

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΗΜΙ-ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ
(ΕΞΟΛΚΕΥΣΗ) ΚΑΙ ΜΕ ΜΗ-ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟ
(ΥΠΕΡΗΧΟΙ) ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΑΥΤΩΝ

VALUATION OF COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE SPECIMENS WITH SEMI-
DESTRUCTIVE METHOD (Pull-Out Test)
AND NON-DESTRUCTIVE METHOD (Ultrasonic)
AND COMPARISON OF THEM



ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΓΙΟΥΝΗΣ Α.Μ. 4425
ΣΚΟΥΡΑΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ Α.Μ. 4408
ΚΟΣΜΑΔΑΚΗ ΕΥΓΕΝΙΑ Α.Μ. 4482

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΠΑΓΑΝΟΣ

Πρόλογος

Για την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος χρησιμοποιούνται πολύ συχνά έμμεσες, μη καταστρεπτικές και ήμι-καταστρεφικές μέθοδοι. Με τις έμμεσες μεθόδους, η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος δεν μετριέται άμεσα, αλλά εκτιμάται εμμέσως από την συσχέτιση της με κάποια άλλη ιδιότητα του σκυροδέματος, η οποία μετριέται σχετικώς εύκολα.

Μία από τις πλέον διαδεδομένες έμμεσες μη καταστρεπτικές μεθόδους για την εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος είναι η μέτρηση της ταχύτητας των υπερήχων δια μέσου της μάζας του σκυροδέματος (μέθοδος υπερήχων). Με βάση την ταχύτητα και μέσω σχετικών διαγραμμάτων εκτιμούμε την θλιπτική αντοχή και κατ'έπекταση την κατηγορία του.

Στις ημι-καταστρεπτικές μεθόδους ανήκουν γενικά οι εξόλκευσεις ήλων από ένα στοιχείο. Μια από αυτές τις μεθόδους, που εφαρμόσαμε στο εργαστήριο (δοκιμή Lok) και παίρνοντας τις αντοίσιτες μετρήσεις, βασίζεται στη δύναμη εξόλκευσης ενός ήλου από ένα φορέα σκυροδέματος και μέσω αυτής και του εμβαδού επιφάνειας του ήλου, εκτιμούμε την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος και κατ'έπекταση την κατηγορία του.

Σκοπός λοιπόν της εργασίας είναι η εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής του δοκιμίου σκυροδέματος, με την έμμεση, ημι-καταστρεπτική μέθοδο της εξόλκευσης του ήλου (Lok) και με την έμμεση, μη καταστρεπτική μέθοδο των υπερήχων. Επίσης στην εργασία αυτή θα γίνει σύγκριση των ανωτέρω αντοχών με αυτές του συμβατικού κυβικού δοκιμίου για να διαπιστωθεί το πόσο προσεγγίζουν τις αντίστοιχες αντοχές του συμβατικού δοκιμίου. Με λίγα λόγια θα βρούμε το ποσοστό προσέγγισης ημι-καταστρεπτικών και μη καταστρεπτικών μεθόδων σε σχέση με των έλεγχο της αντοχής του συμβατικού κυβικού δοκιμίου.

Περίληψη.

Η πτυχιακή εργασία θα χωριστεί σε δυο κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο, θα γίνει συνοπτική αναφορά των ημι-καταστρεπτικών μεθόδων και στην συνέχεια αναλυτική αναφορά στην μέθοδο της εξόλκευσης του ήλου. Η μέθοδος θα χωριστεί σε δύο μέρη. Πρώτα θα γίνει ανάλυση του θεωρητικού μέρους της μεθόδου και στην συνέχεια ανάλυση του πειραματικού μέρους της μεθόδου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, θα γίνει συνοπτική αναφορά των μη-καταστρεπτικών μεθόδων και θα συνεχίσουμε με αναλυτική αναφορά στην μέθοδο των υπερήχων. Θα χωριστεί σε δυο μέρη η μέθοδος. Πρώτα θα γίνει ανάλυση του θεωρητικού μέρους της μεθόδου και στην συνέχεια ανάλυση του πειραματικού μέρους της μεθόδου.

Τέλος θα κλείσουμε με τα συμπεράσματα και τις συγκρίσεις των δυο αυτών δοκιμών.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	3
Περίληψη.....	4
Περιεχόμενα.....	5
Εισαγωγή.....	8
1.1 Πυρηνοληψία.....	19
1.1.1 Προγραμματισμός της πυρηνοληψίας.....	20
1.1.2.Παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή των πυρήνων.....	21
1.1.3.Αναγωγή αντοχής πυρήνα σε αντοχή κύβου.....	24
1.1.4Αντοχή σε Θλίψη.....	31
1.1.5.Αντοχή σε Εφελκυσμό από διάρρηξη.....	32
1.2.Ηλεκτρικές μέθοδοι.....	44
1.2.1.Μετρήσεις δυναμικού Χάλυβα.....	44
1.2.2.Μέτρηση υγρασίας σκυροδέματος (μέθοδος Wenner).....	45
1.2.3.Καμπύλες πολώσεως.....	47
1.3.Διαπερατότητα.....	48
1.3.1.Πλεονεκτήματα και όρια των μεθόδων.....	51
1.4.Ενανθράκωση.....	51
1.5.Δοκιμή χαραγής.....	53
1.6.Δοκιμή μικροθραυσμάτων.....	56
1.7.Μέθοδος των επίπεδων γρύλων.....	57
1.7.1.Προσδιορισμός θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας, μέτρου ελαστικότητας.....	57
1.7.2Προσδιορισμός διατμητικής αντοχής.....	62
1.8.Χημικές αναλύσεις.....	63
1.9.Εξόλκευση του Ήλου.....	67
1.9.1Δοκιμή Εξόλκευσης Caro.....	68
1.9.1.1 Εξέλιξη της δοκιμής Caro, 1976.....	68
1.9.2.Δοκιμή εξόλκευσης Lok.....	69
1.9.2.1.Εισαγωγή.....	69
1.9.2.2.Εξέλιξη της δοκιμής Lok από το 1962 έως το 1969.....	71

1.9.2.3. Συσχετίσεις της δοκιμής Lok από το 1970 έως το 1995.....	72
1.9.2.4. Θεωρητικές και πειραματικές έρευνες για την δοκιμή Lok, από το 1976 έως το 1985.	79
1.9.2.5 Συσχετίσεις της δοκιμής Caro και σύγκριση με την δοκιμή Lok, 1976 έως 1994.	82
1.9.2.6.Προτεινόμενες γενικές συσχετίσεις για αντοχές κυλινδρικών δοκιμών.	87
1.9.2.7 Προτεινόμενες γενικές συσχετίσεις για αντοχές κυβικών δοκιμών.	88
1.9.2.8Συσχετίσεις που αποκλίνουν από τις γενικές προτεινόμενες συσχετίσεις.	89
1.9.2.9 Συσχετίσεις για σκυρόδεμα με ελαφρά αδρανή υλικά.	89
1.9.2.10 Συσχετίσεις μεταξύ της δοκιμής Caro και πυρήνων με διαστάσεις 100 mm X 100 mm σε παλαιές κατασκευές.....	90
1.10. Πειραματική διαδικασία της μεθόδου εξόλκευσης Lok.	92
1.10.1 Σκοπός.	92
1.10.2 Συνοπτικά η μέθοδος.	93
1.10.3 Σπουδαιότητα και Χρήση.	93
1.10.4 Η συσκευή.	93
1.10.5. Οι διαστάσεις.	99
1.10.6. Sampling (Διαδικασία προετοιμασίας δείγματος).....	101
1.10.7 Διαδικασία (Πορεία δοκιμής).....	101
1.10.9.Υπολογισμοί.	110
1.10.10 Αποτελέσματα της δοκιμής.....	114
1.10.11. Συμπεράσματα για την μέθοδο εξόλκευσης Lok.	119
2.1.Οπτικός έλεγχος.	132
2.2.Κρουσίμετρο.....	133
2.2.1.Παράγοντες που επηρεάζουν την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος με την μέθοδο του κρουσίμετρου:	134
2.2.2.Μέθοδος συσχέτισης αντοχής συμβατικών δοκιμών και δείκτη επιφανειακής σκληρότητας:.....	137
2.3. Ραδιογραφικές μέθοδοι.....	141
2.4. Μαγνητικές μέθοδοι.....	142
2.4.1.Η αρχή της μεθόδου.....	142
2.4.2.Πλεονεκτήματα και όρια της μεθόδου.....	142
2.5. Υπέρυθρη φωτογράφιση.....	145
2.5.1. Η αρχή της μεθόδου:.....	145
2.5.2. Ο εξοπλισμός.....	146
2.5.3. Πλεονεκτήματα και όρια εφαρμογής της μεθόδου:.....	146
2.6. Ραντάρ.....	149

2.6.1 Η αρχή της μεθόδου:.....	149
2.6.2.Ο εξοπλισμός.....	149
2.6.3. Πλεονεκτήματα και όρια της μεθόδου:	150
2.7 Ενδοσκόπηση	153
2.8. Μέτρηση εύρους ρωγμών – έλεγχος παραμορφώσεων	157
2.9. Κρουστικές μέθοδοι	161
2.10. Δοκιμαστικές φορτίσεις (στατικές ή δυναμικές)	161
2.10.1 Στατικές Φορτίσεις.....	162
2.10.2 Μέτρηση παραμορφώσεων (ηλεκτρομηκυσιόμετρα).	164
2.10.3 Δυναμικές φορτίσεις.	164
2.11. Μέθοδος τασικών κυμάτων – Υπερήχοι	165
Μέθοδος των υπερήχων	165
2.11.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων:.....	168
2.11.2 Εκτίμηση του βάθους ρωγμής ή του πάχους κατεστραμμένου επιφανειακού στρώματος:	173
2.11.3. Συσχέτιση αντοχής συμβατικών δοκιμών και ταχύτητας υπερήχων.....	176
2.11.4. Παρακολούθηση της εξελίξεως της αντοχής του σκυροδέματος:.....	178
2.12. Πειραματική διαδικασία της μεθόδου των υπερήχων.	180
2.12.1 Σκοπός.	180
2.12.2 Εφαρμογή.....	180
2.12.3 Συνοπτικά η μέθοδος.	180
2.12.4 Σπουδαιότητα και Χρήση.	180
2.12.5 Η συσκευή.	181
2.12.6 Sampling (Διαδικασία προετοιμασίας δείγματος).....	185
2.12.7 Διαδικασία (Πορεία δοκιμής).....	185
2.12.8 Υπολογισμοί.	189
2.12.9 Αποτελέσματα της δοκιμής.....	189
2.12.10. Συμπεράσματα για την εκτίμηση θλιπτικής αντοχής μέσω της μεθόδου των υπερήχων.	194
ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΤΩΝ 2 ΜΕΘΟΔΩΝ.	195
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	196
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	197
Π.1. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΕΩΣ ΠΥΡΗΝΩΝ.....	197

Εισαγωγή

Στην διεθνή βιβλιογραφία υπάρχει πληθώρα σχέσεων με τις οποίες σχετίζεται η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος με την ταχύτητα των υπερήχων ή/και με την δύναμη εξόλκευσης. Η συνήθης διαδικασία για την δημιουργία τέτοιων σχέσεων βασίζεται στην παρασκευή συμβατικών δοκιμίων σκυροδέματος στα οποία μετριέται η ταχύτητα των υπερήχων και η δύναμη εξόλκευσης και στη συνέχεια τα δοκίμια δοκιμάζονται σε θλίψη για να προσδιοριστεί η θλιπτική αντοχή τους. Με το πλήθος των δοκιμών και με το εύρος της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος και μέσω της επεξεργασίας του νέφους των σημείων προκύπτουν ερμηνευτικές καμπύλες που συσχετίζουν την μετρούμενη ιδιότητα (ταχύτητα υπερήχων ή δύναμη εξόλκευσης) με την θλιπτική αντοχή του συμβατικού δοκιμίου.

Βεβαίως το πρόβλημα στην πράξη γίνεται πιο περίπλοκο, αφού αυτό που μας ενδιαφέρει είναι η επί τόπου αντοχή του σκυροδέματος η οποία διαφέρει από την αντίστοιχη αντοχή των συμβατικών δοκιμίων. Οι λόγοι για την διαφοροποίηση των δυο αυτών αντοχών είναι η ενδεχόμενη απόμειξη κατά την διάστρωση του σκυροδέματος, ο βαθμός συμπυκνώσεως, η συνθήκες συντηρήσεως, η ηλικία του σκυροδέματος, το είδος του εξεταζόμενου δομικού στοιχείου πλάκα, δοκός, υποστύλωμα κ.α. Από τους παραπάνω λόγους άλλοι έχουν συστηματικό χαρακτήρα και άλλοι τυχαίο με αποτέλεσμα να αυξάνεται η διασπορά και η εκτιμώμενη αντοχή να γίνεται πιο αβέβαιη.

Τέλος, επειδή δεν είχαμε την πολυτέλεια στο εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος να πάρουμε μετρήσεις και δεδομένα από πραγματικές κατασκευές, ο προσδιορισμός του ποσοστού προσέγγισης της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος με την μέθοδο των υπερήχων και με την μέθοδο της εξόλκευσης του ήλου (Lok) έγινε με συμβατικά κυβικά δοκίμια και πρισματικά δοκίμια που παρήχθησαν στο εργαστήριο. Η κάθε μια κατηγορία σκυροδέματος έγινε με την αντίστοιχη μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΠΡΩΤΟ 1^ο

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο Εργαστήριο
1.1	Πυρηνοληγία	Ημικαταστροφική μέθοδος η οποία βασίζεται στην διάτρηση και αποκοπή κυλινδρικού δοκιμίου	Μέθοδος για τον προσδιορισμό: <ul style="list-style-type: none"> • 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	+	+	+	+	+

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο Εργαστήριο
1.2	Ηλεκτρικές μέθοδοι	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		+		+	+

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο Εργαστήριο
1.3	Διαπερατότητα	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.	Μέθοδοι για : <ul style="list-style-type: none"> • 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
1.4	Ενανθράκωση	Ημικαταστροφική μέθοδος η οποία βασίζεται στην μεταβολή του ΡΗ 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
1.5	Δοκιμή χαραγής	Ημικαταστροφική ή έμμεση μέθοδος με την οποία ελέγχεται η θλιπτική αντοχή του κονιάματος. Η μέθοδος βασίζεται στην επιφανειακή σκληρότητα του κονιάματος	Μέθοδος για τον : <ul style="list-style-type: none"> έμμεσο προσδιορισμό θλιπτικής αντοχής κονιάματος έλεγχο ομοιομορφίας έλεγχο επιφανειακής σκληρότητας και ομοιογένειας υλικών δομήσεως 		+			+	

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο Εργαστήριο
1.6	Δοκιμή Μικρο-θραυσμάτων	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: <ul style="list-style-type: none"> εφελκυστικής αντοχής κονιάματος 		+			+	

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο Εργαστήριο
1.7	Μέθοδος των επίπεδων γρύλων	Ημικαταστροφική ή μέθοδος: δοκιμή θλίψης επί τόπου του έργου σε πραγματική κλίμακα.	<p>Η δοκιμή συνίσταται στην επιβολή κατακόρυφου θλιπτικού φορτίου σε τμήματα τοιχοποιίας μέσω επίπεδων γρύλων με ταυτόχρονη καταγραφή οριζοντίων και κατακόρυφων παραμορφώσεων.</p> <p>Απαιτείται διάνοιξη οριζοντίων και κατακόρυφων σχισμών στην τοιχοποιία.</p> <p>Με την μέθοδο αυτή προσδιορίζονται:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας • Μέτρο ελαστικότητας • Λόγος Poisson • Λόγος εγκάρσιας διογκώσεως τοιχοποιίας 		+			+	

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο Εργαστήριο
1.8	Χημικές αναλύσεις	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 <ul style="list-style-type: none"> • 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 <ul style="list-style-type: none"> • Ποσοστό χλωριόντων κατά βάρος τσιμέντου Σε χάλυβας <ul style="list-style-type: none"> • C, Mn, Si, V 	ASTM C1218 ASTM C1202 ASTM C1152	+	+		+	+

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο Εργαστήριο
1.9	Εξόλκευση ήλου	Εμμεση μέθοδος η οποία βασίζεται στην μέτρηση της δύναμews εξολκewσεως ειδικού ήλου ο οποίος εμπήγνυται κρουστικώς στην επιφάνεια του δομικού στοιχείου (σκυροδέματος, κονιάματος ή ξύλου)	<p>Μέθοδος για τον:</p> <ul style="list-style-type: none"> • προσδιορισμό της αντοχής του δομικού στοιχείου σκυροδέματος , • έλεγχο ομοιομορφίας (σκυροδέματος, κονιάματος ή ξύλου). 	-	+	+		+	+

1.1 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 Έμμεσες Μεθόδους, (κρουσίμετρο, υπέρηχοι, εξόλκευση ήλου), είτε με Πυρηνοληψία. Με τις Έμμεσες 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:

- γενικότερα την ποιότητα του σκυροδέματος μιας κατασκευής,
- την θέση και το μέγεθος των ράβδων οπλισμού,
- την ύπαρξη ρωγμών ή άλλων αστοχιών μέσα στη μάζα του σκυροδέματος,
- 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:

- το σχετικώς υψηλό κόστος (συγκριτικά με τις έμμεσες μεθόδους),
- η δυσκολία λήψεως 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

- 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”

1.1.1 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 all 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, Szypula-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 – Carette 1980), ενώ η μεταξύ τους απόσταση πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 4D (D η διάμετρος του πυρήνα) (Malhotra - Carette 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 έξη (6) πυρήνες που κόβονται από τυχαίες θέσεις.

1.1.2. 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:

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

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 1.1 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=100/100mm.

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 λειάνσεως.

Η **θέση** του πυρήνα καθύψος του δομικού στοιχείου από το οποίο αποκόπεται 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 Sherriff (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 πλειοψηφία 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 δοκιμίων (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:

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

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

1.1.3.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 1.2 έως 1.4.

Πίνακας 1.2 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 1.3 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 1.4 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:

$$f_c = f_{c,core} * F1 * F2 * F3 \quad (2)$$

όπου οι τιμές των συντελεστών Fi λαμβάνονται από τους παρακάτω πίνακες 1.5 έως και 1.7.

Πίνακας 1.5 Τιμές του συντελεστή F1 (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
F1	1.00	1.06	1.13	1.19	1.24

Πίνακας 1.6 Τιμές του συντελεστή F2 (σχέση (2)) συναρτήσει της παρουσίας οπλισμού.

Οπλισμός	κανένας	ένας μικρός	Ένας μεγάλος
F2	1.02	1.05	1.10

Πίνακας 1.7 Τιμές του συντελεστή F3 (σχέση (2)).

Συντήρηση	Θερμοκρασία	
	t>50 F	t<50F
	F3	F3
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.

a) 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.

b) πυρήνες με οπλισμούς:

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

όπου Φ_r 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.

I 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:

$$f_c = \frac{I_1 * I_2 * I_3}{K_j * K_c * K_d} f_{c,core} \quad (5)$$

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, συναρτήσε του λόγου h/d (ύψους h προς διάμετρο d) βλ Πίνακα 1.8 (υπό την προϋπόθεση ότι πρόκειται περί σκυροδέματος κατηγορίας ίσης ή ανωτέρας του B160).

λ_2 συντελεστής διαμέτρου (βλ Πίνακα 1.9)

λ_3 συντελεστής κατηγορίας σκυροδέματος (βλ Πίνακα 1.10)

Πίνακας 1.8 Τιμές του συντελεστή λ1 (σχέση 5)

h/d	1.75	1.50	1.25	1.00	0.90
λ1	0.98	0.95	0.91	0.85	0.82

Πίνακας 1.9 Τιμές του συντελεστή λ2 (σχέση 5)

d(cm)	10.0	12.5	15.0
λ2	0.96	0.98	1.00

Πίνακας 1.10 Τιμές του συντελεστή λ3 (σχέση 5)

f_c (kg/cm ²)	120	160	225	300	450
λ3	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.1). Στον παρακάτω πίνακα 1.11 συνοψίζονται οι οδηγίες για της πυρηνοληψίες.

Πίνακας 1.11 Σύνοψη οδηγιών για πυρηνοληψίες.

Προ-έλευση	Γεωμ. Μεγέθη		Αριθμός Πορήτων	Επίορ Καπελάματος στην αντοχή	Απόσταση από ακμή (cm)	Απόσταση μεταξύ (cm)	Επίδραση οπλισμού στην αντοχή	Διαφοροποίηση της αντοχής καθύψους και ανά δομικό στοιχείο $f_{c,bot}/f_{c,top}$				Διεύθυνση κοπής f_{hor}/f_{ver}	Μεταβλητότητα	
	D(cm)	L/D						υποστ	τοιχ	δοκοί	πλάκες		Πυρήνες	Συμβ. Δοκίμ.
NEKΩΣ	≥ 10 ή > 0.9 $3d_{st}$	> 1.75	-				Να αποφεύγεται							
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			
Campbell-Tubin (1967)														
Szypula-Crossman (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 επίορ =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%

Πίνακας 1.12 Σχέσεις αναγωγής της αντοχής πυρήνα σε αντοχή συμβατικού δοκιμίου.

Προέλευση	Σχέση	Παρατηρήσεις
Facaoaru	$f_c = a * b * c * f_{core}$	a βλ Πίνακα 1.2 b βλ Πίνακα 1.3 c βλ Πίνακα 1.4
Powman Smith	- $f_c = F1 * F2 * F3 * f_{core}$	F1 βλ Πίνακα 1.5 F2 βλ Πίνακα 1.6 F3 βλ Πίνακα 1.7
BSI	$f_c = \{ D / (1.5 + 1/\lambda) \} * f_{core}$	D=2.3 έως 2.5 (βλ κείμενο) λ=ο λόγος ύψους προς διάμετρο πυρήνα βλ και Πίνακα 1.11
Monday Dhir	$F_c = 1.5 * f_{core} - 0.007 * [f_{core}]^2$	Υποτίθεται ότι l/d=2.0
ΕΛΟΤ 344	$f_c = f_{core} [(\lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3) / (K_\phi * K_c * K_d)]$	λ ₁ βλ Πίνακα 1.8 λ ₂ βλ Πίνακα 1.9 λ ₃ βλ Πίνακα 1.10 K _φ , K _c , K _d βλ κείμενο

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 βάρους (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 μεενέματα 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 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.

