει να είναι προσπελάσιμες αμφότερες οι πλευρές του στοιχείου. Το μειονέκτημα αυτό παρακάμπτεται με τις μεθόδους της αντήχησης σύμφωνα με τις οποίες ο έλεγχος γίνεται από την μία πλευρά του στοιχείου και μετράται ο χρόνος επιστροφής ενός κύματος μετά την ανάκλαση του στο απέναντι ελεύθερο άκρο. Στις πρώτες μεθόδους αντήχησης τα κύματα ήταν κρουστικά και παράγονταν από την μηχανική κρούση ενός αντικειμένου στην επιφάνεια του εξεταζόμενου στοιχείου. Υστερα από αντανάκλαση στις εξωτερικές επιφάνειες ή στις πιθανές εσωτερικές διεπιφάνειες τα κύματα επιστρέφουν στην αρχική επιφάνεια και προκαλούν μετατοπίσεις οι οποίες μετρώνται από τον δέκτη και καταγράφονται από ένα ειδικό καταγραφικό μηχάνημα. Το κύμα που παράγεται από την κρούση δεν είναι εστιασμένο (ώστε να διαδίδεται προς μια κατεύθυνση). Ετσι αντανάκλασεις μπορούν να επιστρέψουν από όλες τις διευθύνσεις. Το γεγονός αυτό δυσχεραίνει την ανάλυση του επιστρέφοντος σήματος. Ενα άλλο στοιχείο που επηρεάζει την ανάλυση είναι και η διάρκεια της κρούσεως (ιδίως για στοιχεία μικρού πάχους). Στα νεότερα συστήματα της κατηγορίας αυτής, τα παραγόμενα κύματα δεν είναι κρουστικά αλλά υπερηχητικά, μικρής διάρκειας και χαμηλής συχνότητας ($\approx 200\text{kHz}$). Ορισμένα συστήματα φθάνουν μέχρι και πάνω από 500kHz). Το βάθος διεισδύσεως είναι μικρό (περίπου 250mm). Ορισμένα συστήματα επιτυγχάνουν να έχουν κατευθυνόμενη διεύθυνσεως κύματα αλλά οι πομποδέκτες τους είναι ογκώδεις και δύσχρηστοι.

4.6 Εξόλκευση ήλου

Πρόκειται για έμμεση μέθοδο προσδιορισμού της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος δι' εξολκεύσεως ήλου, η οποία αναπτύχθηκε από τον καθηγητή Τάσιο (Θ.Π. Τάσιος, Κ.Α. Δεμίρης, Αθήνα 1968). Με την χρήση ενός πυροδοτικού εκτοξευτή, εκτοξεύεται σε επαφή με το σκυρόδεμα ένας πρότυπος ήλος μήκους 4cm και διαμέτρου 4mm ο οποίος εισάγεται εντός του σκυροδέματος. Μετά την πάροδο 10min ο ήλος εξολκεύεται με ειδικό εξολκέα ο οποίος φέρει και δυναμόμετρο. Μετράται η δύναμη εξολκεύσεως η οποία μεταφράζεται, με κατάλληλα διαγράμματα, σε θλιπτική αντοχή σκυροδέματος. Στο Σχ. 4.6.1 παρουσιάζεται καμπύλη συσχετίσεως της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος με δύναμη εξολκεύσεως, σύμφωνα με τα πειράματα Λογοθέτης, 1979. Σε κάθε θέση πρέπει να γίνονται τουλάχιστον 6 επιτυχείς δοκιμές σε απόσταση 10cm τουλάχιστον μεταξύ-τους. Επιφάνειες που δεν είναι αντιπροσωπευτικές της αντοχής του σκυροδέματος πρέπει να αποφεύγονται (π.χ. η πάνω επιφάνεια πλακών, τσιμεντοκονίες κλπ)

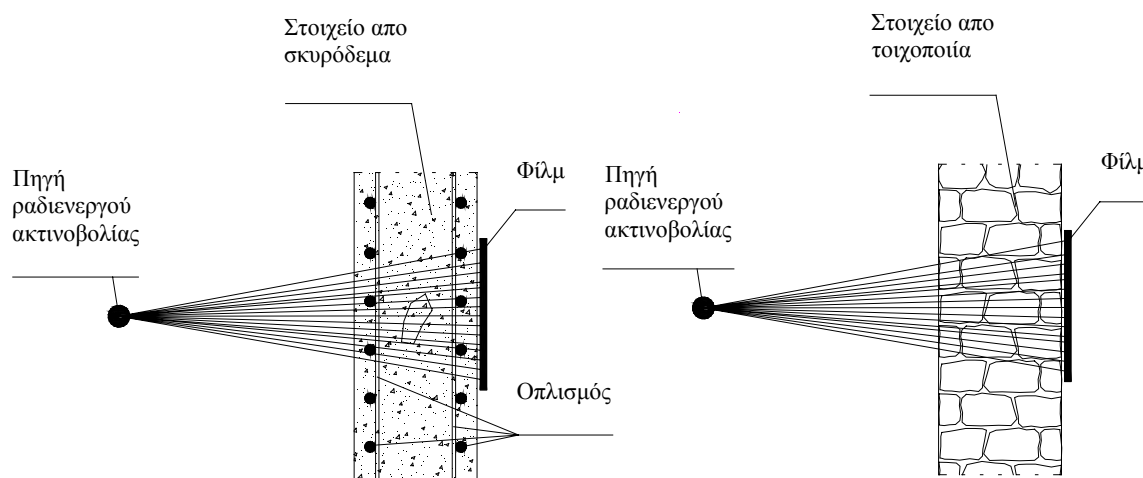
**Συσχέτιση δύναμης εξολκεύσεως με την θλιπτική αντοχή
σκυροδέματος (Λογοθέτης 1979)**



Σχ. 4.6.1 Συσχέτιση δύναμης εξολκεύσεως με την μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος.

4.7 Ραδιογραφικές μέθοδοι

Ανήκουν στην κατηγορία των εμμέσων μεθόδων. Χρησιμοποιείται η ραδιενέργεια προκειμένου να παραχθεί μια ακτινογραφία του εσωτερικού του ελεγχόμενου τμήματος της κατασκευής. Η αρχή της μεθόδου φαίνεται στο Σχ. 4.7.1. Μια ραδιενεργός πηγή τοποθετείται στην μία πλευρά του εξεταζόμενου στοιχείου, κατάλληλα προστατευμένη για λόγους ασφαλείας του προσωπικού, ενώ από το πίσω μέρος του στοιχείου τοποθετείται και ένα ειδικό φωτογραφικό φιλμ. Στο φιλμ καταγράφεται η ένταση της διερχομένης ακτινοβολίας. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της ακτινοβολίας τόσο μεγαλύτερη είναι η έκθεση του φιλμ. Η μέθοδος είναι ακριβώς ίδια με την χρησιμοποιούμενη στην ιατρική. Με την μέθοδο αυτή ανιχνεύεται η παρουσία του οπλισμού (παρουσιάζεται ως λευκά σημεία στην ακτινογραφία) και η ύπαρξη κενών στο σκυρόδεμα (παρουσιάζονται ως μαύρες περιοχές). Η επιλογή της ραδιενεργού πηγής εξαρτάται από την πυκνότητα και το πάχος του ελεγχόμενου στοιχείου. Η πλέον ισχυρή πηγή, το κοβάλτιο-60 (^{60}Co) εισχωρεί μέχρι 500mm στο σκυρόδεμα. Για πάχη μέχρι 150mm χρησιμοποιείται το ιρίδιο-192 (^{192}Ir) ή το καίσιο-137 (^{137}Cs). Για την χρήση της μεθόδου απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό και ειδικά μέτρα ασφαλείας.



Σχ. 4.7.1 Αρχή μεθόδου

4.8 Μαγνητικές μέθοδοι

Τα μαγνητόμετρα είναι όργανα με τα οποία εντοπίζεται ο οπλισμός στο σκυρόδεμα, εκτιμάται αρκετά καλά το πάχος της επικάλυψης ενώ με μικρότερη ακρίβεια μπορεί να εκτιμηθεί και η διάμετρος της ράβδου.

Η αρχή της μεθόδου: Τα μαγνητόμετρα βασίζονται στην αλληλεπίδραση των ράβδων του οπλισμού και ενός, χαμηλής συχνότητας, ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Ειδικότερα, βασίζονται στην ηλεκτρομαγνητική επαγωγή (ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο προκαλεί ηλεκτρικό δυναμικό σε ένα κύκλωμα). Σύμφωνα με τον νόμο του Faraday το ηλεκτρικό δυναμικό είναι ανάλογο του ρυθμού μεταβολής της μαγνητικής ροής. Τα εμπορικά μαγνητόμετρα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- σε αυτά που βασίζονται στην αρχή της μαγνητικής αντίστασης. Για δεδομένη επικάλυψη η ένδειξη του οργάνου εξαρτάται από το εμβαδόν της ράβδου και τις μαγνητικές ιδιότητές της (σύνθεση του κράματος και τύπος επεξεργασίας). Η ένδειξη επίσης εξαρτάται και από την παρουσία σιδηρούχων αδρανών στο σκυρόδεμα (σε αντίθεση προς τα μαγνητόμετρα που βασίζονται σε δινορεύματα τα οποία δεν επηρεάζονται από σιδηρούχα αδρανή).
- σε εκείνα που βασίζονται στα δινορεύματα (ρεύματα Φουκώ). Βασίζονται στην ηλεκτρική αγωγιμότητα της ράβδου και ανιχνεύουν μαγνητικά αλλά και μη μαγνητικά αντικείμενα.

Πλεονεκτήματα και όρια της μεθόδου: Πρόκειται για καθαρά μη καταστρεπτική μέθοδο. Ο εξοπλισμός είναι ελαφρύς, φορητός και εύχρηστος. Προσδιορίζεται με ακρίβεια η θέση του οπλισμού, ενώ το πάχος της επικάλυψης εκτιμάται με αρκετά καλή προσέγγιση.

Επειδή η ένδειξη του οργάνου εξαρτάται τόσο από την επικάλυψη όσο και από την διάμετρο της ράβδου, δεν είναι δυνατός ο προσδιορισμός και των δύο παραμέτρων με μία μόνον μέτρηση. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητη μια διπλή μέτρηση (BS 1881, part 204): η πρώτη γίνεται με την κεφαλή του οργάνου σε επαφή με το σκυρόδεμα και η δεύτερη με την κεφαλή του οργάνου σε δεδομένη απόσταση. Η διακριτική ικανότητα εξαρτάται από το πόσο διακεκριμένες είναι οι καμπύλες της ενδείξεως του οργάνου συναρτήσει της επικάλυψης για διάφορες διαμέτρους του οπλισμού. Επειδή όμως οι καμπύλες για δύο διαδοχικές διαμέτρους είναι σχετικά κοντά η μια με την άλλη, γι' αυτό η εκτίμηση της διαμέτρου δεν γίνεται με μεγάλη ακρίβεια. Τελευταίως πάντως κυκλοφόρησαν όργανα τα οποία εκτιμούν την διάμετρο της ράβδου χωρίς διπλή μέτρηση.

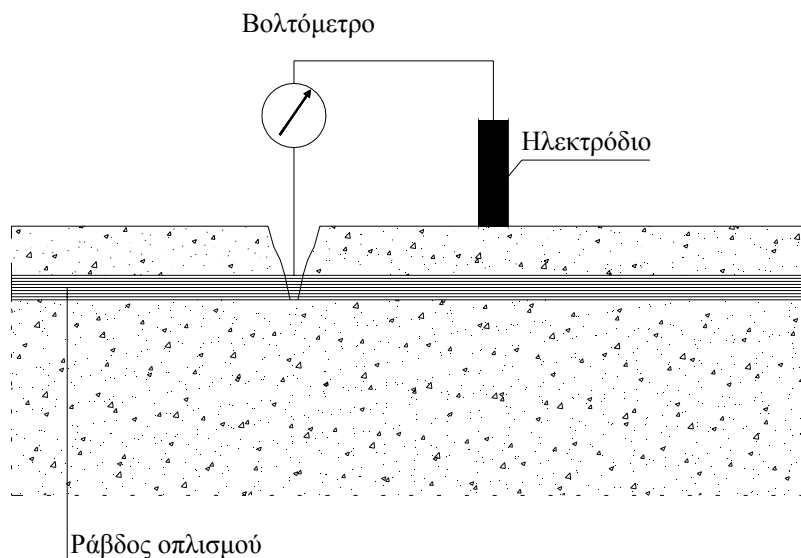
Η ακρίβεια κατά τον υπολογισμό της επικάλυψης εξαρτάται και από την παρουσία άλλων ράβδων πλησίον της εξεταζόμενης ράβδου. Αν μάλιστα η απόσταση δύο διαδοχικών ράβδων είναι μικρότερη από μια κρίσιμη απόσταση τότε το όργανο τις αντιλαμβάνεται ως μια ράβδο. Η κρίσιμη αυτή απόσταση εξαρτάται από την επικάλυψη (αυξάνεται αυξανόμενης της επικάλυψης) αλλά και από το μέγεθος της κεφαλής του οργάνου. Επίσης, στην περίπτωση δύο επάλληλων στρώσεων οπλισμού, η δεύτερη στρώση δεν είναι δυνατόν να διακριθεί επειδή το σήμα από την πρώτη στρώση είναι πολύ ισχυρότερο του σήματος της δεύτερης στρώσεως. Πάντως έχουν αναφερθεί ανιχνεύσεις μήκους επικάλυψης ράβδων που βρίσκονται σε επαφή.

4.9 Ηλεκτρικές μέθοδοι

Πολλές φορές απαιτείται να γνωρίζουμε την κατάσταση διαβρώσεως του χάλυβα και την υγρασία του σκυροδέματος προκειμένου να αποφασίσουμε αν απαιτείται να ληφθούν μέτρα προστασίας. Ο κίνδυνος διαβρώσεως του χάλυβα μπορεί να ελεγχθεί μετρώντας το ελεύθερο δυναμικό του χάλυβα, η υγρασία του σκυροδέματος μετρώντας την μεταβολή της αντιστάσεως, ενώ η ταχύτητα διαβρώσεως του χάλυβα μπορεί να εκτιμηθεί με την μέτρηση της αντιστάσεως πολώσεως (Θ.Π. Τάσιος, Κ. Αλιγιάκη, Ανθεκτικότητα Ωπλισμένου Σκυροδέματος, Αθήνα 1993). Όλες οι μέθοδοι απαιτούν πεπειραμένο προσωπικό. Οι μέθοδοι είναι ελαφρώς καταστρεπτικές καθώς απαιτούν την αποκάλυψη του οπλισμού.

Μετρήσεις δυναμικού Χάλυβα.

Οι μετρήσεις του δυναμικού χάλυβα γίνονται με ηλεκτρόδιο αναφοράς χαλκού / θεικού χαλκού CSE (Cu/CuSO_4) ή Αργύρου / χλωριούχου αργύρου (Ag/AgCl) βαθμονομημένο σε τιμές ηλεκτροδίου χαλκού / θεικού χαλκού, ή ηλεκτρόδιο καλομέλανος SCE ($\text{Hg} / \text{HgCl}/\text{KCl}$) ανάγοντας τις αναγνώσεις σε τιμές ηλεκτροδίου χαλκού / θεικού χαλκού με την εξής σχέση: $V_{\text{SCE}}+240 = V_{\text{CSE}}+300$ [mV]. Η αρχή της μεθόδου φαίνεται στο Σχ. 4.9.1.



Σχ. 4.9.1 Μέτρηση δυναμικού χάλυβα

Οι μετρήσεις αυτές μας προσφέρουν πληροφορίες ως προς την πιθανότητα διαβρώσεως του χάλυβα και όχι ως προς την ταχύτητα διαβρώσεως των σιδηροπλισμών.

Από τα δεδομένα της διεθνούς βιβλιογραφίας και όπως αναφέρεται στο ASTM C 876 - 87 διακρίνονται τα εξής ενδεχόμενα:

- Όταν $E > -200 \text{ mV}_{\text{cse}}$, κατά πιθανότητα 90% δεν συμβαίνει διάβρωση
- Όταν $E < -350 \text{ mV}_{\text{cse}}$, κατά πιθανότητα 90% συμβαίνει διάβρωση
- Όταν $-200 \text{ mV}_{\text{cse}} > E > -350 \text{ mV}_{\text{cse}}$, δεν είναι βέβαιο αν συμβαίνει ή όχι διάβρωση.

Μέτρηση υγρασίας σκυροδέματος (μέθοδος Wenner)

Η μέθοδος βασίζεται στην μεταβολή της αντιστάσεως ενός υλικού όταν μεταβάλλεται η περιεχόμενη υγρασία – του. Στην επιφάνεια του σκυροδέματος, στην ίδια ευθεία και σε ίσες αποστάσεις μεταξύ-τους, τοποθετούμε τέσσερα ηλεκτρόδια σε μικρό βάθος, τα οποία συνδέονται με μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος και μ' ένα βολτόμετρο, (βλ. Σχ. 4.9.2). Κατόπιν εφαρμόζουμε ρεύμα εντάσεως i , μετράμε το αντίστοιχο δυναμικό V και υπολογίζουμε την αντίσταση R του σκυροδέματος. Η ειδική αντίσταση ρ του σκυροδέματος δίνεται από τον τύπο:

$$\rho = 2\pi a R$$

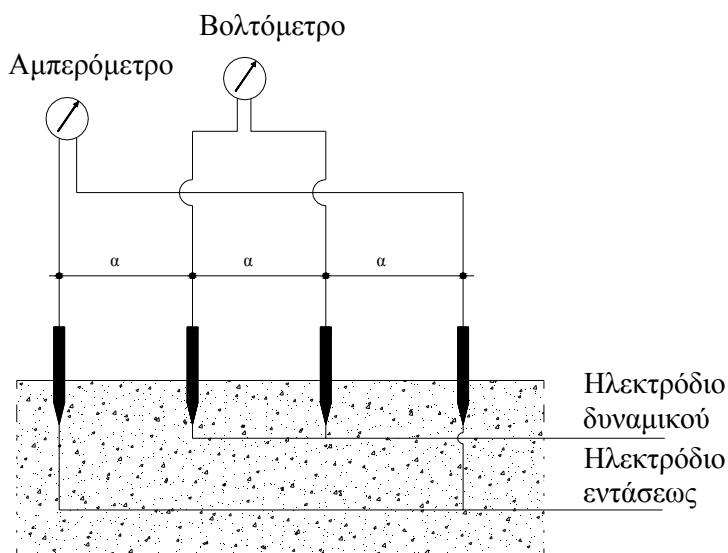
όπου:

ρ : η ειδική αντίσταση του σκυροδέματος ($\Omega \cdot \text{cm}$)

a : η απόσταση μεταξύ ηλεκτροδίων (cm)

R : η μετρηθείσα αντίσταση του σκυροδέματος (Ω)

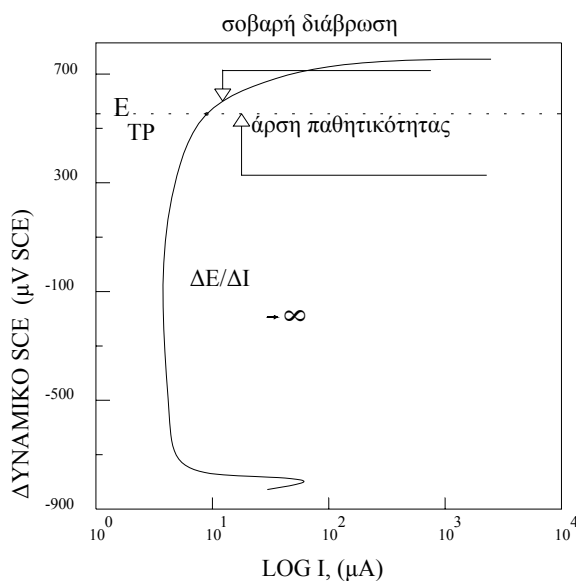
Ανάλογα με την τιμή που παίρνει η ειδική αντίσταση του σκυροδέματος, μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για την εμπεριεχόμενη υγρασία. Τελείως ενδεικτικά, αναφέρεται ότι η ειδική αντίσταση έχει τιμή $\rho = 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ για υγρό σκυρόδεμα, και $\rho = 10 \Omega \cdot \text{cm}$ για ξηρό σκυρόδεμα. Η σημασία της υγρασίας του σκυροδέματος στη διάβρωση διευρύνει αρκετά τη χρήση της μεθόδου. Η μέθοδος Wenner είναι απλή, απαιτεί όμως μεγάλη ακρίβεια κατά την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων. Απαιτείται προσοχή ώστε να αποφευχθεί τυχόν επαφή των ηλεκτροδίων με τους οπλισμούς του σκυροδέματος.



Σχ. 4.9.2 Διάταξη ηλεκτροδίων για την μέτρηση της υγρασίας του σκυροδέματος

Καμπύλες πολώσεως

Προϋπόθεση εφαρμογής της μεθόδου είναι ο προσδιορισμός πρώτα του δυναμικού διαβρώσεως του χάλυβα. Εφαρμόζονται διάφορα δυναμικά στον χάλυβα και μετράται κάθε φορά το ρεύμα αποκρίσεως. Τα εφαρμοζόμενα δυναμικά είναι μερικές εκατοντάδες mV μεγαλύτερα και μικρότερα από το δυναμικό διαβρώσεως του χάλυβα. Με τις τιμές του δυναμικού E και της αντίστοιχης εντάσεως ρεύματος i , συντάσσεται το διάγραμμα του Σχ. 4.9.3, το οποίο ονομάζεται καμπύλη πολώσεως. Παθητικότητα στον χάλυβα υπάρχει όταν η μεταβολή $\Delta E/\Delta i$ είναι μεγάλη. Όταν η κλίση της καμπύλης γίνεται σχεδόν μηδενική (δηλαδή όταν για μικρή αύξηση στο δυναμικό, παρατηρούνται μεγάλες αυξήσεις στην ένταση ρεύματος), η σχετική περιοχή χαρακτηρίζεται ως μεταθετική περιοχή (μετά από κάποιο δυναμικό E_{TP}). Όταν συμβαίνει τοπική διάβρωση, η παθητικότητα στον χάλυβα χάνεται για μικρότερες τιμές του δυναμικού σε σχέση με το δυναμικό E_{TP} της γενικής διαβρώσεως του χάλυβα.



Σχ. 4.9.3 Καμπύλη ανοδικής πολώσεως του χάλυβα σε αλκαλικό περιβάλλον

4.10 Διαπερατότητα

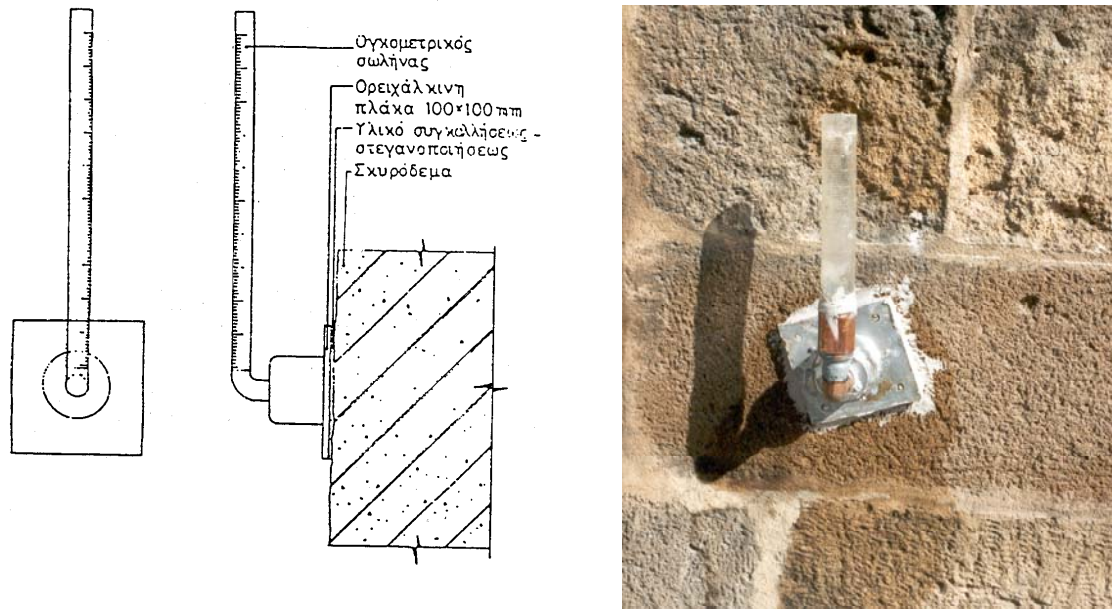
Η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος επηρεάζεται σημαντικά από τις περιβαλλοντικές συνθήκες (υγρασία, διαβρωτικές ουσίες στο νερό: διοξείδιο του άνθρακα, οξυγόνο, άλατα χλωρίου, οξέα, θειικά άλατα, αλκάλια, ιόντα μαγνησίου), από την διαπερατότητα του σκυροδέματος (ιδιαίτερα δε, από την διαπερατότητα της επιφανειακής στρώσης). Η εκτίμηση της εν δυνάμει ανθεκτικότητας του σκυροδέματος εστιάζεται αναπόφευκτα στην αποτίμηση της ικανότητας της επιφανειακής στρώσης του σκυροδέματος να αποτρέπει την είσοδο διαβρωτικών ουσιών.

Τρεις είναι οι κύριοι μηχανισμοί με τους οποίους ξένες ουσίες μπορούν να εισχωρήσουν στο σκυρόδεμα:

- η απορρόφηση (είσοδος υγρών λόγω τριχοειδών φαινομένων),
- η διείδυση (ροή ρευστού υπό πίεση) και
- η διάχυση (κίνηση μορίων και ιόντων από περιοχές μεγαλύτερης συγκέντρωσης προς περιοχές μικρότερης συγκέντρωσης).

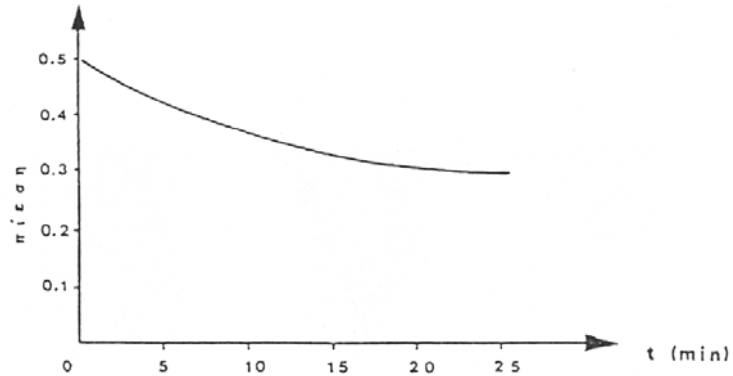
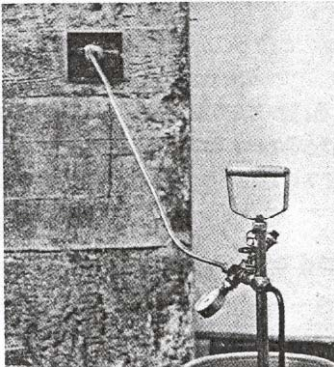
Η αρχή της μεθόδου: Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι για τον έλεγχο της διαπερατότητας του σκυροδέματος προσπαθούν να ελέγξουν τους παραπάνω τρεις μηχανισμούς. Διακρίνονται σε αυτές που βασίζονται:

- στην απορρόφηση ύδατος. Κατά τον έλεγχο απορροφήσεως μετράται ο ρυθμός με τον οποίο το νερό απορροφάται από το σκυρόδεμα υπό σχετικά χαμηλή υδροστατική πίεση (Σχ. 4.10.1). Ο ρυθμός αυτός είναι συνάρτηση του πορώδους, το οποίο εξαρτάται από τον λόγο νερού προς τσιμέντο (w/c) (για $w/c > 0.60$ η διαπερατότητα αυξάνει θεαματικά) και τις συνθήκες συντηρήσεως (για χρόνους συντηρήσεως μικρότερους από 7 ημέρες η διαπερατότητα είναι μεγάλη ενώ μετά τις 7 ημέρες δεν φαίνεται να μειώνεται άλλο). Από τις μεθόδους του τύπου αυτού άλλες μετρούν την επιφανειακή απορρόφηση (Initial surface absorption test, ISAT, Levitt 1971, Favre et al. 1977) ενώ άλλες μετρούν την απορρόφηση εντός ειδικής οπής η οποία διατρήεται στο σκυρόδεμα (Figg water absorption test, Figg 1973). Στο Σχ 4.10.1 φαίνεται η αρχή της μεθόδου και εφαρμογή της (Θ.Π. Τάσιος, Κ. Αλιγιζάκη, Ανθεκτικότητα Ωπλισμένου Σκυροδέματος, Αθήνα 1993).