1.1.4 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. 1.1.1)

Η αντοχή του πυρήνα σε μονοαξονική θλίψη υπολογίζεται από την σχέση:

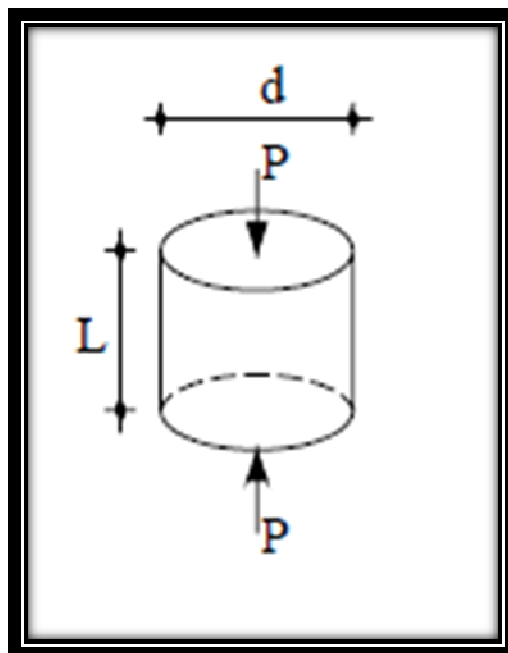
$$S = \frac{P}{\left(\frac{p * d^2}{4} \right)}$$

όπου :

P : μέγιστο θλιπτικό φορτίο

d : διάμετρος δοκιμίου

σ : τάση θραύσεως



Σχ. 1.1.1

1.1.5.Αντοχή σε Εφελκυσμό από διάρρηξη

Οι αποκοπτόμενοι 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 1.1.2)

Η εφελκυστική αντοχή από διάρρηξη υπολογίζεται από την σχέση:

$$S = \frac{2 * P}{p * d * L}$$

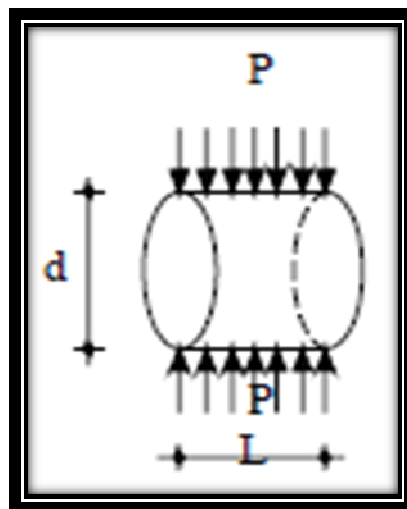
όπου :

P : μέγιστο θλιπτικό φορτίο

d : διάμετρος δοκιμίου

L: το μήκος του δοκιμίου

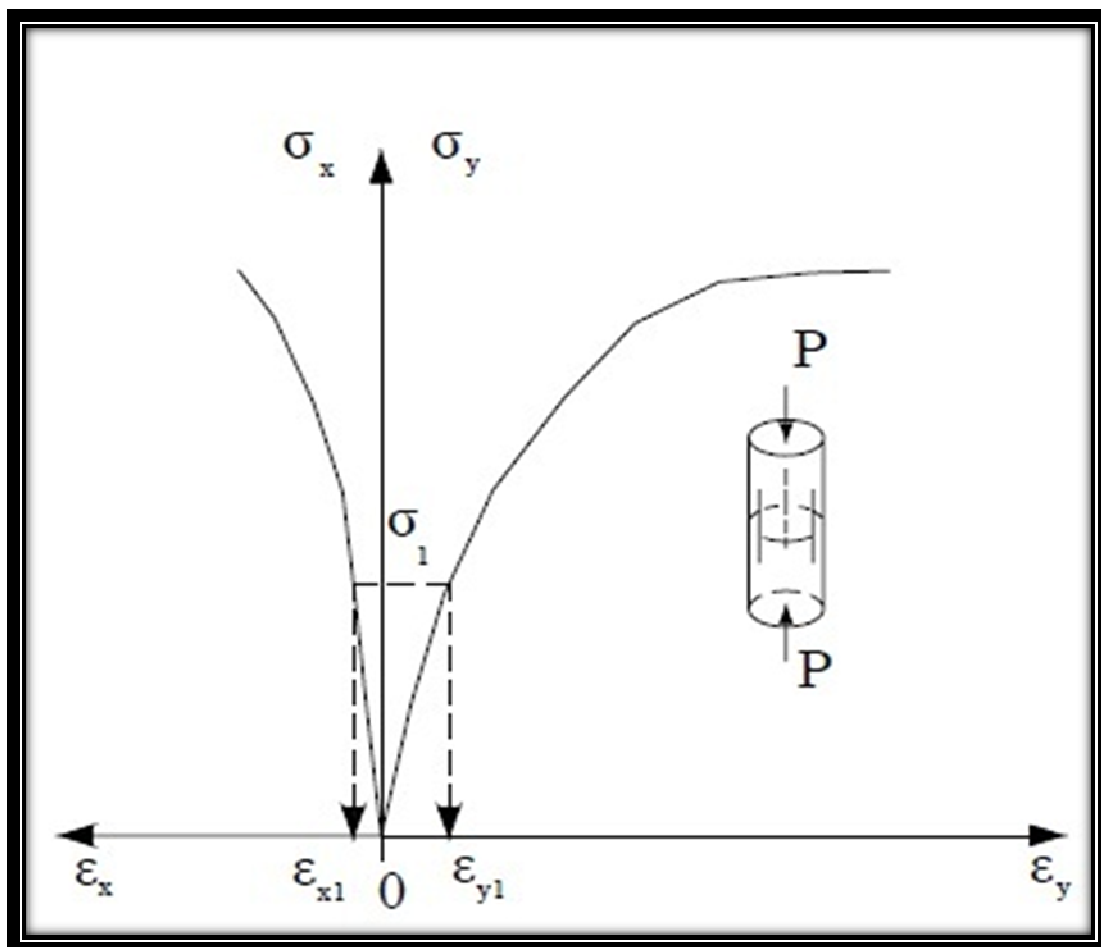
σ : τάση θραύσεως



Σχ. 1.1.2

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 ηλεκτρομηκυσιόμετρα για την ταυτόχρονη μέτρηση των παραμορφώσεων κατά την επιβολή του φορτίου. Τα κατακόρυφα ηλεκτρομηκυσιόμετρα έχουν κολληθεί παράλληλα προς τις γενέτειρες ανά γωνίες 120° στο μέσον του ύψους. Τα οριζόντια ηλεκτρομηκυσιόμετρα έχουν κολληθεί: είτε 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 $(\sigma_x - \epsilon_x)$, $(\sigma_x - \epsilon_y)$ από τα οποία προσδιορίζονται το μέτρο ελαστικότητας και ο λόγος Poisson, (Σχ.1.1.3). Το μέτρο ελαστικότητας υπολογίζεται από την κλίση του διαγράμματος στο 1/3 περίπου του φορτίου θραύσεως.



Σχήμα 1.1.3

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 :

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

όπου :

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

V : ο όγκος του δοκιμίου

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

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 ο C).

Η υγρασία υπολογίζεται από την σχέση :

$$w = \frac{B_{\text{φυσικό}} - B_{\text{ξηρό}}}{B_{\text{ξηρό}}} * 100[\%]$$

όπου :

B_{φυσικό} : το Φυσικό βάρος του δοκιμίου

B_{ξηρό} : το Ξηρό βάρος του δοκιμίου

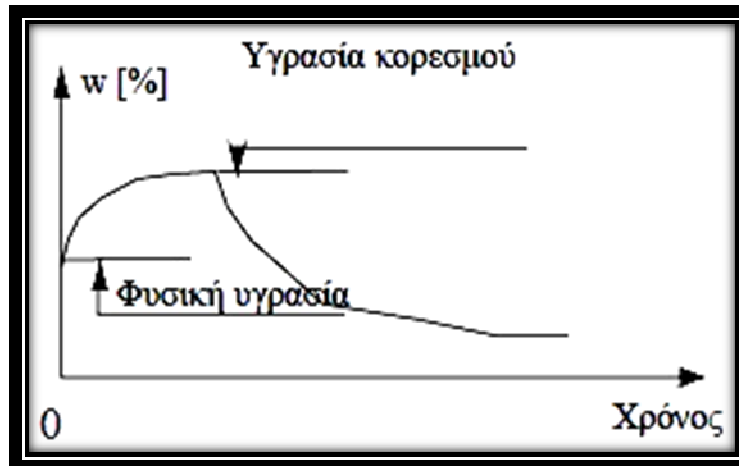
w : υγρασία του δοκιμίου

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. 1.1.4



Σχ. 1.1.4

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 παρακάτω, 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).

Ελεγχος μάζας δομικού στοιχείου

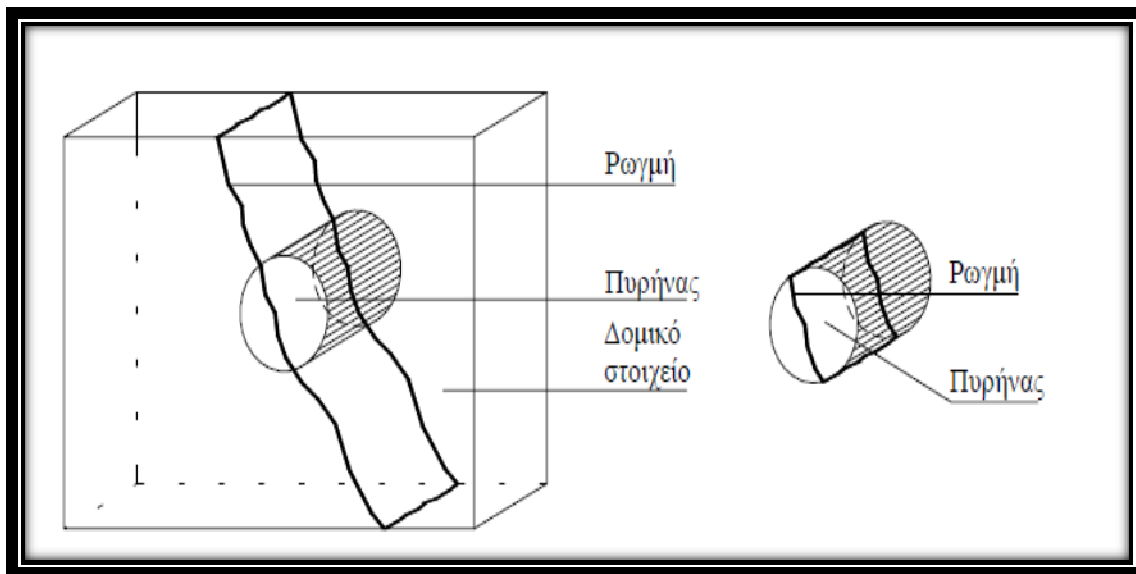
Τα δείγματα που λαμβάνονται από μια κατασκευή ελέγχονται μακροσκοπικά ως προς την ομοιογένεια, ομοιομορφία εσωτερικής δομής κλπ. Στο Σχ. 1.1.5 δίνονται χαρακτηριστικές φωτογραφίες από δειγματοληψία σε τοιχοποιία.



Σχ. 1.1.5 Πυρήνες από τοιχοποιία.

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. 1.1.6, Σχ. 1.1.7. 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 χαρακτηρισθεί 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. 1.1.6

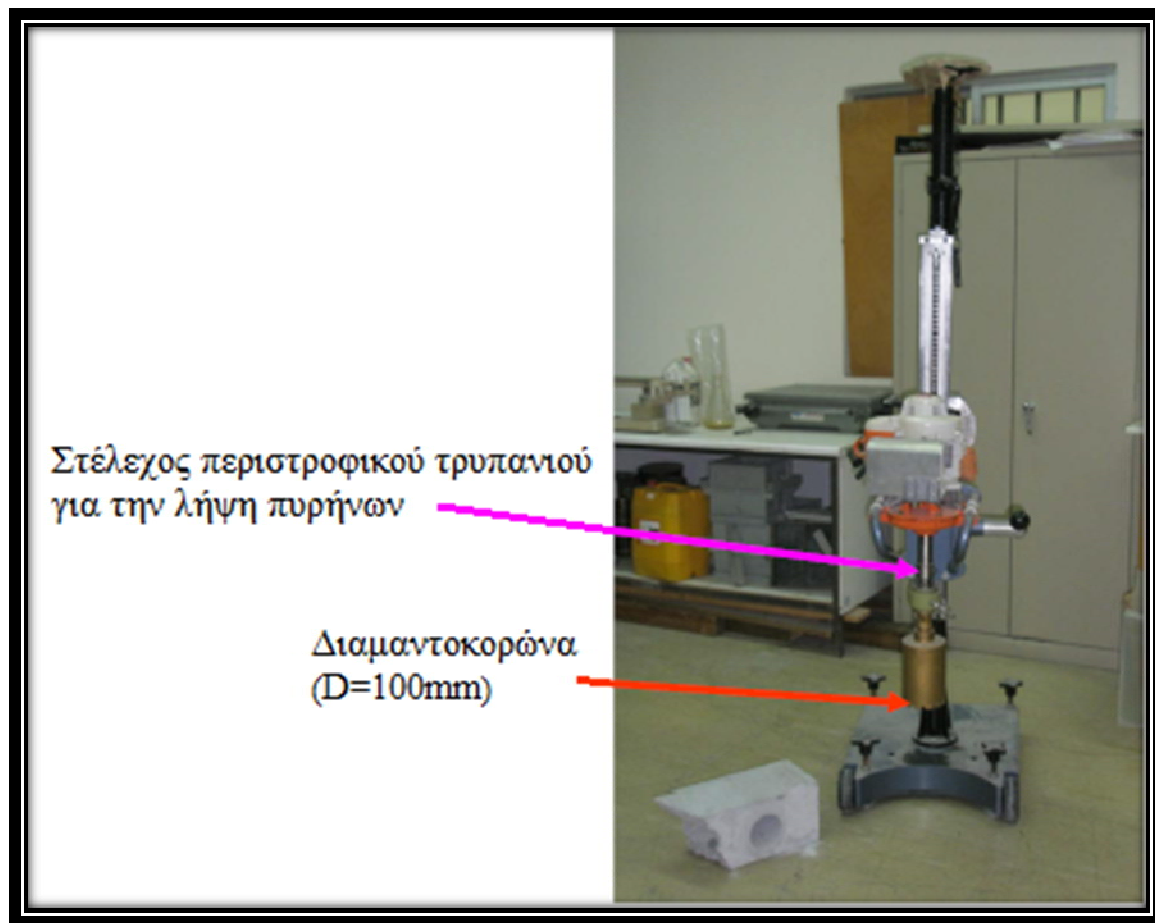


Σχ. 1.1.7 Δοκίμιο από τοιχοποιία στην οποία είχαν γίνει ενέματα ομογενοποίησης μάζας

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.

Παρακάτω παρουσιάζονται φωτογραφίες με τον εξοπλισμό για την πυρηνοληψία όπως επίσης και φωτογραφίες πυρήνων (καρότα) στο εργαστήριο.



Σχ. 1.1.8 Περιστροφικό τρυπάνι (εργαστήριο).



Σχ. 1.1.9 Περιστροφικό τρυπάνι (επιτόπου του έργου)



Σχ. 1.1.10Περιστροφικό τρυπάνι (επιτόπου του έργου)



Σχ. 1.1.11 Δοκίμιο για την λήψη πυρήνων



Σχ. 1.1.11 Πυρήνες (καρότα) στο εργαστήριο



Σχ. 1.1.12 Πυρήνες (καρότα) στο εργαστήριο

1.2. 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. Αλιγιζάκη, Ανθεκτικότητα Ωπλισμένου Σκυροδέματος, Αθήνα 1993). Όλες οι μέθοδοι απαιτούν πεπειραμένο προσωπικό. Οι μέθοδοι είναι ελαφρώς καταστρεπτικές καθώς απαιτούν την αποκάλυψη του οπλισμού.

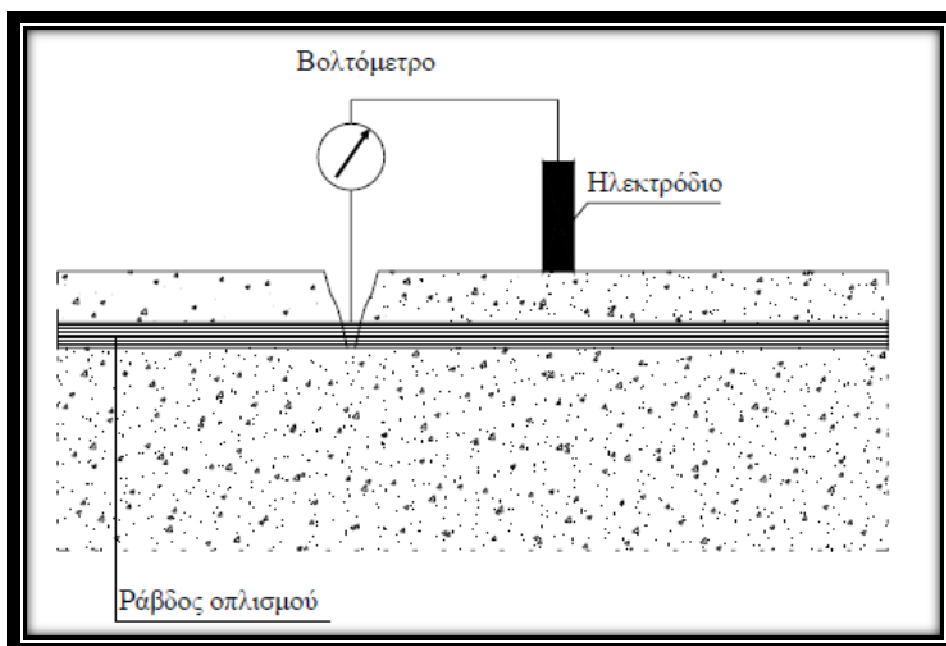
1.2.1. Μετρήσεις δυναμικού Χάλυβα.

Οι μετρήσεις του δυναμικού χάλυβα γίνονται με ηλεκτρόδιο αναφοράς χαλκού / θεικού χαλκού CSE (Cu/CuSO₄) ή Αργύρου / χλωριούχου αργύρου (Ag/AgCl) βαθμονομημένο σε τιμές ηλεκτροδίου χαλκού /θεικού χαλκού, ή ηλεκτρόδιο καλομέλανος SCE (Hg / HgCl/KCl) ανάγοντας τις αναγνώσεις σε τιμές ηλεκτροδίου χαλκού / θεικού χαλκού με την εξής σχέση: $V_{SCE}+240 = V_{CSE}+300$ [mV]. Η αρχή της μεθόδου φαίνεται στο Σχ. 1.2.1

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



Σχ. 1.2.1 Μέτρηση δυναμικού χάλυβα

1.2.2. 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. 1.2.2). 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:

$$\rho = 2\pi aR$$

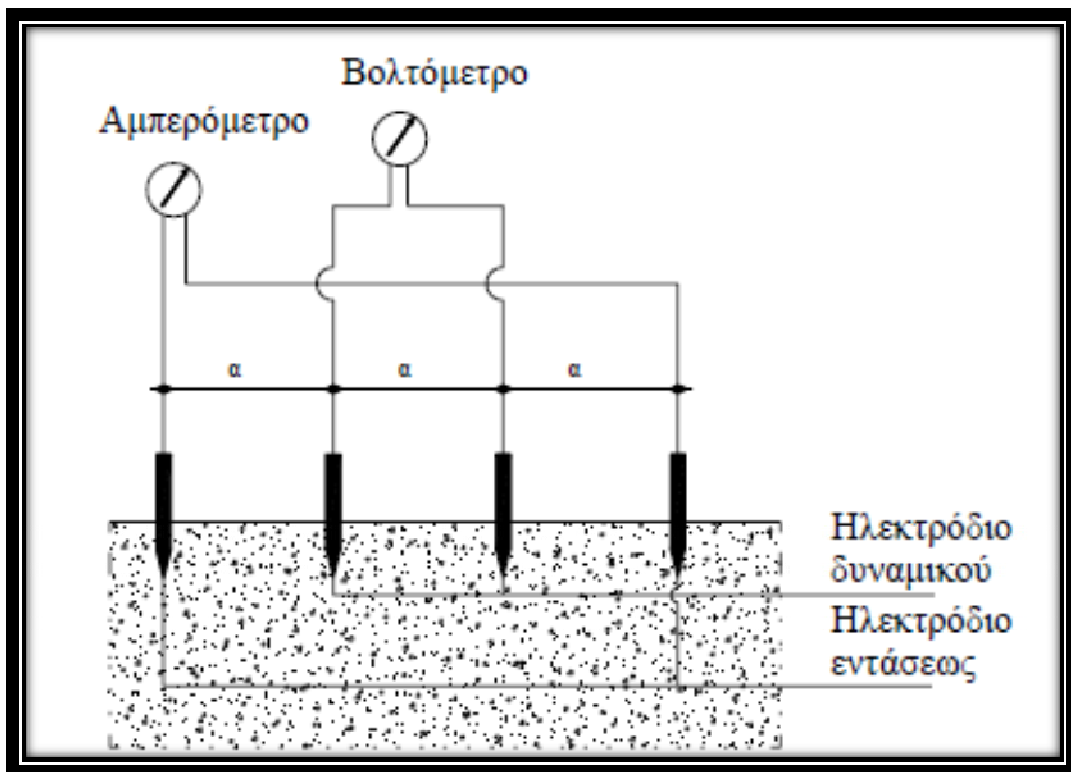
όπου:

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

a : η απόσταση μεταξύ ηλεκτροδίων (cm)

R : η μετρηθείσα αντίσταση του σκυροδέματος (Ω)

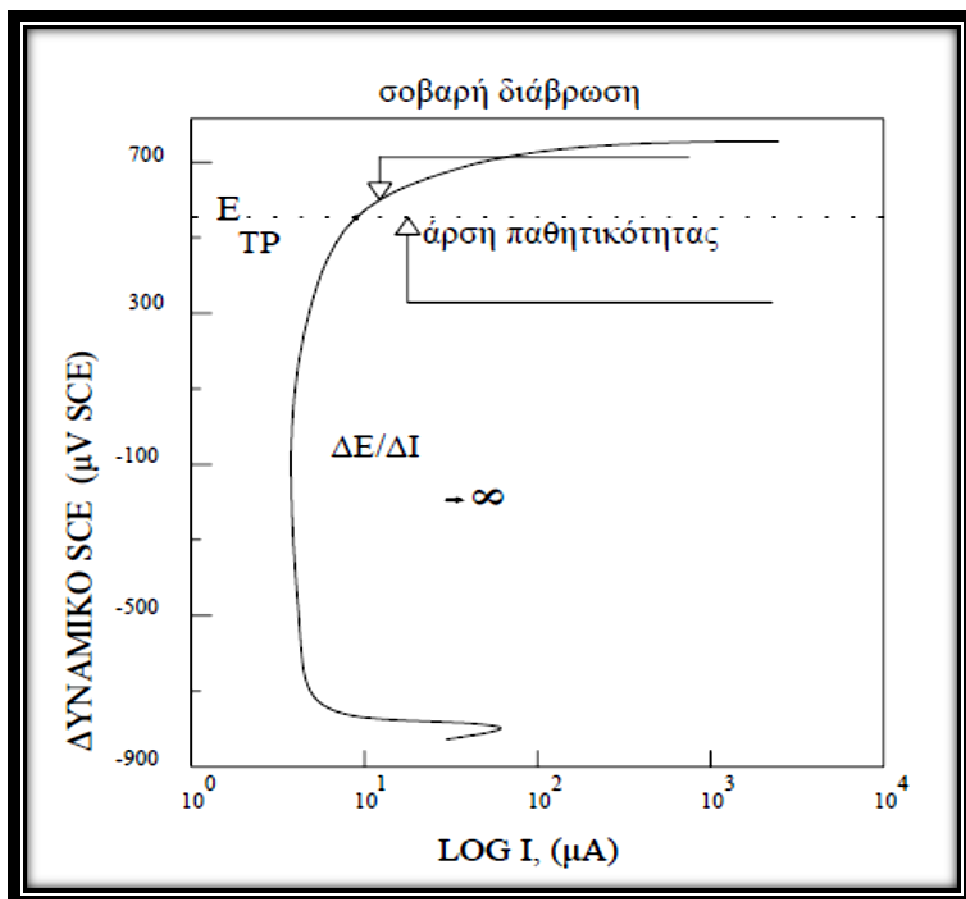
Ανάλογα με την τιμή που παίρνει η ειδική αντίσταση του σκυροδέματος, μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για την εμπεριεχόμενη υγρασία. Τελείως ενδεικτικά, αναφέρεται ότι η ειδική αντίσταση έχει τιμή $\rho=10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ για υγρό σκυρόδεμα, και $\rho=10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ για ξηρό 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. 1.2.2 Διάταξη ηλεκτροδίων για την μέτρηση της υγρασίας του σκυροδέματος

1.2.3. 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. 1.2.3, 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 ETP). Όταν συμβαίνει τοπική διάβρωση, η παθητικότητα στον χάλυβα χάνεται για μικρότερες τιμές του δυναμικού σε σχέση με το δυναμικό ETP της γενικής διαβρώσεως του χάλυβα.



Σχ. 1.2.3 Καμπύλη ανοδικής πολώσεως του χάλυβα σε αλκαλικό περιβάλλον

1.3. 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.

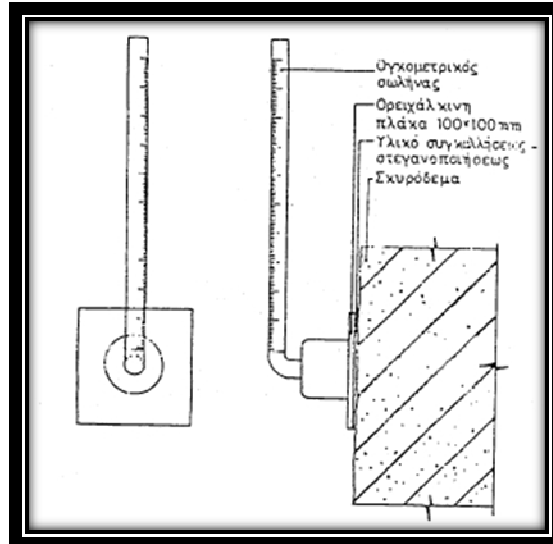
Τρεις είναι οι κύριοι μηχανισμοί με τους οποίους ξένες ουσίες μπορούν να εισχωρήσουν στο σκυρόδεμα:

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

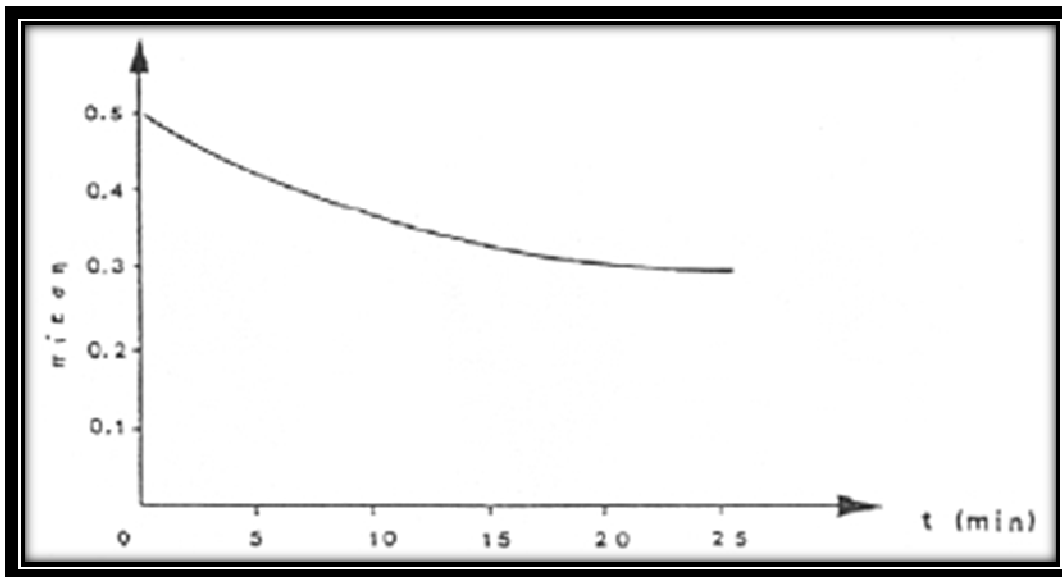
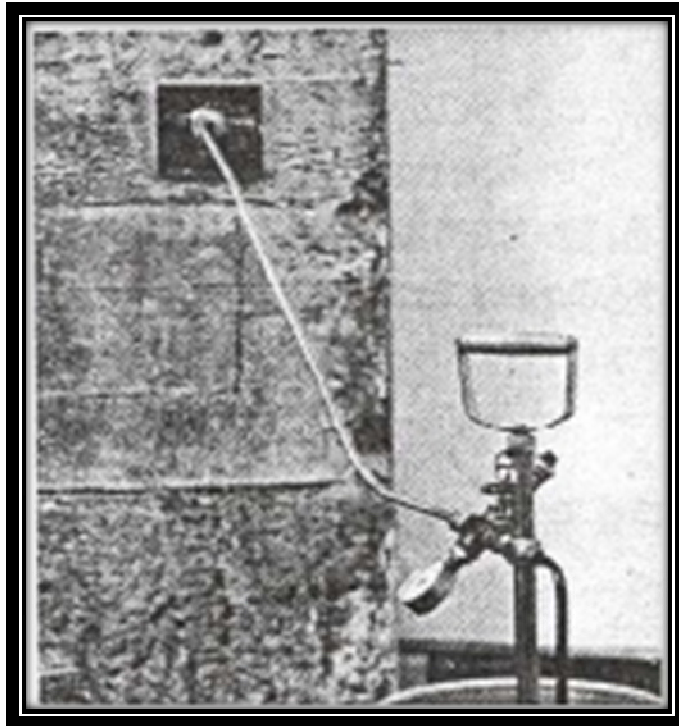
Η αρχή της μεθόδου: Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι για τον έλεγχο της διαπερατότητας του σκυροδέματος προσπαθούν να ελέγξουν τους παραπάνω τρεις μηχανισμούς. Διακρίνονται σε αυτές που βασίζονται:

- 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. 1.3.1). 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 διατηρείται στο σκυρόδεμα (Figg water absorption test, Figg 1973). Στο Σχ 1.3.1 φαίνεται η αρχή της μεθόδου και εφαρμογή της (Θ.Π. Τάσιος, Κ. Αλιγιζάκη, Ανθεκτικότητα Ωπλισμένου Σκυροδέματος, Αθήνα 1993).
- 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 1.3.2 φαίνεται η αρχή της μεθόδου και εφαρμογή της (Θ.Π. Τάσιος, Κ. Αλιγιζάκη, Ανθεκτικότητα Ωπλισμένου Σκυροδέματος, Αθήνα 1993).

- 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.



Σχ. 1.3.1 Μέθοδος της επιτόπου μετρήσεως υδατοαπορροφητικότητας σε σκυρόδεμα και τοιχοποιία



Σχ. 1.3.2 Μέθοδος επιτόπου μετρήσεως της υπό πίεση υδατοπερατότητας του σκυροδέματος

1.3.1. Πλεονεκτήματα και όρια των μεθόδων

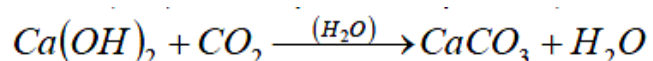
Στα πλεονεκτήματα των μεθόδων κατατάσσονται η ευκολία, η απλότητα και η οικονομικότητα. Επίσης είναι μή καταστροφικές (ή ελάχιστα καταστροφικές) μέθοδοι. Στα μειονεκτήματα των μεθόδων κατατάσσονται η δυσκολία της επιτόπου στεγάνωσης (για τις μεθόδους υπό πίεση), η εξάρτηση από την προϋπάρχουσα υγρασία (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.

1.4. 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 ψεκασμό διαλείμματος φαινολοφθαλεΐνης 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 άνθρακος (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. 1.4.1 Δοκίμιο σκυροδέματος το οποίο έχει ψεκασθεί με διάλυμα φαινολοφθαλεΐνης. Το τμήμα στο οποίο δεν παρουσιάζεται αλλαγή χρώματος (δεξιά) είναι ενανθρακωμένο (βάθος ενανθρακώσεως περίπου 3cm). Τα 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- 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.

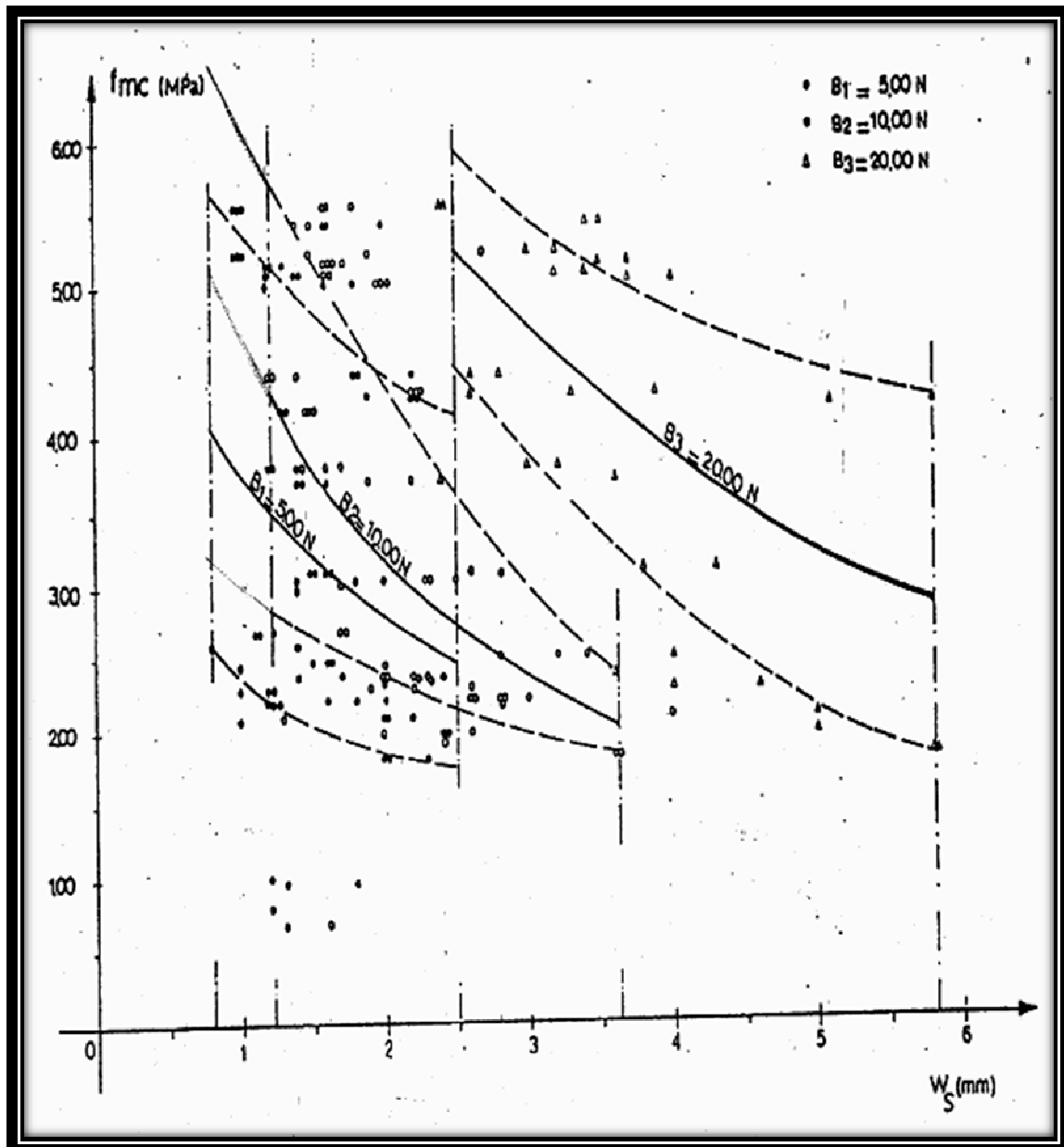
1.5.Δοκιμή χαραγής

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:

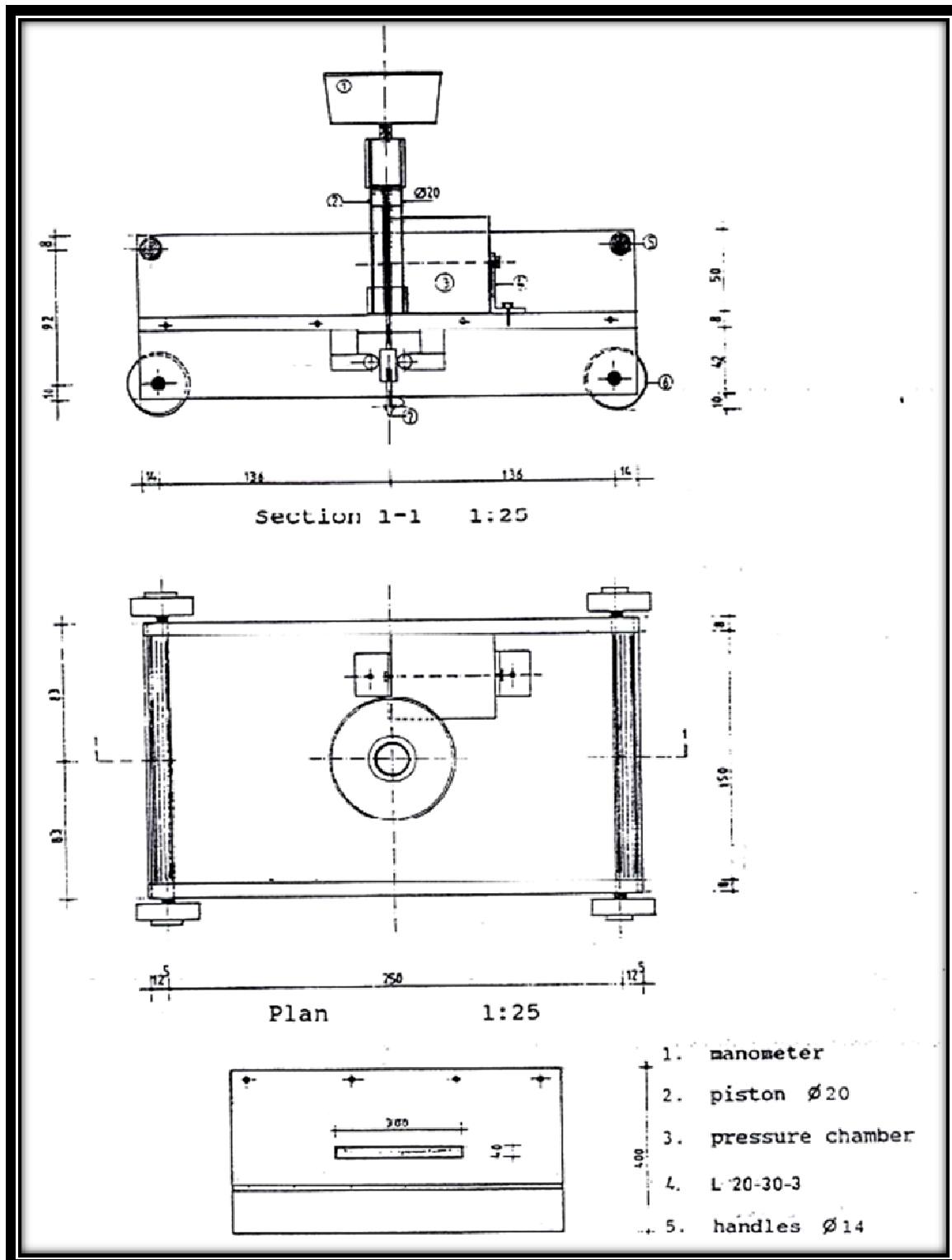
Μια μεταλλική ακίδα σύρεται, υπό σταθερό θλιπτικό φορτίο, κατά μήκος ενός αρμού κονιάματος. Ακολουθώς γίνεται μέτρηση του εύρους της χαραγής σε τουλάχιστον είκοσι ισαπέχοντα σημεία. Στην συνέχεια κατασκευάζεται ιστόγραμμα, εύρους χαραγής - αριθμός μετρήσεων, υπό σταθερό θλιπτικό φορτίο, από το οποίο βρίσκεται η συχνότερη τιμή εύρους χαραγής. Με βάση την συχνότερη τιμή του εύρους χαραγής υπό σταθερό θλιπτικό φορτίο, με χρήση διαγραμμάτων βαθμονόμησης, εκτιμάται η θλιπτική αντοχή του κονιάματος. Στο Σχ.1.5.2 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 συσχέτισης των θλιπτικών αντοχών με τα εύρη χαραγών (συχνότερη τιμή) υπό σταθερό θλιπτικό φορτίο. Στο Σχ. 1.5.1 δίνεται ένα τέτοιο διάγραμμα βαθμονόμησης.



Σχ. 1.5.1 Διάγραμμα βαθμονομήσεως μεθόδου χαραγής

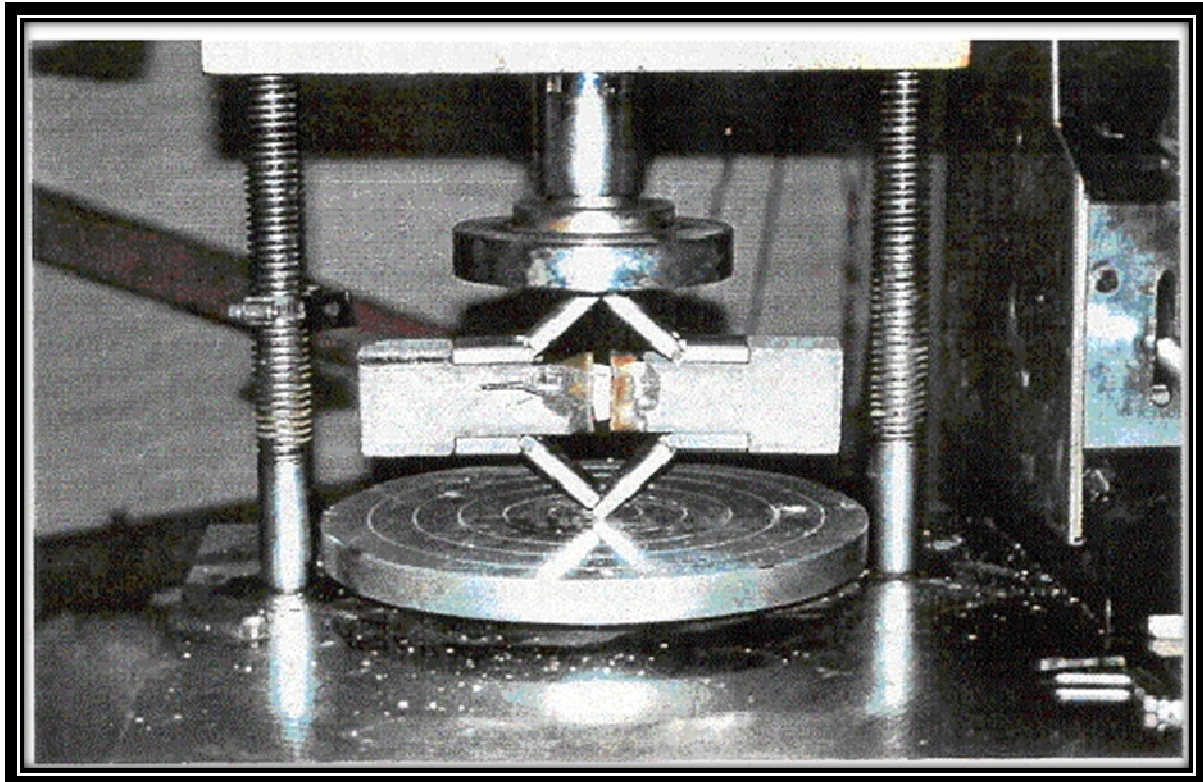


Σχ. 1.5.2 Συσκευή χαράξεως

1.6.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. (Τ.Ρ. 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.1.6.1). Στην συνέχεια γίνεται εμβαδομέτρηση της θραυσιγενούς επιφανείας (Α) και με γνωστή την επιβαλλόμενη δύναμη P υπολογίζεται η εφελκυστική αντοχή του κονιάματος $\sigma=P/A$.



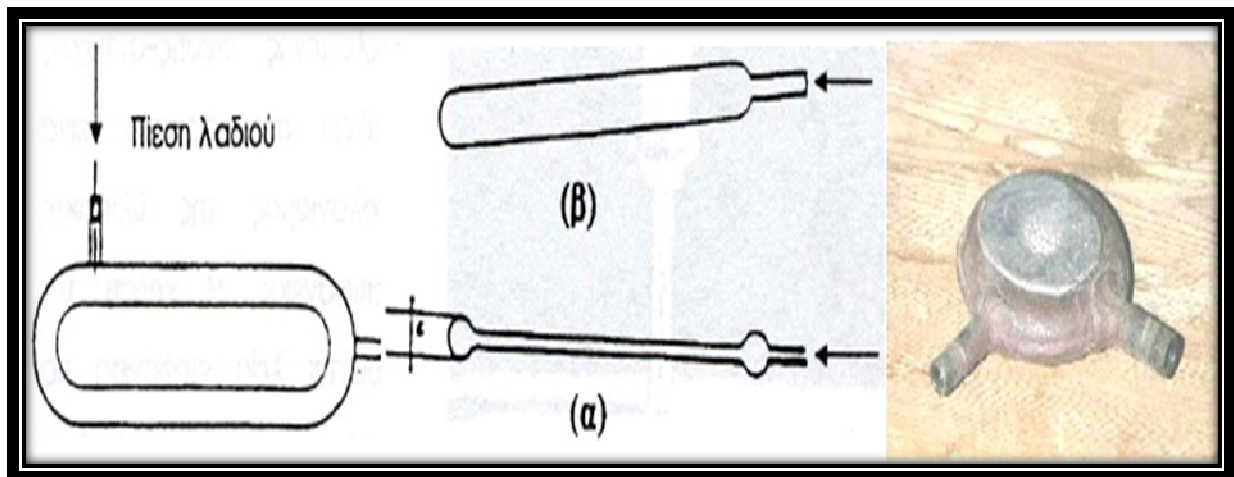
Σχ. 1.6.1 Διάταξη δοκιμής μικροθραυσμάτων σε εφελκυσμό
(Κατσαραγάκης,1987)

1.7.Μέθοδος των επίπεδων γρύλων

1.7.1.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 δοκιμάστηκε από το Εργαστήριο ISMES, Μπέργκαμο Ιταλία.