Σχ. 4.10.1 Μέθοδος της επιτόπου μετρήσεως υδατοαπορροφητικότητας σε σκυρόδεμα και τοιχοποιία

- στην υδατοπερατότητα υπό πίεση. Κατά την μέθοδο αυτή καταγράφεται συναρτήσεως του χρόνου είτε η ποσότητα ύδατος που εισέρχεται στο σκυρόδεμα διατηρώντας σταθερή την πίεση (της τάξεως των 0.15MPa) είτε η πτώση πίεσεως συναρτήσεως του χρόνου έχοντας ξεκινήσει από μια αρχική πίεση (της τάξεως των 0.50MPa) για δεδομένο όγκο ύδατος. Στο Σχ 4.10.2 φαίνεται η αρχή της μεθόδου και εφαρμογή της (Θ.Π. Τάσιος, Κ. Αλιγιζάκη, Ανθεκτικότητα Ωπλισμένου Σκυροδέματος, Αθήνα 1993).



Χρόνος

Σχ. 4.10.2 Μέθοδος επιτόπου μετρήσεως της υπό πίεση υδατοπερατότητας του σκυροδέματος

- στην αεροπερατότητα υπό πίεση. Οι μέθοδοι αυτές είναι ανάλογες με εκείνες που βασίζονται στην υδατοπερατότητα υπό πίεση. Διάφορες έρευνες έχουν συσχετίσει την αεροπερατότητα με τον λόγο νερού προς τσιμέντο, την αντοχή, και τις συνθήκες συντηρήσεως.

Πλεονεκτήματα και όρια των μεθόδων: Στα πλεονεκτήματα των μεθόδων κατατάσσονται η ευκολία, η απλότητα και η οικονομικότητα. Επίσης είναι μή καταστροφικές (ή ελάχιστα καταστροφικές) μέθοδοι. Στα μειονεκτήματα των μεθόδων κατατάσσονται η δυσκολία της επιτόπου στεγάνωσης (για τις μεθόδους υπό πίεση), η εξάρτηση από την προϋπάρχουσα υγρασία (ιδίως για τις μεθόδους απορροφήσεως) και η εξάρτηση των αποτελεσμάτων από τις τοπικές συνθήκες της δοκιμαζόμενης περιοχής. Τέλος οι μέθοδοι αυτές είναι εμπειρικές και δεν μπορούν να ποσοτικοποιήσουν κάποια συγκεκριμένη ιδιότητα του σκυροδέματος.

4.11 Υπέρυθρη φωτογράφιση

Με την μέθοδο αυτή είναι δυνατόν να προσδιοριστούν: η ύπαρξη διαφορετικών υλικών πίσω από μια ενιαία επιφάνεια (π.χ. ξύλο, πέτρα ή σκυρόδεμα κάτω από μια ενιαία σοβατισμένη επιφάνεια), οι εσωτερικές ανωμαλίες και κενά, ρωγμές σε επιφάνειες σκυροδέματος (π.χ. καταστρώματα γεφυρών), η ύπαρξη υγρασίας στην θερμομόνωση, καθώς και μέτρηση της υγρασίας του σκυροδέματος.

Η αρχή της μεθόδου: Ανιχνεύεται η εκπομπή θερμικής ακτινοβολίας και παράγεται οπτική απεικόνιση του θερμικού αυτού σήματος (θερμογράφημα). Η υπέρυθρη φωτογράφιση δεν μετρά απ' ευθείας την θερμοκρασία μιας επιφάνειας αλλά την μεταβολή της επιφανειακής ακτινοβολίας. **Η θερμογραφία βασίζεται σε δύο αρχές:** η πρώτη είναι ότι κάθε επιφάνεια εκπέμπει ενέργεια υπό την μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το μήκος κύματος εξαρτάται από την θερμοκρασία. Αυξανόμενης της θερμοκρασίας το μήκος κύματος γίνεται βραχύτερο μέχρι που σε πολύ μεγάλες θερμοκρασίες βρίσκεται στο ορατό φάσμα (π.χ. πυρακτωμένη άκρη βελόνας). Πάντως στην θερμοκρασία δωματίου το μήκος κύματος της ακτινοβολίας είναι της τάξεως των 10μm (στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος). Η ακτινοβολία ανιχνεύεται με κατάλληλους ανιχνευτές οι οποίοι παράγουν ηλεκτρικό σήμα ανάλογο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας το οποίο με κατάλληλη βαθμονόμηση μετατρέπεται σε θερμοκρασία. **Η δεύτερη αρχή** είναι ότι οι υποεπιφανειακές ανωμαλίες επηρεάζουν την ροή της θερμότητας. Αν οι ανωμαλίες (ή διαφοροποιήσεις υλικού) δεν είναι σε πολύ μεγάλο βάθος τότε η διαφοροποίηση της θερμικής ροής συνεπάγεται και διαφοροποιήσεις στην επιφανειακή θερμοκρασία. Στην πράξη η απαραίτητη διαφοροποίηση στην ροή της θερμότητας επιτυγχάνεται με θέρμανση: είτε τεχνητώς με την χρήση ειδικών θερμικών λαμπτήρων είτε φυσικώς τόσο κατά την θέρμανση στην αρχή της ημέρας από την

ηλιακή ακτινοβολία (θερμική ροή προς το εσωτερικό της κατασκευής) όσο και κατά την ψύξη το απόγευμα (εκπομπή θερμότητας από το εσωτερικό της κατασκευής προς το περιβάλλον).

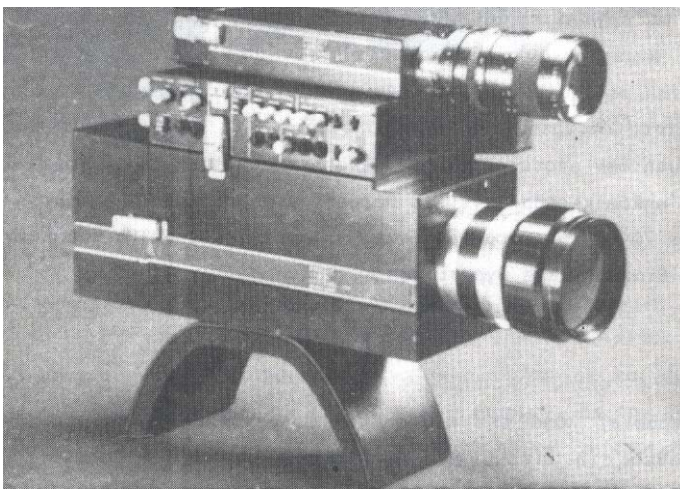
Οι φυσικές παράμετροι που επηρεάζουν την υπέρυθρη ακτινοβολία που μετριέται κατά την θερμογράφηση είναι: η ικανότητα εκπομπής της επιφάνειας (συγκρινόμενη με εκείνη του μέλανος σώματος), η επιφανειακή θερμοκρασία, η θερμική αγωγιμότητα, η θερμοχωρητικότητα, το πάχος του θερμαινόμενου στρώματος και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι ιδανικές καιρικές συνθήκες είναι: καθαρός ουρανός, έντονη ηλιακή ακτινοβολία, ασθενείς άνεμοι, ξηρή επιφάνεια. Κατά το ASTM D4788 συνιστώνται τα εξής:

- καθαρισμός της επιφάνειας από χαλαρά υλικά
- να μην γίνεται έλεγχος σε επιφάνειες με νερό, πάγο ή χιόνι. Οι υγρές επιφάνειες να στεγνώσουν επί 24 ώρες τουλάχιστον.
- να μην γίνεται έλεγχος με ταχύτητες αέρα μεγαλύτερες από 25km/h
- η θερμοκρασία εδάφους να είναι πάνω από 0°C
- κατά την νυκτερινή θερμογράφηση δεν θα πρέπει να υπάρχουν σύννεφα (γιατί αντανακλούν την υπέρυθρη ακτινοβολία)
- η θερμογράφηση να γίνεται όταν ο ρυθμός μεταβολής της θέρμανσης ή της ψύξης είναι μέγιστος δηλαδή είτε νωρίς το πρωί είτε αμέσως μετά την δύση του ηλίου

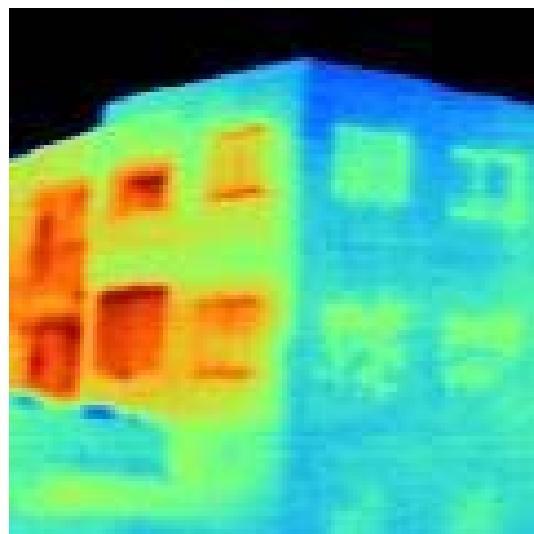
Ο εξοπλισμός: Το σύστημα αποτελείται από τρία μέρη:

- τον ανιχνευτή / σαρωτή: είναι ένα είδος οπτικής κάμερας οι φακοί της οποίας επιτρέπουν την διέλευση υπέρυθρης ακτινοβολίας μήκους κύματος από 3 έως 5.6μm (βραχεία κύματα) ή 8 έως 12μm (μεσαία κύματα)
- το σύστημα συλλογής και ανάλυσης δεδομένων με το οποίο ψηφιοποιούνται τα δεδομένα και στην συνέχεια εμφανίζονται σε οθόνη ή σε χαρτί.
- έναν οπτικό καταγραφέα. (κοινή ή ψηφιακή φωτογραφική μηχανή ή βίντεο), για την αποτύπωση της ελεγχόμενης επιφάνειας. Από την σύγκριση των οπτικών και υπέρυθρων εικόνων ελέγχεται αν οι διαφορές θερμοκρασίας στην υπέρυθρη εικόνα οφείλονται στην επιφανειακή ικανότητα εκπομπής ακτινοβολίας ή σε εσωτερικά αίτια (π.χ. επιφανειακά μπαλώματα ή τοπικά βανίματα έχουν διαφορετική εκπομπή ακτινοβολίας από την υπόλοιπη επιφάνεια)

Πλεονεκτήματα και όρια εφαρμογής της μεθόδου: Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι πρόκειται για μια καθολική μέθοδο με την οποία ελέγχονται μεγάλες επιφάνειες (μεγαλύτερες απ' ό,τι με άλλες μεθόδους) και άρα είναι οικονομικότερη. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αμέσως. Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ο ακριβός εξοπλισμός, η απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού, η απαίτηση κατάλληλων καιρικών συνθηκών. Στους περιορισμούς της μεθόδου συγκαταλέγονται η αδυναμία προσδιορισμού του βάθους των ανωμαλιών και η μεταβολή των λαμβανομένων αποτελεσμάτων με την μεταβολή των περιβαλλοντικών συνθηκών κατά την ώρα των μετρήσεων.



Σχ. 4.11.1 Μηχανή υπέρυθρης φωτογράφισης (Θεολογίδου)



4.12 Ραντάρ

Η μέθοδος είναι ανάλογη με εκείνες που χρησιμοποιούν τασικά κύματα με την διαφορά ότι στην προκειμένη περίπτωση εκπέμπονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Η μέθοδος είχε αρχικώς στρατιωτικές εφαρμογές αλλά τώρα εφαρμόζεται και σε πολιτικές εφαρμογές. Σε έργα πολιτικού μηχανικού εφαρμόστηκε σε έρευνες εδάφους (προσδιορισμός υπόγειων σωλήνων, πάχος εδαφικών στρώσεων κλπ). Προσφάτως άρχισε να εφαρμόζεται και σε κατασκευές για τον προσδιορισμό του πάχους πλακών από σκυρόδεμα, εντοπισμό ράβδων σκυροδέματος και έλεγχο εσωτερικών φθορών.

Η αρχή της μεθόδου: Η μέθοδος βασίζεται στην ανάκλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων όταν διέρχονται από υλικά με διαφορετική διηλεκτρική σταθερά. Μια αντένα σύρεται στην επιφάνεια εκπέμποντας ηλεκτρομαγνητικά κύματα δεδομένης συχνότητας τα οποία εισέρχονται στην προς έλεγχο περιοχή. Τα κύματα διαδίδονται δια μέσου του υλικού. Στην διεπιφάνεια δύο υλικών, με διαφορετικές διηλεκτρικές σταθερές, ένα μέρος της ακτινοβολίας αντανακλάται και επιστρέφει πίσω στην αντένα η οποία παράγει σήμα με ένταση ανάλογη του ανακλωμένου ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Ετσι το επιστρέφον σήμα περιέχει πληροφορίες σχετικά με το είδος της επιφάνειας στην οποία έγινε η ανάκλαση, τον χρόνο διαδρομής και την απόσβεση του σήματος. Οι ιδιότητες που επηρεάζουν την μεταδιδόμενη και την ανακλώμενη ενέργεια είναι η σχετική (ως προς τον αέρα) διηλεκτρική σταθερά και η αγωγιμότητα του υλικού. Ειδικότερα, το ποσόν της ανακλώμενης ενέργειας στην διεπιφάνεια δύο διαφορετικών υλικών εξαρτάται από την διαφορά των διηλεκτρικών σταθερών.

Η χρονική ανάλυση των ανακλωμένων κυμάτων επιτρέπει τον προσδιορισμό του βάθους της ανακλώσας επιφάνειας όταν είναι γνωστές οι σχετικές διηλεκτρικές σταθερές των υλικών (από τις οποίες υπολογίζονται και οι ταχύτητες διαδόσεως των κυμάτων εντός των αντιστοίχων υλικών).

Ο εξοπλισμός: Ο τυπικός εξοπλισμός απαρτίζεται από τα εξής μέρη:

- την αντένα η οποία είναι πομπός και δέκτης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Για ένα δεδομένο υλικό, το βάθος διεισδύσεως και ευκρίνεια είναι συναρτήσεις της συχνότητας του παλμού. Χαμηλές συχνότητες έχουν μεγάλο βάθος διεισδύσεως αλλά μικρή ευκρίνεια, ενώ υψηλές συχνότητες έχουν μεγαλύτερη ευκρίνεια αλλά μικρότερο βάθος διεισδύσεως. Π.χ. μια αντένα 1GHz έχει βάθος διεισδύσεως σε σκυρόδεμα περίπου 400mm (εξαρτάται πολύ και από την υγρασία). Οι αντένες μπορεί να έχουν την μορφή ενός μικρού φορητού διπόλου χειρός (όπως αυτού για τον προσδιορισμό οπλισμού) είτε να είναι ρυμουλκούμενες-κυλιόμενες με συνεχή καταγραφή καθώς κινείται το όχημα κατά μήκος οδών και γεφυρών.
- την κεντρική μονάδα η οποία είναι η καρδιά του συστήματος: ελέγχει την συχνότητα των παλμών, παρέχει την απαιτούμενη ισχύ για την εκπομπή των σημάτων, συλλαμβάνει και μεγεθύνει τα ανακλώμενα σήματα, και στέλνει το ενισχυμένο σήμα σε οθόνη. Τέλος αποθηκεύει τα δεδομένα σε ψηφιακό δίσκο για περαιτέρω ανάλυση και επεξεργασία.
- την οθόνη στην οποία προβάλλονται τα αποτελέσματα. Πολλές φορές τα αποτελέσματα αποστέλλονται απ' ευθείας σε εκτυπωτή και
- το δίσκο αποθήκευσης των δεδομένων (λόγω της μεγάλης συχνότητας εκπομπής παλμών, περίπου 50kHz, δημιουργείται μεγάλος όγκος δεδομένων).

Για την επεξεργασία των δεδομένων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή απαιτούνται εξειδικευμένα λογισμικά προγράμματα.

Πλεονεκτήματα και όρια της μεθόδου: Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου κατατάσσονται η ικανότητα διεισδύσεως και ο προσδιορισμός μη ορατών καταστάσεων, η ικανότητα σαρώσεως μεγάλων επιφανειών σε μικρό χρόνο και η μεγάλη ευαισθησία στην υγρασία και στα ενσωματωμένα μεταλλικά αντικείμενα. Το πάχος σκυροδέματος το οποίο μπορεί να ελεγχθεί με την μέθοδο του ραντάρ είναι της τάξεως των 750mm (εξαρτώμενο από την συχνότητα της αντένας και την περιεχόμενη υγρασία). Οι συνήθεις αντένες καλύπτουν μια κωνική περιοχή. Σε ένα βάθος 200mm καλύπτουν μια περιοχή περίπου 0.1m^2 , δηλαδή για τέτοια βάθη απαιτούνται παράλληλες διελεύσεις ανά περίπου 0.3m. Ένα άλλο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η μικρή διακριτική ικανότητα όταν οι ράβδοι οπλισμού στο σκυρόδεμα βρίσκονται η μία κοντά στην άλλη. Η διακριτική ικανότητα, εκτός από την απόσταση των ράβδων μεταξύ-τους, εξαρτάται και από την

επικάλυψη του οπλισμού. Ενδεικτικώς αναφέρεται ότι, για επικάλυψη οπλισμών 5cm, οι ράβδοι πρέπει να απέχουν τουλάχιστον 10 έως 15cm για να είναι ανιχνεύσιμες. Πολύ πυκνοί οπλισμοί, λόγω της έντονης αντανάκλασας, αποτρέπουν την ανίχνευση λοιπών χαρακτηριστικών που βρίσκονται σε μεγαλύτερα βάθη. Τέλος, με την μέθοδο αυτή, δεν είναι εφικτός ο προσδιορισμός της διαμέτρου της ράβδου καθώς και η ύπαρξη εσωτερικών ρωγμών. Συμπερασματικώς η μέθοδος είναι κατάλληλη για τον προσδιορισμό του πάχους του σκυροδέματος καθώς και τον προσδιορισμό της στάθμης των οπλισμών, ενώ τα λοιπά χαρακτηριστικά θα πρέπει να προσδιορισθούν με τομές ή πυρηνοληψίες.



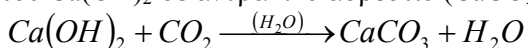
Σχ. 4.12.1 Αντένα Radar (διακρίνεται και η κεντρική μονάδα)

4.13 Ενανθράκωση

Ημικαταστροφική μέθοδος η οποία βασίζεται στην μεταβολή του PH του σκυροδέματος δομικού στοιχείου από την παρουσία διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Μέθοδος η οποία εφαρμόζεται με ψεκάσμο διαλειμματος φαινολοφθαλείνης σε φρεσκοθραυσμένες ή φρεσκοκομμένες επιφάνειες σκυροδέματος.

Οι ράβδοι οπλισμού προστατεύονται από την διάβρωση μέσω ενός πολύ λεπτού επιφανειακού στρώματος ένυδρου οξειδίου του σιδήρου, που δημιουργείται λόγω της υψηλής αλκαλικότητας του σκυροδέματος που τις περιβάλλει. Η αλκαλικότητα αυτή χαρακτηρίζεται από μία τιμή του pH γύρω στο 12.5, που αντιστοιχεί στην υπό συνήθη θερμοκρασία συγκέντρωση ισορροπίας του υδροξειδίου του ασβεστίου Ca(OH)₂, στο νερό των πόρων. Το προστατευτικό στρώμα οξειδίου μπορεί να διατηρηθεί τοπικά από ιόντα χλωρίου, αν η συγκέντρωση των τελευταίων υπερβαίνει το 0.4 ÷ 0.6 % του βάρους του τσιμέντου, ή να διαλυθεί γενικά, λόγω μείωσης της αλκαλικότητας του σκυροδέματος γύρω από την ράβδο, σε τιμές του pH κάτω από 9.0. Τότε λέμε ότι ο χάλυβας του οπλισμού αποπαθητικοποιήθηκε (δηλαδή δεν απολαμβάνει πλέον την παθητική προστασία που του προσέφερε η αλκαλικότητα του σκυροδέματος).

Η μείωση του pH του σκυροδέματος σε τιμές κάτω του 9.0 οφείλεται στην χημική αντίδραση του Ca(OH)₂ του νερού των πόρων (και γενικότερα του στερεού ιστού του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού) με το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) της ατμόσφαιρας, που σταδιακά διαχέεται προς το εσωτερικό του σκυροδέματος μέσω της αέριας φάσης των πόρων. Η διαδικασία αυτή έχει σαν αποτέλεσμα τη μετατροπή του Ca(OH)₂ σε ανθρακικό ασβέστιο (CaCO₃) σύμφωνα με την αντίδραση:



Η όλη διαδικασία ονομάζεται ενανθράκωση του σκυροδέματος. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η ενανθράκωση, η οποία για το ωπλισμένο σκυρόδεμα έχει δυσμενείς επιπτώσεις, στον ατμοσφαιρικό αέρα οδηγεί στην σκλήρυνση του ασβέστη.



Σχ. 4.13.1 Δοκίμιο σκυροδέματος το οποίο έχει ψεκάσθει με διάλυμα φαινολοφθαλεΐνης. Το τμήμα στο οποίο δεν παρουσιάζεται αλλαγή χρώματος (δεξιά) είναι ενανθρακωμένο (βάθος ενανθρακώσεως περίπου 3cm) Το αριστερά τμήματα (χρώματος ροζ-βυσσινί) δεν έχει ενανθρακωθεί.

Η ενανθράκωση και η διείδυση χλωριόντων δεν είναι ανεξάρτητες διαδικασίες, καθότι η πρώτη επιταχύνει σημαντικά τη δεύτερη. Το $\text{Ca}(\text{OH})_2$ του στερεού ιστού του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού αντιδρά με τα χλωριόντα και τα δεσμεύει, περιορίζοντας την ποσότητα αυτών που διαχέονται προς τον οπλισμό κάτω από την οριακή συγκέντρωση του $0.4 \div 0.6 \%$ που απαιτείται για την διάτρηση του προστατευτικού οξειδίου. Όταν όμως το υδροξείδιο του ασβεστίου μετατραπεί με την ενανθράκωση σε CaCO_3 , τα χλωριόντα που έχει δεσμεύσει ελευθερώνονται και διατίθενται πλέον για την προσβολή του χάλυβα.

Μετά την τοπική ή γενική απώλεια του επιφανειακού προστατευτικού οξειδίου, ο οπλισμός μπορεί να αρχίσει να οξειδώνεται. Η οξείδωση είναι μία ηλεκτροχημική αντίδραση με ηλεκτρολύτη το νερό των πόρων.

4.14 Ενδοσκόπηση

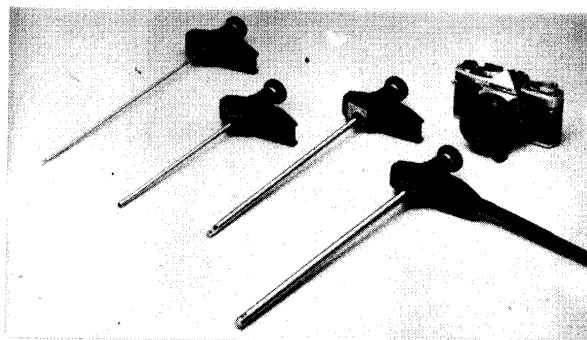
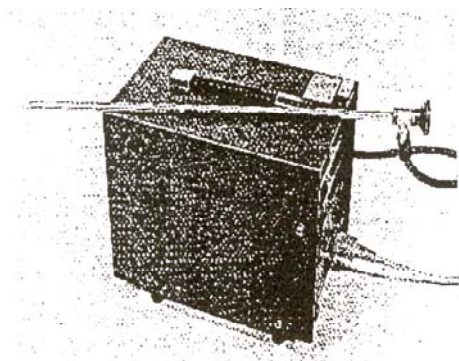
Ανήκει στην κατηγορία των μη καταστρεπτικών μεθόδων. Μέσω της μεθόδου αυτής είναι δυνατή η παρατήρηση του μετώπου, αλλά και των παραπλεύρων επιφανειών της διατήσεως και καταγραφή ενδεχομένων κοιλοτήτων, υπάρξεως κενών, ρωγμών στο εσωτερικό δομικών στοιχείων (σκυροδέματος, τοιχοποιίας ή ξύλου) ή μέτρηση του ανοίγματός των ρωγμών. Με την μέθοδο αυτή δίνεται η δυνατότητα φωτογράφισης ή και βιντεοσκόπησης των παρεχομένων πληροφοριών. Τα ενδοσκόπια είναι είτε άκαμπτα είτε εύκαμπτα. Τα εύκαμπτα (τα οποία πολλές φορές ονομάζονται και ινοσκόπια) έχουν την δυνατότητα να ακολουθήσουν και τεθλασμένη διαδρομή, είναι δηλαδή πιο ευέλικτα, χρησιμοποιούνται όμως κυρίως στην Ιατρική, χωρίς αυτό να αποκλείει και την χρησιμοποίηση για ενδοσκόπηση του σώματος της τοιχοποιίας. Τα άκαμπτα ακολουθούν ευθεία γραμμή αλλά έχουν καθαρότερη εικόνα.

Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται διάνοιξη οπής διαμέτρου, $10 \div 15 \text{ mm}$, στην οποία εισάγεται ο σωλήνας του ενδοσκοπίου. Αν πρόκειται να μελετηθεί κάποιο κοίλωμα, ο εντοπισμός της θέσεώς-του μπορεί να γίνει με συσχετισμός και κάποιας από τις έμμεσες μεθόδους που περιγράφονται στο παρόν κεφάλαιο (π.χ. Radar, θερμογραφία κλπ)

Η βασική συσκευή ενός ενδοσκοπίου αποτελείται από τα εξής:

- σωλήνα ενδοσκοπίου διαμέτρου 10 mm περίπου, ο οποίος στην μία άκρη του φέρει οπή παρατηρήσεως, η οποία φωτίζεται μέσω καλωδίου οπτικών ινών από πηγή φωτισμού και στο άλλο άκρο τον φακό παρακολούθησεως και πηγή φωτισμού. Επίσης είναι δυνατόν να προσαρμοσθεί φωτογραφική μηχανή ή βιντεοκάμερα για την καταγραφή των παρεχόμενων πληροφοριών. Το μήκος του σωλήνα ποικίλει από 0.50÷1.50m. Η γωνία της οπής παρατηρήσεως είναι επίσης μεταβλητή.
- πηγή ψυχρού φωτισμού εφοδιασμένη με καλώδιο οπτικών ινών για μεταφορά του φωτισμού από την πηγή στην οπή παρατηρήσεως.
- Φωτογραφική μηχανή ή βιντεοκάμερα για καταγραφή των παρεχόμενων πληροφοριών. Τελευταίως η τεχνική έχει επεκταθεί και στην χρήση ψηφιακής μικρο-βιντεοκάμερας διαμέτρου μόλις 12mm η οποία μπορεί να είναι και τηλεχειριζόμενη (για περιοχές βιολογικώς επικίνδυνες).

Ο απαιτούμενος εξοπλισμός φαίνονται στο Σχ. 4.14.1.



Σχ. 4.14.1 Εξοπλισμός ενδοσκοπίου (Ενδοσκόπια, πηγή φωτισμού, φωτογραφική μηχανή) (Καραντώνη) (Θεολογίδου)

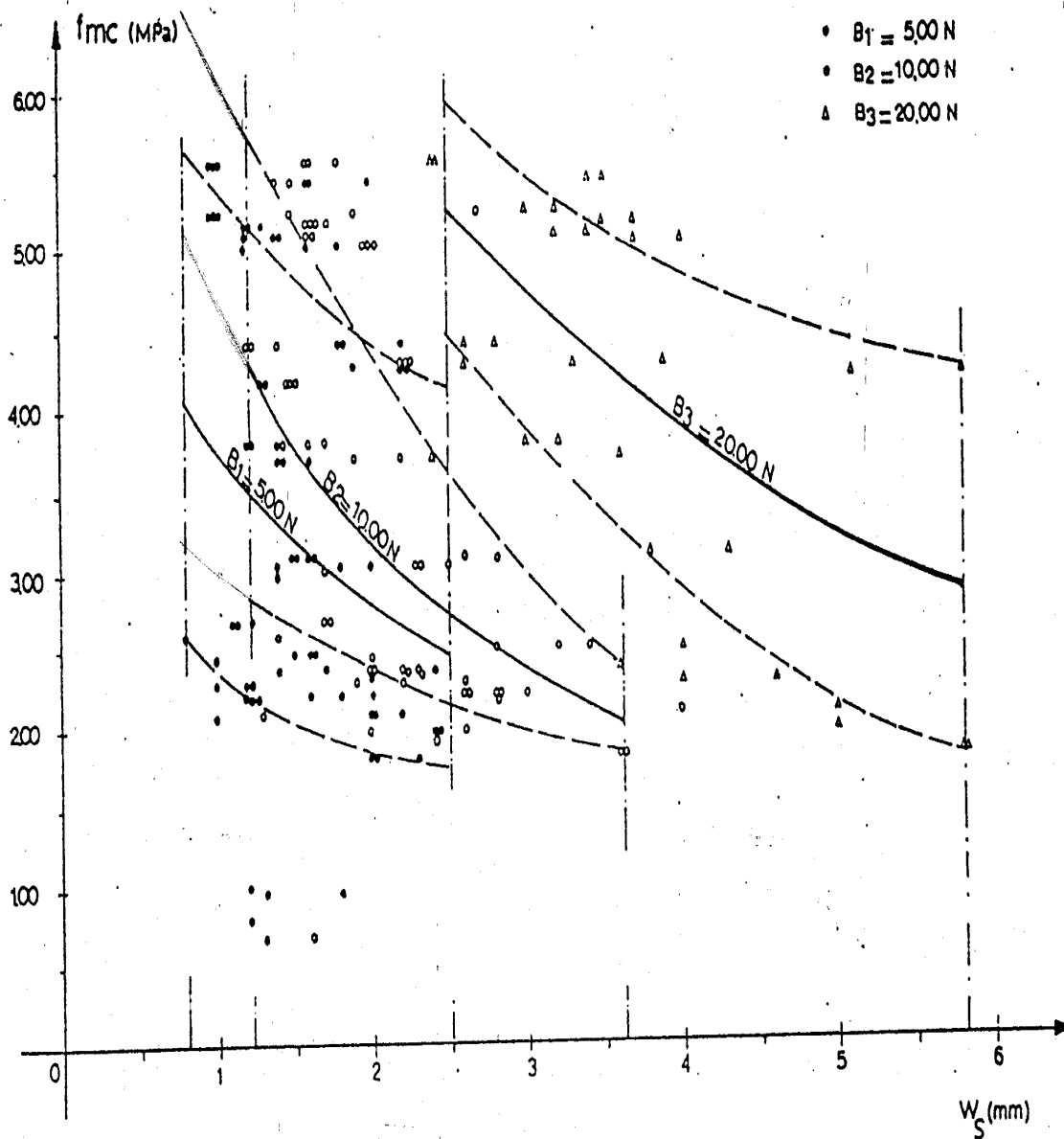
4.15 Δοκιμή χαραγής

Με την δοκιμή αυτή προσδιορίζεται η θλιπτική αντοχή του κονιάματος. Ανήκει στην κατηγορία των ελάχιστα καταστρεπτικών μεθόδων, απαιτείται τοπικά καθαίρεση των επιχρισμάτων (T.P. Tassios, C.Vachliotis, C.Spanos, IN-SITU STRENGTH MEASUREMENTS OF MANSORNY MORTARS, Athens, September 1989). Η εφαρμογή της μεθόδου γίνεται ως εξής:

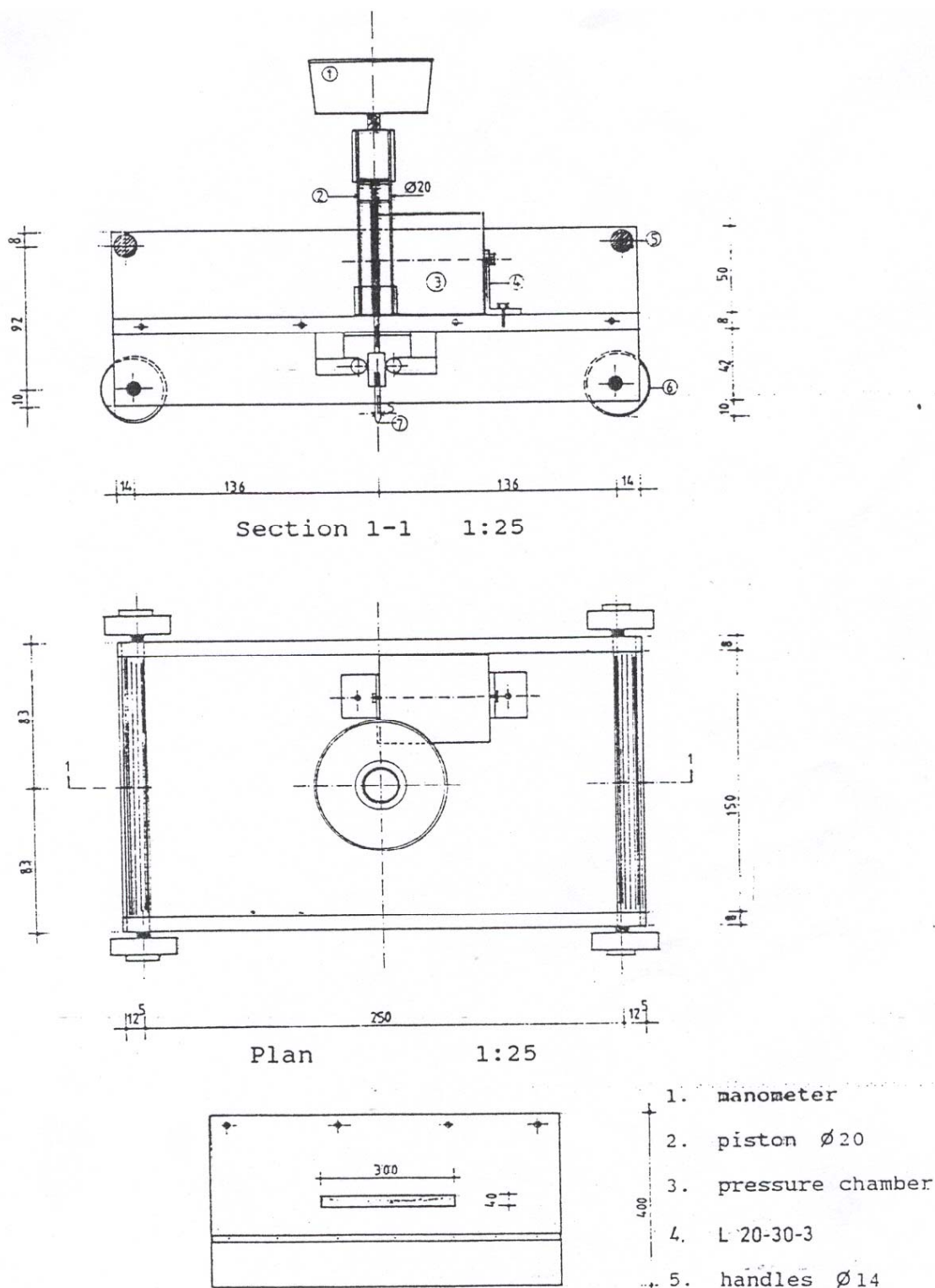
Μια μεταλλική ακίδα σύρεται, υπό σταθερό θλιπτικό φορτίο, κατά μήκος ενός αρμού κονιάματος. Ακολούθως γίνεται μέτρηση του εύρους της χαραγής σε τουλάχιστον είκοσι ισαπέχοντα σημεία. Στην συνέχεια κατασκευάζεται ιστόγραμμα, εύρους χαραγής - αριθμός μετρήσεων, υπό σταθερό θλιπτικό φορτίο, από το οποίο βρίσκεται η συχνότερη τιμή εύρους χαραγής. Με βάση την συχνότερη τιμή του εύρους χαραγής υπό σταθερό θλιπτικό φορτίο, με χρήση διαγραμμάτων βαθμονομήσεως, εκτιμάται η θλιπτική αντοχή του κονιάματος. Στο Σχ.4.15.2 δίνονται σχέδια της συσκευής.

Όπως είναι φυσικό απαιτείται βαθμονόμηση της μεθόδου. Αυτή πραγματοποιείται με τον εξής τρόπο:

Από διαφορετικά αναμίγματα κατασκευάζονται, στο εργαστήριο: **1)** συμβατικά κυβικά δοκίμια κονιάματος 7X7X7cm (για δοκιμή σε θλίψη), **2)** πρισματικά δοκίμια 4X4X16cm (για δοκιμή σε εφελκυσμό) και **3)** πλάκες 50X50X5 cm, οι οποίες χρησιμοποιούνται για βαθμονόμηση της μεθόδου. Πραγματοποιούνται δοκιμές χαράξεως στις διάφορες πλάκες για διάφορες τιμές θλιπτικού φορτίου, ενώ δοκιμάζονται σε θλίψη και εφελκυσμό και τα συμβατικά δοκίμια. Κατασκευάζονται διαγράμματα συσχετίσεως των θλιπτικών αντοχών με τα εύρη χαραγών (συχνότερη τιμή) υπό σταθερό θλιπτικό φορτίο. Στο Σχ. 4.15.1 δίνεται ένα τέτοιο διάγραμμα βαθμονομήσεως.



Σχ. 4.15.1 Διάγραμμα βαθμονόμησης μεθόδου χαραγής

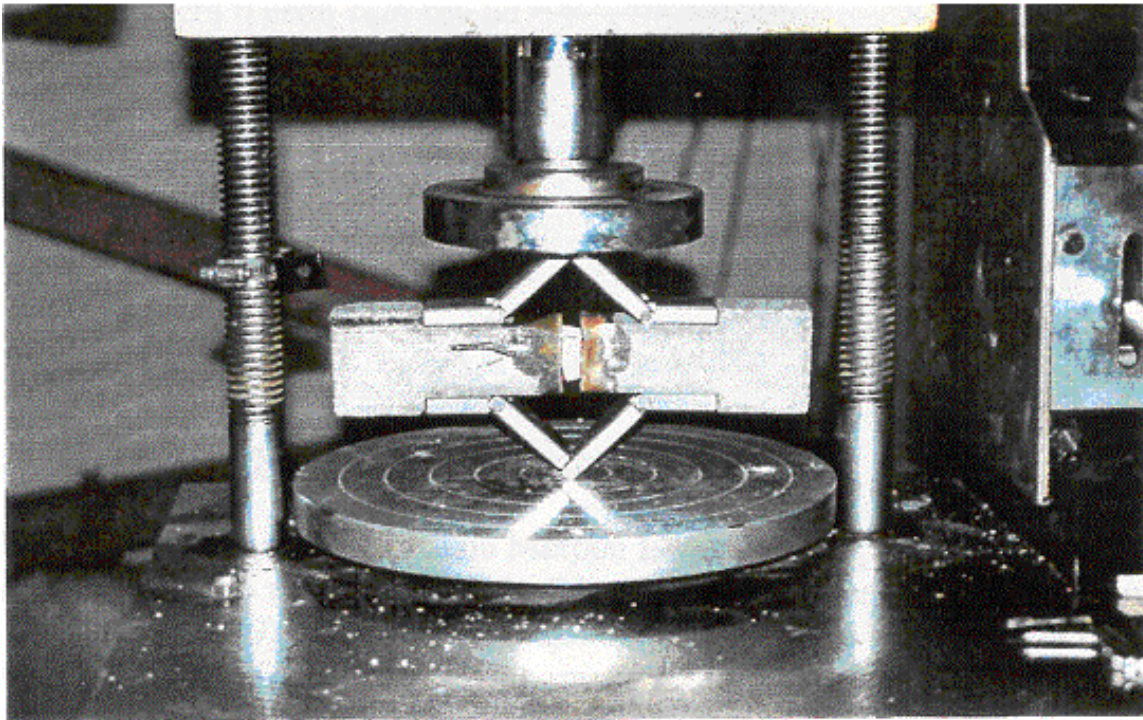


Σχ. 4.15.2 Συσκευή χαράξεως

4.16 Δοκιμή μικροθραυσμάτων

Με την δοκιμή αυτή υπολογίζεται η εφελκυστική αντοχή του κονιάματος. Ανήκει στην κατηγορία των ελάχιστα καταστρεπτικών μεθόδων. Απαιτεί τοπικά καθαίρεση των επιχρισμάτων, αποκάλυψη της τοιχοποιίας και λήψη δειγμάτων (τεμαχίων) κονιάματος ακανονίστου σχήματος και μορφής. (T.P. Tassios, C. Vachliotis, C. Spanos, 1989). Η εφαρμογή της μεθόδου γίνεται ως εξής:

Τα τεμάχια του κονιάματος αφού εγκιβωτισθούν σε κατάλληλες μήτρες με την βοήθεια κόλλας, δοκιμάζονται σε εφελκυσμό με κατάλληλη διάταξη (Ε. Κατσαραγάκης 1987) (βλ. Σχ.4.16.1). Στην συνέχεια γίνεται εμβαδομέτρηση της θραυσιγενούς επιφανείας (Α) και με γνωστή την επιβαλλόμενη δύναμη P υπολογίζεται η εφελκυστική αντοχή του κονιάματος $\sigma = P/A$.



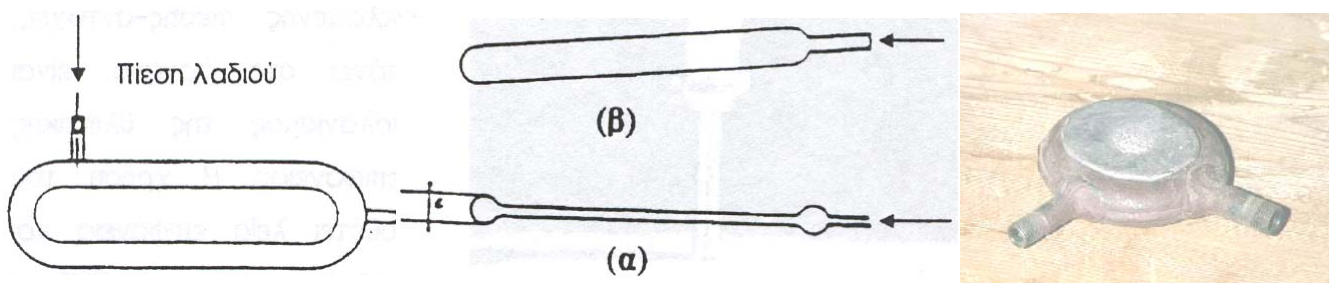
Σχ. 4.16.1 Διάταξη δοκιμής μικροθραυσμάτων σε εφελκυσμό (Κατσαραγάκης, 1987)

4.17 Μέθοδος των επίπεδων γρύλων

Προσδιορισμός θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας, μέτρου ελαστικότητας

Ανήκει στην κατηγορία των ελάχιστα καταστρεπτικών μεθόδων. Πρόκειται για μέθοδο η οποία χρησιμοποιείται κατά κόρον στην βραχομηχανική. Σε κτίρια από τοιχοποιία δοκιμάσθηκε από το Εργαστήριο ISMES, Μπέργκαμο Ιταλία.

Η δοκιμή συνίσταται στην επιβολή κατακορύφου θλιπτικού φορτίου στην τοιχοποιία μέσω επίπεδων γρύλων (Σχ. 4.17.1), με ταυτόχρονη καταγραφή οριζοντίων και κατακορύφων παραμορφώσεων της τοιχοποιίας. Έτσι είναι δυνατό να εκτιμηθεί η στάθμη των θλιπτικών τάσεων που ασκούνται σε μια περιοχή της τοιχοποιίας, αλλά και να μετρηθούν τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας, θλιπτική αντοχή, μέτρο ελαστικότητας, καθώς και ο λόγος εγκάρσιας διόγκωσης της τοιχοποιίας.

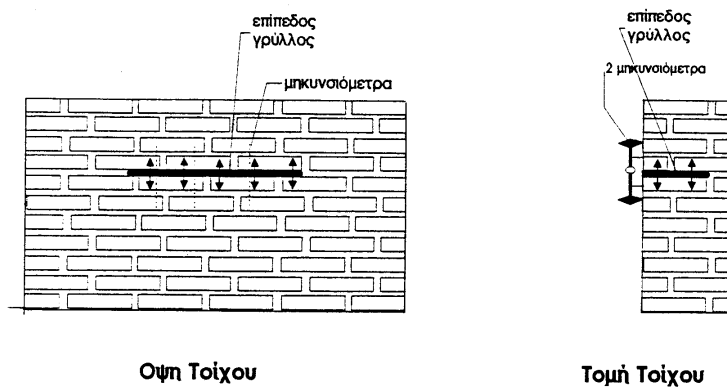


Σχ. 4.17.1 Κάτοψη, τομή (χωρίς πίεση (α), υπό πίεση (β)) και φωτογραφία επίπεδου γρύλου (Καραντώνη)

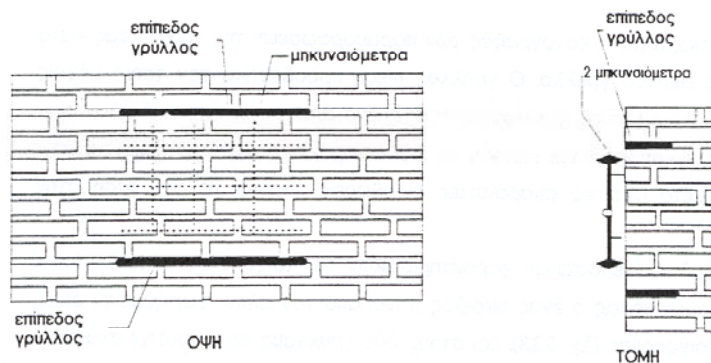
Η εφαρμογή της μεθόδου γίνεται ως εξής:

Κατ' αρχάς επιλέγεται η θέση της τοιχοποιίας στην οποία θα γίνουν οι μετρήσεις.

Επιλέγονται οι θέσεις όπου θα διανοιγούν οι οριζόντιες σχισμές (μία ή δύο), βλ. Σχ.14.17.2, 14.17.3.

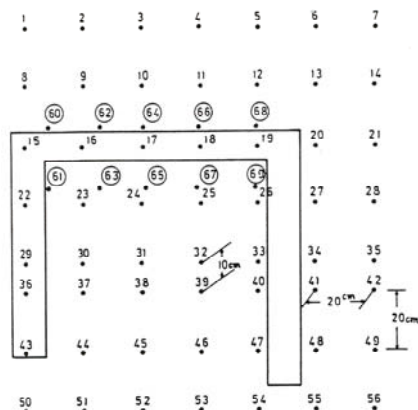


Σχ. 14.17.2 Μία οριζόντια σχισμή (Καραντώνη)



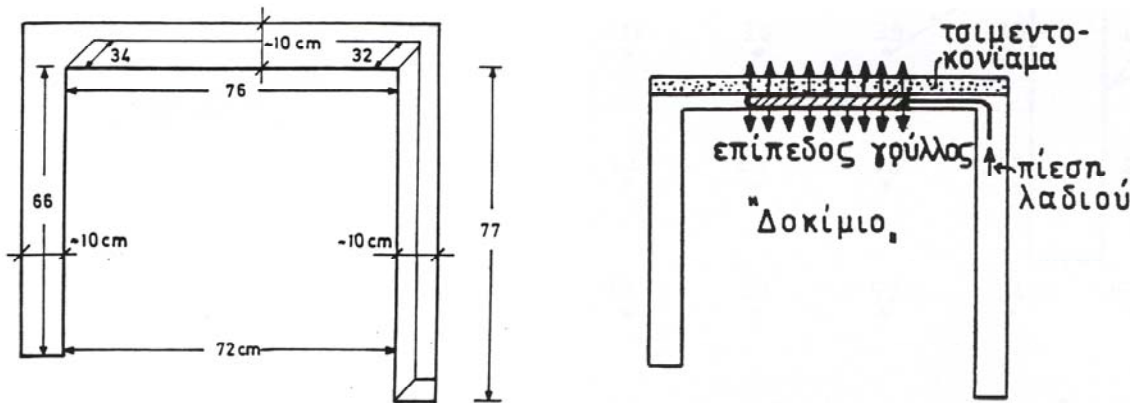
Σχ. 14.17.3 Δύο οριζόντιες σχισμές (Καραντώνη)

Εγκαθίσταται δίκτυο μετρητικών οργάνων παραμορφώσεως (βελόμετρα ή πούλιες) σε όλη την επιφάνεια του **δοκιμίου**, καθώς και στις γειτονικές περιοχές (βλ. Σχ. 4.17.4, από κτίριο Φιλεκπαιδευτικής Εταιρείας, Ερευνητικό πρόγραμμα ΕΜΠ, Θ.Π. Τάσιος, Ελ. Βιντζηλαίου, Αθήνα 1984). Καταγράφεται το μήκος αναφοράς όλου του δικτύου και κυρίως στις θέσεις εγκαρσίως προς τις σχισμές, οι οποίες ακόμα δεν έχει διανοιγεί.



Σχ. 4.17.4 Εγκατάσταση δικτύου μετρήσεων παραμορφώσεων

Διανοίγονται δύο οριζόντιες σχισμές στην τοιχοποιία σε καθορισμένες θέσεις και με πάχος όσο αυτό των επίπεδων γρύλων, έτσι ώστε να δημιουργείται ένα **δοκίμιο** τοιχοποιίας, στο οποίο θα πραγματοποιηθούν όλες οι μετρήσεις. Είναι φανερό ότι οι διαστάσεις των σχισμών είναι συνάρτηση του τρόπου με τον οποίο είναι δομημένη η τοιχοποιία. Στο Σχ. 4.17.5 φαίνεται το δοκίμιο, καθώς η οριζόντια, οι δύο κατακόρυφες σχισμές οι οποίες διανοίχθηκαν έτσι ώστε να απομονωθεί τμήμα της τοιχοποιίας, (από κτίριο Φιλεκπαιδευτικής Εταιρείας, Ερευνητικό πρόγραμμα ΕΜΠ, Θ.Π. Τάσιος, Ελ. Βιντζηλαίου, Αθήνα 1984).



Σχ. 4.17.5 Δοκίμιο και φόρτιση δοκιμίου

Ετσι στην περίπτωση λαξευτών τοιχοποιιών ή στην περίπτωση οπτοπλινθοδομών με σαφείς οριζόντιους αρμούς, το πάχος των σχισμών θα είναι μικρότερο απ' ό,τι στην περίπτωση αργολιθοδομών. Σ' αυτήν την περίπτωση, αργολιθοδομών, το σχήμα των σχισμών που προκύπτει είναι ακανόνιστο. Ετσι απαιτείται πριν την έναρξη τις δοκιμής επιπέδωση της σχισμής π.χ. με ισχυρή τσιμεντοκονία σταθερού όγκου.

Σε όλο το διάστημα το οποίο μεσολαβεί από την τοποθέτηση του δικτύου μετρητικών οργάνων μέχρι την διάνοιξη των σχισμών γίνεται καταγραφή των παραμορφώσεων (οριζόντιων ή κατακορύφων), ώστε να διαπιστωθεί ενδεχόμενη επιρροή των θερμοκρασιακών και υγρομετρικών συνθηκών στις μετρήσεις.

Πραγματοποιείται νέα μέτρηση του μήκους αναφοράς όλου του δικτύου των μετρητικών οργάνων που είναι τοποθετημένα, οι οποίες τώρα στην περιοχή των σχισμών, λόγω της αποτονάσεως, θα είναι μικρότερες από το αρχικό μήκος αναφοράς.

Στις δύο διαμορφωμένες σχισμές εισάγονται επίπεδοι γρύλοι με προσοχή και με σκοπό την πλήρη επαφή τις επιφάνειες των γρύλων και των επιφανειών (πάνω - κάτω) των σχισμών. Επειδή αυτό δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί γίνεται επί τόπου χύτευση πλακών μολύβδου και τσιμεντοκονίας (πάνω - κάτω), ούτως ώστε να υπάρχει πλήρης επαφή των επιφανειών των σχισμών με τις πλάκες μολύβδου και την επιφάνεια των επίπεδων γρύλων.

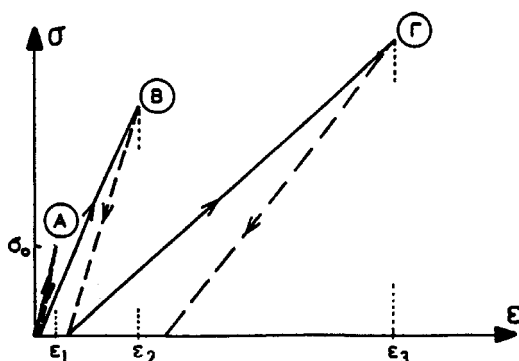
Σε όλο το διάστημα το οποίο μεσολαβεί από την διάνοιξη των σχισμών και μετρήσεως παραμορφώσεων, μέχρι την επιβολή κατακόρυφου φορτίου μέσω των επίπεδων γρύλων γίνεται καταγραφή των παραμορφώσεων (οριζόντιων ή κατακορύφων).

Στην συνέχεια μέσω των επίπεδων γρύλων επιβάλλεται κατακόρυφο θλιπτικό φορτίο στην τοιχοποιία και μέσω των μετρητικών οργάνων γίνεται καταγραφή των παραμορφώσεων (οριζόντιων ή κατακορύφων). Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το φορτίο για το οποίο το μήκος αναφοράς γίνεται ίσο με το αρχικό (πριν την διάνοιξη της σχισμής), είναι ίσο με το φορτίο που ασκείται στον τοίχο.

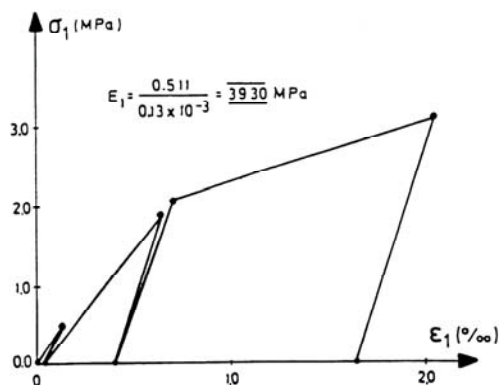
Οι μετρήσεις αυτές μας επιτρέπουν και την εκτίμηση του μέτρου ελαστικότητας της τοιχοποιίας. Στο Σχ. 4.17.6 δίνεται σχηματικώς η ιστορία φορτίσεως καθώς και τα διαγράμματα τάσεων παραμορφώσεων (σ - ϵ), του δοκιμίου.