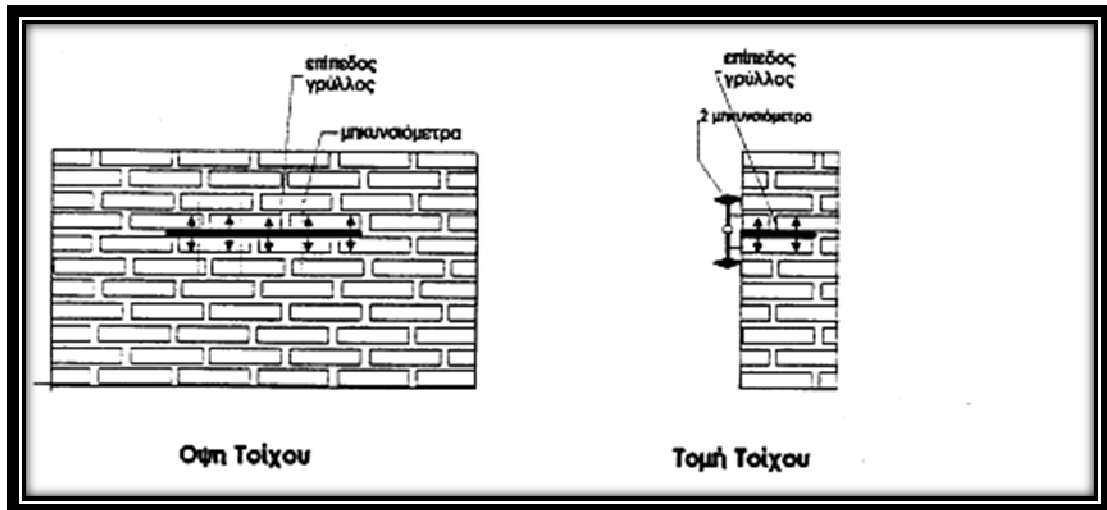
Η δοκιμή συνίσταται στην επιβολή κατακορύφου θλιπτικού φορτίου στην τοιχοποιία μέσω επίπεδων γρύλων (Σχ. 1.7.1), με ταυτόχρονη καταγραφή οριζοντίων και κατακορύφων παραμορφώσεων της τοιχοποιίας. Έτσι είναι δυνατό να εκτιμηθεί η στάθμη των θλιπτικών τάσεων που ασκούνται σε μια περιοχή της τοιχοποιίας, αλλά και να μετρηθούν τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας, θλιπτική αντοχή, μέτρο ελαστικότητας, καθώς και ο λόγος εγκάρσιας διόγκωσης της τοιχοποιίας.



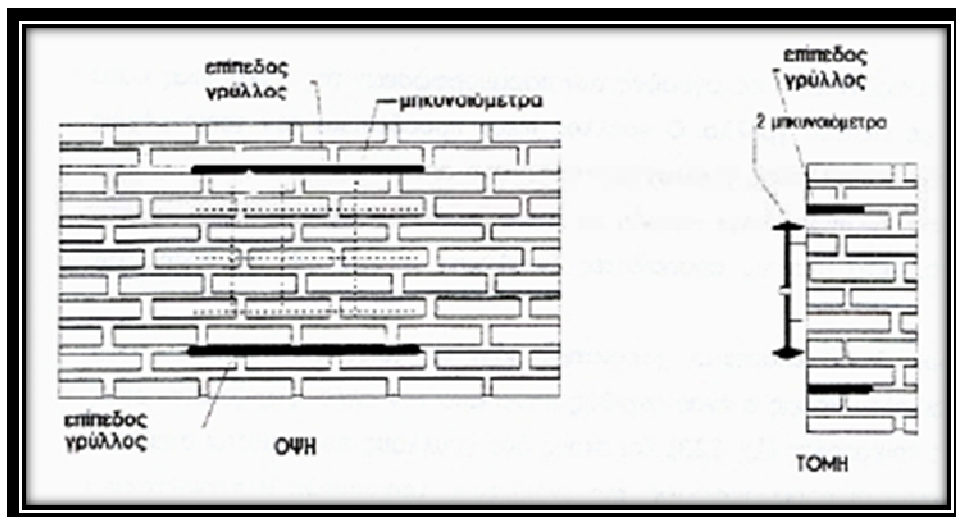
Σχ. 1.7.1 Κάτοψη, τομή (χωρίς πίεση (α), υπό πίεση (β)) και φωτογραφία επίπεδου γρύλου

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.1.7.2, 1.7.3

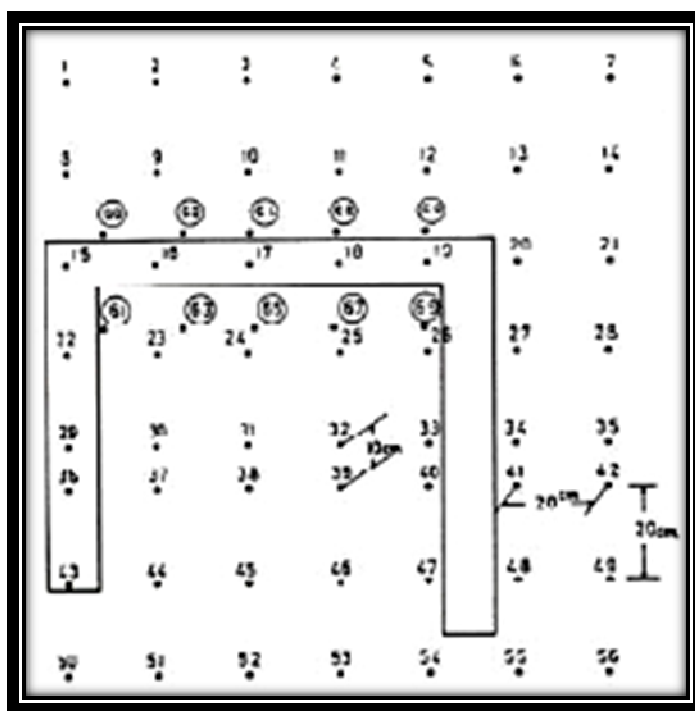


Σχ. 1.7.2 Μία οριζόντια σχισμή



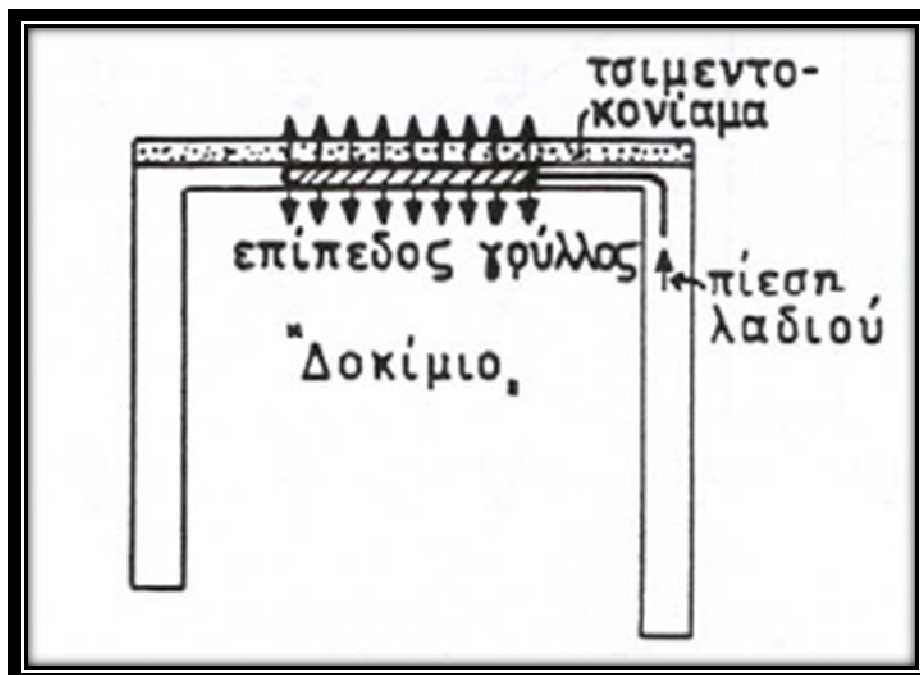
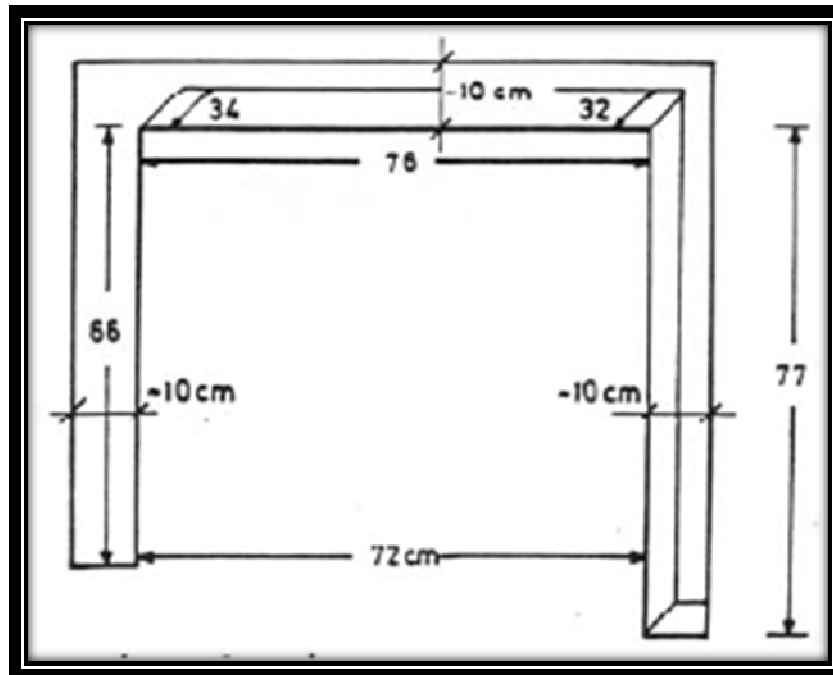
Σχ. 1.7.3 Δύο οριζόντιες σχισμές

Εγκαθίσταται δίκτυο μετρητικών οργάνων παραμορφώσεως (βελόμετρα ή πούλιες) σε όλη την επιφάνεια του δοκίμιου, καθώς και στις γειτονικές περιοχές (βλ. Σχ. 1.7.4, 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. 1.7.4 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. 1.7.5 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. 1.7.5 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 αποτονώσεως, θα είναι μικρότερες από το αρχικό μήκος αναφοράς.

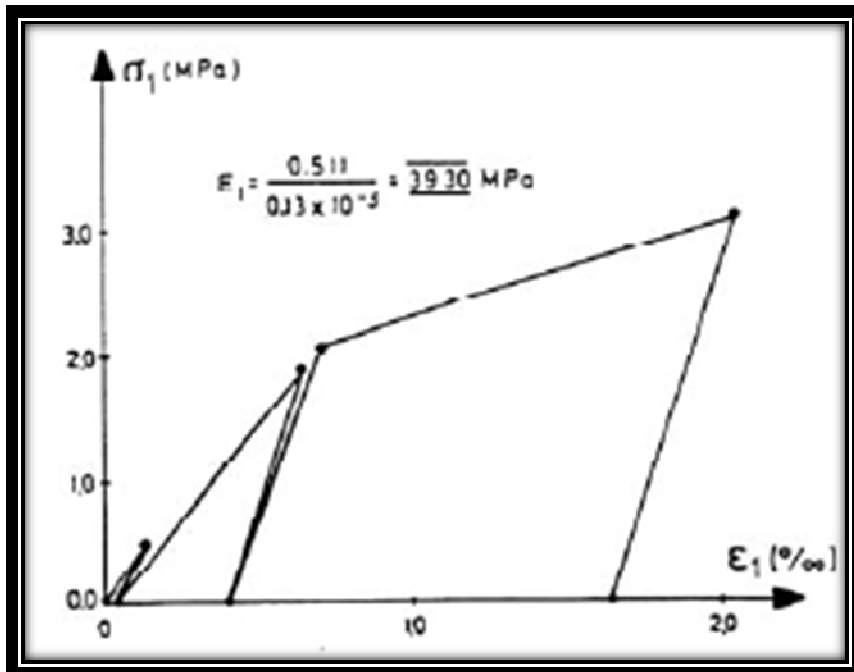
Στις δύο διαμορφωμένες σχισμές εισάγονται επίπεδοι γρύλοι με προσοχή και με σκοπό την πλήρη επαφή τις επιφάνειας των γρύλων και των επιφανειών (πάνω - κάτω) των σχισμών. Επειδή αυτό δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί γίνεται επί τόπου χύτευση πλακών μολύβδου και τσιμεντοκονίας (πάνω - κάτω), ούτως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

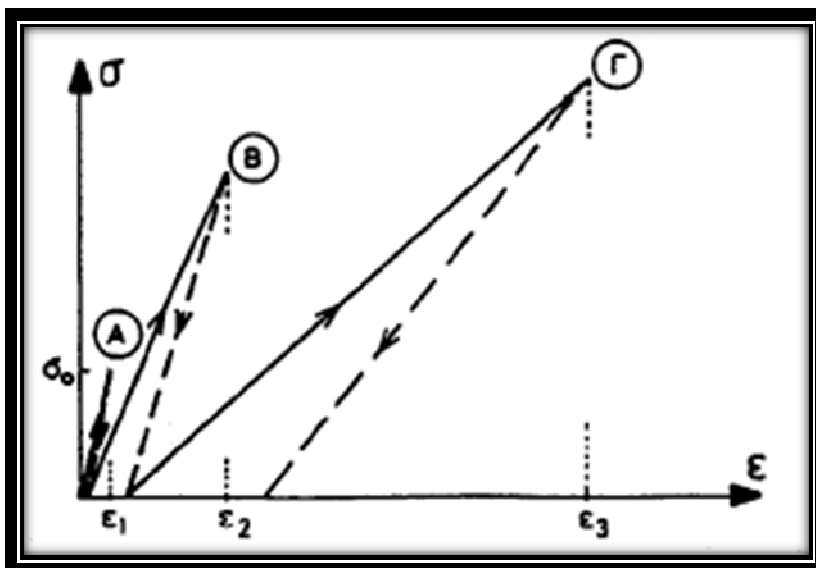
Στην συνέχεια μέσω των επίπεδων γρύλων επιβάλλεται κατακόρυφο θλιπτικό φορτίο στην τοιχοποιία και μέσω των μετρητικών οργάνων γίνεται καταγραφή των παραμορφώσεων (οριζόντιων ή κατακορύφων). Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το φορτίο για το οποίο το μήκος αναφοράς γίνεται ίσο με το αρχικό (πριν την διάνοιξη 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. 1.7.6 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.



α) Ιστορία φορτίσεως



β) Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων δοκιμίου

Σχ. 1.7.6 Διαγράμματα α) Ιστορίας Φορτίσεως
β) Τάσεων-παραμορφώσεων.

1.7.2 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).

1.8.Χημικές αναλύσεις

Οπλισμένο σκυρόδεμα

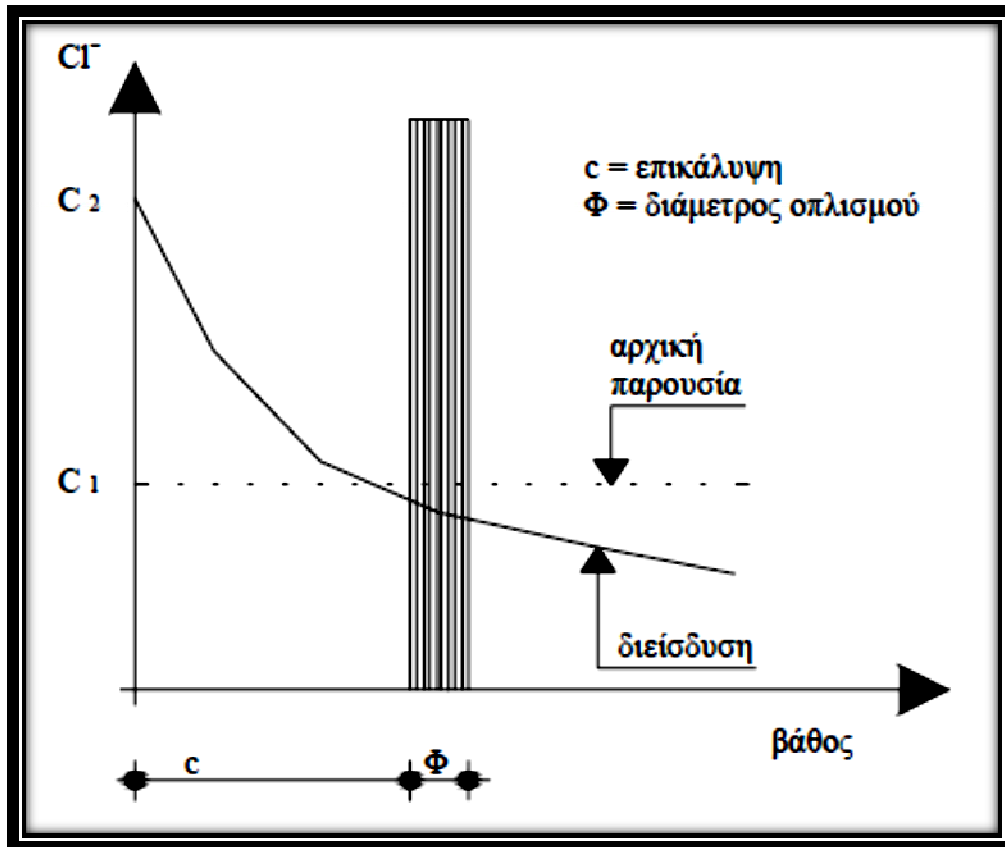
Οι ράβδοι οπλισμού προστατεύονται από την διάβρωση μέσω ενός πολύ λεπτού επιφανειακού στρώματος ένυδρου οξειδίου του σιδήρου, που δημιουργείται λόγω της υψηλής αλκαλικότητας του σκυροδέματος που τις περιβάλλει. Η αλκαλικότητα αυτή χαρακτηρίζεται από μία τιμή του pH γύρω στο 12.5, που αντιστοιχεί στην 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 0.4-0.6 % 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 συγκέντρωσης χλωριόντων συναρτήσει της απόστασης από την επιφάνεια του σκυροδέματος, Σχ. 1.8.1, απ' όπου μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για την προέλευση των χλωριόντων (αρχική παρουσία ή διείσδυση).



Σχ. 1.8.1 Κατανομή συγκέντρωσης χλωριόντων συναρτήσει της απόστασης 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 ηλεκτροσυγκολλήσεων. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να ελεγχθεί η συγκολλησιμότητα των χάλυβων. 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 παρακάτω πίνακα. 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.

	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)).

1.9.Εξόλκευση του Ήλου.

Συνοπτικά

Η εμπειρία κατά την διάρκεια των τελευταίων 20 ετών στην εξόλκευση του ήλου με την δοκιμή Lok και την δοκιμή Caro μας δίδεται μέσα από 34 σπουδαίες συσχετίσεις με αναφορές σε πρότυπες δοκιμές οι οποίες διακυμαίνονται από τις δοκιμές στο εργαστήριο και από τις επιτόπου του έργου δοκιμές. Οι δυνάμεις εξόλκευσης της δοκιμής Lok συγκρίνεται με την δοκιμή Caro.

Τα στοιχεία δείχνουν την σταθερότητα της συσχέτισης που δεν επηρεάζεται από την διακύμανση του τύπου του τσιμέντου, την αναλογία νερού/τσιμέντου, την ηλικία, την κατάσταση ωρίμασης, τον εγκλωβισμένο αέρα, τις προσμίξεις, το σχήμα και το μέγεθος των αδρανών με μέγιστο κόκκο πάνω 40 mm. Μόνο η χρήση ελαφρών αδρανών παράγει μία σημαντικά διαφορετική συσχέτιση. Η δύναμη εξόλκευσης από την δοκιμή Lok και από την δοκιμή Caro εμφανίζεται να είναι η ίδια.

Η σταθερότητα των συσχετισμών που εκτελέστηκαν υποδεικνύουν τις γενικές συσχετίσεις που υπάρχουν σε μια πρότυπη αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου και μια πρότυπη αντοχή κυβικού δοκιμίου. Οι γενικές συσχετισμοί για κανονικό σκυρόδεμα προτείνονται και συγκρίνονται για επεξηγηματικούς λόγους σε πρόσφατες ανασχηματισμένες συσχετίσεις. Έχει βρεθεί ότι η απόκλιση της εκτιμώμενης αντοχής από γενικούς συσχετισμούς αποκλίνει παρά μόνο σε ασήμαντο βαθμό από τις πραγματικές δοκιμές, εφ' όσον το ίδιο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται για τους σκοπούς της συσχέτισης.

Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα ότι οι γενικές συσχετίσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κανονικό σκυρόδεμα. Χρησιμοποιώντας αυτές τις γενικές συσχετίσεις και για ένα μέσο όρο 4 εξολκεύσεων η εκτιμώμενη αντοχή θα είναι σε επίπεδο αξιοπιστίας 95%, με απόκλιση ± 3 MPa για μέγιστο κόκκο αδρανών 16mm και απόκλιση ± 4 MPa για μέγιστο κόκκο αδρανών 32mm σε κανονικές δοκιμές της τάξεως των 20 MPa έως 70 MPa.

1.9.1 Δοκιμή Εξόλκευσης Caro

1.9.1.1 Εξέλιξη της δοκιμής Caro, 1976

Στις αρχές της δεκαετίας του '70 η επιτόπου του έργου χρήση της δοκιμής Lok άρχισε να δυσκολεύει την κατάσταση, γιατί μόνο οι κατασκευές (από σκυρόδεμα) στις οποίες είχε τοποθετηθεί προηγουμένως ήλος, μπορούσαν να εξεταστούν.