Οι περιπτώσεις κατά τις οποίες είναι επιτρεπτή η ολοκλήρωση της δοκιμής μέχρι την θραύση του **δοκιμίου** είναι προφανώς ελάχιστες.

Κατά την εξέλιξη της δοκιμής αποφασίζεται και το στάδιο κατά το οποίο θα τερματισθεί η δοκιμή.



Ιστορία φορτίσεως



β. Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων δοκιμίου

α.

Σχ.4.17.6 Διαγράμματα α. Ιστορίας Φορτίσεως β. Τάσεων – παραμορφώσεων

Προσδιορισμός διατμητικής αντοχής

Η ίδια μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί και για προσδιορισμό της αντοχής σε διάτμηση κατά μήκος ενός οριζόντιου αρμού κονιάματος.

Από το μέσον περίπου του ύψους ενός **δοκιμίου** τοιχοποιίας, το οποίο ορίζεται από δύο σχισμές, αφαιρείται ένα λιθόσωμα και στην θέση - του εισάγεται ένας γρύλος για την επιβολή οριζοντίων (διατμητικών) τάσεων.

Η δοκιμή διατμήσεως πραγματοποιείται υπό ταυτόχρονη θλίψη, η οποία επιβάλλεται μέσω επίπεδων γρύλων.

Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η καταγραφή πλήρους διαγράμματος διατμητικών τάσεων - ολισθήσεων.

Όμως, η μέθοδος αυτή είναι δυνατόν να εφαρμοσθεί μόνον σε τοιχοποιίες με σαφείς οριζόντιους αρμούς (οπτοπλινθοδομές και λαξευτές λιθοδομές).

4.18 Μέτρηση εύρους ρωγμών – έλεγχος παραμορφώσεων

Οι κατηγορία των ελέγχων / μετρήσεων ανήκουν στην κατηγορία των μη καταστρεπτικών μεθόδων Σε αρκετές κατασκευές, οι οποίες έχουν υποστεί ήδη σημαντικές παραμορφώσεις ή υπάρχει υπόνοια ότι υφίστανται συνεχείς παραμορφώσεις απαιτείται όχι μόνον ο προσδιορισμός των παραμορφώσεων αλλά και η παρακολούθηση της εν χρόνο εξέλιξής - τους. Η γνώση της εξέλιξης των παραμορφώσεων δεν καθοδηγεί μόνο στην αναζήτηση των αιτιών - τους, αλλά και παρέχει πληροφορίες για την μελλοντική ασφάλεια της κατασκευής υπό φορτία λειτουργίας. Στοιχεία για τις παραμορφώσεις μιας κατασκευής απαιτούνται και όταν επίκειται αλλαγή χρήσης που θα έχει ως αποτέλεσμα σοβαρή ανακατανομή της θέσης και του μεγέθους των φορτίων.

Σε αψίδες και θολωτές κατασκευές η εκτίμηση της αντοχής - τους γίνεται συνήθως με μέτρηση των παραμορφώσεων υπό διαφορετικά φορτία.

Υπάρχει σήμερα διαθέσιμη μεγάλη ποικιλία συσκευών παρακολούθησης και καταγραφής των παραμορφώσεων, από απλά μηχανοσκόπετρα έως πολύπλοκες συσκευές Laser, οι οποίες αναλόγως του αν χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση μακροχρόνιων ή παροδικών φορτίσεων παρουσιάζουν κάποιες διαφορές μεταξύ - τους.

Οι παραμορφώσεις οι οποίες μπορούν να καταγράφουν σε μία κατασκευή είναι :

- παρακολούθηση και καταγραφή μακροχρόνιων παραμορφώσεων
- παρακολούθηση και καταγραφή παραμορφώσεων που προέρχονται από παροδικά φορτία

Τα όργανα τα οποία χρησιμοποιούνται για καταγραφή παραμορφώσεων είναι:

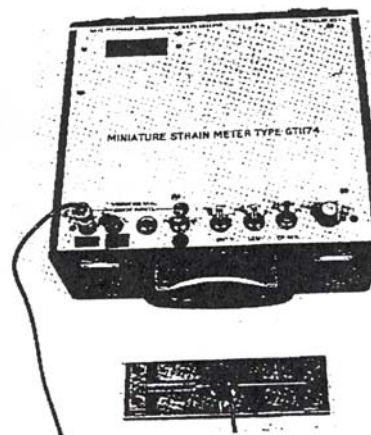
- ακουστικά μηχανοσκόπετρα
- μηχανικά μηχανοσκόπετρα

- ηλεκτρικά μηκυνσιόμετρα
- μετρητές μετακινήσεων

Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στις βασικές αρχές λειτουργίας όλων των οργάνων

4.18.1 Ακουστικά μηκυνσιόμετρα

Τα ακουστικά μηκυνσιόμετρα ή μηκυνσιόμετρα παλλόμενης χορδής, αποτελούνται από ένα λεπτό τεντωμένο σύρμα που τα άκρα - του στερεώνονται σε μεταλλικές πλάκες στερεωμένες στην επιφάνεια της οποίας μετρώνται οι παραμορφώσεις. Το όλο σύστημα βρίσκεται υπό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο το οποίο πάλλει την χορδή. Το ηλεκτρομαγνητικό κύκλωμα καταμετρά τον αριθμό των κύκλων της ταλάντωσης σε δεδομένο χρόνο και έτσι είναι γνωστή η συχνότητα της ταλάντωσης, η οποία είναι ανάλογη της εφελκυστικής δύναμης του σύρματος. Αν λόγω μετακίνησης της επιφανείας στην οποία έχει στερεωθεί το μηκυνσιόμετρο μεταβληθεί η δύναμη της χορδής, η συχνότητα της ταλάντωσης θα μεταβληθεί. Για δεδομένο μήκος του μηκυνσιομέτρου είναι δυνατόν να υπολογισθεί η επιμήκυνση - του από την αλλαγή της συχνότητας ταλαντώσεως. Στο Σχ.4.18.1.1 δίνεται ενδεικτικά φωτογραφία ακουστικού μηκυνσιομέτρου.



Σχ. 4.18.1.1 (Καραντώνη)

Τα μήκη των ακουστικών μηκυνσιομέτρων ποικίλουν και κυμαίνονται από 50 έως 150 mm. Η ακρίβεια ενός μηκυνσιομέτρου μήκους 150 mm είναι $\pm 0.5 \times 10^{-6}$.

Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στον διαχωρισμό των μετακινήσεων και παραμορφώσεων οι οποίες οφείλονται σε θερμοκρασιακές μεταβολές. Ένας τρόπος διόρθωσης του σφάλματος που μπορεί να προκύψει λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών είναι η τοποθέτηση και δεύτερου ακουστικού μηκυνσιομέτρου σε γειτονική περιοχή της κατασκευής και σε περιοχή που δεν υφίσταται παραμορφώσεις, αλλά βρίσκεται στις ίδιες θερμοκρασιακές συνθήκες με το προηγούμενο μηκυνσιόμετρο. Οι τυχόν καταγραφές του δεύτερου αυτού μηκυνσιομέτρου θα οφείλονται στις θερμοκρασιακές μεταβολές και αν αφαιρεθούν από το βασικό μηκυνσιόμετρο θα προκύψει η παραμόρφωση εξ' αιτίας των άλλων αιτιών πλην της θερμοκρασίας.

Άλλος τρόπος αντιμετώπισης της επίδρασης της θερμοκρασίας στις καταγραφές είναι να παρέχονται συνεχώς πληροφορίες για την θερμοκρασιακή μεταβολή και με γνωστή τη σταθερά θερμικής διαστολής του υλικού θα υπολογίζεται η θερμική παραμόρφωση και αφαιρούμενη από την συνολική παραμόρφωση προκύπτει η παραμόρφωση μόνο λόγω των άλλων μετακινήσεων του στοιχείου.

4.18.2 Μηχανικά μηκυνσιόμετρα

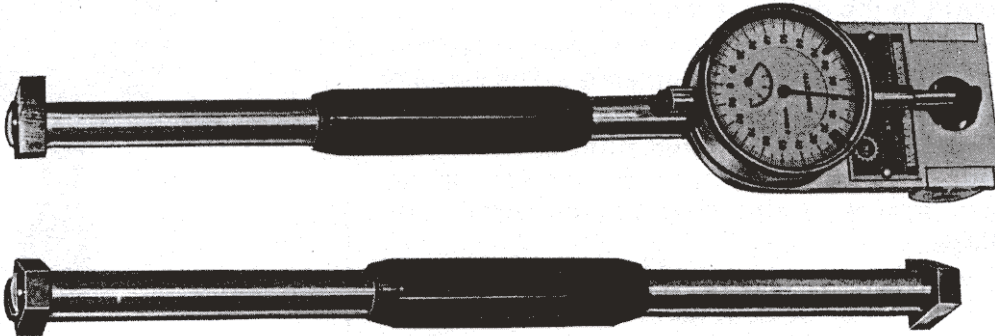
Τα μηχανικά μηκυνσιόμετρα αποτελούνται από μία ράβδο μετρήσεως η οποία στο ένα άκρο καταλήγει σε μία σταθερή πολύ λεπτή κωνική ακίδα και στο άλλο άκρο σε ίδια πολύ λεπτή κωνική ακίδα η οποία όμως κινείται μέσω ευαίσθητου ελατηρίου κατά την διεύθυνση της ράβδου. Στο άνω άκρο της κινητής κωνικής ακίδας συνδέεται μετρητικό όργανο το οποίο καταγράφει την μετακίνηση της κωνικής ακίδας.

Τα όργανα αυτά συνοδεύονται από μία δεύτερη ράβδο με σταθερές εσοχές σε απόσταση ίση με την απόσταση των κορυφών των κωνικών ακίδων και μια τρίτη ράβδο με σταθερές και τις δύο λεπτές κωνικές ακίδες για τοποθέτηση των λεπτών κυκλικών ελασμάτων (πούλιες).

Αφού τοποθετηθούν τα λεπτά κυκλικά ελάσματα (πούλιες), στο δομικό στοιχείο (Σκυρόδεμα, Τοιχοποιία, Ξύλο ή Μέταλλο) με την βοήθεια της ράβδου με τις σταθερές κωνικές ακίδες, γίνεται αρχική μέτρηση με την ράβδο μετρήσεως οι οποίες επαναλαμβάνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Για να μπορούν οι μετρήσεις να είναι συγκρίσιμες γίνεται χρήση της δεύτερης ράβδου με τις σταθερές εσοχές, ούτως ώστε οι μετρήσεις κάθε κύκλου να ξεκινούν από την ίδια βάση μετρήσεων.

Τα μηχανικά μηκυνσιόμετρα που σήμερα διατίθενται στην αγορά έχουν μήκος από $50 \div 200 \text{ mm}$ και ακρίβεια $\pm 6 \times 10^{-6}$. Στο Σχ. 4.18.2.1 δίνονται φωτογραφίες της ράβδου μετρήσεως και της ράβδου με τις σταθερές κωνικές εσοχές.

Πρέπει και εδώ να σημειωθεί ότι για την επίδραση των θερμοκρασιακών παραμορφώσεων ισχύουν όσα αναφέρθηκαν και για τα ακουστικά μηκυνσιόμετρα (παρ. 4.18.1).

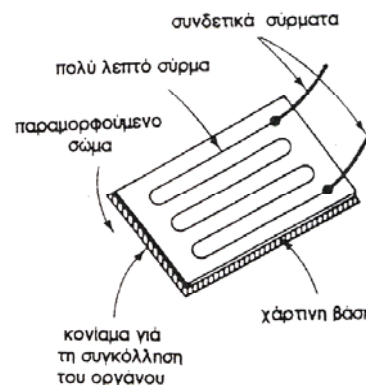


Σχ. 4.18.2.1 Μηχανικό μηκυνσιόμετρο

4.18.3 Ηλεκτρικά μηκυνσιόμετρα

Τα ηλεκτρικά μηκυνσιόμετρα χρησιμοποιούνται κυρίως για την καταγραφή παροδικών μεταβολών παραμορφώσεων και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μέτρηση μακροχρονίων παραμορφώσεων διότι καταστρέφονται οι μετρητές μετά από μεγάλη περίοδο αδράνειας.

Τα ηλεκτρικά μηκυνσιόμετρα είναι μια πεπλατυσμένη σπείρα από χάλκινο σύρμα που μοιάζει με πλακέτα ολοκληρωμένου κυκλώματος η οποία τοποθετείται στο δομικό στοιχείο (Σκυρόδεμα, Τοιχοποιία, Ξύλο ή Μέταλλο) και διαρρέεται από ρεύμα. Όταν σημειωθεί παραμόρφωση, το σύρμα επιμηκύνεται και η διατομή - του μεταβάλλεται με συνέπεια τη μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης που μετράται από μια συνδεσμολογία γέφυρας Wheatstone. Με την χρήση των καταλλήλων σχέσεων ή οργάνων που λειτουργεί αυτόματα, η μεταβολή της τάσης του ρεύματος μετατρέπεται σε μεταβολή του μήκους του οργάνου. Το μήκος των ηλεκτρικών μηκυνσιομέτρων κυμαίνεται από 1 mm έως 100 mm για να καλύπτουν όλες τις περιπτώσεις. Στο Σχ. 4.18.3.1 δίνεται ενδεικτικά μορφή ηλεκτρικού μηκυνσιομέτρου.



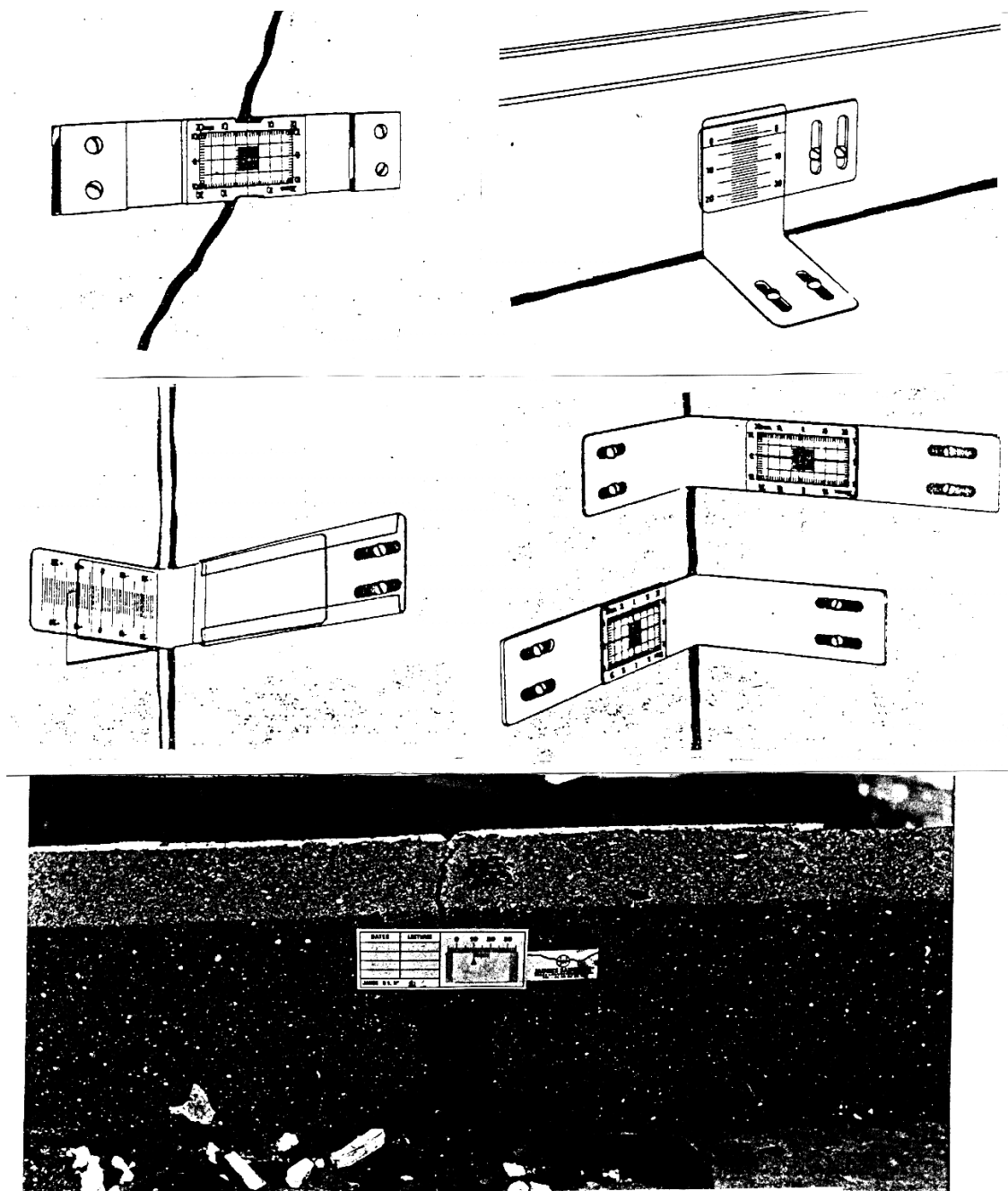
Σχ.4.18.3.1 (Καραντώνη)

Πρέπει και εδώ να σημειωθεί ότι για την επίδραση των θερμοκρασιακών παραμορφώσεων ισχύουν όσα αναφέρθηκαν και για τα ακουστικά μηκυνσιόμετρα

4.18.4 Μετρητές παραμορφώσεων

Αν στις ρωγμές που θέλουμε να παρακολουθήσουμε δεν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια μπορεί να χρησιμοποιηθούν οι ειδικοί μετρητές παραμορφώσεων που φαίνονται στο Σχ. 4.18.4.1.

Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται με μετρητές παραμορφώσεων είναι χιλιοστό ή δεκάτου του χιλιοστού εφόσον αυτοί είναι εφοδιασμένοι με βερνιέρο.



Σχ. 4.18.4.1 Τύποι μετρητών παραμορφώσεων

4.19 Δοκιμαστικές φορτίσεις (στατικές ή δυναμικές)

Εκτός από τις δοκιμές των υλικών που αναφέρθηκαν προηγουμένως στο οπλοστάσιο του Μηχανικού σήμερα για την αποτίμηση των χαρακτηριστικών των κατασκευών μπορούν να χρησιμοποιηθούν και πειραματικές δοκιμαστικές φορτίσεις. Οι δοκιμαστικές φορτίσεις χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Στατικές φορτίσεις
- Δυναμικές φορτίσεις

Οι στατικές φορτίσεις αφορούν μετρήσεις παραμορφώσεων, διαγράμματα φορτίου - μετατοπίσεως, ακόμα και φέρουσας ικανότητας των δοκιμαζομένων στοιχείων. Οι δυναμικές φορτίσεις αφορούν την αποτίμηση των δυναμικών χαρακτηριστικών κατασκευών τα οποία αποδεικνύονται ιδιαίτερα χρήσιμα διότι παρέχουν πληροφορίες λαμβάνοντας υπ' όψη το σύνολο της κατασκευής (π.χ. φέροντα οργανισμό και στοιχεία πληρώσεως, αλληλεπίδραση της κατασκευής με ενδοτικότητα της θεμελίωσης).

Και για τις δύο κατηγορίες δοκιμαστικών φορτίσεων απαιτείται σημαντική εμπειρία διότι απαιτείται ύπαρξη και γνώση χειρισμού μεγάλου αριθμού μηχανημάτων, κυρίως δε στις δυναμικές φορτίσεις πολύπλοκων και δαπανηρών συσκευών, μεγάλη εμπειρία στην ανάλυση / επεξεργασία των αποτελεσμάτων, μεγάλο κόστος και σημαντικό χρόνο.

Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι το αυξημένο κόστος, οι δυσκολίες επιβολής μεγάλων φορτίων και αξιολόγησης των μετρήσεων. Γενικώς οι δοκιμαστικές φορτίσεις έχουν μικρή πρακτικότητα ιδίως σε υφιστάμενες και μάλιστα εν χρήσει κατασκευές.

Στην συνέχεια δίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε μίας από τις δύο κατηγορίες φορτίσεων.

Στατικές Φορτίσεις

Κατακόρυφα ή οριζόντια φορτία είναι δυνατόν να εφαρμοσθούν σε ένα τμήμα της κατασκευής και να μετρηθεί καταλλήλως η απόκριση της κατασκευής (με βελόμετρα, κλισίμετρα και ηλεκτρομηκυνσιόμετρα). Οι μετρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκτιμηθεί η επιτελεστικότητα της κατασκευής.

Η επιβολή του φορτίου μπορεί να γίνει με τους εξής τρόπους:

- σάκοι τσιμέντου
- σάκοι άμμου
- σχηματισμός δεξαμενής και γέμισμα αυτής με νερό (με την προϋπόθεση ότι ο πυθμένας της δεξαμενής θα είναι εύκαμπτος για την ομοιόμορφη μεταφορά των φορτίων, π.χ. δεξαμενή από εύκαμπτη και αδιαπέρατη μεμβράνη και πλευρική αντιστήριξη)
- Στις περιπτώσεις που υπάρχουν σημαντικά μόνιμα φορτία στην ελεγχόμενη κατασκευή μπορεί αντί για φόρτιση, να γίνει αποφόρτιση της κατασκευής και μέτρηση / έλεγχος και παρακολούθηση όλων των παραμορφώσεων ως αναφέρεται παραπάνω.

Κατά το ACI 318 κατά την δοκιμαστική φόρτιση πρέπει να τηρούνται τα εξής:

- Η ηλικία της κατασκευής πρέπει να είναι τουλάχιστον 56 ημέρες.
- Σαράντα οκτώ ώρες πριν από την δοκιμή θα πρέπει να επιβληθούν τα φορτία που αντιπροσωπεύουν το τμήμα των μονίμων φορτίων τα οποία δεν είναι παρόντα
- Λαμβάνονται οι μετρήσεις αναφοράς πριν από την επιβολή των φορτίων
- Το στοιχείο φορτίζεται με το 85% του φορτίου σχεδιασμού αστοχίας.
- Το φορτίο επιβάλλεται σε τουλάχιστον τέσσερις φάσεις με ίσες αυξήσεις του φορτίου. Το φορτίο πρέπει να επιβάλλεται χωρίς κρουστικά φαινόμενα
- Μετά παραμονή του φορτίου επί 24 ώρες λαμβάνονται οι αρχικές ενδείξεις.
- Αμέσως μετά αφαιρείται το φορτίο και λαμβάνονται οι τελικές ενδείξεις 24 ώρες μετά την αφαίρεση του φορτίου
- Εξετάζεται αν υπάρχουν εμφανείς αστοχίας του στοιχείου
- Αν δεν υπάρχουν εμφανείς αστοχίες, ελέγχεται αν το βέλος κάμψεως είναι μικρότερο από $L^2/20000h$ οπότε στην περίπτωση αυτή η συμπεριφορά θεωρείται ικανοποιητική. Σε αντίθετη περίπτωση εξετάζεται αν το παραμένον βέλος είναι μικρότερο από 25% του μέγιστου βέλους

Κατά το DIN 1045 η δοκιμαστική φόρτιση γίνεται ως εξής:

- Χρόνος δοκιμής (επιβολή φορτίου) : όχι νωρίτερα των 45 ημερών από την διάστρωση του σκυροδέματος ή σε οποιονδήποτε χρόνο σε παλιές κατασκευές.
- Υλικό φορτίσεως : Δεν πρέπει να παρουσιάζει καμία ακαμψία και συνοχή κατά την διεύθυνση της κάμψεως αλλά οφείλει να παρακολουθεί ελευθέρως την παραμόρφωση του φορέως.
- Φορτίο: λαμβάνεται γενικώς $p' = 1,5p$, όπου p το κινητό φορτίο υπολογισμού. Αν $p \geq 1000 \text{ kg/m}^2$ λαμβάνεται $p' = p$
- Αν τα μόνιμα φορτία δεν έχουν εφαρμοσθεί στην κατασκευή κατά τον χρόνο εκτελέσεως της δοκιμαστικής φορτίσεως τότε το υπόλοιπο μέρος του μόνιμου ή το σύνολό-του προστίθεται στο κινητό φορτίο.
- Διάρκεια παραμονής του φορτίου : Τουλάχιστον 6 ώρες από την ολοκλήρωση της φόρτισης.
- Μετρήσεις :

Μέτρηση βελών.

Μέτρηση παραμορφώσεων (ηλεκτρομηκυσιόμετρα)

Τα κρίσιμα σημεία των μετρήσεων είναι τα εξής: βέλη / παραμορφώσεις αμέσως μετά την ολοκλήρωση της φόρτισης, 6 ώρες μετά την φόρτιση, αμέσως μετά την αποφόρτιση, 12 ώρες μετά την αποφόρτιση, χωρίς να αποκλείεται και η ενδιάμεση λήψη μετρήσεων.

- Απαίτηση : $f_{πλ} \leq 1/4 f_{ολ}$

Δυναμικές φορτίσεις.

Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου πειραματικής αποτίμησης δυναμικών χαρακτηριστικών εξαρτάται κυρίως από τα εξής:

- Διατιθέμενα όργανα
- Είδος κατασκευής
- βαθμός αξιοπιστίας της δοκιμής

Ανάλογα με την ένταση διεγέρσεως έχουμε :

- **δοκιμές ασθενών ταλαντώσεων**, δεν προκαλούν βλάβες στην κατασκευή (μη καταστροφικές δοκιμές), παρέχουν τα δυναμικά χαρακτηριστικά για μικρές ταλαντώσεις, έχουν μέτρια αξιοπιστία.
- **δοκιμές μέσων ταλαντώσεων**, προκαλούν ελάχιστες βλάβες κυρίως στα μη φέροντα δομικά στοιχεία, παρέχουν δυναμικά χαρακτηριστικά για μικρές έως μέσες ταλαντώσεις, απαιτούν καλά και δαπανηρά όργανα, έχουν καλή αξιοπιστία.
- **δοκιμές ισχυρών ταλαντώσεων**, προκαλούν βλάβες τόσο στον φέροντα οργανισμό όσο και στον μη φέροντα, παρέχουν δυναμικά χαρακτηριστικά για μέσες έως ισχυρές ταλαντώσεις, απαιτούν πολύ καλά όργανα διεγέρσεως και έχουν μεγάλη αξιοπιστία.

Ετσι ανάλογα με το είδος διεγέρσεως έχουμε :

- **Δοκιμές ελευθέρων ταλαντώσεων**
 - αρχικών μετατοπίσεων, (έλξη με ένα καλώδιο ή σύστημα καλωδίων) με απότομη ελευθέρωσή-τους η οποία προξενεί ελεύθερες αποσβενύμενες ταλαντώσεις.
 - αρχικών ταχυτήτων (σύστημα εκρηκτικών φυσεκίων ή αεριοπροωθητών)
- **Δοκιμές εξηναγκασμένων ταλαντώσεων**
 - ελεγχόμενου αιτίου διεγέρσεως: γεννήτριες ταλαντώσεων, άνθρωπος, δονητικές τράπεζες (μόνον για εργαστηριακές δοκιμές)
 - ανεξέλεγκτου αιτίου διεγέρσεως: άνεμος, κυκλοφορία οχημάτων, εκρήξεις, σεισμός.

4.20 Δοκιμές χάλυβα

Δειγματοληψία χάλυβα μπορεί να γίνει με προσοχή από θέσεις μειωμένης εντάσεως. Η περιοχή της δειγματοληψίας πρέπει να αποκαθίσταται εκτός αν η ανάλυση δείξει ότι αυτό δεν είναι απαραίτητο.

Ο αριθμός των δειγμάτων που απαιτούνται για τους ελέγχους χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος έχει ως εξής:

- Ελεγχος ορίων διαρροής, εφελκυστικής αντοχής και παραμόρφωσης θραύσης, τρεις ράβδοι οπλισμού ανά διάμετρο, μήκους κάθε ράβδου 0,70 m
- Ελεγχος κάμψης- ανάκαμψης και αναδίπλωσης, τρεις ράβδοι οπλισμού ανά διάμετρο μήκους 0,70 m. Σε δοκιμή κάμψης- ανάκαμψης δοκιμάζονται οι ράβδοι διαμέτρου $\Phi > 12$ mm και σε δοκιμή αναδίπλωσης οι ράβδοι διαμέτρου $\Phi \leq 12$ mm
- Ελεγχος γεωμετρικών χαρακτηριστικών γίνεται στις ράβδους των παραπάνω ελέγχων (ορίου διαρροής, εφελκυστικής αντοχής και παραμόρφωσης θραύσεως ή κάμψης - ανάκαμψης και αναδίπλωσης)
- Ελεγχος χημικής σύστασης δύο ράβδοι οπλισμού μήκους τουλάχιστον 0,10 m έκαστη, οι οποίες μπορεί να προέρχονται από τα άκρα των ράβδων των προηγούμενων δοκιμών.

Δομικός χάλυβας

Η λήψη δοκιμών στην περίπτωση του δομικού χάλυβα είναι πολύ πιο δύσκολη από την λήψη δοκιμών χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος.

Αποκόπτονται συνολικά τρία δοκίμια συνολικού μήκους 0,70 m έκαστο από τα οποία μορφώνονται δοκίμια. Τα δοκίμια αποκόπτονται από την κατασκευή με μηχανικά μέσα (χωρίς χρήση φλόγας οξυγόνου

ή ηλεκτροσυγκολλήσεως) χωρίς να προκληθεί τραυματισμός των προς έλεγχο ράβδων. Τα δοκίμια μεταφέρονται στο εργαστήριο, διορθώνονται τυχόν μικροατέλειες και προετοιμάζονται για δοκιμή σύμφωνα με τα αντίστοιχα πρότυπα. Η κατεργασία και μόρφωση των δοκιμίων γίνεται σύμφωνα με τα αντίστοιχα πρότυπα ΕΛΟΤ 1045, 1116.

4.21 Χημικές αναλύσεις

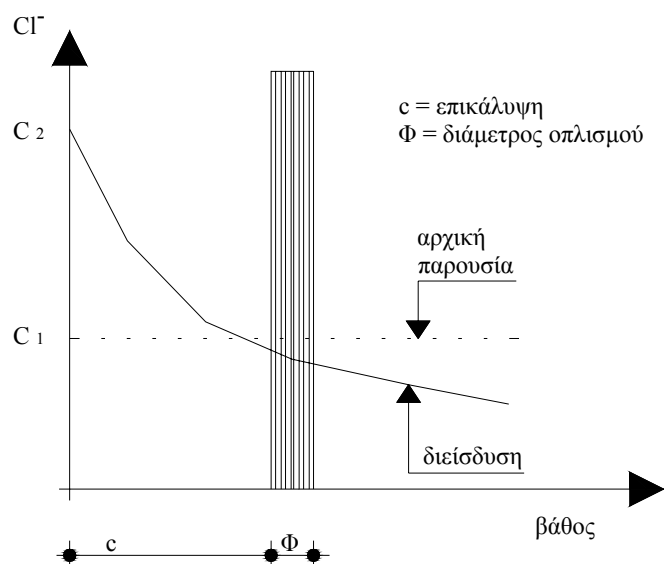
Οπλισμένο σκυρόδεμα

Οι ράβδοι οπλισμού προστατεύονται από την διάβρωση μέσω ενός πολύ λεπτού επιφανειακού στρώματος ένυδρου οξειδίου του σιδήρου, που δημιουργείται λόγω της υψηλής αλκαλικότητας του σκυροδέματος που τις περιβάλλει. Η αλκαλικότητα αυτή χαρακτηρίζεται από μία τιμή του pH γύρω στο 12.5, που αντιστοιχεί στην υπό συνήθη θερμοκρασία συγκέντρωση ισορροπίας του υδροξειδίου του ασβεστίου $\text{Ca}(\text{OH})_2$, στο νερό των πόρων. Το προστατευτικό στρώμα οξειδίου μπορεί να διατηρηθεί τοπικά από ιόντα χλωρίου, αν η συγκέντρωση των τελευταίων υπερβαίνει το $0.4 \div 0.6 \%$ του βάρους του τσιμέντου, ή να διαλυθεί γενικά, λόγω μείωσης της αλκαλικότητας του σκυροδέματος γύρω από την ράβδο, σε τιμές του pH κάτω από 9.0. Τότε λέμε ότι ο χάλυβας του οπλισμού αποπαθητικοποιήθηκε (δηλαδή δεν απολαμβάνει πλέον την παθητική προστασία που του προσέφερε η αλκαλικότητα του σκυροδέματος).

Τα χλωριόντα που μπορεί να διατηρήσουν το προστατευτικό στρώμα οξειδίου μέσω του νερού των πόρων μέχρι τον οπλισμό, μπορεί να προέρχονται από ενδογενή ή εξωγενή αίτια όπως περιγράφονται παρακάτω.

- Ενδογενή αίτια (αρχική παρουσία) Τα χλωριόντα εμπεριέχονται στο εσωτερικό του σκυροδέματος όπως: έχουν χρησιμοποιηθεί συλλεκτά αδρανή από παραλίες ή θαλασσινό νερό ανάμιξης πρόσμικτα βελτιωτικά σκυροδέματος που περιέχουν χλωριούχα άλατα,
- Εξωγενή αίτια (διείσδυση) Τα χλωριόντα προέρχονται από το φυσικό περιβάλλον, παραθαλάσσιες περιοχές.

Η μέτρηση περιλαμβάνει εργαστηριακή ανάλυση δείγματος σκυροδέματος για να προσδιορισθεί η ακριβής ποσότητα χλωριόντων (π.χ. ανάλυση με τη μέθοδο της ποτενσιομετρικής τιτλοδοτήσεως). Με την ίδια μέθοδο μπορεί να βρεθεί η κατανομή της συγκεντρώσεως χλωριόντων συναρτήσει της αποστάσεως από την επιφάνεια του σκυροδέματος, Σχ. 4.21.1, απ' όπου μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για την προέλευση των χλωριόντων (αρχική παρουσία ή διείσδυση).



Σχ. 4.21.1 Κατανομή συγκεντρώσεως χλωριόντων συναρτήσει της αποστάσεως από την επιφάνεια του σκυροδέματος

Κονίαμα

Σε κτίρια τοιχοποιίας γίνεται χημική ανάλυση των κονιαμάτων δομήσεως για ενδεικτικό προσδιορισμό των στοιχείων της κονιάς (διοξείδιο του πυριτίου, τριοξείδιο θείου, οξείδιο σιδήρου και αργιλίου, οξείδιο ασβεστίου, οξείδιο μαγνησίου, οξείδιο νατρίου και οξείδιο καλίου). Τα στοιχεία αυτά χρησιμεύουν για την εκτίμηση της συνθέσεως του κονιάματος. Ο προσδιορισμός γίνεται με αποσύνθεση του κονιάματος ώστε να αποχωρισθεί η αδρανής φάση, τουλάχιστον ως προς το αδρομερέστερο κλάσμα της, από την συνδετική κονία. Η αποσύνθεση γίνεται με θραύση των συσσωματωμάτων του κονιάματος με ήπιο τρόπο (με το χέρι ή με χρήση πλαστικού σφυριού) ώστε να αποφευχθεί η θραύση των χονδρόκοκκων αδρανών που συμμετέχουν στο κονίαμα. Στην συνέχεια το υλικό κοσκινίζεται στο κόσκινο Νο. 20 (ανοίγματος οπής 0,84mm) και το διερχόμενο υλικό αναλύεται χημικώς για τον προσδιορισμό των παραπάνω στοιχείων.

Δομικός χάλυβας

Κατά την αποτίμηση υφισταμένων κατασκευών ενδέχεται να απαιτηθεί ευρεία χρήση ηλεκτροσυγκολήσεων. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να ελεγχθεί η συγκολλησιμότητα των χαλύβων. Οι χάλυβες θεωρούνται συγκολλησιμοι όταν η μέγιστη περιεκτικότητα σε άνθρακα C, θείο S, φωσφόρο P, άζωτο N, καθώς και η μέγιστη ισοδύναμη τιμή άνθρακα C_{eq} , δεν υπερβαίνουν τις τιμές που δίνονται στον πίνακα 4.21. Η ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα C_{eq} υπολογίζεται σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο :

$$C_{eq} = C + (Mn/6) + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

όπου:

Mn: Μαγγάνιο

Cr : Χρώμιο

Mo: Μολυβδαίνιο

V : Βανάδιο

Ni: Νικέλιο

Cu: Χαλκός

Τα σύμβολα των χημικών στοιχείων δείχνουν την επί τοις εκατό περιεκτικότητα κατά βάρος (% κ.β.) όπως προσδιορίζονται από την χημική ανάλυση.

Πίνακας 4.21 Μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε άνθρακα, θείο, φωσφόρο, άζωτο καθώς και μέγιστη ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα (% κ.β.) κατά ΕΛΟΤ 971.

	Ανθρακας C	Θείο S	Φωσφόρος P	Άζωτο ⁽¹⁾ N	Ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα C_{eq}
Ανάλυση ρευστού χάλυβα κατά τη χύτευση	0,22	0,050	0,050	0,012	0,50
Ανάλυση τελικού προϊόντος	0,24	0,055	0,055	0,013	0,53

⁽¹⁾ Υψηλότερες τιμές σε άζωτο επιτρέπονται εάν υπάρχουν επαρκείς ποσότητες στοιχείων που το δεσμεύουν (βλ. παράρτημα Π2, κανονισμού τεχνολογίας χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος (Κ.Τ.Χ.) (ΦΕΚ 381/Β/24.3.2000)

4.22 Εμπηξη ήλου - εξόλκευση κογλία σε στοιχεία από ξύλο

Εμπηξη ήλου

Με ένα ειδικό εργαλείο ελατηρίου καρφώνεται ένας ήλος και μετρίεται το μήκος διεισδύσεως. Η μέθοδος είναι απλή, αλλά υπάρχει ένα πλήθος παραγόντων οι οποίοι επηρεάζουν τα αποτελέσματα, όπως : η ύπαρξη τοπικών ατελειών (π.χ. ρόζοι), η εμπειρία (απειρία) του χειριστή του εργαλείου, η όχι καλή βαθμονόμηση του εργαλείου. Η αξιοπιστία της μεθόδου βασίζεται στην σύγκριση των αποτελεσμάτων, με τα αποτελέσματα που εξάγονται από ένα ξύλο του ίδιου είδους, της ίδιας ποιότητας και γνωστών μηχανικών χαρακτηριστικών.

Εξόλκευση κοχλία

Με ένα ειδικό εργαλείο, βιδώνουμε στο υπό εξέταση ξύλο, έναν πρότυπο κοχλία και κατόπιν μετριέται η δύναμη που απαιτείται για την αποξήλωσή του. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι παρεμφερής, ως προς την αρχή και την ακρίβεια, με την προηγούμενη.

4.23 Διάτρηση ξύλου

Ειδικό, για τον σκοπό αυτό, ηλεκτρονικό τρυπάνι τρυπά το ξύλο και αυτομάτως καταγράφει την καμπύλη η οποία περιγράφει την δυσκολία της προωθήσεως. Η δυσκολία αυτή σχετίζεται με την πυκνότητα της δομής του ξύλου και την σκληρότητα του, κι αυτές, με την σειρά τους, σχετίζονται με την αντοχή.

4.24 Μέτρηση σκληρότητας ξύλου

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η συσχέτιση της σκληρότητας με την αντοχή του ξύλου. Η συσχέτιση αυτή δεν είναι σαφής, άρα και η μέθοδος μπορεί να δώσει μόνο ενδεικτικές πληροφορίες για την γενική κατάσταση του ξύλου.

Χαλύβδινη σφαίρα βάρους B αφήνεται από ύψος h (συνήθως, 50cm) να πέσει στο ξύλο, στο οποίο αφήνει αποτύπωμα διαμέτρου d . Η σκληρότητα H υπολογίζεται από την σχέση :

$$H = 4 B h / \pi d^2$$

Από τα πειραματικά δεδομένα γνωρίζουμε ότι ξύλα με αυξημένη αντοχή, παρουσιάζουν μεγαλύτερη σκληρότητα. Μια τέτοια συσχέτιση βλέπουμε και στον πίνακα 4.22 που ακολουθεί (Ε. Κατσαραγάκης 2000).

Πίνακας 4.22 Η σκληρότητα ξύλων

Σκληρότητα	Είδος ξύλου
Μικρή	Λεύκη, καστανιά, πεύκη
Μέση	Πεύκη, ελάτη, καρδιά
Μεγάλη	Δρυς, οξιά, φράξος, ελιά

5 ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό απλώς αναφέρονται επιγραμματικά και για λόγους πληρότητας, οι συνηθέστερες μέθοδοι που εφαρμόζονται επί τόπου του έργου. Η αναλυτική περιγραφή και σχολιασμός των μεθόδων γίνεται στο προηγούμενο κεφάλαιο 4.

Οι έλεγχοι που μπορούν να εφαρμοσθούν επί τόπου του έργου, ανά υλικό δομήσεως, είναι οι εξής:

5.1 Κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα

- Οπτικός έλεγχος
- Πυρηνοληψία
- Κρουσίμετρο
- Κρουστικές μέθοδοι
- Εξόλκευση ήλου
- Ραδιογραφικές μέθοδοι
- Μαγνητικές μέθοδοι
- Ηλεκτρικές μέθοδοι
- Διαπερατότητα
- Υπέρυθρη φωτογράφιση
- Ραντάρ
- Έλεγχος προσβολής από διοξείδιο του άνθρακα
- Ενδοσκοπήσεις
- Μέτρηση εύρους ρωγμών – έλεγχος παραμορφώσεων
- Δοκιμαστικές φορτίσεις
- Δοκιμές χάλυβα
- Χημικές αναλύσεις
- Μέτρηση σκληρότητας

5.2 Κτίρια από τοιχοποιία

- Οπτικός έλεγχος
- Πυρηνοληψία
- Κρουσίμετρο
- Κρουστικές μέθοδοι
- Ραδιογραφικές μέθοδοι
- Μαγνητικές μέθοδοι
- Διαπερατότητα
- Υπέρυθρη φωτογράφιση
- Ραντάρ
- Ενδοσκοπήσεις
- Δοκιμή χαραγής
- Δοκιμή μικροθραυσμάτων
- Μέθοδος επίπεδων γρύλων
- Μέτρηση εύρους ρωγμών – έλεγχος παραμορφώσεων
- Δοκιμαστικές φορτίσεις
- Δοκιμές χάλυβα
- Χημικές αναλύσεις

5.3 Κτίρια από ξύλο

- Οπτικός έλεγχος
- Πυρηνοληψία
- Υπέρυθρη φωτογράφιση

- Ενδοσκοπήσεις
- Μέτρηση εύρους ρωγμών – έλεγχος παραμορφώσεων
- Δοκιμαστικές φορτίσεις
- Εμπηξη ήλου – εξόλκευση κοχλία
- Διάτρηση
- Μέτρηση σκληρότητας

5.4 Κτίρια από δομικό χάλυβα

- Οπτικός έλεγχος
- Πυρηνοληψία
- Μαγνητικές μέθοδοι
- Υπέρυθρη φωτογράφιση
- Ραντάρ
- Ενδοσκοπήσεις
- Μέτρηση εύρους ρωγμών – έλεγχος παραμορφώσεων
- Δοκιμαστικές φορτίσεις
- Δοκιμές χάλυβα
- Χημικές αναλύσεις
- Μέτρηση σκληρότητας

6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

6.1 Στατιστική επεξεργασία

Κατά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλες οι πηγές αβεβαιοτήτων πέραν της φυσικής και θεμελιώδους αβεβαιότητας του εξεταζομένου μεγέθους. Τέτοιες πρόσθετες αβεβαιότητες είναι οι αβεβαιότητες του προσομοιώματος, οι αβεβαιότητες της μεθόδου μετρήσεως ή παρατηρήσεως κλπ.

Ειδικότερα η αξιολόγηση ποσοτικών μεγεθών πρέπει να καταλήγει σε τιμές των μεγεθών που να είναι αντίστοιχες προς τις τιμές με τις οποίες τα μεγέθη αυτά εισάγονται στους υπολογισμούς. Έτσι για παράδειγμα, προκειμένου να διαστασιολογήσουμε μια κατασκευή ή να ελέγξουμε την **συμμόρφωση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος**, η εκτίμηση θα πρέπει να καταλήγει στο **ποσοστιμόριο 5%**, μιας και στους υπολογισμούς εισάγεται η χαρακτηριστική αντοχή που αντιστοιχεί σε ποσοστιμόριο 5%. Αντιθέτως, ο εργαστηριακός υπολογισμός του μέτρου ελαστικότητας του χάλυβα θα πρέπει να καταλήγει στην μέση τιμή (ποσοστιμόριο 50%) μιας και στους υπολογισμούς εισάγεται η μέση τιμή του μέτρου ελαστικότητας. Αντιθέτως **προκειμένου να ερμηνεύσουμε τις βλάβες που υπέστη μια κατασκευή ή να κάνουμε έλεγχο μη καταρρεύσεως μιας κατασκευής** (π.χ. μέσω σταδιακής αύξησης των οριζοντίων σεισμικών φορτίων, push over analysis), τότε η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος θα πρέπει να αντιστοιχεί στην **μέση αντοχή** (ποσοστιμόριο 50%). Η θεώρηση αυτή αφορά όχι μόνο την θλιπτική αντοχή αλλά και όλο το διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων του σκυροδέματος (π.χ. θα ληφθεί υπόψη η αύξηση της παραμορφώσεως θραύσεως του σκυροδέματος που προσδίδεται από την περίσφιγξη: θα θεωρηθεί τιμή σημαντικά μεγαλύτερη από το συμβατικό $-3,5\text{‰}$, Τάσιος et al 1994). Αντίστοιχα ισχύουν και για το όριο διαρροής και την εφελκυστική αντοχή του χάλυβα όταν εξετάζεται η συμπεριφορά ενός καμπτόμενου στοιχείου: ο χάλυβας ενδέχεται να υπερβεί το όριο διαρροής του οποίου η πραγματική τιμή μπορεί να είναι έως και 1.3 φορές η ονομαστική τιμή ενώ η εφελκυστική αντοχή μπορεί να είναι και 1.5 φορές μεγαλύτερη από το πραγματικό όριο διαρροής (κράτυνση χάλυβα).

Στο πλαίσιο της λογικής αυτής, το FEMA 356, 2000, διακρίνει δύο περιπτώσεις ως προς την προέλευση της αναπτυσσόμενης έντασης: **1)** ένταση η οποία προέρχεται από επιβαλλόμενες παραμορφώσεις και **2)** ένταση η οποία προέρχεται από επιβαλλόμενες δυνάμεις. Στην 1^η περίπτωση συνιστά να λαμβάνεται ως **αναμενόμενη αντοχή η μέση μέγιστη αντοχή που μπορεί να αναπτύξει το στοιχείο** (λαμβάνοντας υπόψη την υπεραντοχή και την κράτυνση του χάλυβα). Στην 2^η περίπτωση συνιστά να λαμβάνεται ως **αναμενόμενη αντοχή το κάτω όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης της αντοχής του στοιχείου** (για τους υπολογισμούς αυτούς θα λαμβάνονται υπόψη τα κάτω όρια του διαστήματος εμπιστοσύνης των επιμέρους ιδιοτήτων των υλικών).

Για τα μεγέθη αντοχής προσδιορίζεται συνήθως ένα (μονόπλευρο) διάστημα εμπιστοσύνης X_L (κάτω όριο) το οποίο αντιστοιχεί σε ένα δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης «α» (ποσοστιμόριο). Το επίπεδο αυτό είναι συνήθως της τάξεως του $\alpha=5\%$ έως 10% ανάλογα με την κρισιμότητα του ελεγχόμενου μεγέθους στην συνολική αποτίμηση. Η τιμή αυτή ονομάζεται και **χαρακτηριστική τιμή ή κάτω όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης**. Σύμφωνα με την συνήθη πρακτική, το κάτω όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης «n» τιμών ορίζεται από την μέση τιμή X_m και την τυπική απόκλιση s_x του μεγέθους χρησιμοποιώντας την σχέση:

$$X_L = X_m - t_{n-1,\alpha} * s_x$$

όπου ο στατιστικός συντελεστής $t_{n-1,\alpha}$ λαμβάνεται από τους πίνακες της κατανομής Student⁷ για $n-1$ βαθμούς ελευθερίας και επίπεδο εμπιστοσύνης «α». Για πολύ μεγάλες τιμές του δείγματος και πιθανότητα 5% ο συντελεστής αυτός λαμβάνει την τιμή **1.645**.

⁷ Η κατανομή Student, γνωστή και ως κατανομή t, διατίθεται πλέον και στα εμπορικά προγράμματα τύπου Excel

Πίνακας 6.1 Τιμές του συντελεστή Student $t_{n,\alpha}$ συναρτήσει του βαθμού ελευθερίας “n” και του επιπέδου εμπιστοσύνης “α”

	$\alpha=$				
n	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.656
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
∞	1.282	1.645	1.960	2.327	2.576

6.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων σκυροδέματος

Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν την επιτόπου αντοχή του σκυροδέματος και την διαφοροποιούν από την συμβατική αντοχή. Τέτοιοι παράγοντες είναι:

- η σύνθεση του σκυροδέματος
- η διάστρωση
- η συντήρηση
- η ωρίμανση (ηλικία και θερμοκρασία)
- η θέση της ελεγχόμενης περιοχής εντός του φέροντος οργανισμού (πλάκα, δοκός, υποστύλωμα)

Οι παράγοντες αυτοί, εκτός του ότι διαφοροποιούν την μέση αντοχή, εισάγουν μια πρόσθετη διασπορά ακόμη και εντός του ίδιου δομικού στοιχείου. Έτσι, ενώ η αντοχή σε μεγάλη ηλικία μπορεί να είναι και 50% μεγαλύτερη από την συμβατική των 28 ημερών, αντιθέτως η επιτόπου αντοχή του σκυροδέματος από μια πλάκα μπορεί να είναι το 60% (π.χ. η αντοχή πυρήνος που έχει ληφθεί από το πάνω μέρος της πλάκας είναι μικρότερη από την αντίστοιχη αντοχή δοκιμίου που έχει ληφθεί από το κάτω μέρος της ίδιας πλάκας. Το ίδιο ισχύει και για πυρήνες που έχουν ληφθεί από το πάνω και κάτω μέρος αντίστοιχα ενός υποστυλώματος) (βλ επίσης και παράγραφο 4.2.2: Παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή των πυρήνων). Έτσι η εκτίμηση της επιτόπου αντοχής πρέπει να γίνει με πολύ προσοχή.

Ο ακριβής προσδιορισμός των μηχανικών χαρακτηριστικών του σκυροδέματος απαιτεί την λήψη πυρήνων. Οι πυρηνοληψίες καλό είναι να συνοδεύονται και με μή καταστροφικές μεθόδους ώστε να περιορίζονται

οι ζημιές από την πυρηνοληψία και να ελέγχεται η ομοιομορφία του σκυροδέματος από ότι επιτρέπει η περιορισμένη πυρηνοληψία.

Η μετατροπή της αντοχής των πυρήνων στην πραγματική επιτόπου αντοχή γίνεται μέσω διορθωτικών συντελεστών με τους οποίους λαβαίνονται υπόψη: ο λόγος ύψους προς την διάμετρο του πυρήνα, η διάμετρος του πυρήνα, η συντήρηση του σκυροδέματος, το πάχος του στοιχείου από όπου ελήφθη ο πυρήνας κλπ (βλ 4.2). Σημειώνεται πάντως ότι, ανάλογα με την εφαρμοζόμενη μεθοδολογία αναγωγής (ΕΛΟΤ, Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, κλπ), προκύπτουν αποτελέσματα με σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ τους (βλ παραδείγματα αναγωγής αντοχής πυρήνα σε συμβατική αντοχή στο Παράρτημα Π.2). Γι' αυτό και η αξιολόγηση των πυρηνοληψιών θα πρέπει να γίνεται με πολύ προσοχή.

Εμμεσες μή καταστροφικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται επίσης για την εκτίμηση της επιτόπου αντοχής του σκυροδέματος. Οι πιο διαδεδομένες, στην Ελλάδα, έμμεσες μέθοδοι είναι η μέθοδος του κρουσιμέτρου, η μέθοδος των υπερήχων και η εξόλκευση ήλου. Επειδή όμως οι μέθοδοι αυτές έχουν μικρή συσχέτιση με την πραγματική επιτόπου αντοχή ενώ παράλληλα εισάγουν και μεγάλη διασπορά στα αποτελέσματα, δεν επιτρέπεται να υποκαθιστούν την πυρηνοληψία. Αντιθέτως θα πρέπει να γίνεται συνδυασμός πυρηνοληψίας και έμμεσων μεθόδων ώστε να βαθμονομούνται οι έμμεσες μέθοδοι με τις συνθήκες του συγκεκριμένου έργου. Ετσι, οι έμμεσες μέθοδοι θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ποιοτική εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος, αλλά και κυρίως, για τον έλεγχο της ομοιομορφίας της αντοχής στο σύνολο της κατασκευής.

6.3 Εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας

Επειδή στην πράξη οι περιπτώσεις όπου μπορούμε να προσδιορίσουμε την επί τόπου αντοχή της τοιχοποιίας (θλιπτική ή διατμητική) είναι ελάχιστες (σπάνια έχουν εφαρμοσθεί μεγαλοδοκιμές), προσπαθούμε να προσδιορίσουμε τα μηχανικά χαρακτηριστικά έμμεσα από ημιεμπειρικές σχέσεις εκτιμώντας τα επιμέρους μηχανικά χαρακτηριστικά των επί μέρους υλικών.