Σε μια τέτοια περίπτωση ο συντάκτης (του συγκεκριμένου άρθρου) διατάχθηκε από τον καθηγητή Mogens Peter Nielsen του συλλόγου Συμβούλων Μηχανικών της Δανίας να μετρήσει την θλιπτική αντοχή του άνω στρώματος μίας πλάκας οροφής, από ένα κτήριο, για στάθμευση αυτοκινήτων, στο Roskilde κοντά στην Κοπεγχάγη. “Chaps, πρέπει να χρησιμοποιήσεις την δοκιμή Lok, δεν ξέρω πως θα τα καταφέρεις, αλλά εγώ θέλω τα αποτελέσματα το συντομότερο δυνατό”. Ήταν η εντολή του.

Πρώτα η επιφάνεια λειάνθηκε, μετά ένας πυρήνας εξήχθη από το κάτω μέρος της πλάκας, πάχους 300 mm, σε βάθος 28 mm από την επιφάνεια, και η όψη του πυθμένα λειάνθηκε με ένα εργαλείο από διαμάντι σε ακριβή απόσταση των 25 mm από την επιφάνεια. Μέσα στην οπή τοποθετήθηκε και βιδώθηκε ένα μπουλόνι μέσω ενός εξωτερικού δίσκου πάνω από την τρύπα του πυρήνα. Ο μέγιστος αριθμός των δοκιμών ήταν, δυο δοκιμές Lok την ημέρα από τρεις τεχνικούς!

Προφανώς ένα πιο βολικό σύστημα δοκιμών έπρεπε να αναπτυχθεί άμεσα.

Η ιδέα της δοκιμής Caro επινοήθηκε εν μέρει από την δοκιμή Lok και από τον δακτύλιο ενός εμβόλου σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης. Ένας τέτοιος δακτύλιος μπορεί να τοποθετηθεί και να διασταλεί σε ένα αυλάκι. Η δοκιμή Caro χρησιμοποιεί την αντίθετη αρχή. Ένας δακτύλιος τοποθετείτε σε ένα αυλάκι ανοίγματος 25 mm και βάθους 25 mm εκεί όπου διαστέλλεται. Το αυλάκι σκάβεται μέσω της οπής με κόφτη από διαμάντι με παρόμοιο σχήμα σαν το τρυπάνι του οδοντιάτρου.

Η ανάπτυξη του πρώτου θεμελιακού συστήματος πήρε 3 μέρες και σχεδιάστηκε έτσι ώστε να πλησιάζει στο σχεδιασμό της δοκιμής Lok, που έγιναν τόσες προσπάθειες στην πλάκα της οροφής του χώρου στάθμευσης στο Roskilde. Τα αποτελέσματα της εξόλκευσης παρουσίασαν κατά μέσο όρο απόκλιση 1 kN από την δοκιμή Lok. Το σχήμα των κώνων θραύσης ήταν πανομοιότυπο με αυτό της δοκιμής Lok, και μια δοκιμή με το καινούργιο σύστημα χρειαζόταν μόνο 10 λεπτά.

Το σύστημα αυτό ονομάστηκε CAPO-TEST (Cut and Pullout-Test).

1.9.2.Δοκιμή εξόλκευσης Lok

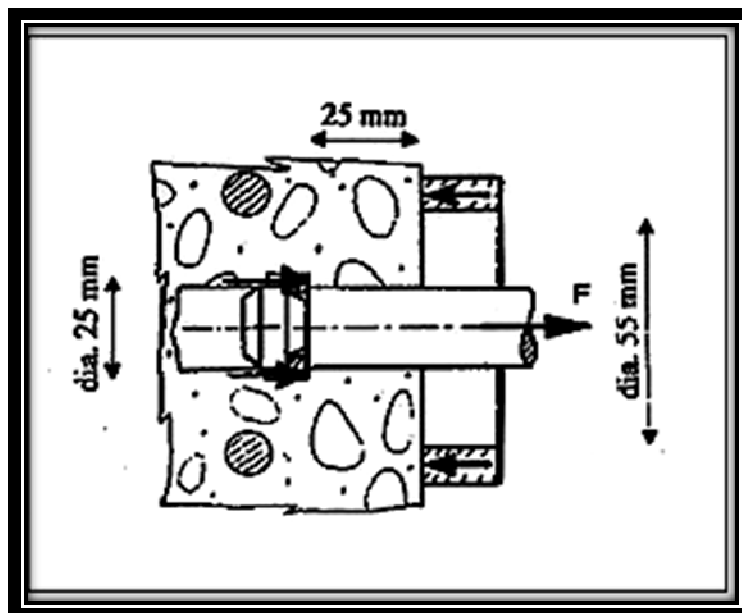
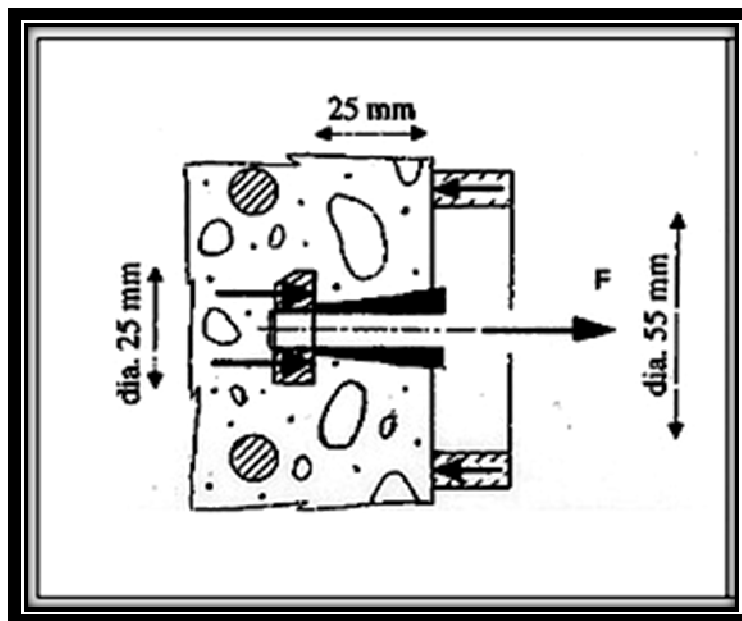
1.9.2.1.Εισαγωγή

Με την δοκιμή Lok (σχήμα 1.9.2.1, πάνω εικόνα) ένας ασάλινος κυλινδρικός δίσκος διαμέτρου 25 mm έχει ενσωματωθεί σε φρέσκο σκυρόδεμα σε βάθος 25 mm από την εξεταζόμενη επιφάνεια. Κατά την διάρκεια του πειράματος, ο δίσκος τραβιέται με την βοήθεια ενός συστήματος με δακτύλιο με το οποίο επιβάλλεται η δύναμη εξόλκευσης, έως ότου συμβεί η θραύση εξόλκευσης. Ο δακτύλιος αυτός έχει εσωτερική διάμετρο 55 mm, είναι τοποθετημένος ομόκεντρα με τον δίσκο εξόλκευσης και ακουμπάει στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

Ομοίως, για πειράματα σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, η δοκιμή Caro (σχήμα 1, κάτω εικόνα) χρησιμοποιεί ένα δίσκο διαμέτρου 25 mm, ο οποίος εισέρχεται και διαστέλλεται σε μια εσοχή (αυλάκι) σε βάθος 25 mm και τραβιέται με την βοήθεια ενός συστήματος με δακτύλιο με το οποίο επιβάλλεται η δύναμη εξόλκευσης όπως στην δοκιμή Lok.

Εκτός από την εσωτερική τρύπα στο σκυρόδεμα, όπου ο ήλος εξολκεύεται, η διαμόρφωση των δυο αυτών δοκιμών είναι πανομοιότυπη. Η εσωτερική τρύπα στην δοκιμή Lok έχει διάμετρο 15 mm, ενώ η εσωτερική τρύπα στην δοκιμή Caro έχει 19 mm.

Και στις δυο δοκιμές η δύναμη εξόλκευσης μετριέται και συγκρίνεται με την θλιπτική αντοχή κυβικού δοκιμίου μέσα από διαγράμματα.



Σχήμα 1.9.2.1. Η δοκιμή Lok (πάνω) και η δοκιμή Caro (κάτω) δείχνονται σχηματικά. Και στα δύο συστήματα ένας ήλος (δακτύλιος/δίσκος) τραβιέται αντίθετα προς ένα εξωτερικό δακτύλιο εσωτερικής διαμέτρου 55 mm όπου ασκείτε η αντιπίεση έως ότου φθάσουμε στη θραύση του σκυροδέματος. Η δύναμη εξόλκευσης μετράται και συγκρίνεται με την θλιπτική αντοχή από μία καμπύλη βαθμονόμησης.

Στη δοκιμή Lok, ο ήλος τοποθετείται στο νωπό σκυρόδεμα και στερεώνεται με πλαστικούς δακτυλίους ακριβώς στην επιφάνεια του δοκιμίου έως ότου πήξει το σκυρόδεμα. Στην δοκιμή Caro ο ήλος (ένας επεκτάσιμος δίσκος) τοποθετείται σε ένα προετοιμασμένο διάτρητο αυλάκι, επεκτείνεται και εξολκεύεται με την αντιπίεση όπως στην δοκιμή Lok.

1.9.2.2.Εξέλιξη της δοκιμής Lok από το 1962 έως το 1969.

Το 1962 ο Peter Kierkegaard-Hansen από την Δανία ήρθε με τον σχεδιασμό της δοκιμής Lok. Η πρόθεση του ήταν να αναπτύξει μια μέθοδο δοκιμής η οποία να αναφέρεται αξιόπιστα στην ποιότητα του στρώματος κάλυψης, για την εκτίμηση των επιπτώσεων της κατασκευής (σύνθεση αδρανών, χύτευση, συμπύκνωση και συνθήκες συντήρησης) σε συνδυασμό με την εκτιμώμενη αντοχή του σκυροδέματος, όπως μετράται με τα πρότυπα κυβικά ή κυλινδρικά δοκίμια. Το στρώμα κάλυψης, όσον αφορά την ανθεκτικότητα, είναι ένα κρίσιμο μέρος, δεδομένου ότι προστατεύει τον οπλισμό από επιβλαβείς ουσίες όπως το χλώριο, η υγρασία και το διοξείδιο του άνθρακα.

Δεδομένου ότι τα περισσότερα στρώματα κάλυψης την εποχή εκείνη τα πάχη τους κυμαίνονταν από 25 έως 35 mm, το βάθος της δοκιμής επιλέχθηκε στα 25 mm για να αποφευχθεί η παρουσία οπλισμού στην ζώνη θραύσης.

Η καινοτόμος ιδέα του ήταν να τοποθετήσει έναν εξωτερικό δακτύλιο και να χρησιμοποιήσει μία αντιπίεση έτσι ώστε να εξολκεύσει (αποτραβήξει) τον ενσωματωμένο, στο σκυρόδεμα, ήλο και να μετρήσει την δύναμη εξόλκευσης. Στο Τμήμα Κατασκευών της Δανικής Ακαδημίας Μηχανικών (Danish Engineering Academy Building Division) πραγματοποίησε μία σειρά δοκιμών με διαφορετική εσωτερική διάμετρο του εξωτερικού δακτυλίου αντιπίεσης.

Για αντιπίεση με εσωτερική διάμετρο δακτυλίου 130 mm βρήκε ότι η δύναμη εξόλκευσης σχετίζεται κατά 10% με την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. Για αντιπίεση με εσωτερική διάμετρο 55 mm η σχέση ήταν σχεδόν ανάλογη, δηλαδή 1KN δύναμης εξόλκευσης είναι περίπου 1 MPa αντοχής. Για μικρότερες διαμέτρους των 55 mm η δύναμη εξόλκευσης αυξανόταν ριζικά.

Στην συνέχεια σε μία σειρά δοκιμών, μέτρησε την δύναμη εξόλκευσης ακριβώς στην θραύση των κυλινδρικών δοκιμών και στην μηχανή θλίψης (πρέσα) μέτρησε την αντοχή των κυλινδρικών δοκιμών. Για αντοχές της τάξεως των 12 MPa έως 40 MPa βρήκε την συσχέτιση να είναι:

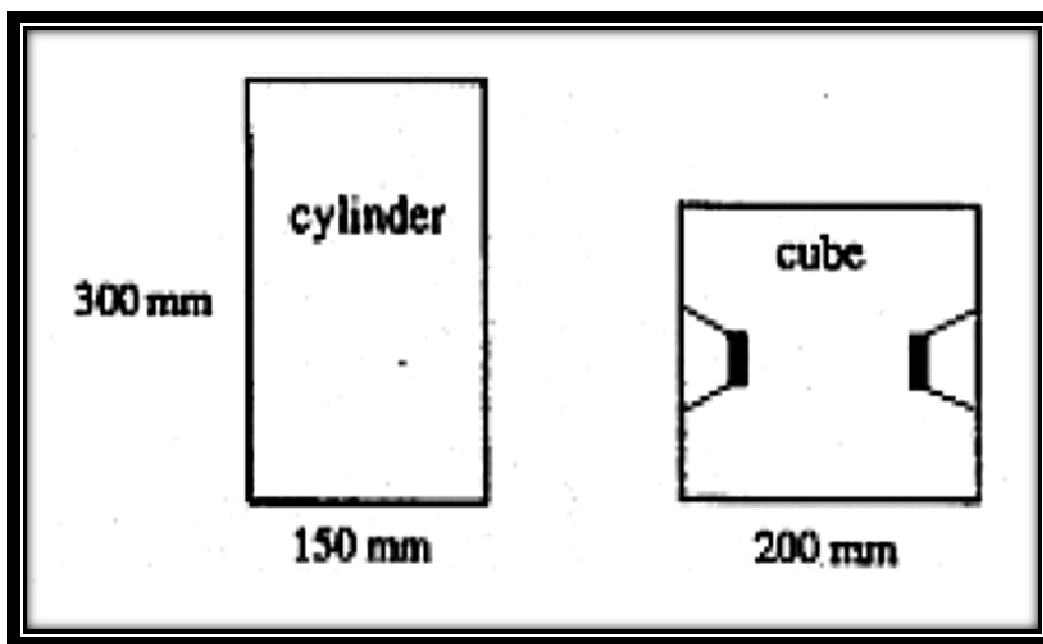
$$F_u (kN) = 5 + 0.8f_c (MPa)$$

Ο συντελεστής συσχέτισης ήταν 0.97. Η διακύμανση ήταν 6% και στην αντοχή των κυλινδρικών δοκιμών 5.6%. Κατέληξε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι η ιδιότητα του σκυροδέματος μετριέται με την δύναμη εξόλκευσης για εσωτερική διάμετρο δακτυλίου αντιπίεσης 55 mm και πλησιάζει πολύ κοντά στην πρότυπη δοκιμή θλίψης κυλινδρικών δοκιμών. Την δοκιμή αυτή την ονόμασε Lok (Lok-test), όπου στην Δανία το όνομα της είναι “Punch-out Test”.

1.9.2.3. Συσχετίσεις της δοκιμής Lok από το 1970 έως το 1995.

Από το 1970 μέχρι και το 1995 ένα σύνολο από 28 σπουδαίες συσχετίσεις έχει δημιουργηθεί για να ερευνηθεί η σταθερότητα της σχέσης μεταξύ της δύναμης εξόλκευσης και της αντοχής του πρότυπου κυλινδρικού δοκιμίου που βρέθηκε από τον Peter Kierkegaard-Hansen. Οι συσχετίσεις καλύπτουν ένα σύνολο από 4,362 δοκιμές Lok και από 3,124 πρότυπες δοκιμές θλίψης, οι οποίες υπερίσχυσαν χρησιμοποιώντας μία από τις παρακάτω διαδικασίες.:

1.Συσχέτιση για την διαδικασία κυλινδρικού δοκιμίου. (Δανία)

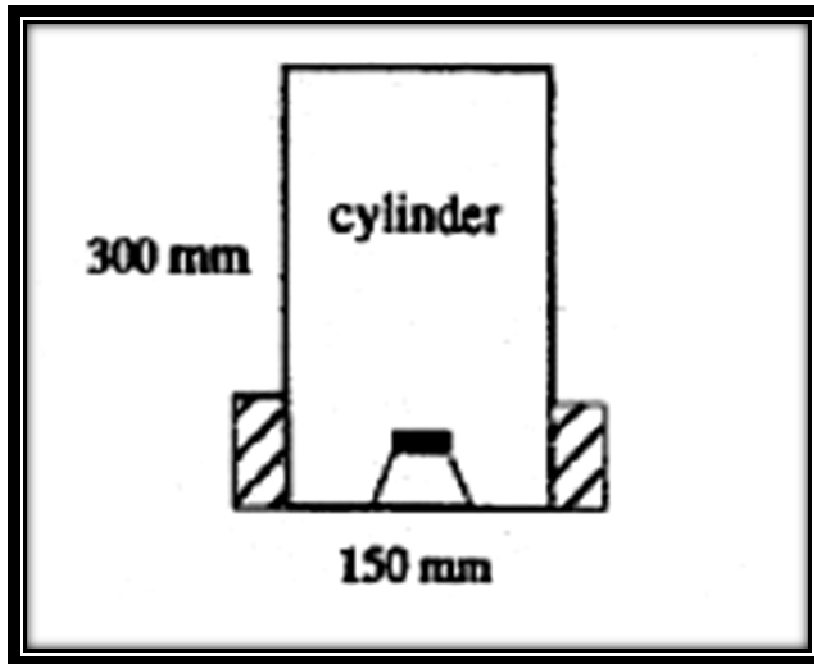


Η δοκιμές θλίψης έγιναν σε κυλινδρικά δοκίμια διαστάσεων 150 mm X 300 mm. Οι δοκιμές Lok έγιναν σε κύβους ακμής 150 mm με κεντρικά τοποθετημένους ήλους στις απέναντι πλευρές.

Υποσημείωση: Η συμπύκνωση και οι συνθήκες διατήρησης των δοκιμίων πρέπει να είναι ίδιες όπως και η ωρίμαση του σκυροδέματος κατά την διάρκεια της δοκιμής.

Ειδικότερα, 20-30 παρτίδες δοκιμίων κατασκευάστηκαν, δοκιμάστηκαν και συγκρίθηκαν την 1,2,5,14 και 28 μέρα στους 20°C από την ημέρα παραγωγής του σκυροδέματος.

2.Συσχέτιση για την διαδικασία κυλινδρικού δοκιμίου. (Βόρεια Αμερική)



Η δοκιμή Lok έγινε ακριβώς μέχρι την αστοχία και ύστερα ακολούθησε η σύνθλιψη του κυλινδρικού δοκιμίου.

Υποσημείωση: Στα υψηλά επίπεδα αντοχής ένας ατσάλινος δακτύλιος τοποθετείται στον πυθμένα του κυλινδρικού δοκιμίου έτσι ώστε να αποφευχθεί το σταδιακό ράγισμα του δοκιμίου κατά την διάρκεια της εξόλκευσης.

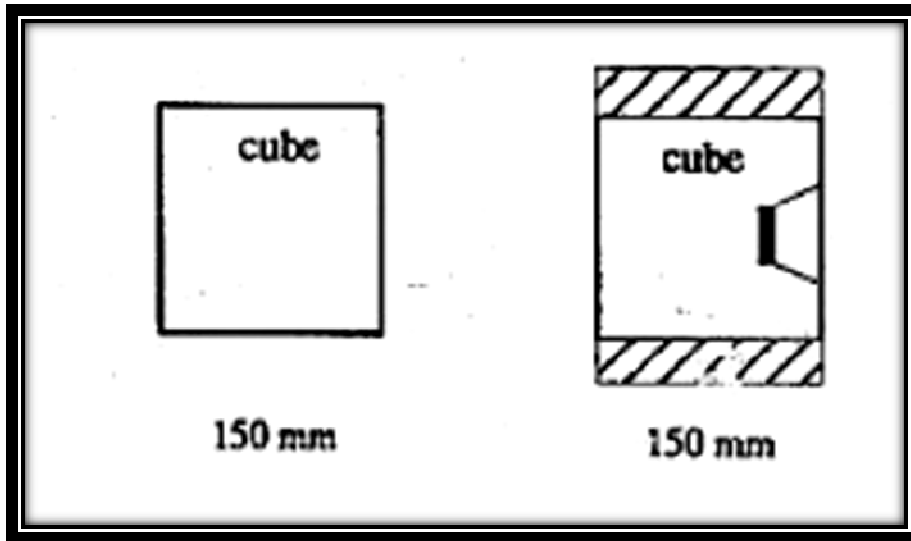
Προαιρετικά μπορούμε να τοποθετήσουμε το δοκίμιο στην μηχανή θλίψης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, έτσι ώστε να εξασφαλίσουμε την πλήρη ακινησία του δοκιμίου κατά την διάρκεια της δοκιμής της εξόλκευσης.

Ειδικότερα, 20-30 παρτίδες δοκιμίων κατασκευάστηκαν, δοκιμάστηκαν και συγκρίθηκαν την 1,2,5,14 και 28 μέρα στους 20°C από την ημέρα παραγωγής του σκυροδέματος.



Σχήμα. 1.9.2.2 Δοκίμιο στην μηχανή θλίψης (πρέσα).