Όπως είναι γνωστό τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας εξαρτώνται από τα εξής:

- την γεωμετρία και αντοχή των λιθοσωμάτων
- την αντοχή του κονιάματος
- τις παραμορφώσεις των λιθοσωμάτων και του κονιάματος
- το πάχος των οριζοντίων αρμών σε σχέση με το ύψος του λιθοσώματος
- τον όγκο του κονιάματος σε σχέση με τον όγκο της τοιχοποιίας
- την υδροαπορροφητικότητα κονιάματος και λιθοσώματος
- το σύστημα και την ποιότητα δομήσεως

Από τυποποιημένες δοκιμές της τοιχοποιίας σε θλίψη (παρόλο που δεν αναπαράγουν με ακρίβεια την ένταση όλων των πραγματικών περιπτώσεων της πράξεως), παρατηρήθηκε ότι:

- Για ομοιόμορφο θλιπτικό φορτίο μόνο, η τοιχοποιία αστοχεί με ταυτόχρονη δημιουργία εφελκυστικών ρωγμών περίπου παραλλήλων προς τον άξονα φορτίσεως και
- Η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας f_{wc} συνδέεται με την θλιπτική αντοχή του λιθοσώματος f_{bc} και την θλιπτική αντοχή του κονιάματος f_{mc} όπως φαίνεται στις παρακάτω ημιεμπειρικές σχέσεις (Θ.Π. Τάσιος, 1987):

$$\text{Henry, 1981} \quad f_{wc} = \sqrt{f_{bc}} \quad [\text{MPa}]$$

$$f_{wc} = \sqrt[3]{f_{mc}} \quad [\text{MPa}]$$

$$f_{wc} = \sqrt[4]{f_{mc}} \quad [\text{MPa}]$$

$$\text{Τάσιος, 1983} \quad f_{wc} = \frac{f_{bc}}{6} + \frac{\sqrt{f_{bc} * f_{mc}}}{4} - \frac{f_{mc}}{20} + 1,4 \quad [\text{MPa}]$$

$$\text{Τάσιος, 1985} \quad f_{wc} = (1 - 0,8\sqrt[3]{a}) * f_{bc} \quad f_{bc} \leq f_{mc} \quad [\text{MPa}]$$

$$f_{wc} = (1 - 0,8\sqrt[3]{a}) * \{f_{mc} + 0,4(f_{bc} - f_{mc})\} \quad f_{bc} \geq f_{mc} \text{ [MPa]}$$

Τάσιος, Χρονόπουλος, 1985 $f_{wc} = \xi \left(\left(\frac{2}{3} \sqrt{f_{bc}} - \alpha \right) + \beta * f_{mc} \right)$

όπου: α: συντελεστής που εκφράζει της επιρροή της μορφής του λιθοσώματος (και του τρόπου δομήσεως)

0 για τούβλα ή κανονικές πέτρες (λαξευτές)

1,5 MPa για πέτρες με μέτρια ακανονικότητα (ημιλαξευτές)

2,5 MPa για πέτρες με μεγάλη ακανονικότητα (αργές πέτρες)

β: συντελεστής που εκφράζει την επιρροή της ποιότητας του κονιάματος (λιθοδομή ή πλινθοδομή)

0.5 για λιθοδομές

0.1 για πλινθοδομές

ξ: συντελεστής που εκφράζει την επιρροή του πάχους των αρμών και του όγκου του κονιάματος

$$\xi = [1 - 0,8(\kappa - \kappa_o)^{1/3}] \quad \text{ή} \quad \xi = 1/[1 + 3,5(\kappa - \kappa_o)]$$

όπου : κ = όγκος κονιάματος / όγκος τοιχοποιίας

κ_ο ≈ 0.10 για ημιλαξευτές πέτρες

0.20 για λαξευτές πέτρες

0.30 για αργές πέτρες

0.25 για πλινθοδομές

0.30 για πλινθοδομές με συμπαγή τούβλα

0.20 για πλινθοδομές με διάτρητα τούβλα

Για τοιχοδομές με κανονικής μορφής τοιχοσώματα, συνήθως κάθε μορφής πλίνθους και με κονίαμα καλής, σχετικώς ποιότητας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξής σχέση:

$$f_{wc} = \xi * (2/3 * f_{bc} + 0,1 * f_{mc}) \text{ (MPa)}$$

Ευρωκώδικας Νο 6 $f_{wc} = k * f_{bc}^a * f_{mc}^\beta$

όπου : k, a, β : συντελεστές (όπως προέκυψαν από την αξιολόγηση πειραματικών αποτελεσμάτων)

$$k = 0.40$$

$$a = 0.65$$

$$\beta = 0.25$$

Για σχετικές μέσες ποιότητες υλικών, έχουν επίσης προταθεί και οι τύποι:

$$\text{O.Graf. } f_{wc} = f_{bc} \frac{(4 + 0,1 * f_{mc})}{12 + 5 \frac{h_w}{b_w}} + 2 \text{ [MPa]}$$

$$f_{wc} = f_{bc} \frac{(4 + 0,1 * f_{mc})}{14 + 4 * \frac{h_w}{b_w}} + \gamma \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

όπου γ : ποιότητα δομήσεως, από -5 έως +10

$$\text{Brocker, 1961 } f_{wc} = 0,7 * \sqrt{f_{bc}} * \sqrt[3]{f_{mc}} \quad (\text{MPa})$$

Με βάση τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας όπως προκύπτει από τις πιο πάνω εμπειρικές σχέσεις, προσδιορίζονται και οι εξής αντοχές:

- Εφελκυστική αντοχή κάθετα προς τους αρμούς $f_{wt}^{\perp} \approx 2/3 f_{mt}$
- Εφελκυστική αντοχή παράλληλα προς τους αρμούς $f_{wt}'' \approx 2 f_{wt}^{\perp}$
- Θλιπτική αντοχή παράλληλα προς τους αρμούς $f_{wc}'' \approx 2 f_{wt}^{\perp} \cdot (f_{wc}^{\perp} / f_{wt}^{\perp}) \approx 0,5 f_{wc}^{\perp}$
- Ελαστικές σταθερές

Μέτρο ελαστικότητας

$$E_w \approx \alpha * f_{wc} \quad \text{ή} \quad E_w \approx \beta * E_b$$

Όπου οι τιμές α και β λαμβάνονται από τον πίνακα 6.2

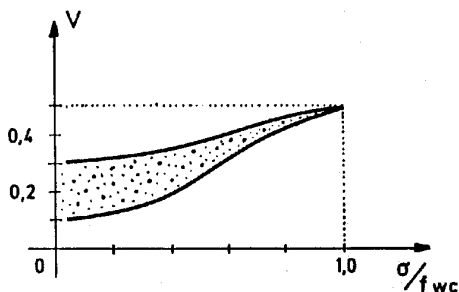
Πίνακας 6.2

	Αντοχή κονιάματος		
	Χαμηλή	Μέση	Υψηλή
α	1200	800	600
β	0,4	0,6	0,8

f_{wc} : Θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας

E_b : Μέτρο ελαστικότητας λιθοσωμάτων

Λόγος Poisson (ν), προσδιορίζεται από το παρακάτω διάγραμμα :



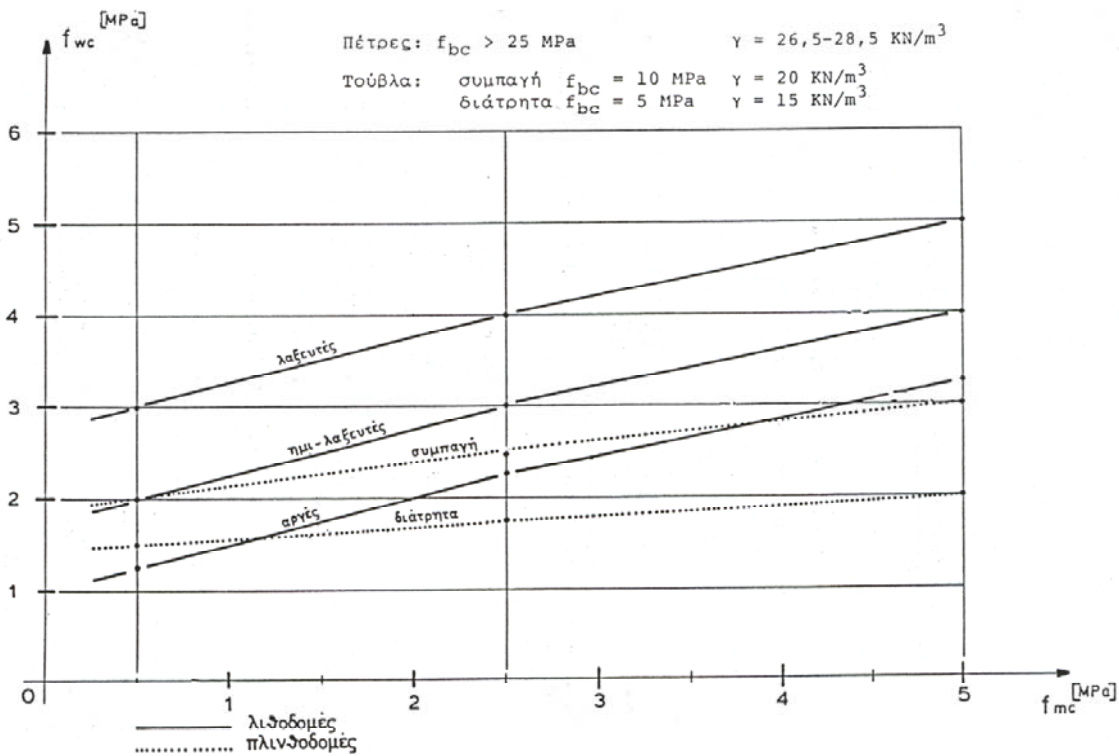
$$\text{Μέτρο διατμήσεως } G = \frac{E}{(1 + \nu) * 2}$$

- Διατμητικές αντοχές

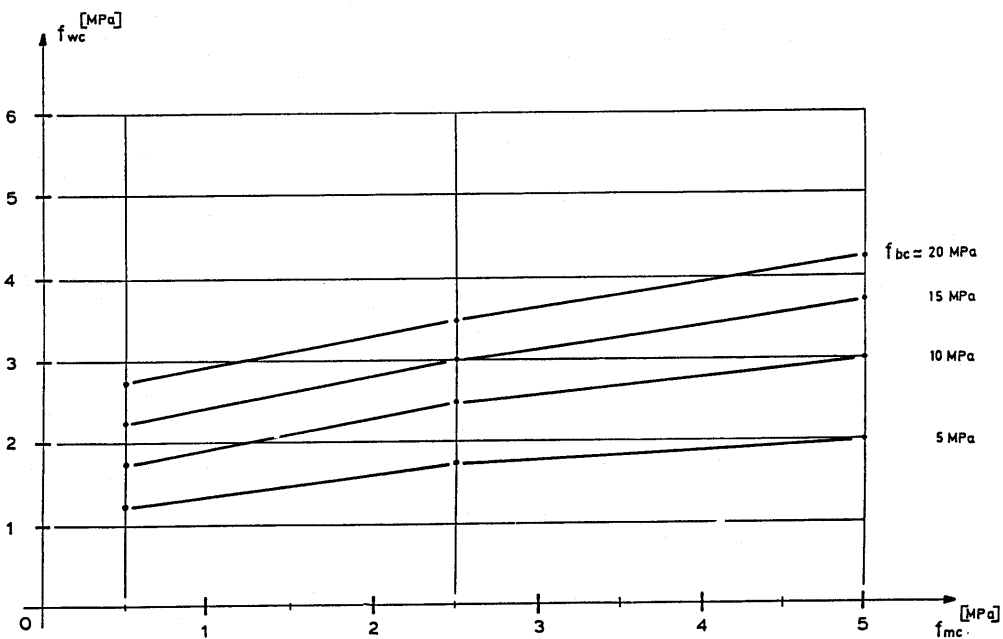
$$\text{Οριζόντια ολίσθηση } f_{wv}, s = f_{wv}, o + \mu * \sigma_o$$

$$\text{Διαγώνια ρηγμάτωση } f_{wv}, c \approx 2/3 * f_{wt}, \theta * \sqrt{1 + \sigma_o / f_{wt}, \theta}$$

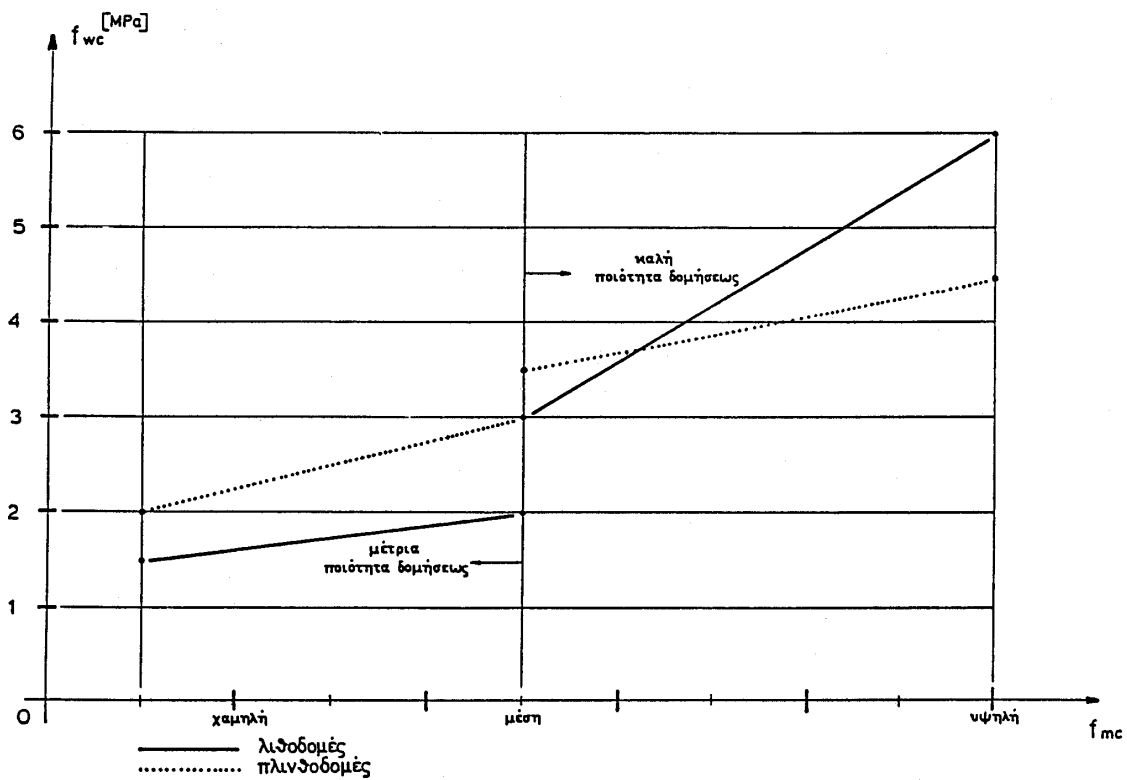
Στην συνέχεια στα Σχ. 6.3.1, 6.3.2 και 6.3.3 δίνονται νομογραφήματα από το βιβλίο «Επισκευές – Ενισχύσεις, Παραδείγματα Διαστασιολογήσεως, ΤΕΕ, Αθήνα 1987».



Σχ. 6.3.1 Ημιεμπειρικές εκτιμήσεις, Θ.Π. Τάσιος, Μ. Χρονόπουλος, 1986



Σχ. 6.3.2 Πειραματικά αποτελέσματα, Γ. Μάνος, 1979 (δρομικές οπτοπλινθοδομές)



Σχ. 6.3.3 Ημιεμπειρικές εκτιμήσεις, Β. Καλευράς, 1986.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Π.1 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΞΥΛΟΥ

(Το μεγαλύτερο μέρος του παραρτήματος αυτού έχει ληφθεί από το βιβλίο του Ε. Κατσαραγάκη, "Ξύλινες κατασκευές", Αθήνα, 2000).

Π.1.1 Φυσικό ξύλο

Η μεγάλη ποικιλία δένδρων στον κόσμο οδηγεί και σε μία τεράστια ποικιλία ξύλου, από τα πιο ελαφρά (όπως η μπάλα), μέχρι τα πιο βαριά που βυθίζονται στο νερό (όπως το σιδηρόξυλο).

Παραδοσιακά το ξύλο χωρίζεται σε δύο κατηγορίες :στα μαλακά ξύλα (softwoods) που προέρχονται από κωνοφόρα δένδρα (πεύκη, ελάτη, κυπαρίσσι) με βελονοειδή φύλλα, και σε σκληρά ξύλα (hardwood) από δένδρα πλατύφυλλα (δρυς, οξιά). Αυτός ο διαχωρισμός γίνεται ασαφής όταν "σκληρά ξύλα" αφρικάνικης προέλευσης είναι μαλακότερα από "μαλακά ξύλα" ευρωπαϊκής προέλευσης.

Είδη φυσικής ξυλείας

Μετά την αποφλοιώση οι κορμοί υφίστανται λιγότερη ή περισσότερη επεξεργασία, δίνοντας τα παρακάτω είδη.

Στρογγυλή ξυλεία

Ο κορμός ευθύγραμμων και σχετικά μικρής διατομής δέντρων καθαρίζεται απλώς από τα κλαδιά. Χρησιμοποιείται για στύλους, ιστούς (μετά από λείανση), πασσάλους, ηχοπετάσματα οδών ταχείας κυκλοφορίας (με στοιχεία μικρής διαμέτρου), κ.λ.π.

Η στρογγυλή ξυλεία που προέρχεται από τους κορμούς οι οποίοι έχουν υποστεί μόνο αποφλοιώση έχει μεγαλύτερες αντοχές από την πριστή ξυλεία του ίδιου δέντρου, επειδή οι ίνες του ξύλου διατηρούν την ακεραιότητά τους, χωρίς τα τραύματα που προκαλεί η κοπή. Πάντως στους Κανονισμούς δεν γίνεται καμία διάκριση για τις αντοχές της στρογγυλής ξυλείας.

Πελεκητή ξυλεία

Οι κορμοί ορθογωνίζονται πρόχειρα με τσεκούρι. Χρησιμοποιείται σε απλές αγροτικές κατασκευές, στοιχειώδη ζευκτά, κλπ.

Πριστή ξυλεία

Αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της δομικής ξυλείας. Προκύπτει από το πριόνισμα ("σκίσιμο") του κορμού με ειδικά πριόνια. Η κοπή γίνεται κάθετα (ακτινική κοπή) ή εφαπτομενικά (κοπή κατά χορδή) προς τους αυξητικούς δακτυλίους. Όπως είναι προφανές, αφού ένα σημαντικό μέρος των κριτηρίων που καθορίζουν την ποιότητα του ξύλου αφορά τα νερά, η κατάταξη ενός ξύλου θα εξαρτηθεί και από την κοπή.

Η πριστή ξυλεία διακρίνεται, ανάλογα με το πάχος, σε:

Ονομασία	πάχος (mm)
Σκουρέτα,	<13
Μισόταβλες,	<20
Τάβλες ή σανίδες	<25
Μαδέρια	<70

Καδρόνια και δοκούς, με διατομή τετραγωνική ή ορθογωνική με μικρό λόγο πλευρών.

Διαβάθμιση του φυσικού ξύλου στους Κανονισμούς

Στον Ελληνικό Κανονισμό Ξύλινων Κατασκευών (όπως και στην συνομήλική του έκδοση του DIN 1052), η ξυλεία ταξινομείται κατά είδος και ποιότητα σύμφωνα με τον Πίν. Π.1.1 και δίνονται οι βασικές επιτρεπόμενες τάσεις.

Πίνακας.Π.1.1 Παλαιός Ελληνικός Κανονισμός Ξύλινων Κατασκευών. Επιτρεπόμενες τάσεις δομικής ξυλείας.

	Ένταση	Επιτρεπόμενες τάσεις (MPa)			
		Ξυλεία κωνοφόρων Ευρωπαϊκή Κατηγορία ποιότητας			Δρυς, οξιά Μέση ποιότητα
		III	II	I	11
1	Κάμψη	7	10	13	10
2	Εφελκυσμός παρ/λως προς τις ίνες	0	8,5	10,5	10
3	θλίψη παρ/λως προς τις ίνες	6	8,5	11	10
4	θλίψη καθέτως προς τις ίνες	2	2	2	3
5	Διάτμηση (ψαλιδισμός)	0,9	0,9	0,9	1
6	Διάτμηση από τέμνουσα	0,9	0,9	0,9	1

Για την εφαρμογή του Ευρωκώδικα 5 ακολουθείται η διαβάθμιση η οποία καθορίζεται στο Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 388 «Δομική ξυλεία – Κατηγορίες αντοχών» και παρουσιάζεται στους Πίνακες Π.1.2 και Π.1.3.

Πίνακας Π.1.2 Κωνοφόρα και λεύκη. Κατηγορίες αντοχών κατά EN 338. Αντοχές ξύλου σε MPa, μέτρο ελαστικότητας σε GPa και πυκνότητα σε kg/m³.

	C 14	C 16	C 18	C 22	C 24	C 27	C 30	C 35	C 40
$f_{m,k}$	14	16	18	22	24	27	30	35	40
$f_{t,0,k}$	8	10	11	13	14	16	18	21	24
$f_{t,90,k}$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
$f_{c,0,k}$	16	17	18	20	21	22	23	25	26
$f_{c,90,k}$	4,3	4,6	4,8	5,1	5,3	5,6	5,7	6,0	6,3
$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8
$E_{0,mean}$	7	8	9	10	11	12	12	13	14
$E_{0,05}$	4,7	5,4	6	6,7	7,4	8,0	8,0	8,7	9,4
$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,40	0,43	0,47
G_{mean}	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88
ρ_k	290	310	320	340	350	370	380	400	420

Πίν.Π.1.3 Φυλλοβόλα. Κατηγορίες αντοχών κατά EN 338. Αντοχές ξύλου σε MPa, μέτρο ελαστικότητας σε GPa και πυκνότητα σε kg/m³.

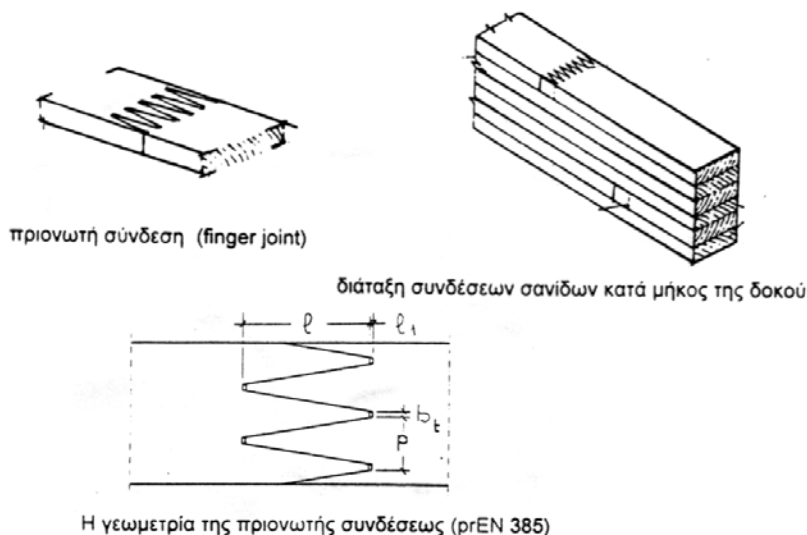
	D30	D33	D40	D50	D60	D70
F _{m,k}	30	35	40	50	60	70
F _{t,0,k}	18	21	24	30	36	42
F _{t,90,k}	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9
F _{c,0,k}	23	25	26	29	32	34
F _{c,90,k}	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
F _{v,k}	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
E _{0,mean}	10	10	11	14	17	20
E _{0,05}	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
E _{90,mean}	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
G _{mean}	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
ρ _k	530	560	590	650	700	900

Π.1.2 Συγκολλητή ξυλεία (Σανιδοδοκοί, glulam)

Η ξυλεία αυτή κατασκευάζεται από σανίδες κατώτερης ποιότητας που συγκολλούνται μεταξύ τους, άλλοτε από την φαρδιά και άλλοτε από τη στενή επιφάνειά τους. Τα πλεονεκτήματα, της συγκολλητής ξυλείας η οποία χρησιμοποιείται στην κατασκευή σύνθετων φερόντων στοιχείων, ζευκτών μεγάλων διαστάσεων, υποστυλωμάτων, τόξων, δοκών (ευθύγραμμων ή καμπύλων), σε σύγκριση προς την συμπαγή ξυλεία είναι τα εξής :

- κανένας περιορισμός όσον αφορά τις διαστάσεις διατομής και μήκους, χωρίς αυτές να εξαρτώνται από τις διαστάσεις του κορμού από τον οποίο κατασκευάστηκαν
- βελτίωση της ποιότητας της ξυλείας με την απομάκρυνση ή τουλάχιστον με την ομοιόμορφη κατανομή των ελαττωμάτων αναπτύξεως, τα οποία προκαλούν μια ελάττωση της αντοχής έναντι θλίψεως, εφελκυσμού και κάμψεως
- αποφυγή στρεβλώσεως και σχηματισμού ρωγμών λόγω απότομης ξηράνσεως
- οικονομικώς συμφέρουσα κατασκευή στοιχείων ξυλείας διαφόρων διατομών
- μεγάλη δυνατότητα κατασκευής καμπύλων στοιχείων ξυλείας, τόξων, τριγώνων κλπ.

Η κατασκευή συγκολλητής ξυλείας από σανίδες είναι γνωστή και εφαρμόζεται 100 χρόνια, αλλά μόλις τις τελευταίες δεκαετίες δημιουργήθηκαν οι τεχνολογικές προϋποθέσεις για την πλήρη εκμετάλλευση των παραπάνω πλεονεκτημάτων. Σ' αυτό βοήθησε η ανάπτυξη της τεχνικής στην κατασκευή ισχυρών συνθετικών κολλητικών ουσιών μεγάλης ανθεκτικότητας και διάρκειας σε καιρικές μεταβολές.



Οι πριονισμένες απλάνιστες ακόμα σανίδες ξηραίνονται σε ξηραντήρια μέχρι ώσπου το ποσοστό υγρασίας τους κατέβει στο 12-15% κατά βάρος. Κατόπιν σχηματίζεται το επιθυμητό μήκος των σανίδων δια συνδέσεως τύπου σφήνας σχήματος χελιδονοουράς και συγχρόνου κολλήσεως. Ακολουθεί το πλάνισμα, η κόλληση και ο σχηματισμός της επιθυμητής μορφής στοιχείου με πρεσάρισμα. Η σκλήρυνση της κόλλας μπορεί να γίνει χωρίς θέρμανση ή επάνω σε θερμαινόμενες πλάκες ή μέσω ενός πεδίου ρεύματος υψηλής συχνότητας. Ακολουθεί νέο πλάνισμα του έτοιμου στοιχείου και η αποσύνδεση από την πίεση.

Π.1.3 Προϊόντα ξύλου

Με τη έννοια «προϊόντα ξύλου», εννοούμε διάφορα βιομηχανικώς κατασκευαζόμενα ημι-έτοιμα προϊόντα του ξύλου. Αυτά αποτελούνται από μικρά κομμάτια ξύλου, τα οποία συμπιέζονται και συγκολλούνται υπό πίεση και υψηλή θερμοκρασία ώστε να παραχθούν διαφόρων μορφών διατομές.

Ανάλογα προς τη μέθοδο τεμαχισμού και κατασκευής, διακρίνουμε την παραγωγή πλακών προσανατολισμένων ινών, την παραγωγή μοριοσανίδων (από ροκανίδια) και την παραγωγή ινοσανίδων. Η μεταβολή της καταστάσεως από μοριοσανίδα σε ινοσανίδα δεν είναι σαφής, επειδή οι ινοσανίδες χρησιμοποιούνται επίσης για την κατασκευή μοριοσανίδων.

Π.1.4 Μηχανικές ιδιότητες του ξύλου

Το ξύλο χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές, ανάλογα με τις αντοχές του και τις μηχανικές του ιδιότητες. Δοκιμαστικά μέσα στους αιώνες, ο άνθρωπος χρησιμοποιούσε το ξύλο διαφόρων ειδών και ποιοτήτων, έως ότου να καταλήξει στο καταλληλότερο, για την χρήση, για την οποία το ήθελε.

Σε αντίθεση με τα ομογενή υλικά (όπως τα μέταλλα και τα πολυμερή) το ξύλο είναι κατ' εξοχή ανισότροπο υλικό, οι αντοχές του διαφοροποιούνται ανάλογα με την διεύθυνση των ινών του σε σχέση με την εφαρμοζόμενη τάση. Γι' αυτό, όταν κάποιος αναφέρεται σε αντοχή ξύλου, πρέπει να προσδιορίζει, την διεύθυνση της καταπόνησης.

Εφελκυστική αντοχή.

Η αντοχή του ξύλου σε εφελκυσμό διαφέρει σημαντικά αν η φόρτιση είναι παράλληλη ή κάθετη με τις ίνες. Η αντοχή σε παράλληλο εφελκυσμό είναι μεγαλύτερη μέχρι και 50 φορές απ' ό,τι η αντίστοιχη κάθετη. Η ελάττωση αυτή οφείλεται σε αποκλίσεις των αλυσίδων και των μικρο-ινιδίων από την παραλληλότητα του άξονα του κορμού και σε ουσίες μικρής αντοχής που παρεμβάλλονται μεταξύ αλυσίδων και κυττάρων.