3.Συσχέτιση για την διαδικασία του κυβικού δοκιμίου. (Σουηδία/Ολλανδία/Αγγλία)



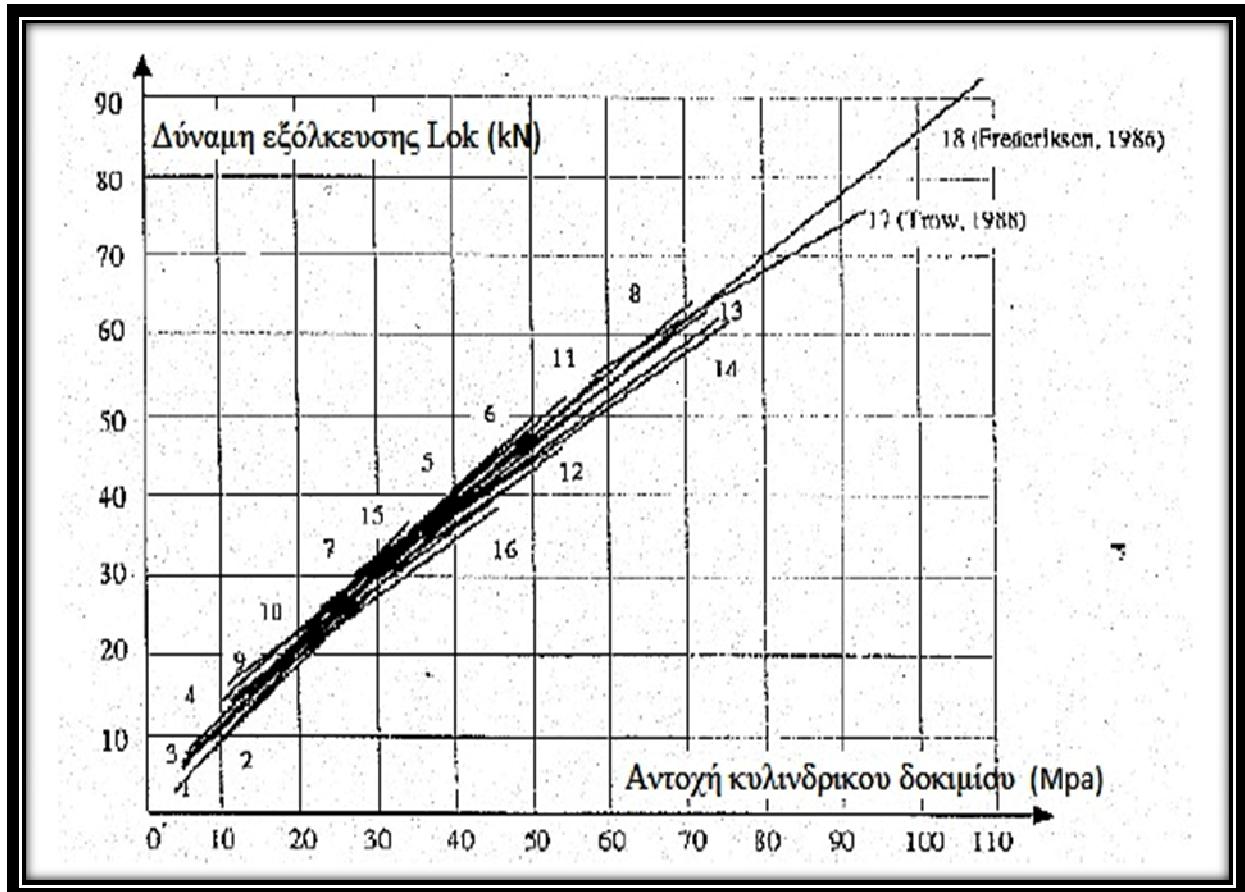
Οι δοκιμές θλίψης έγιναν σε κυβικά δοκίμια ακμής 150 mm. Οι δοκιμές Lok έγιναν σε 2 κατηγορίες κυβικών δοκιμίων. Σε κυβικά δοκίμια ακμής 150 mm και για υψηλά επίπεδα αντοχής σε κυβικά δοκίμια ακμής 200 mm.

Υποσημείωση: Η συμπύκνωση και οι συνθήκες διατήρησης των δοκιμίων πρέπει να είναι ίδιες όπως και η ωρίμαση του σκυροδέματος κατά την διάρκεια της δοκιμής. Ένα ατσάλινο πλαίσιο, τοποθετείτε (όπως στο παραπάνω σχήμα) έτσι ώστε να αποφευχθεί το ράγισμα του κύβου στα υψηλότερα επίπεδα αντοχής για κυβικά δοκίμια ακμής 150 mm.

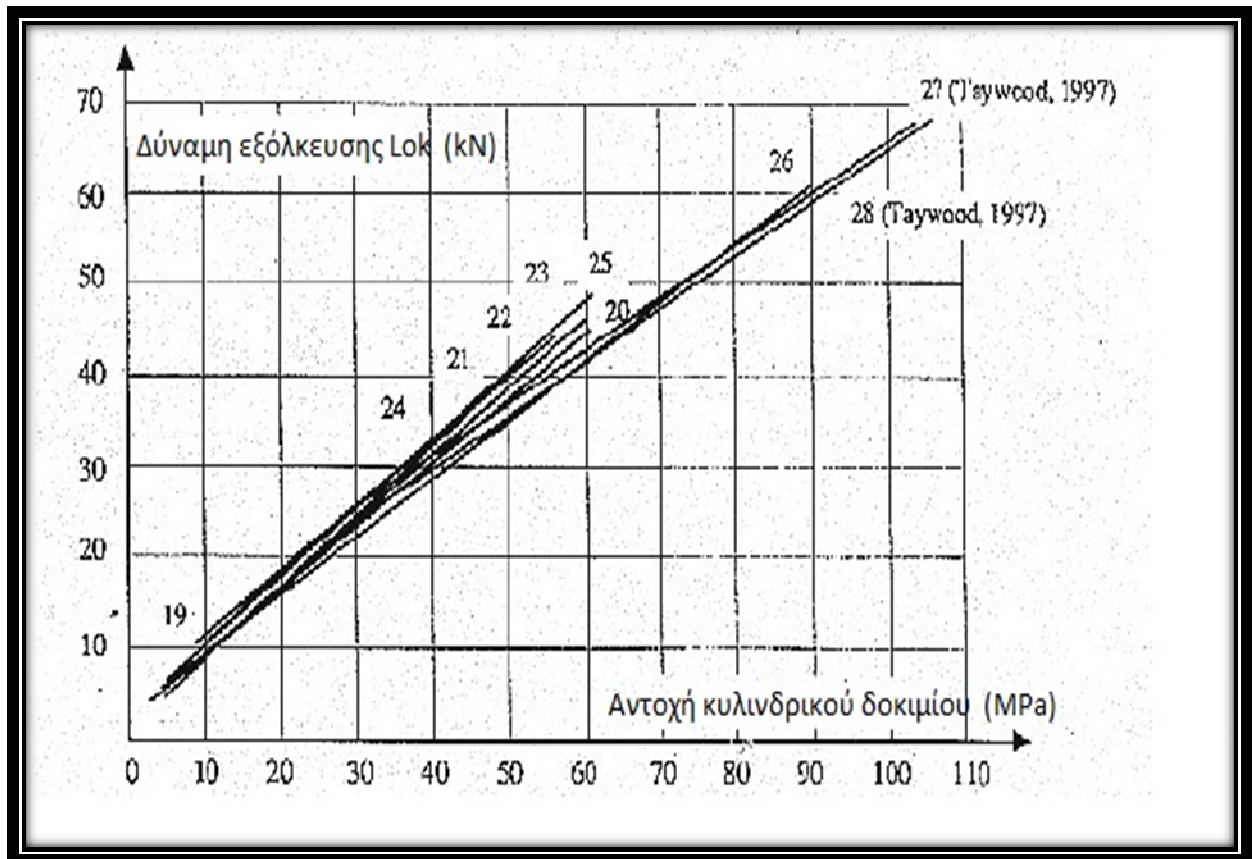
Ειδικότερα, 20-30 παρτίδες δοκιμίων κατασκευάστηκαν, δοκιμάστηκαν και συγκρίθηκαν την 1,2,5,14 και 28 μέρα στους 20°C από την ημέρα παραγωγής του σκυροδέματος.

Επιπρόσθετα, δοκιμές Lok έχουν συγκριθεί με δοκίμια πυρηνοληψίας από σχετικούς πίνακες.

Οι παράμετροι που έχουν ερευνηθεί είναι: ο τύπος του τσιμέντου, η αναλογία νερού/τσιμέντου, η ηλικία, η κατάσταση ωρίμασης, ο εγκλωβισμένος αέρας, οι προσμίξεις, το σχήμα και το μέγεθος των αδρανών με μέγιστο κόκκο πάνω 40 mm.



Σχήμα 1.9.2.3. Δεκαοχτώ συσχετίσεις μεταξύ της δύναμης εξόλκευσης της δοκιμής Lok σε σχέση με την αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου με διαστάσεις 150 mm X 300mm από την Δανία, Καναδά, ΗΠΑ για κανονικούς τύπους σκυροδέματος.



Σχήμα 1.9.2.4. Δέκα συσχετίσεις μεταξύ της δύναμης εξόλκευσης της δοκιμής Lok σε σχέση με την αντοχή κυβικού δοκιμίου ακμής 150 mm από την Σουηδία, Αγγλία, Νορβηγία και Ολλανδία για κανονικούς τύπους σκυροδέματος.

Ο συντελεστής συσχέτισης κυμαίνεται από 0.91 έως 0.99. Τυπικά στο 0.96.

Ο μέσος όρος των αποκλίσεων των δοκιμών μετρήθηκε για λόγους συσχέτισμού και συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα μαζί με τον αριθμό των δοκιμών. Η μέση απόκλιση “S”, ο συντελεστής απόκλισης “V” και το πλήθος των δοκιμών “n”.

	Δοκιμή Lok			Δοκιμή θλίψης		
	S (kN)	V (%)	n -	S (kN)	V (%)	n -
Διαδικασίες συσχέτισης						
Δανική διαδικασία	2.6	9.4	2188	1.6	4.2	1177
Βόρειας Αμερικής διαδικασία	1.9	7.5	994	1.7	6.4	994
Σουηδική/Ολλανδική/Αγγλική διαδικασία	2.5	6.8	1180	2.4	6.2	953

Πίνακας 1.9.1. Ο μέσος όρος των αποκλίσεων των δοκιμών που προέρχεται από 24 συσχετίσεις χρησιμοποιώντας την Δανική, βόρειας Αμερικής και της Σουηδικής/Ολλανδικής/Αγγλικής συσχέτισης για την διαδικασία που περιγράφεται στην παράγραφο 1.9.2.3.

Οι αποκλίσεις σε δοκιμές Lok για επί-τόπου του έργου δοκιμές συνοψίζονται στον πίνακα 1.9.2.

Διαδικασία συσχέτισης	Δοκιμή Lok		
	S (kN)	V (%)	n -
Πλάκες, κάτω μέρος	3.0	10.5	5320
Πλάκες, πάνω μέρος	3.7	12.9	955
Κολώνες και δοκάρια	2.8	8.1	677
Τοίχοι και θεμέλια	3.3	10.1	1020
Αμφίβολες κατασκευές	4.5	14.7	1225

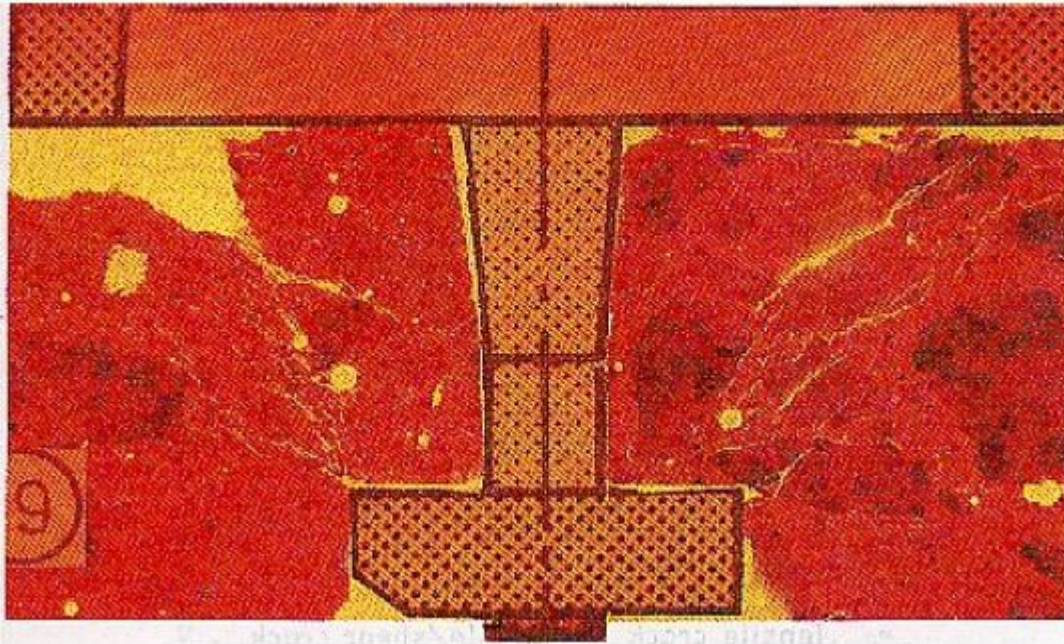
Πίνακας 1.9.2. Ο μέσος όρος της μεταβλητότητας σε επί-τόπου του έργου δοκιμές διαφόρων στοιχείων/κατασκευών με τη δοκιμή Lok. Οι πρώτες τέσσερις κατηγορίες αναφέρονται για κατασκευές πρόσφατες με ελεγχόμενη ποιότητα. Αμφίβολες κατασκευές είναι νέες κατασκευές με σφάλματα τα οποία προκλήθηκαν για παράδειγμα από λάθος σκυροδέτηση, ωρίμαση ή συνθήκες συντήρησης.

1.9.2.4. Θεωρητικές και πειραματικές έρευνες για την δοκιμή Lok, από το 1976 έως το 1985.

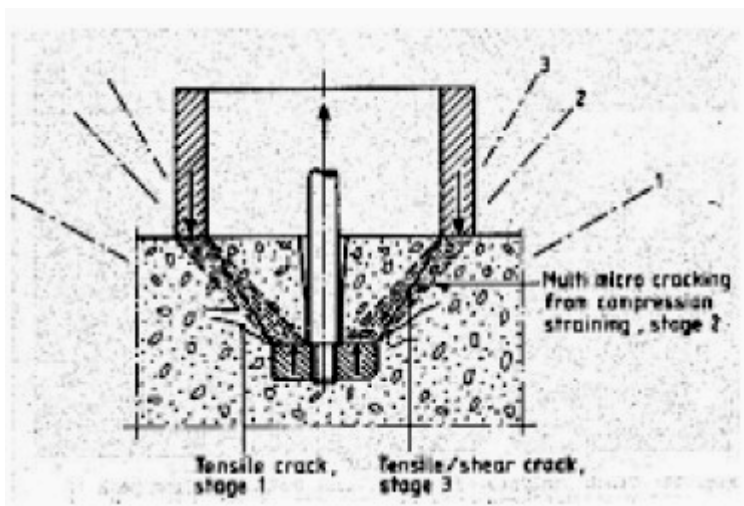
Το 1976 ο Bjame Cristian Jensen και ο Mikael Braestrup έκαναν την πρώτη έρευνα σε ένα μηχανισμό θραύσης της δοκιμής Lok. Για την ανάλυση τους χρησιμοποίησαν το κριτήριο αστοχίας Coulomb που λέει ότι το υλικό αστοχεί ύστερα από σύνθετη καταπόνηση σε λοξό επίπεδο, όταν η διατμητική τάση τ σε αυτό το επίπεδο ξεπεράσει κάποια τιμή, που εξαρτάται από την τιμή της ορθής τάσης σ σε αυτό το επίπεδο. Συμπέρανα λοιπόν ότι: “Η δύναμη εξόλκευσης είναι άμεσα ανάλογη με την δύναμη θλίψης του σκυροδέματος.” (Jensen κ’ Braestrup, 1976)

Το 1981 ο Niels Saabye Ottosen, δημοσίευσε τα αποτελέσματα από μια ανάλυση μη-γραμμικών πεπερασμένων στοιχείων για να εξηγήσει τον μηχανισμό θραύσης της δοκιμής Lok. Το συμπέρασμα του είναι: “ότι μεγάλες θλιπτικές δυνάμεις μεταφέρονται από τον δίσκο σε ένα σχετικά στενό δακτύλιο κατά την αντιπίεση. Αυτό αποτελεί τον μηχανισμό μεταφοράς του φορτίου. Επιπλέον η αστοχία οφείλεται από την θραύση του σκυροδέματος και όχι από το ράγισμα του. Ως εκ τούτου η δύναμη που απαιτείται για την εξόλκευση του ήλου βρίσκεται σε άμεση εξάρτηση με την θλιπτική αντοχή του εν λόγω σκυροδέματος.” (Ottosen, 1981)

Ο μηχανισμός θραύσης ερευνήθηκε περαιτέρω πειραματικά από τον Herbert Krenchel το 1985. Αυτός υπολόγισε την δοκιμή Lok σε διάφορα επίπεδα πάνω στο διάγραμμα-φορτίου μετατόπισης. Μετά, έκοψε τα δείγματα κατά μήκος του άξονα τους, λείανε την επιφάνεια τομής και τα εμπότισε με μια εποξική χρωστική ουσία φθορισμού για να απόκαλυφθούν οι ρωγμές κάτω από το υπεριώδες φως. Τα πορίσματα παρουσιάζονται στα επόμενα σχήματα. (Krenchel κ’ Bicley, 1985)



Σχήμα 1.9.2.5. Ανάλυση των ρωγμών της δοκιμής Lok. Οι ρωγμές εφελκυσμού, στάδιο 1, έχουν διαμορφωθεί καθώς και οι πολλαπλές μικρορωγμές, στάδιο 2. Για το στάδιο 3 η ρωγή ολίσθησης δεν έχει διαμορφωθεί ακόμα.



Σχήμα 1.9.2.6. Τα τρία διαφορετικά στάδια της εσωτερικής ρωγμής κατά την διάρκεια της δοκιμής Lok.

Ο Krenchel περιέγραψε τις ρωγμές όπως παρουσιάστηκαν κατά την διάρκεια της δοκιμής Lok:

“Η εσωτερική θραύση κατά τη διάρκεια αυτού του τύπου δοκιμής είναι μια διαδικασία πολλαπλών σταδίων , όπου τρία διαφορετικά στάδια, το καθένα με διαφορετικούς μηχανισμούς θραύσης μπορούν να είναι σαφώς διαχωρισμένα. Στο πρώτο στάδιο, σε ένα βαθμό της τάξης του 30-40% του μέγιστου φορτίου, εμφανίζονται οι πρώτες ρωγμές λόγω εφελκυσμού, οι οποίες ξεκινάνε από την εγκοπή του άνω άκρου του εξολκεύσιμου ήλου. Αυτή η ρωγμή σταματάει εκεί που τελειώνει το σκυρόδεμα και δημιουργεί μια αμβλεία γωνία που κυμαίνεται μεταξύ 100° - 135° . Το συνολικό μήκος της πρώτης ρωγμής είναι συνήθως 15-20 mm. Στο δεύτερο στάδιο της εσωτερικής θραύσης, ένα πλήθος από μικρορωγμές σχηματίζονται στην αποκοπόμενη περιοχή. Η κύρια διεύθυνση αυτών των ρωγμών, ξεκινάει από την κορυφή της γωνίας του δακτυλίου του ήλου, και καταλήγει στο κάτω μέρος του εξωτερικού δακτυλίου εκεί που εφαρμόζεται η αντιπίεση, σχηματίζοντας έτσι ένα κώνο γωνίας περίπου 84° . Ο σχηματισμός του δεύτερου υποδείγματος ρωγμής είναι παρόμοιος με τον σχηματισμό της αυξανόμενης κάθετης μικρορωγμής στο εσωτερικό ενός κυβικού ή κυλινδρικού δοκιμίου κατά την διάρκεια μιας συνηθισμένης μονοαξονικής θλιπτικής δοκιμής. Εάν αυξήσουμε όλο και περισσότερο την αντιπίεση, στην μηχανή εξόλκευσης, ακόμα και αν το φορτίο έχει σταθεροποιηθεί στο μέγιστο σημείο, τότε ερχόμαστε στο τρίτο στάδιο της εσωτερικής θραύσης. Αυτό αποτελεί μία διατμητική/εφελκυστική ρωγμή η οποία εμφανίζεται σε όλη τη διαδρομή γύρω από την εξωτερική άκρη του δίσκου του ήλου, έως την εσωτερική άκρη του δίσκου αντιπίεσης. Η τελική γωνία του κώνου εξόλκευσης, η οποία εμφανίζεται όταν ο κώνος έχει αποτραβηχτεί, είναι περίπου 52° .”

Ο Krenchel καταλήγει στο συμπέρασμα: “Από την στιγμή που οι μικρορωγμές στο δεύτερο στάδιο της θραύσης είναι υπεύθυνες και άμεσα συνδεδεμένες με το μέγιστο φορτίο σε αυτή τη διαδικασία δοκιμής, φαίνεται πολύ λογικό ότι μπορούμε σχεδόν πάντα να αποκτήσουμε κοντινές συσχετίσεις για την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος”.

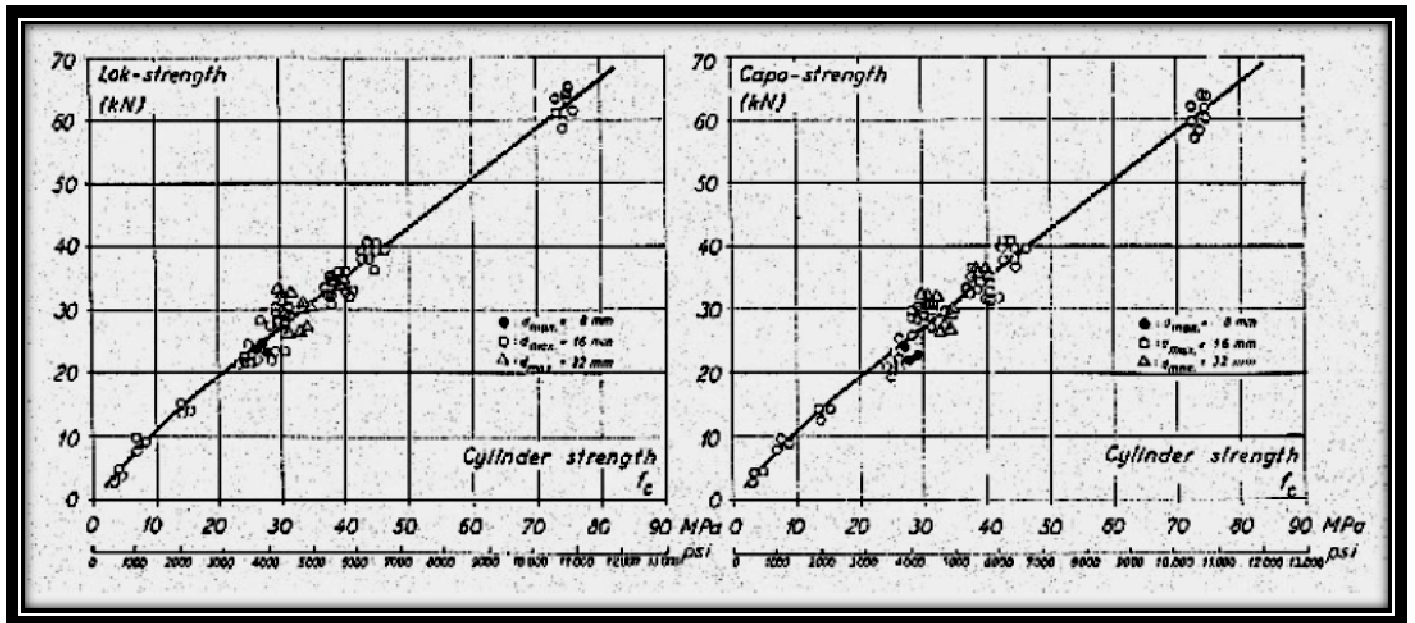
1.9.2.5 Συσχετίσεις της δοκιμής Caro και σύγκριση με την δοκιμή Lok, 1976 έως 1994.

Σημαντικές συσχετίσεις που αφορούν την δοκιμή Caro για την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος και την σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις παρόμοιες συσχετίσεις της δοκιμής Lok έγιναν το 1982 στη Δανία και το 1983 στη Σουηδία.

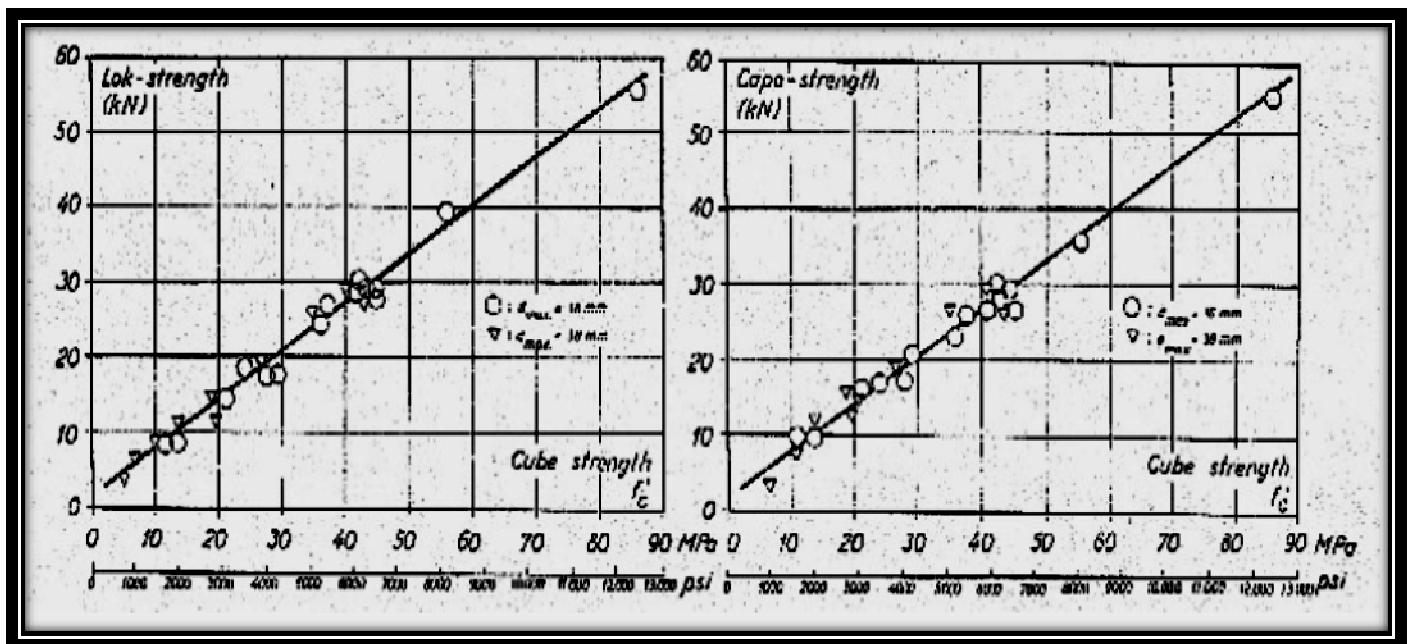
Τα αποτελέσματα από την Δανική διαδικασία εξόλκευσης των δοκιμών Lok αναπαρίστανται στα παρακάτω διαγράμματα της εικόνας 9. Οι δοκιμές Lok και Caro έγιναν σε κυβικά δοκίμια ακμής 200 mm, εκ των οποίων δυο από την κάθε δοκιμή τοποθετήθηκε κεντρικά και αντιδιαμετρικά, και συγκρίθηκαν με την θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου όπως αναφέρεται στην Δανική διαδικασία στην παράγραφο 2.1. Κάθε σημείο στα διαγράμματα της εικόνας 9 αντιπροσωπεύει μια μέση τιμή 2 αποτελεσμάτων θλίψης κυλινδρικού δοκιμίου και 2 δοκιμών Lok και Caro αντίστοιχα. Ο συντελεστής συσχέτισης των 2 μεθόδων βρέθηκε να είναι 0.95. Ο συντελεστής διακύμανσης στα κυλινδρικά δοκίμια 3.6%, στις δοκιμές Lok 7.9% και στις δοκιμές Caro 7.8% κατά μέσο όρο.

Τα αποτελέσματα της Σουηδικής διαδικασίας εξόλκευσης των δοκιμών Lok και Caro παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα της εικόνας 10. Οι δοκιμές Lok και Caro έγιναν σε κυβικά δοκίμια ακμής 150 mm όπως εμφανίζονται στην Σουηδική/Ολλανδική/Αγγλική διαδικασία στην παράγραφο 2.1. Στα υψηλότερα επίπεδα αντοχής ένα χαλύβδινο πλαίσιο τοποθετείτε στα κυβικά δοκίμια για την αποφυγή ακτινικών ρωγμών κατά την διάρκεια εξόλκευσης. Κάθε σημείο στα διαγράμματα της εικόνας 10 είναι ένας μέσος όρος τριών αποτελεσμάτων θλίψης από κυβικά δοκίμια και τριών δοκιμών Lok και Caro αντίστοιχα. Ο συντελεστής συσχέτισης της δοκιμής Lok/κυβικών δοκιμίων ήταν 0.98, της δοκιμής Caro/κυβικών δοκιμίων ήταν 0.97 και η τυπική απόκλιση των δυο καμπυλών ήταν 2 MPa.

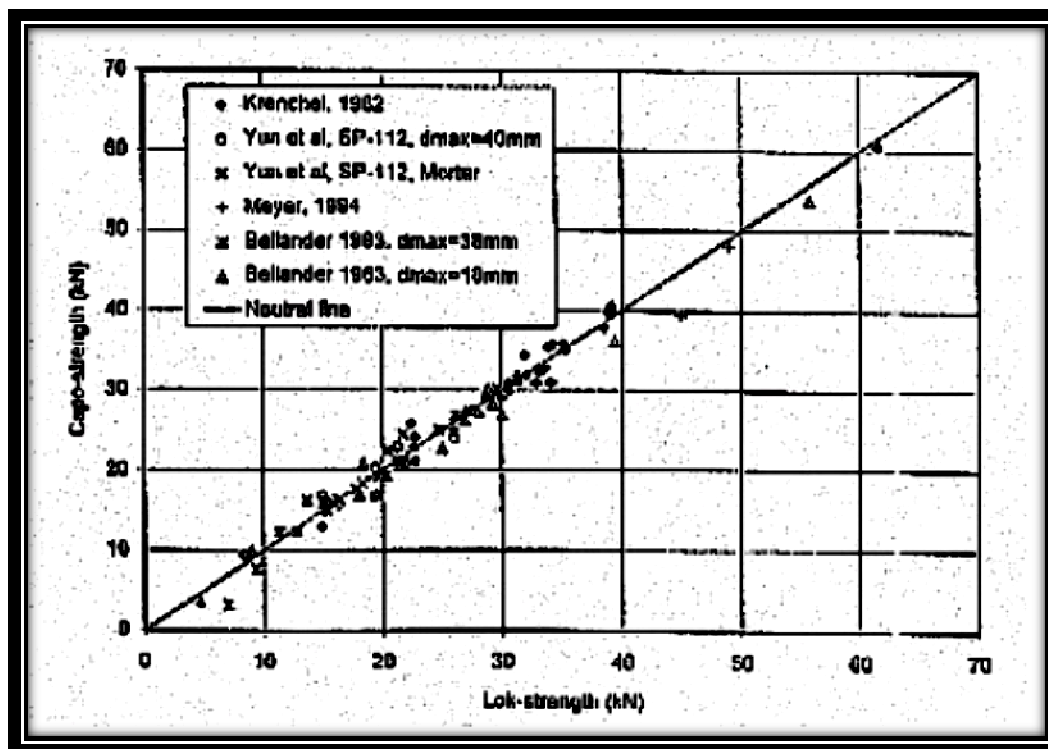
Επιπλέον, ο Yun et al το 1988 και ο Meyer το 1994 δημοσίευσαν τα αποτελέσματα που συγκρίνουν τις δοκιμές Lok και Caro. Οι συγκρίσεις δίνονται στο παρακάτω διάγραμμα της εικόνας 11 μαζί με τα αποτελέσματα του Krenchel και του Bellander.



Σχήμα 1.9.2.7. Δανική συγκριτική έρευνα μεταξύ της δοκιμής Lok/αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου και της δοκιμής Capo/αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου, με πρότυπα μεγέθη κυλινδρικών δοκιμίων 150 mm X 300 mm (Krenchel, 1982)



Σχήμα 1.9.2.8. Σουηδική συγκριτική έρευνα μεταξύ της δοκιμής Lok/αντοχή κυβικού δοκιμίου και της δοκιμής Capa/αντοχή κυβικού δοκιμίου, με πρότυπα μεγέθη κυβικών δοκιμών ακμής 150 mm (Bellander, 1983)



Σχήμα 1.9.2.9. Συγκρίσεις δοκιμών Lok και Capo (Krenchel, 1982), (Bellander, 1983), (Yun et al, 1990), (Meyer, 1994).

Όπως φαίνεται λοιπόν, οι συσχετίσεις της δοκιμής Caro μοιάζουν με αυτές της δοκιμής Lok, και είναι σχεδόν πανομοιότυπες, όπως επίσης και η δύναμη εξόλκευσης της δοκιμής Caro είναι ίδια με αυτή της δοκιμής Lok.

Ως εκ τούτου, δεν υπάρχει λόγος να πούμε ότι οι συσχετισμοί είναι διαφορετικοί από αυτούς που είχαν καθοριστεί στο παρελθόν για την δοκιμή Lok, καθώς επίσης και οι διακυμάνσεις για την δοκιμή Lok.

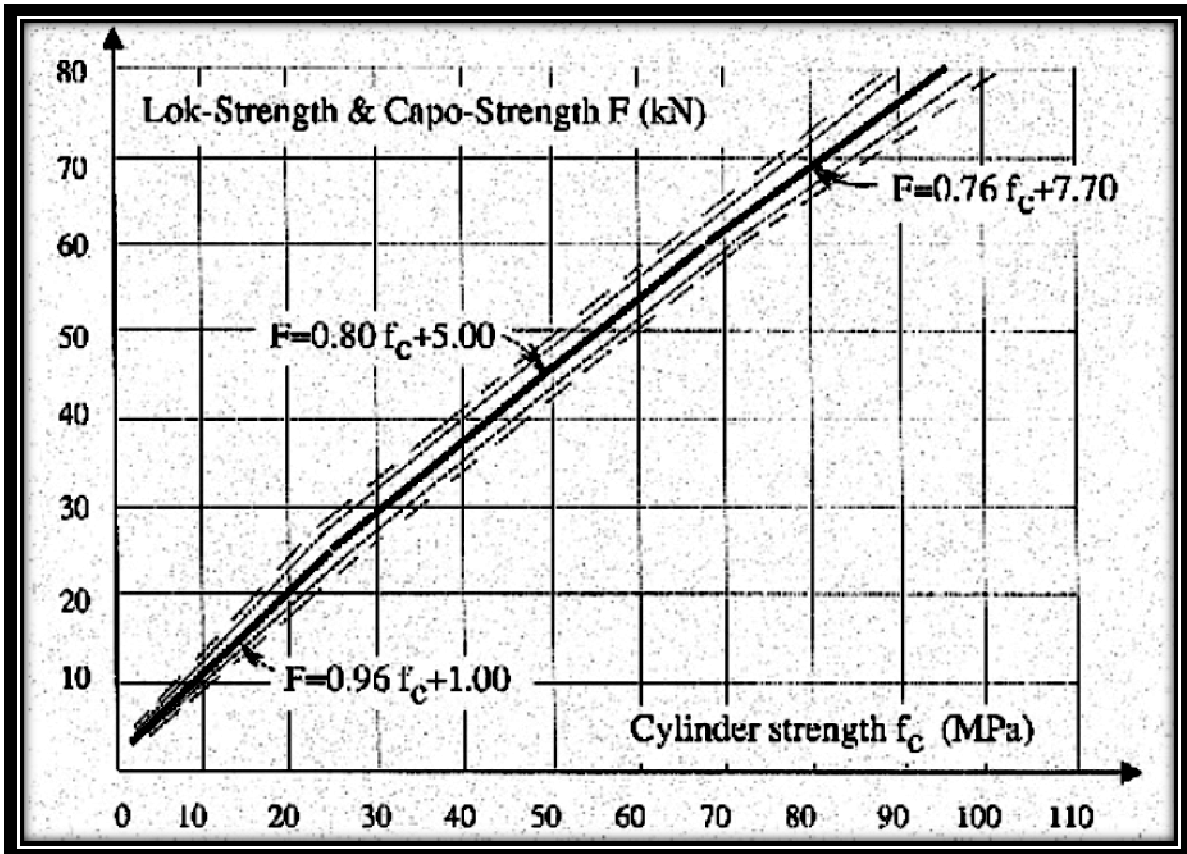
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις από τις δοκιμές Caro για επιτόπου του έργου δοκιμές ύστερα από 15 χρόνια εργασιών και έρευνας για διάφορα στοιχεία/κατασκευές.

Διαδικασία συσχέτισης	Δοκιμή Lok		
	S (kN)	V (%)	n -
Πλάκες, κάτω μέρος	3.2	7.1	35
Πλάκες, πάνω μέρος	3.6	9.3	623
Κολώνες και δοκάρια	3.1	8.0	434
Τοίχοι και θεμέλια	3.8	10.4	534
Αμφίβολες κατασκευές	4.8	15.3	3334

Πίνακας 1.9.3. Ο μέσος όρος της μεταβλητότητας σε επιτόπου του έργου δοκιμές διαφόρων στοιχείων/κατασκευών με τη δοκιμή Lok. Οι πρώτες τέσσερις κατηγορίες αναφέρονται για κατασκευές πρόσφατες με ελεγχόμενη ποιότητα. Αμφίβολες κατασκευές είναι νέες κατασκευές με σφάλματα τα οποία προκλήθηκαν για παράδειγμα από λάθος σκυροδέτηση, ωρίμαση ή συνθήκες συντήρησης.

1.9.2.6. Προτεινόμενες γενικές συσχετίσεις για αντοχές κυλινδρικών δοκιμίων.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.9.2.10, οι συσχετίσεις που απεικονίζονται στο γράφημα δείχνουν μεγάλη σταθερότητα για το κανονικό σκυρόδεμα. Η ακόλουθη μέση συσχέτιση προτείνεται ως η γενική.

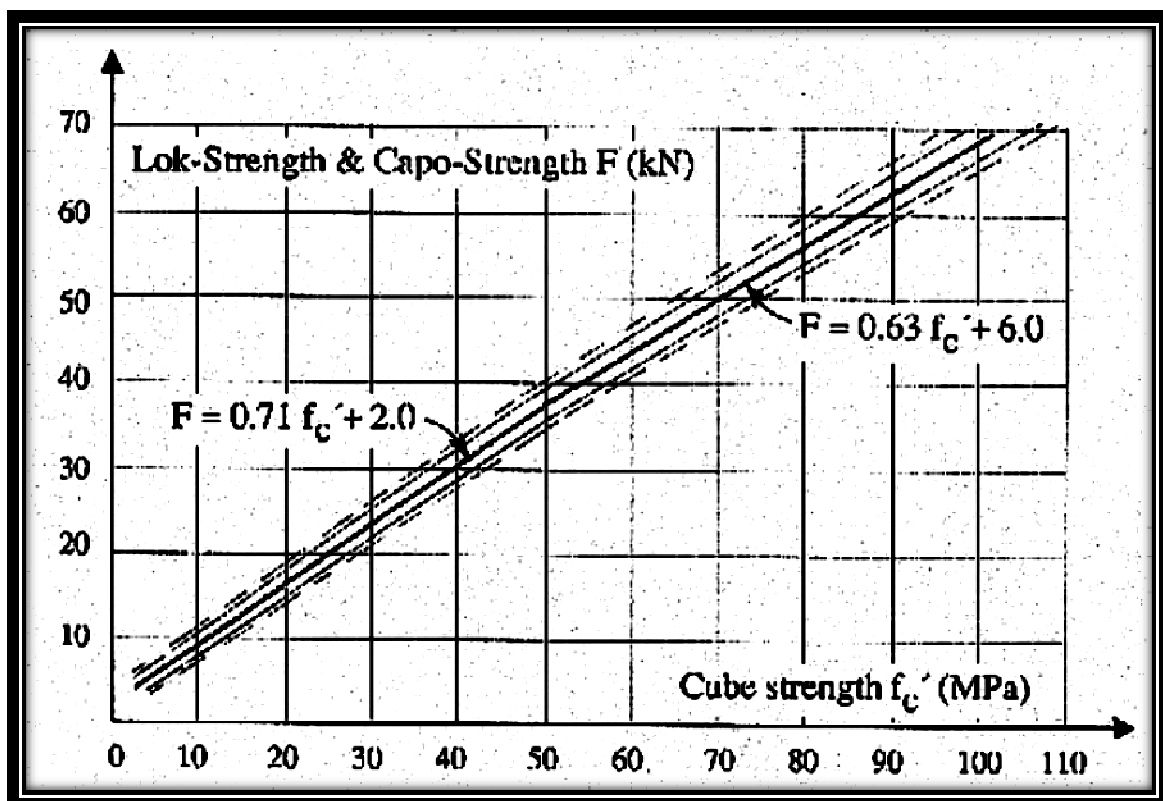


Σχήμα 1.9.2.10. Η προτεινόμενη, γενική συσχέτιση μεταξύ της δύναμης εξόλκευσης με την δύναμη Lok ή Capro και την αντοχή των πρότυπων κυλινδρικών δοκιμίων με διαστάσεις 150 mm X 300 mm. Τα επίπεδα αξιοπιστίας είναι 95% για 16 mm και 32 mm μέγιστο κόκκο αδρανών (Krenchel, 1970) για ένα μέσο όρο δυο πρότυπων δοκιμών θλίψης και τεσσάρων δοκιμών εξόλκευσης.

1.9.2.7 Προτεινόμενες γενικές συσχετίσεις για αντοχές κυβικών δοκιμών.

Όσον αφορά τα κυλινδρικά δοκίμια, οι συσχετίσεις μεταξύ της δύναμης εξόλκευσης και της θλιπτικής αντοχής κυβικών δοκιμών, ακμής 150 mm, παρουσιάζουν σταθερότητα για κανονικό σκυρόδεμα όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3. Προφανώς η σχέση είναι ελαφρώς μη γραμμική, όπως συμβαίνει με τις συσχετίσεις των κυλινδρικών δοκιμών.

Το Σχήμα 1.9.2.10 παρακάτω, δείχνει τη μέση συσχέτιση, η οποία σε ένα επίπεδο αξιοπιστίας 95% είναι +/- 6% εκτός από τις συσχετίσεις του σχήματος 3.



Σχήμα 1.9.2.11. Οι προτεινόμενες γενικές συσχετίσεις μεταξύ της δύναμης εξόλκευσης που μετρήθηκε από τις δοκιμές Lok ή Capo και από την θλιπτική αντοχή κυβικών δοκιμών ακμής 150 mm. Τα επίπεδα αξιοπιστίας είναι 95% για 16 mm και 32 mm μέγιστο κόκκο αδρανών (Krenchel, 1970) για ένα μέσο όρο 2 πρότυπων δοκιμών θλίψης και 4 δοκιμών εξόλκευσης.

1.9.2.8 Συσχετίσεις που αποκλίνουν από τις γενικές προτεινόμενες συσχετίσεις.

Από έρευνες και δοκιμές που έχουν γίνει, η μέχρι σήμερα εμπειρία μεταξύ της δύναμης εξόλκευσης που μετρήθηκε από την δοκιμή Lok ή Caro και της δοκιμής θλίψης σε πρότυπα κυβικά ή κυλινδρικά δοκίμια δείχνουν μεγάλη σταθερότητα για όλους τους τύπους κανονικού σκυροδέματος, υπό τον όρο ότι η ίδια ποιότητα του σκυροδέματος χρησιμοποιείτε για σκοπούς συσχέτισης.

Η δοκιμή Lok και η δοκιμή Caro είναι αρκετά ευαίσθητες μέθοδοι που επηρεάζονται ακόμη και από μικρές διαφορές της ποιότητας του σκυροδέματος, όπως για παράδειγμα η διαδικασία συμπύκνωσης και οι συνθήκες συντήρησης.

Ως εκ τούτου, είναι απολύτως επιτακτική ανάγκη η ίδια ποιότητα σκυροδέματος να δοκιμάζεται έτσι ώστε οι συγκρίσεις που θα παραχθούν να είναι σωστές.

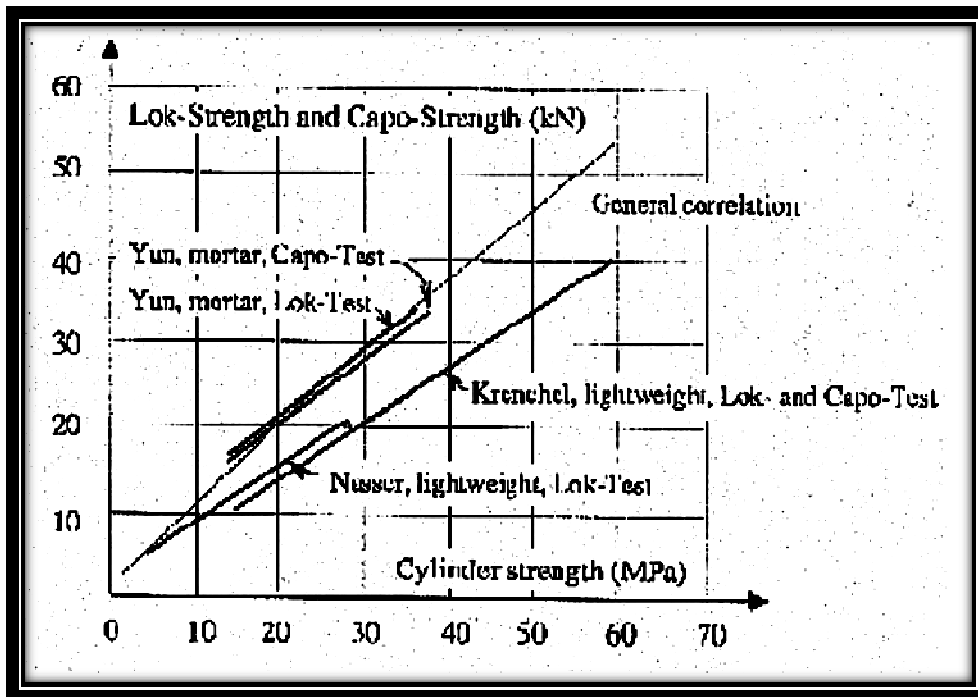
Είναι επίσης επιτακτικό ότι οι τεχνικοί πρέπει να είναι καλά εκπαιδευμένοι στις μεθόδους και ικανοί να αξιολογήσουν την αξιοπιστία των δοκιμών από την φύση της θραύσης που θα προκληθεί από τις δοκιμές εξόλκευσης, όπως επίσης και για τις πρότυπες δοκιμές θλίψης. (Petersen και Poulsen, 1992)

Δυο σετ ερευνών, ωστόσο, έχουν προκύψει όπου δείχνουν να αποκλίνουν σημαντικά οι συσχετίσεις από αυτές που αναφέρονται. Η μία σχετικά με σκυρόδεμα με ελαφρά αδρανή υλικά και η άλλη για την έρευνα που αφορά την αντοχή των παλαιών κατασκευών χρησιμοποιώντας την δοκιμή Caro.