Σημειώνεται εδώ η μεγάλη σημασία που έχει η παρουσία, ατελειών στο ξύλο. Το είδος, η προέλευση (π.χ., φυσική ή λόγω της ξηράνσεως ή της κατεργασίας), το μέγεθος, η πυκνότητα, η κατανομή στο στοιχείο, κλπ. καθορίζουν τελικώς την ποιότητα της ξυλείας, αλλά ενδεχομένως και την καταλληλότητα του συγκεκριμένου κομματιού.

Θλιπτική αντοχή

Η αντοχή σε θλίψη διαφέρει αν η φόρτιση γίνεται παράλληλα με τις ίνες ή εγκάρσια. Η αντοχή σε αξονική θλίψη είναι μεγαλύτερη μέχρι και 15 φορές και κυμαίνεται μεταξύ 250-950 kp/cm². Επηρεάζεται πολύ από το ειδικό βάρος και την υγρασία. Όταν η υγρασία του ξύλου, μειώνεται από 30% στο 17%, η αντοχή στη θλίψη διπλασιάζεται. Τα ξύλα των κωνοφόρων και τα ξύλα των πλατύφυλλων του ίδιου ειδικού βάρους, έχουν ίδια περίπου αντοχή σε θλίψη.

Αντοχή σε ορθές τάσεις υπό γωνία προς τις ίνες

Για την θλιπτική αντοχή υπό γωνία α προς τις ίνες έχει προταθεί η ακόλουθη σχέση (Hankinson, 1921), η οποία συμφωνεί με τα πειραματικά αποτελέσματα και υιοθετείται στον Ευρωκώδικα 5.

$$F_{c,\alpha} = \frac{f_{c,0} f_{c,90}}{f_{c,0} \sin^2 \alpha + f_{c,90} \cos^2 \alpha}$$

όπου, $f_{c,0}$ $f_{c,90}$: η θλιπτική αντοχή παράλληλα και κάθετα, αντιστοίχως στις ίνες

α : η γωνία των τάσεων με την διεύθυνση των ινών

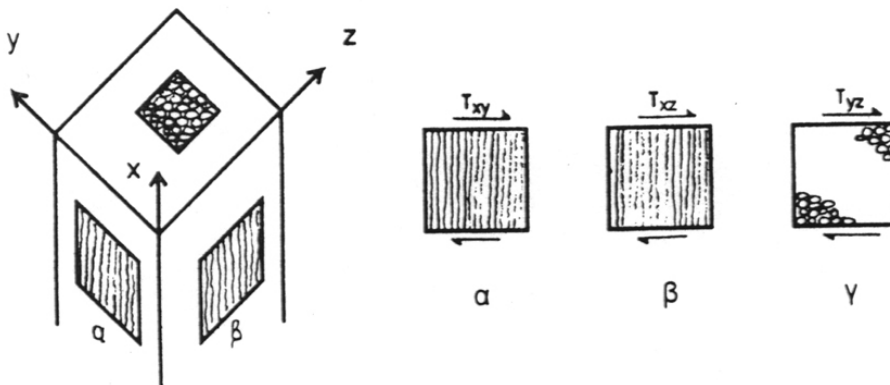
Ανάλογη σχέση μπορεί να εφαρμόζεται και για την εφελκυστική αντοχή υπό γωνία προς τις ίνες.

Αντοχή σε κάμψη

Η αντοχή του ξύλου σε κάμψη είναι μία ιδιότητα με μεγάλη πρακτική σημασία. Όταν ένα μέλος ξύλινο βρίσκεται κάτω από την δύναμη κάμψης, τότε η μία πλευρά του ξύλου υπόκειται σε θλίψη και η άλλη σε εφελκυσμό. Επειδή το ξύλο έχει αντοχή μεγαλύτερη σε εφελκυσμό, θα περίμενε κανείς να σπάσει στη θλιβόμενη περιοχή. Όμως, στην πράξη το ξύλο σπάει στην εφελκυσμένη πλευρά, γιατί οι ατέλειες του ξύλου (π.χ. ρόζοι), ελαττώνουν πιο πολύ την αντοχή σε εφελκυσμό, παρά την αντοχή σε θλίψη. Η αντοχή του ξύλου σε κάμψη, βρίσκεται μεταξύ της αντοχής σε εφελκυσμό και της αντοχής σε θλίψη.

Διατμητική αντοχή

Ο μηχανισμός αναπτύξεως της διατμητικής αντοχής διαφέρει ανάλογα με το επίπεδο στο οποίο εμφανίζεται η διατμητική ένταση. Στα επίπεδα που είναι παράλληλα προς τις ίνες η διατμητική ένταση προκαλεί παράλληλη ή λοξή ολίσθηση των ινών ή (Σχ. Π.1.4.1 α και β), ενώ στα κάθετα προς τις ίνες επίπεδα προκαλεί κατά μήκος περιστροφή των ινών (Σχ. Π.1.4.1 γ).



Σχ. Π.1.4.1 Η διατμητική ένταση στα διάφορα επίπεδα του ξύλου.

Κατά την ολίσθηση των ινών αυτές τείνουν να συμπλησιάζουν, με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται κάθετη τάση μεταξύ τους και να μεγαλώνει η διατμητική αντοχή της συγκολλητικής ύλης (λιγνίνη) που τις συνδέει.

Αντιθέτως, κατά την περιστροφή των ινών η λιγνίνη βρίσκεται υπό περίπου καθαρή διάτμηση, δηλαδή σε όρους κυρίων τάσεων, υπό συνδυασμό ίσων σε μέγεθος τάσεων εφελκυσμού και θλίψης, με αποτέλεσμα να εμφανίζει σαφώς μειωμένη, έναντι της προηγούμενης, αντοχή. Άρα, η διατμητική αντοχή του ξύλου θα είναι μικρότερη στα επίπεδα τα κάθετα προς τη διεύθυνση των ινών.

Μέτρο ελαστικότητας

Το μέτρο ελαστικότητας της διαβαθμισμένης δομικής ξυλείας, στην αξονική διεύθυνση κυμαίνεται μεταξύ των 7 GPa (C14) και 17 GPa (D20). Στις άλλες δύο διευθύνσεις, την ακτινική και την εφαπτομενική, τα μέτρα ελαστικότητας είναι περίπου ίσα μεταξύ τους, με τιμές που κυμαίνονται, κατ' αντιστοιχία προς τις προηγούμενες, μεταξύ των 0,23 GPa και 1.33 GPa.

Γενικώς, υπάρχει μια συσχέτιση μέτρου ελαστικότητας και αντοχής. Στον Γαλλικό Κανονισμό "Règles C.B. 71" δίδεται η ακόλουθη σχέση:

$$E = K \cdot \sigma_{adm}$$

όπου,

E : το συμβατικό μέτρο ελαστικότητας παράλληλα στις ίνες, σε kp/cm^2 .

σ_{adm} : η επιτρεπόμενη τάση,

K : συντελεστής εξαρτώμενος από το είδος του ξύλου, = 12000 για δρυ, 10500 για κωνοφόρα

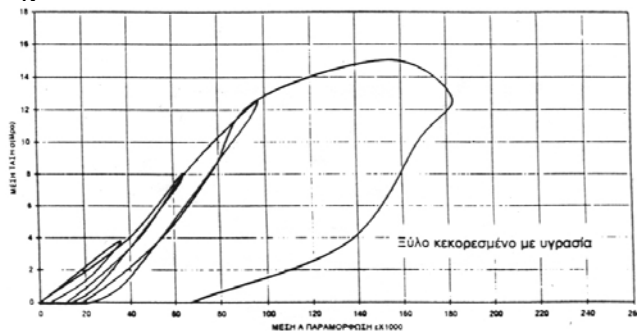
Η προηγούμενη σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αντιστρόφως, για την εκτίμηση μιας συντηρητικής τιμής επιτρεπόμενης τάσης του ξύλου, αν είναι γνωστό το μέτρο ελαστικότητάς του, (π.χ., μετρημένο στο έργο, με έμμεσες μεθόδους).

Αντοχή σε κρουστική φόρτιση

Το ξύλο εμφανίζει γενικώς υψηλή αντοχή σε κρουστικά φορτία, κυμαινόμενη σε μεγάλο εύρος, ανάλογα με την ποιότητα του ξύλου. Η αντοχή του ξύλου υπό κρουστικά φορτία έχει μεγάλη σημασία για ορισμένες περιοχές των ξύλινων κατασκευών Π.χ., τις περιοχές των συνδέσεων και των αγκυρώσεων υφίσταται κρουστική καταπόνηση στην διάρκεια ενός σεισμού. Υπό το κρουστικό φορτίο δεν προλαβαίνουν να αναπτυχθούν οι συμπληρωματικοί μηχανισμοί αντοχής συνδέσεως, (τριβές, διαδοχική πλαστικοποίηση του ξύλου στις περιοχές των οπών των συνδέσεων), με συνέπεια την μείωση της φέρουσας ικανότητας των συνδέσεων και την άμεση κρουστική φόρτιση του ξύλου.

Αντοχή υπό επαναλαμβανόμενη και ανακυκλιζόμενη ένταση

Οι αντοχές του ξύλου υπό επαναλαμβανόμενη και ανακυκλιζόμενη ένταση δεν έχουν διερευνηθεί επαρκώς, σε βαθμό που να επιτρέπει τον καθορισμό συναφών χαρακτηριστικών τιμών. Πάντως και υπ' αυτές τις εντάσεις το ξύλο εμφανίζει αξιοσημείωτα καλή συμπεριφορά, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο Σχ. Π.1.4.2.



Σχ.Π.1.4.2 Το ξύλο υπό επαναλαμβανόμενη ένταση (Κατσαραγάκης, 2000).

Ας σημειωθεί ότι, για τον σχεδιασμό των ξύλινων κατασκευών έναντι σεισμού σημασία έχει η συμπεριφορά των κόμβων, οι οποίοι είναι περιοχές στις οποίες, ανάλογα με το είδος της συνδέσεως, σημειώνεται μεγαλύτερη ή μικρότερη ανάλωση ενέργειας. Καθορίζεται έτσι η συμπεριφορά της κατασκευής και εισάγεται, αντιστοίχως ο κατάλληλος συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς.

Κόπωση

Το φαινόμενο της κοπώσεως εμφανίζεται και στο ξύλο, φορτία μικρότερα από την υπολογιστική τιμή σχεδιασμού, αλλά με πολλούς κύκλους επαναλήψεως, όπως ο άνεμος ή το κινητό γεφυρών, μπορούν να προκαλέσουν στο ξύλο την εμφάνιση μικροαστοχιών κοπώσεως. Αυτές μειώνουν τα χαρακτηριστικά αντοχής και δυσκαμψίας του υλικού καθώς και την ανθεκτικότητα του σε διάρκεια. Η αντοχή σε κόπωση

μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος της εντάσεως και της επαναλήψεως (επανάληψη, ανακύκληση), με μεγαλύτερη την αντοχή σε κόπωση από αξονικό εφελκυσμό.

Ευκαμψία

Είναι η ιδιότητα που χαρακτηρίζει την ευκολία με την οποία το ξύλο φορτιζόμενο πέρα από το όριο ελαστικότητας παραμορφώνεται μονίμως χωρίς θραύσεις. Ως δείκτης της ευκαμψίας "δ" μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο λόγος του βέλους u του καμπτόμενου στοιχείου προς το μόνιμο βέλος u_{pl} , το οποίο υφίσταται το στοιχείο, δηλαδή:

$$\delta = u / u_{pl}$$

Το δ κυμαίνεται από 15 ως 50, περίπου, ανάλογα με το είδος και την κατάσταση του ξύλου και, προφανώς, μικρότερες τιμές του δ σημαίνουν μεγαλύτερη ευκαμψία.

Στον παρακάτω πίνακα Π.1.4 παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές ευκαμψίας για μερικά είδη ξύλου.

Πίνακας Π.1.4 Η ευκαμψία του ξύλου

δ	Ευκαμψία	είδος ξύλου
40 - 50	Μικρή	ξύλα με ελαττώματα (ρόζοι, σχισίματα), αποξηραμένα, φθαρμένα από την χρήση ή τον χρόνο
30 - 40	Μέση	κωνοφόρα, οξιά
15 - 30	Μεγάλη	δρυς, φράξος

Η ευκαμψία μεγαλώνει με την υγρασία και την θερμοκρασία. Με άτμιση (επίδραση υδρατμών σε υψηλή θερμοκρασία), το ξύλο γίνεται ιδιαιτέρως εύκαμπτο. Μετά την ψύξη διατηρεί την μορφή που απέκτησε, καθώς άλλες ίνες του έχουν αποκτήσει μεγάλη πλαστική εφελκυστική παραμόρφωση και άλλες μεγάλη πλαστική θλιπτική παραμόρφωση. Σημειώνεται εδώ ότι, η άτμιση μπορεί να αλλάξει το χρώμα του ξύλου ή να αμβλύνει τις φυσικές χρωματικές ανομοιομορφίες του (π.χ., μεταξύ ανοιχτόχρωμου σομού ξύλου και σκουρότερης καρδιάς).

Σκληρότητα

Είναι η ιδιότητα που χαρακτηρίζει την αντίσταση που προβάλλει το ξύλο στην διείδυση. Η σκληρότητα είναι περίπου διπλάσια στην διεύθυνση των ινών, σε σχέση με την εγκάρσια διεύθυνση. Γενικώς, αυξάνεται μαζί με το ειδικό βάρος. Στον Πίν.Π.1.5 παρουσιάζεται η κατάταξη ορισμένων ειδών ξύλου βάσει ενός ποιοτικού χαρακτηρισμού της σκληρότητάς τους.

Πίνακας.Π.1.5 Η σκληρότητα ξύλων

Είδος ξύλου	Σκληρότητα
λεύκη, καστανιά, πεύκη	μικρή
πεύκη, ελάτη, καρυδιά	μέση
δρυς, οξιά, φράξος, ελιά	μεγάλη

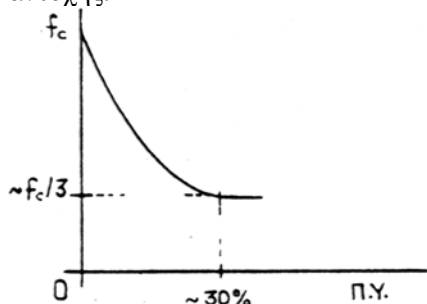
Πυκνότητα και μηχανικές ιδιότητες

Η (φαινόμενη) πυκνότητα είναι η σπουδαιότερη φυσική ιδιότητα του ξύλου, καθώς συσχετίζεται άμεσα με τις μηχανικές του ιδιότητες. Η πυκνότητα της δομικής ξυλείας κυμαίνεται μεταξύ 300 μέχρι 550 kg/m³. Η πυκνότητα του τοιχώματος των κυττάρων του ξύλου είναι της τάξεως των 1500 kg/m³, άρα το ποσοστό των πόρων του ξύλου κυμαίνεται, αντιστοίχως, μεταξύ 0.8 μέχρι 0.65%.

Γενικώς, μεγαλύτερη πυκνότητα του ξύλου είναι δηλωτική καλύτερων μηχανικών ιδιοτήτων. Αυτό είναι εύλογο, αφού η αύξηση του φαινομένου βάρους υποδηλώνει κύτταρα με παχύτερα τοιχώματα και λιγότερα διάκενα μεταξύ των κυττάρων.

Υγρασία και μηχανικές ιδιότητες

Το Ποσοστό Υγρασίας επηρεάζει τις μηχανικές ιδιότητες του ξύλου. Το Ποσοστό Ισορροπίας αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντος ξύλου. Γενικώς, η αύξηση του Π.Υ. συνεπάγεται σημαντική μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων του ξύλου, με μία σταθεροποίηση πάνω από το ποσοστό ισορροπίας. Στο Σχ. Π.1.4.3 παρουσιάζεται μία τυπική συσχέτιση Π.Υ. και θλιπτικής αντοχής.

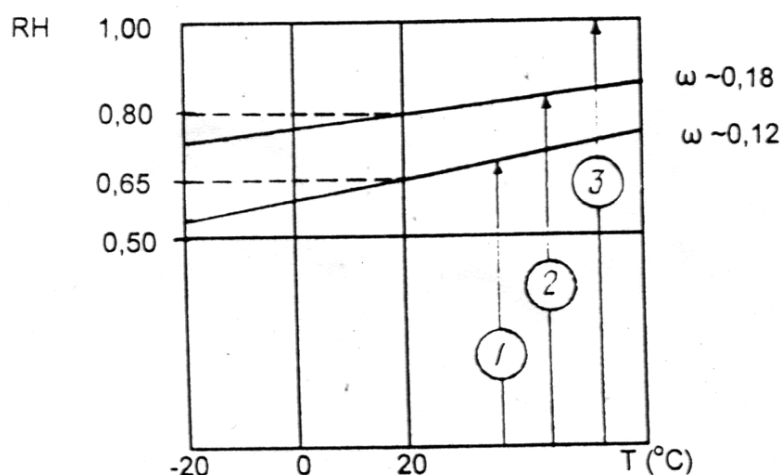


Σχ.Π.1.4.3 Συσχέτιση Ποσοστού Υγρασίας και θλιπτικής αντοχής

Μεταξύ των θεωρητικών ορίων μεταβολής του Π.Υ. παρατηρείται σημαντικότερη μείωση της αντοχής. Όμως, στην περιοχή μεταβολής του Π.Υ. στην πράξη (20 ~ 30 %), η παρατηρούμενη μείωση της αντοχής είναι της τάξεως του 10%. Η μείωση αυτή μπορεί να υιοθετείται γενικώς, ως μια πρώτη προσέγγιση της μειωμένης αντοχής για μια συνήθη αύξηση του Π.Υ. Η παραπάνω συσχέτιση ισχύει για όλες τις αντοχές και τα μέτρα ελαστικότητας. Σημειώνεται ότι η ξήρανση, εκτός από την αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων, κάνει το ξύλο ψαθυρότερο, δηλαδή πιο ευάλωτο στην ανάπτυξη ρωγμών.

Στον EC – 5 καθορίζονται οι ακόλουθες “κλάσεις λειτουργίας” στις οποίες ταξινομούνται οι κατασκευές, ανάλογα με την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία (RH) του περιβάλλοντος, δηλαδή ανάλογα με τον συνδυασμό συνθηκών οι οποίες καθορίζουν το ποσοστό ισορροπίας του ξύλου. Η ταξινόμηση αυτή αποβλέπει σε έναν ορθολογικό καθορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών του ξύλου, ανάλογα με το Π.Υ. Η επιρροή της υγρασίας θα συνδυαστεί με την επιρροή του χρόνου (διάρκεια φορτίσεως) για να καθοριστεί ένας συντελεστής, ο οποίος μαζί με τον επιμέρους συντελεστή ασφαλείας του υλικού, διαμορφώνει την αντοχή, ώστε να προκύψει η υπολογιστική τιμή της αντοχής.

- **Κλάση λειτουργίας 1** ποσοστό ισορροπίας που αντιστοιχεί σε θερμοκρασία 20 ± 2 C & RH > 65% μόνο για λίγες εβδομάδες το χρόνο. Οι συνθήκες αυτές επικρατούν στο εσωτερικό των συνήθων κτιρίων. Για τα περισσότερα μαλακά ξύλα το ποσοστό ισορροπίας σ’ αυτήν την κλάση είναι 12%.
- **Κλάση λειτουργίας 2** ποσοστό ισορροπίας που αντιστοιχεί σε θερμοκρασία 20 ± 2 C & RH > 80% μόνο για λίγες εβδομάδες το χρόνο. Για τα περισσότερα μαλακά ξύλα το ποσοστό ισορροπίας σ’ αυτήν την κλάση είναι 18%.
- **Κλάση λειτουργίας 3** Κλιματικές συνθήκες που οδηγούν σε υψηλότερα από ό,τι στις προηγούμενες κλάσεις ποσοστά υγρασίας.



Σχ. Π.1.4.4 Οι περιοχές των κλάσεων λειτουργίας κατά τον Ευρωκώδικα EC – 5.

Ερπυσμός του ξύλου

Η δομή του ξύλου και η έντονη παρουσία του νερού μέσα στη μάζα του προϋποθέτει για την έντονη εμφάνιση ερπυστικών φαινομένων. Όπως αποδεικνύει η πειραματική έρευνα, ο ερπυσμός του ξύλου, αντίθετα με ότι συμβαίνει στο σκυρόδεμα, αυξάνεται με την αύξηση της υγρασίας του περιβάλλοντος. Τούτο αιτιολογείται ως εξής:

- Στο ξύλο, όπως και στο σκυρόδεμα, ο ερπυσμός προέρχεται από την απομάκρυνση του περιεχομένου νερού, υπό την πίεση του επιβαλλομένου φορτίου. Έτσι, το ποσοστό των τάσεων τις οποίες αναλαμβάνει το νερό μειώνεται, ενώ οι τάσεις που αναλαμβάνονται από τον στερεό ιστό μεγαλώνουν, με συνέπεια την αύξηση των παραμορφώσεων του ξύλου, υπό σταθερό φορτίο, στην διάρκεια του χρόνου. Η αύξηση αυτή των παραμορφώσεων, δηλαδή ο ερπυσμός, είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα του απομακρυνόμενου νερού κι αυτή, πάλι, είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη ήταν η ποσότητα του αρχικώς περιεχομένου νερού.
- Το σκυρόδεμα δεν προσλαμβάνει νερό από το περιβάλλον· περιέχει νερό, το οποίο αποδίδει στο περιβάλλον, τόσο ευκολότερα και ταχύτερα όσο ξηρότερο είναι το περιβάλλον. Όσο περισσότερο, γρηγορότερα και νωρίτερα χάνει νερό το σκυρόδεμα, δηλαδή όσο ξηρότερο είναι το περιβάλλον, τόσο μεγαλύτερες θα είναι οι παραμορφώσεις του.
- Το ξύλο προσλαμβάνει νερό από το περιβάλλον, τόσο περισσότερο, όσο υγρότερο είναι το περιβάλλον. Όσο περισσότερο νερό περιέχει η δομική ξυλεία, τόσο περισσότερο νερό θα αποβάλει φορτιζόμενη, άρα, τόσο μεγαλύτερος θα είναι ο ερπυσμός της.

Αντοχή σε διάρκεια

Η αντοχή ενός ξύλινου δοκιμίου υπό μόνιμο φορτίο εμφανίζεται μειωμένη έναντι της αντοχής που μετριέται σε μια συνήθη ταχεία δοκιμή, ένα φαινόμενο ανάλογο με εκείνο που παρατηρείται στο σκυρόδεμα και οδηγεί εκεί στην εισαγωγή του μειωτικού συντελεστή $\alpha=0,85$, για την εκτίμηση της υπολογιστικής αντοχής f_{cd} .

Η αντοχή του ξύλου μειώνεται με την επιμήκυνση του χρόνου φορτίσεως. Όπως για όλους τους παράγοντες που επιδρούν στην διαμόρφωση των μηχανικών ιδιοτήτων του ξύλου, η επιρροή του χρόνου εξαρτάται από το είδος, την ποιότητα και την υγρασία του ξύλου.

Η παρατηρούμενη σημαντική πτώση της αντοχής συναρτίζεται του χρόνου, αποτυπώνεται στον Ευρωκώδικα 5 με την εισαγωγή του μειωτικού συντελεστή k_{mod} , ο οποίος, όπως αναφέρθηκε ήδη, καλύπτει και την επιρροή της υγρασίας. Σημειώνεται ότι η μείωση που εισάγεται με αυτόν τον συντελεστή είναι, για μόνιμη φόρτιση, της τάξεως του 50%.

Π.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΕΩΣ ΠΥΡΗΝΩΝ

Για να φανούν οι διαφοροποιήσεις στην εκτίμηση της συμβατικής αντοχής από την αντοχή των πυρήνων ανάλογα με την εφαρμοζόμενη μέθοδο αναγωγής παρουσιάζονται στην συνέχεια 5 εφαρμογές. Η πρώτη εφαρμογή είναι η περίπτωση αναφοράς, ενώ οι υπόλοιπες 4 αποτελούν παραλλαγές της περιπτώσεως αναφοράς. Οι έξι μέθοδοι που συγκρίνονται έχουν αναφερθεί στην παράγραφο 4.2.3.

Π.2.1 Περίπτωση αναφοράς.

Εστω πυρήνας μήκους $L=15\text{cm}$, διαμέτρου $D=10\text{cm}$, κατασκευασμένος από σκυρόδεμα ποιότητας B225. Αντοχή κατά την θραύση του 275 kgf/cm^2 .

Οπλισμοί: κανένας, Συντήρηση: στον αέρα.

1. Facaoaru $f_c = a \cdot b \cdot c \cdot f_{\text{core}}$

$a=1.02, b=1.20, c=1.20, f_{\text{core}}=275$ **άρα $f_c=403.92 \text{ kgf/cm}^2$**

2. Plowman, Smith $f_c = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot f_{\text{core}}$

$F_1=1.13, F_2=1.02, F_3=1.3, f_{\text{core}}=275$ **άρα $f_c=412.1 \text{ kgf/cm}^2$**

3. B.S.I. $f_c = [D / (1.5 + 1/\lambda)] \cdot f_{\text{core}}$

a) οριζόντια $D=2.5, \lambda=1.5$ **άρα $f_c=317 \text{ kgf/cm}^2$**

b) κατακόρυφα $D=2.3, \lambda=1.5$ **άρα $f_c=291 \text{ kgf/cm}^2$**

4. Monday/Dhir $f_c = 1.5 \cdot f_{\text{core}} - 0.007 \cdot f_{\text{core}}^2$ (κανονικά η σχέση αυτή δεν μπορεί να εφαρμοσθεί στην περίπτωση αυτή, διότι $L/D \neq 2.0$), **άρα $f_c=359.6 \text{ kgf/cm}^2$**

5. ΕΛΟΤ $f_c = (\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 / K_\phi \cdot K_c \cdot K_d) \cdot f_{\text{core}}$

$\lambda_1=0.95, K_\phi=0.85$

$\lambda_2=0.96, K_c=0.90$

$\lambda_3=1.22, K_d=1.00$

άρα $f_c=400 \text{ kgf/cm}^2$

6. Εγκύκλιος Ε7, ΥΠΕΧΩΔΕ, 1997β. Σύμφωνα με την εγκύκλιο αυτή του ΥΠΕΧΩΔΕ, η οποία είναι παρακολούθημα του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος, ΥΠΕΧΩΔΕ, 1997α, η αντοχή θα ήταν:

$f_c = L_1 \cdot L_2 \cdot L_3 \cdot L_4 \cdot f_{\text{core}}$

$L_1=0.942$

$L_2=0.960$

$L_3=1.184$

$L_4=1.030$

άρα $f_c=303 \text{ kgf/cm}^2$

Π.2.2 Παραλλαγές

Εξετάζοντας τις περιπτώσεις που μπορούν να δώσουν τις ακραίες τιμές στην αντοχή f_c παίρνουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις:

α) $D=5\text{cm}, L=10\text{cm}, L/D=2.0$, οπλισμός κανένας.

β) $D=15\text{cm}, L=7.5\text{cm}, L/D=0.5$, οπλισμός κανένας.

γ) $D=5\text{cm}, L=10\text{cm}, L/D=2.0$, ένας οπλισμός διαμέτρου 20mm.

δ) $D=15\text{cm}, L=7.5\text{cm}, L/D=0.5$, ένας οπλισμός διαμέτρου 20mm.

Απόσταση οπλισμού από κοντινότερη επίπεδη πλευρά 30mm.

Τα αποτελέσματα, στα οποία καταλήγουμε φαίνονται στην συνέχεια:

Περίπτωση α.

1. **Facaoaru** $f_c = a * b * c * f_{core}$
 $a=1.25, b=1.20, c=1.20, f_{core}=275$ **άρα $f_c=495\text{kgr/cm}^2$**
2. **Plowman, Smith** $f_c = F_1 * F_2 * F_3 * f_{core}$
 $F_1=1.24, F_2=1.02, F_3=1.3, f_{core}=275$ **άρα $f_c=452\text{kgr/cm}^2$**
3. **B.S.I.** $f_c = [D / (1.5 + 1/\lambda)] * f_{core}$
 a) $D=2.5, \lambda=2.0$ **άρα $f_c=344\text{kgr/cm}^2$**
 b) $D=2.3, \lambda=2.0$ **άρα $f_c=316\text{kgr/cm}^2$**
4. **Monday/Dhir** $f_c = 1.5 * f_{core} - 0.007 * f_{core}^2$
άρα $f_c=359.6\text{kgr/cm}^2$
5. **ΕΛΟΤ** $f_c = (\lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 / K_\phi * K_c * K_d) * f_{core}$
 $\lambda_1=1.02, K_\phi=0.75$
 $\lambda_2=0.92, U_c=0.90$
 $\lambda_3=1.22, K_d=1.00$
άρα $f_c=466\text{kgr/cm}^2$

Περίπτωση β.

1. **Facaoaru** $f_c = a * b * c * f_{core}$
 $a=1.05, b=0.62, c=1.20, f_{core}=275$ **άρα $f_c=214\text{kgr/cm}^2$**
2. **Plowman, Smith** $f_c = F_1 * F_2 * F_3 * f_{core}$
 $F_1=0.87, F_2=1.02, F_3=1.3, f_{core}=275$ **άρα $f_c=317\text{kgr/cm}^2$**
3. **B.S.I.** $f_c = [D / (1.5 + 1/\lambda)] * f_{core}$
 a) $D=2.5, \lambda=0.5$ **άρα $f_c=196\text{kgr/cm}^2$**
 b) $D=2.3, \lambda=0.5$ **άρα $f_c=181\text{kgr/cm}^2$**
4. **Monday/Dhir** $f_c = 1.5 * f_{core} - 0.007 * f_{core}^2$ (κανονικά η σχέση αυτή δεν μπορεί να εφαρμοσθεί στην περίπτωση αυτή, διότι $L/D \neq 2.0$), **άρα $f_c=359.6\text{kgr/cm}^2$**
5. **ΕΛΟΤ** $f_c = (\lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 / K_\phi * K_c * K_d) * f_{core}$
 $\lambda_1=0.75, K_\phi=0.95$
 $\lambda_2=1.00, K_c=0.90$
 $\lambda_3=1.22, K_d=1.00$
άρα $f_c=294\text{kgr/cm}^2$

Περίπτωση γ.

1. **Facaoaru** $f_c = a * b * c * f_{core}$
 $a=1.25, b=1.20, c=1.20, f_{core}=275$ **άρα $f_c=495\text{kgr/cm}^2$**
2. **Plowman, Smith** $f_c = F_1 * F_2 * F_3 * f_{core}$
 $F_1=1.24, F_2=1.10, F_3=1.3, f_{core}=275$ **άρα $f_c=488\text{kgr/cm}^2$**
3. **B.S.I.** $f_c = [D / (1.5 + 1/\lambda)] * f_{core} * (1.0 + 1.5 \Sigma \Phi_i * d / \Phi_c * l)$
 a) $D=2.5, \lambda=2.0,$

$$\Phi_r=20\text{mm}$$

$$\Phi_c=50\text{mm}$$

$$\text{άρα } f_c=373\text{kgr/cm}^2$$

$$\text{b) } D=2.3, \lambda=2.0$$

$$\text{άρα } f_c=373\text{kgr/cm}^2$$

$$\text{4. Monday/Dhir} \quad f_c=1.5*f_{core}-0.007*f_{core}^2$$

$$\text{άρα } f_c=359.6\text{kgr/cm}^2$$

$$\text{5. ΕΛΟΤ} \quad f_c=(\lambda_1*\lambda_2*\lambda_3/K_\phi*K_c*K_d)*f_{core}$$

$$\lambda_1=1.02, K_\phi=0.75$$

$$\lambda_2=0.92, K_c=0.90$$

$$\lambda_3=1.22, K_d=1.00$$

$$\text{άρα } f_c=466\text{kgr/cm}^2$$

Περίπτωση δ.

$$\text{1. Facioaru} \quad f_c=a*b*c*f_{core}$$

$$a=1.05, b=0.62, c=1.20, f_{core}=275 \quad \text{άρα } f_c=214\text{kgr/cm}^2$$

$$\text{2. Plowman, Smith} \quad f_c=F_1*F_2*F_3*f_{core}$$

$$F_1=0.87, F_2=1.10, F_3=1.3, f_{core}=275 \quad \text{άρα } f_c=342\text{kgr/cm}^2$$

$$\text{3. B.S.I.} \quad f_c=[D/(1.5+1/\lambda)]*f_{core}*(1.0+1.5*\Phi_r*d/\Phi_c*1)$$

$$\text{a) } D=2.5, \lambda=0.5$$

$$\Phi_r=20\text{mm}$$

$$\Phi_c=50\text{mm}$$

$$\text{άρα } f_c=232\text{kgr/cm}^2$$

$$\text{b) } D=2.3, \lambda=0.5$$

$$\text{άρα } f_c=213\text{kgr/cm}^2$$

$$\text{4. Monday/Dhir} \quad f_c=1.5*f_{core}-0.007*f_{core}^2 \quad (\text{κανονικά η σχέση αυτή δεν μπορεί να εφαρμοσθεί στην περίπτωση αυτή, διότι } L/D \neq 2.0), \quad \text{άρα } f_c=359.6\text{kgr/cm}^2$$

$$\text{5. ΕΛΟΤ} \quad f_c=(\lambda_1*\lambda_2*\lambda_3/K_\phi*K_c*K_d)*f_{core}$$

$$\lambda_1=0.75, K_\phi=0.95$$

$$\lambda_2=1.00, K_c=0.90$$

$$\lambda_3=1.22, K_d=1.00$$

$$\text{άρα } f_c=294\text{kgr/cm}^2$$

Συμπέρασμα: Παρατηρούνται μεγάλες διαφοροποιήσεις κατά την μετατροπή της αντοχής του πυρήνα σε συμβατική αντοχή (π.χ. για την περίπτωση αναφοράς, πυρήνας με τάση θραύσεως 275kg/cm^2 μπορεί να αντιστοιχεί σε συμβατική αντοχή από 291kg/cm^2 έως 412kg/cm^2).

Π.3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Π.3.1 Βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την σύνταξη του παρόντος

- ACI Committee 228, «In-place methods to estimate concrete strength», Report ACI 228.1R-95.
- ASTM D 4748, «Test method for detecting delaminations in bridge decks using infrared thermography»
- Ευρωκώδικας Νο 6, «Σχεδιασμός κατασκευών από τοιχοποιία», ENV 1996-1-1, Ιούνιος 1995
- FEMA 356, 2000, «Prestandard and Commentary for the seismic rehabilitation of buildings», November 2000, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC
- FEMA 274, 2000, «Commentary for the seismic rehabilitation of buildings», November 2000, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC
- Α. Καραμπίνης «Συμβολή στην μελέτη δυναμικών χαρακτηριστικών κατασκευών από Ω.Σ.», Διδακτορική διατριβή, Ξάνθη, 1986
- Ε. Κατσαραγάκης, «Ξύλινες κατασκευές», έκδοση ΕΜΠ, Αθήνα 2000
- ΟΑΣΠ «Συστάσεις για προσεισμικές και μετασεισμικές επεμβάσεις σε κτίρια», Αθήνα, Οκτώβριος 2000.
- Πενέλης Γ, Κάππος Α., «Αντισεισμικές κατασκευές από ωπλισμένο σκυρόδεμα», Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1990
- Θ.Π. Τάσιος, Κ. Αλιγιζάκη, «Ανθεκτικότητα Ωπλισμένου Σκυροδέματος», Αθήνα, 1993
- Θ.Π. Τάσιος, «Η Μηχανική της Τοιχοποιίας», ΕΜΠ 1986
- Τ.Ε.Ε., «Επισκευές – Ενισχύσεις. Παραδείγματα Διαστασιολογήσεως», Αθήνα, 1987
- Κ. Τρέζος, Θ. Τάσιος, Χρ. Μαραβέλιας «Ανάπτυξη μεθόδου για την αξιοπιστία των εμμέσων μεθόδων επιτόπου προσδιορισμού της αντοχής του σκυροδέματος σε δομήματα Ω.Σ.», Εκθεση προόδου, Εργ. Ω.Σ. /ΕΜΠ, Αθήνα, 1994

Π.3.2 Γενική βιβλιογραφία

- ACI, Recommended practice for evaluation of strength test results of concrete, ACI 214/77, 1977, 14pp
- ACI com 228, In place methods for determination of strength of concrete, ACI mater jour, 1988 /0910, 446-471
- Ash J.E, Assessment of inset concrete and its application to HAC beams, Concrete, 1977/03, 24- 25
- ASTM, Standard test method for pulse velocity through concrete, ASTM C597, 1983, 4pp
- ASTM, Standard test method for rebound number of hardened concrete, ASTM C805, 1985, 398-399
- ASTM, Standard test method for penetration resistance of hardened concrete, ASTM C803, 1990, 394-397
- ASTM, Pullout strength of hardened concrete, ASTM C900, 1987, 5p
- Balaguru P.N- Ramakrishnan V, Criteria for estimating the required average strength f_{crit} to comply with the specified compressive strength f_c , ACI mater jour, 1987/0102, 35-41
- Bickley J.A, The variability of pullout tests and in place concrete strength, Concr Int, 1992 /04, 44- 51
- Bloem D.L, Concrete strength in structures, ACI journ, 1968/03, 176-187
- BSI, Assessment of concrete strength in existing structures, BS 6089, 1981, 13p
- BSI, Testing concrete: normal curing, BSI 1881/111, 1983α, 4pp
- BSI, Testing concrete: accelerated curing, BSI 1881/112, 1983β, ?pp
- BSI, Testing concrete: Rebound hammer, BSI 1881/202, 1986α, 6pp
- BSI, Testing concrete: Pulse velocity, BSI 1881/203, 1986β, 18pp
- Bugney J.H, Concrete strength determination by pullout tests on wedge anchor bolts, Proc Inst Civ Eng Part 2 71, 1981/06, 379-394
- Bungey J.H, The testing of concrete in structures Chapter 5: Cores, Surrey Univ Press, 1990, 94-109
- Campbel R.H Tobin R.E, Core and cylinder strengths of natural and lightweight concrete, ACI jour, 1967/04, 190-195
- CEB, Design of Concrete structures for fire resistance, CEB Bul 145, 1982 /01
- Chabowski A.J Bryden-Smith D, A simple Pull-Out Test to Assess the strength of In Situ Concrete, Precast Concrete Vol.8, No5, 1977 /05, pp164-172
- Chabowski A.J-Bryden-Smith D.W, Assessing the strength of inset portland cement by internal fracture tests, Magaz of concrete res vol 32 no 112, 1980/09, 164-172
- Chengju G, Maturity for concrete: method for predicting early stage strength, ACI mater jour, 1989/0708, 341-353
- Chung H.W., Law K.S., Diagnosing in situ concrete by ultrasonic pulse technique, Concrete International, 1983 /10
- Chung, H.W., and Law, K.S., "Assessing fire damage of concrete by the ultrasonic pulse technique", Cement, Concrete and Aggregate, V.7 No 2, 1985, Winter, p.p. 84-88
- Cianfrone F Facaoaru I, Study on the introduction into Italy on the combined ND method for the determination of the inset concrete strength , Mater Constr Vol 12 no 71, 1979, 413-424
- Concrete Society, Concrete Core strength testing, Conc Soc Digest No 9, 1988, 8pp
- Dilly R.L, Ledbetter W.B, Concrete strength based on maturity and pullout, ASCE Str Eng vol 110 no 2, 1984/02, 354-369

Di Maio A. Traversa LP. Giovambattista A., Non destructive combined methods applied to structural concrete members, Cem Conc Aggr vol 7 no 2, 1985, 89- 94

Durant A, Durant G, Etude de la variation de la vitesse longitudinale V des ultrasons dans une éprouvette normalisée de béton soumise a des charges croissantes, Mater + Constr vol 11 No 63, 1978, 199-203

Durant G Mace M, Utilisation de la variation de la vitesse longitudinale des ultrasons dans les bétons en fonction du temps dans les contrôles des produits manufactures, Mater Constr Vol 16 no 95, 1983, 353-358

ΕΛΟΤ, Συσχέτισις της αντοχής αποκοπτομένου πυρήνος σκυροδέματος εκ θραυστών ασβεστολιθικών αδρανών προς την συμβατικήν αντοχήν, Σχέδιο ΕΛΟΤ 344

Facaoaru I, Contribution a l'étude de la relation entre la résistance du béton a la compression et de la vitesse de propagation longitudinale des ultra sons, RILEM no 92, 1961/9, 125-154

Facaoaru I, Comparison between recommendation existing in some European countries concerning the determination of concrete strength by surface hardness methods, Mater Constr vol 9 no 51, 1976, 207-210

Figg J.W., «Methods of measuring the air and water permeability of concrete», Magazine of concrete research V.25, No 85, Dec 1973, pp213-219

Gaede K - Schmidt E., Ruckprallprüfung von Beton mit dichtem Gefüge, Heft 158 Deutschen Ausschusses für Stahl beton, 1960

Galant A, Détermination de la résistance a compression du béton d après la vitesse transversale de propagation des ultrasons et les méthodes combinées qui en découlent, Mater Constr vol 15 no 86, 1982, 127-132

Galant A, Détermination des caractéristiques des résistances des béton d après les mesures de propagation des ultra sons combinées avec les données sclérométriques , Mater Constr vol 17 no 99, 1984, 201-206

Hindo K Bergstrom R, Statistical evaluation of the in place compressive strength of concrete, Concrete Int, 1985/02, 44-48

Indelicato F, A Statistical method for the assessment of concrete strength through micro cores, Materials and Structures, 26, 1993, 261-267

Θεολογίδου Κ., Μή καταστροφικές μέθοδοι ελέγχου αφανών βλαβών σε τοιχοποιίες μνημείων, Τεχν. Χρον., Επιστ. Εκδ. ΤΕΕ, α, 1988, Τομ. 8, τεύχος 4.

ISO, Cores of hardened concrete - Taking, examination and testing in compression, ISO/DIS 7034, 1983α, 3pp

ISO, Concrete hardened - Determination of the depth of penetration of water under pressure, ISO/ DIS7031, 1983β, 3pp

ISO, Concrete hardened - determination of the rebound number using the rebound hammer, ISO/ DIS8045, 1982α, 2pp

ISO, Concrete hardened - determination of pullout strength, ISO/ DIS8046, 1982β, 3pp

ISO, Concrete hardened - determination of ultrasonic pulse velocity, ISO/ DIS8047, 1982γ, 4pp

ISO, Concrete hardened - determination of density, ISO 6275, 1982δ, 2pp

ISO 834, Fire resistance tests - Elements of building construction, ISO 834, 1975 /11

Jenkins R.S, Nondestructive testing - An evaluation tool, Conc Int Vol 7 No 2, 1985/02, 22- 26

Johansen R, In situ strength evaluation of concrete - the "break-off" method, Concr Int, 1979/09, 45- 51

Jones R - Facaoaru I, Recom for testing concrete by ultra sonic pulse method, Mater + Constr vol 2, No 10, 1969, 275 - 291

Καραντώνη Τρ., Φέρουσες τοιχοποιίες, Εκδόσεις Παν/μίου Πατρών

Katsaragakis E., «A new tensile test for concrete», Materials and Structures, 1987, Vol 20 No.120

Keiller A.P., Assessing the strength of in situ concrete, Concrete International, 1985 /02, pp 15-21

- Knaze P Beno P, The use of combined ND testing methods to determine the compressive strength of concrete, Mater Constr vol 17 no 99, 1984, 207-210
- Kolias St., Αξιολόγηση του 1ου κριτηρίου του MC78 CEB/FIP για τον έλεγχο συμμορφώσεως του σκυροδέματος σε αντοχή σε θλίψη, 4ο Ελ Συνέδριο Σκυροδέματος, Ηράκλειο, 1979
- Kolias St., Σκυρόδεμα - Υλικά - Ποιοτικός έλεγχος, 6ο Ελλ Συνδρ Σκυρ. Γιάννενα, 1983
- Kolias St., Evaluation of the CEB compliance criteria for quality control of concrete strength, Comm. VII concrete Budapest, 1980/ 06
- Korshunov D.A, Sidorenko M.V., Methods for determining the strength of concrete, Materials and Structures, 25, 1992, 29-33
- Kriviak G.J., Scanlon A., Estimation of compressive strength of concrete in existing structures based on in-situ test data, ACI Mat Jour, 1987/5-6, 235-245
- Leshchinsky A.M, Combined methods of determining control measures of concrete quality, Mater + Struct, 24, 1991, 177-184
- Leshchinsky A.M, NDT of concrete strength: statistical control Mater Struc 25, 1992, 70- 78
- Levit M., «The ISAT-A non destructive test for the durability of concrete», British journal of non-destructive testing. V.13 No 4, July 1971, pp 106-112
- Logothetis L, Συμβολή εις την επί τόπου εκτίμησης της αντοχής του σκυροδέματος δια συνδυασμού τριών εμμέσων μεθόδων, Διδακτορική διατριβή, 1979
- Logothetis L Oikonomou C, The influence of high temperature on calibration of NDT of concrete, Mater Construc Vol 14 No 79, 1981, 39- 43
- Logothetis L. Tassios T.P., In-situ assessment of concrete quality by means of three combined N.D.-methods, RILEM "Quality control of concrete structures, 1979
- Long A, Murray A, Pull off test for inset concrete strength, Concrete, 1981/12, 23- 24
- Loo Y.H, Tan C.W, Tam C.T, Effects of embedded reinforcement on measured strength of concrete cylinders, Magaz of concrete res no 146, 41, 1989, 11- 18
- Lyse I. Johansen R, An investigation on the relationship between the cube and cylinder strengths of concrete, RILEM no 14, 1962/03, 125-133
- Malhotra V.M, Symposium review: inset strength evaluation of concrete, Concr Int, 1979 /09, 40- 42
- Malhotra V.M- Carette G, Comparison of pullout test of concrete with compressive strength of cylinders and cores, pulse velocity and rebound number, ACI jour, 1980/05-6, 161-170
- Malhotra V.M., Testing Hardened Concrete: Non destructive methods, ACI Monograph, No 9, 1976
- Malhotra VM, Contract Strength Requirements - Cores vs in situ evaluation, ACI journal, 1977/04, 163-172
- Mamillan M Sidorowicz J, Calcul prévisionnel des résistances des bétons après traitement thermique, Mater Constr Vol 12 no 71, 1979, 367-373
- Maravelias X., Συσχέτιση συμβατικής αντοχής και επιτόπου αντοχής σκυροδέματος με χρήση έμμεσων μεθόδων και πυρήνων. Διαφοροποίηση της αντοχής ανά δομικό στοιχείο, Διπλωματική Εργασία ΕΩΣ-/ΕΜΠ, 1991 /10
- Marchandise H, The use of uncertainties to quantify quality, Materials and Structures, 24, 1991, 380-386
- Mikulic D Pause Z Ukraincik V, Determination of concrete quality in a structure by a combination of destructive and ND method, Mater Struc 25, 1992, 65- 69
- Mitchell L., Hoagland G., Investigation of the impact type concrete test hammer, Highway Res Board, Bul 305, 1961

- Mommens A, La précision de l'estimation de la résistance du béton au moyen du l'indice sclérométrique, Mater Constr Vol 10 No 55, 1977, 49-54
- Murrey A.McC- Long A.E, A study of inset variability of concrete using the pull off method, Proc Inst Civ Eng Part 2 83, 1987/12, 731-745
- Nasser K -Al Manasser I, Comparison of ND testers of hardened concrete, ACI mater jour, 1987/07-8, 374-380
- Nasser K.W., Al Manasser A.A., New Non destructive test, Concrete International, 1987 /01, pp 41-44
- Nikkari K, Testing compressive strength of in-situ concrete structures by REBULTRA method, RILEM 43-CND TC Athens, 1981/04
- Olson L.D Wright C.C., Non destructive testing for repair and rehabilitation, Concr Int V12, No3, p58- 64
- Petersons N, Recommendations for estimation of quality of concrete in finished structures, Mater Constr vol 4 no 24, 1971, 379-396
- Philleo R.E, A need for inset testing of concrete, Concr Int, 1979/09, 43- 44
- Plowman J.M- Smith W.F-Sherriff T, Cores cubes and the specified strength of concrete, Struc Engin no 11 vol 52, 1974/11, 421-426
- Popovic S Popovic J, Effect of stresses on the Ultra son pulse velocity in concrete, Mater + Struct 24, 1991, 15- 23
- Postacioglu B, Nouvelles significations de l'indice sclérométrique Schmidt et de la vitesse de propagation des ultra sons, Mater + Constr Vol 18 No 108, 1985, 447-451
- RILEM, Rilem WG on NDT of concrete, RILEM No 27, 1965/06, 121-124
- RILEM, Recommendation for testing concrete by hardness method, Mater + Constr vol 16 No 95, 1983, 369-376
- RILEM, Measurement of hardened concrete carbonation depth, Mat Constr vol 17 no 102, 1984 α , 437-440
- RILEM, Testing of concrete by the ultrasonic pulse method, RILEM NDT1, 1972, 10p
- RILEM, Recom for the use of resonant frequency method in testing concrete specimens, Recom for testing of concrete by the hardness method, RILEM NDT2 NDT3, 1984 β , 11p
- RILEM CND43, Draft Recommendation for in-situ concrete strength determination by combined non-destructive methods, Materials and Structures, 26, 1993, 43-49
- Sandvik M Haug A.K, Inset strength of concrete in offshore structures, TPT, 1990-?, 295-297
- Schickert G, Critical reflection on ND testing of concrete, Mat. Constr vol 17 no 99, 1984, 217-223
- SCHMIDT, Concrete Test Hammer Types N and NR, Operating instructions, 1977, 16p
- Serikh R.L, Concrete quality control in design of concrete components, TPT, 1991/09, 5pp
- Skramtaev B.G- Leshchinsky M.Y, Complex methods of NDT of concrete in constructions and structural works, Bul RILEM No 30, 1966/03, 99- 104
- Skramtajew B.J.", Determining Concrete Strength for Control of Concrete in Structures, ACI Journ Proceed. V.34, No 3, 1938/0102
- X. Σπανός, «Η Μηχανική της Αοπλης και Ωπλισμένης Τοιχοποιίας», Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, 1986
- Sririvindrajah R- Loo Y.H- Tam C.T., Strength evaluation of recycled aggregate concrete by inset tests, Mater Stru 21, 1988, 289-295
- Stone W.C- Reeve C.P, A new statistical method for prediction of concrete strength from in-place tests, Cem Concr Aggr Vol 8 No 1, 1986 α , 3-12
- Stone W.C. Ciza B.J, The effect of geometry and aggregate on the reliability of the pullout test, Concrete International, 1985/ 02, pp 27 -36

Stone W.C., Carino N.J., Reeve C.P., Statistical methods for in Place Strength prediction by the pull-out test, ACI Journal, 1986β/0910, pp 745-757

Sullivant P.J.E, Testing and evaluation of concrete strength in structures, ACI mater jour, 1991/0910, 530-535

Szypula A Grossman J, Cylinder vs core strength, Concr Int vol 12 no 2, 1990/02, 55-61

Θ.Π. Τάσιος, Ελ. Βιντζηλαίου, Ερευνητικό πρόγραμμα «Δοκιμή για τον προσδιορισμό Μηχανικών Χαρακτηριστικών Τοιχοποιίας κτιρίου Φιλεκπαιδευτικής Εταιρίας», Αθήνα 1990.

T.P. Tassios, C. Vachliotis, C. Spanos, «In-Situ Strength measurements of masonry mortars», Athens, September 1989

T. Tassios, M. Chronopoulos, «Aseismic Dimensioning of Interventions on Low Strength Masonry Buildings», Conference on Low Strength Masonry, Ankara, 1986

Tassios T, Trezos C, Maravelias X, Ανάπτυξη μεθόδου για την αξιοπιστία των εμμέσων μεθόδων επιτόπου προσδιορισμού της αντοχής σκυροδέματος σε δομήματα Ω.Σ., Εργαστ ΩΣ/ΕΜΠ, 1η έκθεση προόδου, 1991α /08

Tassios T, Trezos K, Maravelias X., Επιτόπου προσδιορισμός της αντοχής του σκυροδέματος και συσχέτιση με την συμβατική αντοχή, 10ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Ρόδος, 1991β /10

Tassios T., Deodatis G, Πρακτικός σχεδιασμός κατασκευών από ΩΣ έναντι πυρκαγιάς, 1984

Tassios T, Koufopoulos P., Oikonomou X., Διερεύνσεις της συσχέτισεως αντοχής σκυροδέματος και της δυναμικής εξολκεύσεως ήλου, 1ο Συνεδ. Σκυρ. Βόλος, 1973

Tassios T. Demiris K., Νέα έμμεση μέθοδος προσδιορισμού αντοχής σκυροδέματος δι' εξολκεύσεως ήλου, Επιστ. Δημοσ. ΕΜΠ No 21, 1968

Tassios T., Trezos C., Correlation between in situ and standard strengths of concrete, 2nd Int Conf in Computational Stoch. Mech, 1994

Tassios T.P, Uncertainties of in structure assessment of concrete strength , ACI Symposium 4-9/3/84 Phoenix Ariz, 1984, 22p

Tassios T.P., A-posteriori estimation of conventional concrete strength from in-situ measurements, RILEM workshop, Mainz, Germany, 1990 /03

Tassios T.P., Η εφαρμογή των υπερήχων εις την διαγνωστική των υλικών και των κατασκευών, Τεχνικά Χρονικά No 3, 1960

Tassios T.P., Practical utilisation of gamma-rays measurements as a non-destructive method of determination of concrete strength, 2nd Int. Symp. on non-destructive testing, Constantza, Romania, 1974/ 09

Tassios T.P., Interaction of theory and testing in situ (A State-of-the-Art Report), RILEM Symposium: In situ testing of concrete structures, 1977

Teodoru, G. V. M., Herf, J. “Engineering society cologne presents itself (NDT methods)” Proceedings fourteenth word conference on NDT, Dec. 8-13, 1996, New Delhi, India,

Tomsett H.N., The practical use of ultrasonic pulse velocity measurements in the assessment of concrete quality, Magazine of concrete research, 1980 /03, 7-16

Trezos K, Georgiou K, Maravelias X., Προσδιορισμός της επιτόπου αντοχής του σκυροδέματος με έμμεσες μεθόδους. Βαθμονόμηση του κρουσίμετρου και των υπερήχων, Τεχνικά Χρονικά ΤΕΕ, 1993-0406, 27-44

ΥΠΕΧΩΔΕ, Εκτίμηση κατηγορίας αντοχής παλιών κατασκευών, Εγκύκλιος Ε58, 1985α

ΥΠΕΧΩΔΕ, Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, ΦΕΚ 266, 1985β

ΥΠΕΧΩΔΕ, Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, Έκδοση ΚΕΔΕ ή Εν. Δελτ ΤΕΕ Νο1956 26-5-97, 1997α

ΥΠΕΧΩΔΕ, Εγκύκλιος Ε7, Έκδοση ΚΕΔΕ ή Εν. Δελτ ΤΕΕ Νο1964 21-7-97, 1997β

ΥΠΕΧΩΔΕ, «Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων», Αθήνα, 2000