1.9.2.9 Συσχετίσεις για σκυρόδεμα με ελαφρά αδρανή υλικά.

Οι βαθμονομήσεις δεν έχουν δείξει καμία επίδραση από την διαφορετικότητα του τύπου, του σχήματος και του μεγέθους του μέγιστου κόκκου αδρανών, μόνο η αύξηση απόκλισης του αποτελέσματος στην δοκιμή εξόλκευσης όταν αυξάνεται ο μέγιστος κόκκος των αδρανών. Ακόμα και για το κονίαμα, οι συσχετίσεις που εκτελούνται σε πυρήνες διαστάσεων 150 mm X 300 mm από την Yun et al το 1988, δεν δείχνουν σημαντικές αποκλίσεις από την γενική συσχέτιση όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 1.9.2.12.

Ωστόσο, για ελαφρά αδρανή βρέθηκε άλλη μια συσχέτιση, η οποία παρουσιάστηκε σε μια συμπληρωματική έρευνα από τους Krenchel το 1982 και Nasser το 1988.



Σχήμα 1.9.2.12. Συσχετίσεις για σκυρόδεμα από ελαφρά αδρανή υλικά από τους Krenchel το 1982 και Nasser το 1988, συγκρινόμενα με συσχετίσεις κονιάματος από την Yun et al το 1988 και με τις γενικές συσχετίσεις για την αντοχή του κυλινδρικού δοκιμίου.

Η διακύμανση στο κονίαμα για την δοκιμή Lok ήταν 4.5% και στην δοκιμή Capo ήταν 7.1%.

Η διακύμανση στο σκυρόδεμα με ελαφρά αδρανή υλικά βρέθηκε για την δοκιμή Lok 5.1% και για την δοκιμή Capo 5.5%.

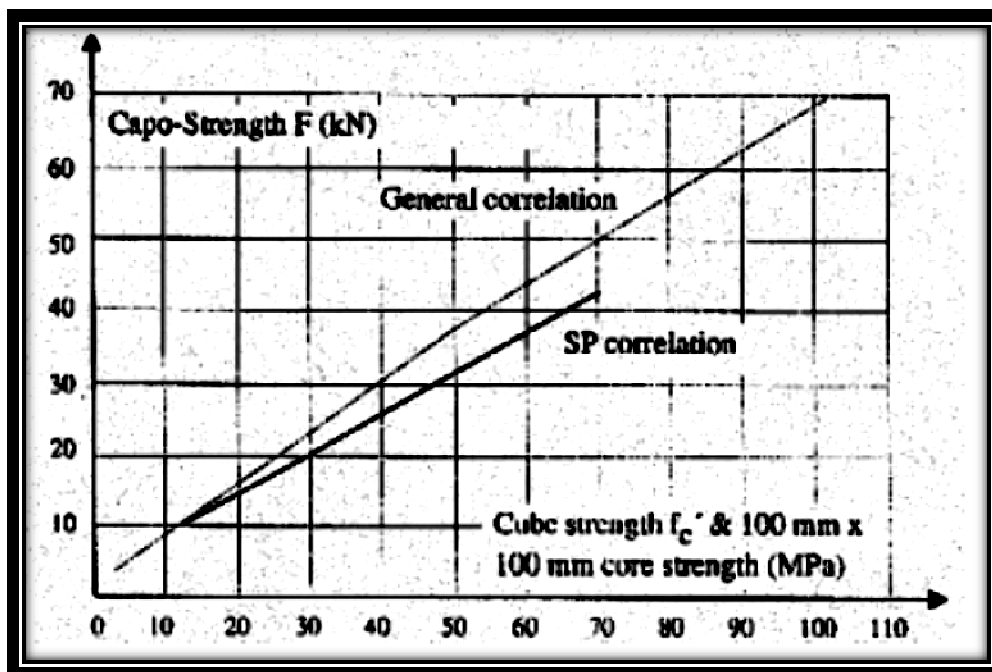
1.9.2.10 Συσχετίσεις μεταξύ της δοκιμής Capo και πυρήνων με διαστάσεις 100 mm X 100 mm σε παλαιές κατασκευές.

Το Εθνικό Σουηδικό Ινστιτούτο Δοκιμών (SP) από το 1981 έως το 1985 έκανε μία έρευνα συσχετισμών σε 13 Σουηδικές γέφυρες με ηλικία έως 63 έτη. Έγιναν δοκιμές Caro στα 25 mm από την άνω επιφάνεια και συγκρίθηκαν με πυρήνες, διαστάσεων 100 mm X 100 mm , οι οποίοι εξήχθησαν δίπλα ακριβώς από τις δοκιμές Caro.

Οι πυρήνες καθαρίστηκαν και διατηρήθηκαν στο εργαστήριο 3 ημέρες πριν από την δοκιμή.

Με αυτό τον τρόπο η αντοχή του επιφανειακού στρώματος των 25 mm συγκρίθηκε με την αντοχή του σκυροδέματος σε βάθος 75-100 mm μέσα στις κατασκευές.

Η συσχέτιση που αποκτήθηκε από τους Rockstrom και Molin το 1989 παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.9.2.13. μαζί με την γενική συσχέτιση για πρότυπα κυβικά δοκίμια για σύγκριση.



Σχήμα 1.9.2.13. Η συσχέτιση μεταξύ της δοκιμής Caro και πυρήνων καθαρισμένων και διατηρημένων στο εργαστήριο για 3 ημέρες πριν από την δοκιμή, με διαστάσεις 100 mm X 100 mm, όπου έγινε από το Εθνικό Σουηδικό Ινστιτούτο Δοκιμών (SP) σε 13 παλαιές γέφυρες. Η συσχέτιση συγκρίνεται με την γενική συσχέτιση για πρότυπα κυβικά δοκίμια.

Η συσχέτιση από το SP βρέθηκε να είναι $F = 0.55 * f_{cc} + 3.16$. Η υπολειμματική τυπική απόκλιση μετρήθηκε και ήταν 4.1 MPa.

Η διαφορά μεταξύ της δοκιμής Caro που μετρήθηκε στην επιφανειακή στρώση των 25 mm και της αντοχής των πυρήνων βάθους 75-100 mm μπορεί

να εξηγηθεί εν μέρει από την διατήρηση των πυρήνων για τρεις ημέρες στο εργαστήριο πριν από την θραύση τους, και εν μέρει από την υπαρκτή διαφορετική ποιότητα του σκυροδέματος στα δυο αυτά επίπεδα βάθους.

Παρόμοιες συγκρίσεις από δοκιμές σε προκατασκευασμένα δοκάρια για γέφυρες ηλικίας 15-20 ετών στο Πακιστάν και στην Πολωνία, δεν έχουν δείξει ωστόσο καμία σημαντική διαφορά μεταξύ της αντοχής στην επιφάνεια και της αντοχής στο εσωτερικό του σκυροδέματος.

7. Συμπεράσματα

Υπάρχουν πληθώρα στοιχείων για να χρησιμοποιηθούν οι γενικές συσχετίσεις στα συστήματα των δοκιμών Lok και Caro για να μετρηθεί η αντοχή του στρώματος κάλυψης σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Οι γενικές συσχετίσεις παρουσιάζονται στο διάγραμμα 13 για πρότυπες αντοχές κυλινδρικών δοκιμών διαστάσεων 150 mm X 300 mm και στο διάγραμμα 16 για πρότυπες αντοχές κυβικών δοκιμών ακμής 150 mm. Το 95% των ορίων αξιοπιστίας για ένα μέσο όρο 2 πρότυπων δοκιμών θλίψης (κυβικών ή κυλινδρικών δοκιμών) και 4 δοκιμών Lok/Caro είναι ικανοποιητικά με διακύμανση +/- 3 MPa για μέγιστο κόκκο αδρανών 16 mm και +/- 4 MPa για μέγιστο κόκκο αδρανών 32 mm.

Δεν υπάρχει κανένας λόγος να πούμε ότι η δύναμη εξόλκευσης από την δοκιμή Lok είναι διαφορετική από εκείνη που μετρήθηκε από την δοκιμή Caro.

Σε περίπτωση που η δοκιμή Caro πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της αντοχής των παλαιών κατασκευών, η συσχέτιση που παρέχεται από το Εθνικό Σουηδικό Ινστιτούτο Δοκιμών (Rockstrom και Molin, 1989) μπορεί να εφαρμοστεί, εκτός και αν υπάρχει λόγος να θεωρήσουμε ότι η ποιότητα του σκυροδέματος του στρώματος κάλυψης είναι η ίδια και στα βαθύτερα επίπεδα.

1.10. Πειραματική διαδικασία της μεθόδου εξόλκευσης Lok.

1.10.1 Σκοπός.

Ο προσδιορισμός της Αντοχής Εξόλκευσης Lok Σκληρυμένου Σκυροδέματος σε δοκίμια (κυρίως κυβικά) ή κατασκευές.

Ο προσδιορισμός αυτός γίνεται με τη μέτρηση της δύναμης (φορτίου) που απαιτείται για την εξόλκευση ενός ενσωματωμένου μεταλλικού αντικειμένου (ήλος) και του συνδεδεμένου με αυτό θραύσματος σκυροδέματος, από μια μάζα σκυροδέματος.

1.10.2 Συνοπτικά η μέθοδος.

Ένα μεταλλικό αντικείμενο (ήλος) ενσωματώνεται στο νωπό σκυρόδεμα. Μετά την σκλήρυνση του σκυροδέματος η Αντοχή Εξόλκευσης προσδιορίζεται μετρώντας τη μέγιστη δύναμη που απαιτείται για να τραβήξει (εξολκεύσει) τον ήλο από τη μάζα του σκυροδέματος.

Η διαμόρφωση του ενσωματωμένου ήλου και του φέροντος δακτυλίου του συστήματος επιβολής φορτίου, επιδρά στο σχήμα (μορφή) της θραύσης εξόλκευσης μέσα στη μάζα του σκυροδέματος όπως επίσης και στη μέτρηση της Αντοχής Εξόλκευσης.

1.10.3 Σπουδαιότητα και Χρήση.

Για ένα δεδομένο σκυρόδεμα και μια δεδομένη συσκευή δοκιμής, η αντοχή εξόλκευσης σχετίζεται με άλλα αποτελέσματα δοκιμών αντοχής.

Τέτοιες συναφείς αντοχές εξαρτώνται από τη διαμόρφωση των ενσωματωμένων ήλων, των διαστάσεων του φέροντος δακτυλίου, του βάθους ενσωμάτωσης και του επιπέδου αντοχής που αναπτύχθηκε στο συγκεκριμένο σκυρόδεμα.

Πριν τη χρήση αυτές οι συναφείς αντοχές πρέπει να επαληθευτούν για κάθε ένα σύστημα και για κάθε νέο συνδυασμό συμπαγών (υλικών).

Τέτοιες σχέσεις τείνουν να είναι λιγότερο ευμετάβλητες όταν τόσο η δύναμη εξόλκευσης όσο και τα δοκίμια είναι σταθερού μεγέθους και κάτω από σταθερές συνθήκες.

Δοκιμές εξόλκευσης χρησιμοποιούνται όταν η αντοχή σκυροδέματος στη φυσική του θέση έχει φθάσει σε ένα καθορισμένο επίπεδο και για παράδειγμα:

- Μπορούν να αναπτυχθούν επιπλέον τάσεις.
- Καλούπια και Υποστυλώσεις - Υποστηρίξεις απομακρύνονται.
- Η προστασία από τον χειμώνα και η συντήρηση έχει ολοκληρωθεί.

1.10.4 Η συσκευή.

Η συσκευή απαιτεί 3 βασικά υποσυστήματα:

- Έναν ήλο εξόλκευσης.
- Ένα σύστημα φόρτισης.
- Ένα σύστημα μέτρησης φορτίου.

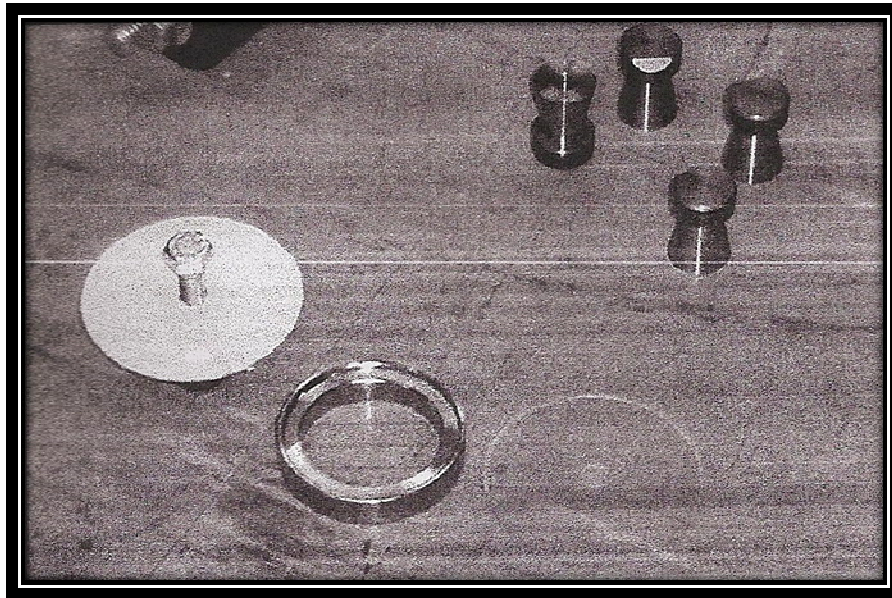
- Ένας βοηθητικός πλαστικός δίσκος για την οριζοντιοποίηση του ήλου.

Ο μεταλλικός ήλος συνίσταται από μία **κυλινδρική** κεφαλή, η οποία θα ενσωματωθεί στο νωπό σκυρόδεμα, και ένα κορμό (άξονα) που είναι σταθερά συνδεδεμένος με την κεφαλή.

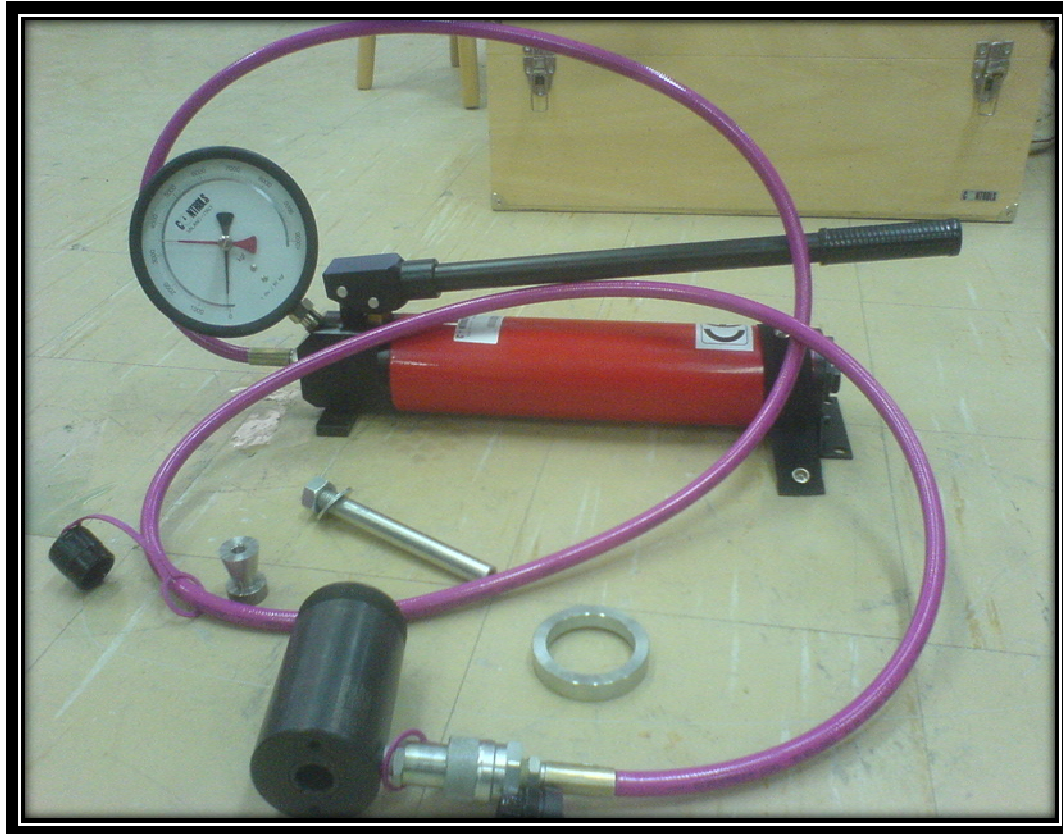
Παρακάτω παρουσιάζονται σε φωτογραφίες τα 4 βασικά υποσυστήματα.



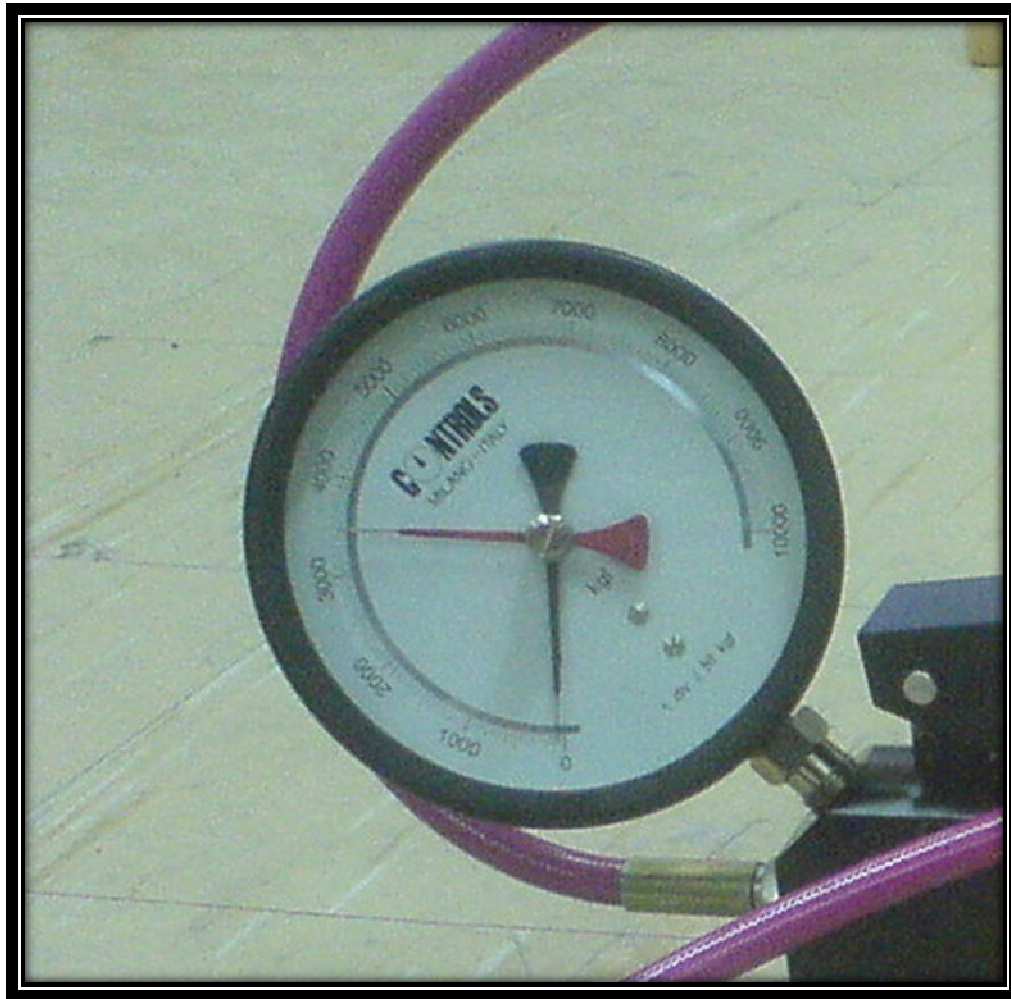
Σχήμα 1.10.1 Ο ήλος εξόλκευσης και το κυβικό δοκίμιο.



Σχήμα 1.10.2 Ήλοι εξόλκευσης, ο φέρων δακτύλιος και ο πλαστικός βοηθητικός δίσκος για την οριζοντιοποίηση του ήλου στο νωπό σκυρόδεμα.



Σχήμα 1.10.3 Το σύστημα φόρτισης.



Σχήμα 1.10.4 Το σύστημα μέτρησης φορτίου. (Μετριέται σε Kgf, δύναμη εξόλκευσης)

1.10.5. Οι διαστάσεις.

Για την ακριβή μέτρηση των διαστάσεων του ήλου χρησιμοποιήσαμε ηλεκτρονικό ψηφιακό μηκυσιόμετρο.

Η διάμετρος (d_2) της κεφαλής του ήλου ορίζεται στα 30 mm.

- Τυπικές διαμέτροι είναι αυτές των 25 & 30mm.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθούν μεγαλύτερες ή και μικρότερες.

Το πάχος της κεφαλής του ήλου και η τάση διαρροής του μετάλλου πρέπει να είναι τέτοια που να αποφευχθεί η διαρροή του μετάλλου κατά τη διάρκεια της δοκιμής.

Οι πλευρές της κεφαλής του ήλου θα πρέπει να είναι ομαλές (απαλές).

Το μήκος του προς εξόλκευση κορμού του ήλου πρέπει να είναι τέτοιο ούτως ώστε η απόσταση h - από την κεφαλή του ήλου μέχρι την επιφάνεια του σκυροδέματος να είναι ίση με τη διάμετρο d_2 της κεφαλής του ήλου.

Η διάμετρος d_1 κορμού στην κορυφή δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $0,60 \cdot d_2$ ($d_1 \leq 0,60 \cdot d_2$). Συγκεκριμένα $d_1 = 18$ mm.

Ένας κορμός εξόλκευσης μπορεί να διαπεράσει μέσα στο αντικείμενο εξόλκευσης ή μπορεί να είναι ενιαίο με το αντικείμενο εξόλκευσης.

Ο φέρω δακτύλιος θα πρέπει να έχει εσωτερική διάμετρο d_3 τέτοια ώστε $2,0 \cdot d_2 \leq d_3 \leq 2,4 \cdot d_2$ και εξωτερική διάμετρο τέτοια ώστε $d_4 \geq 1,25 \cdot d_3$. Συγκεκριμένα $d_3 = 65,9$ mm, $d_4 = 82,4$ mm

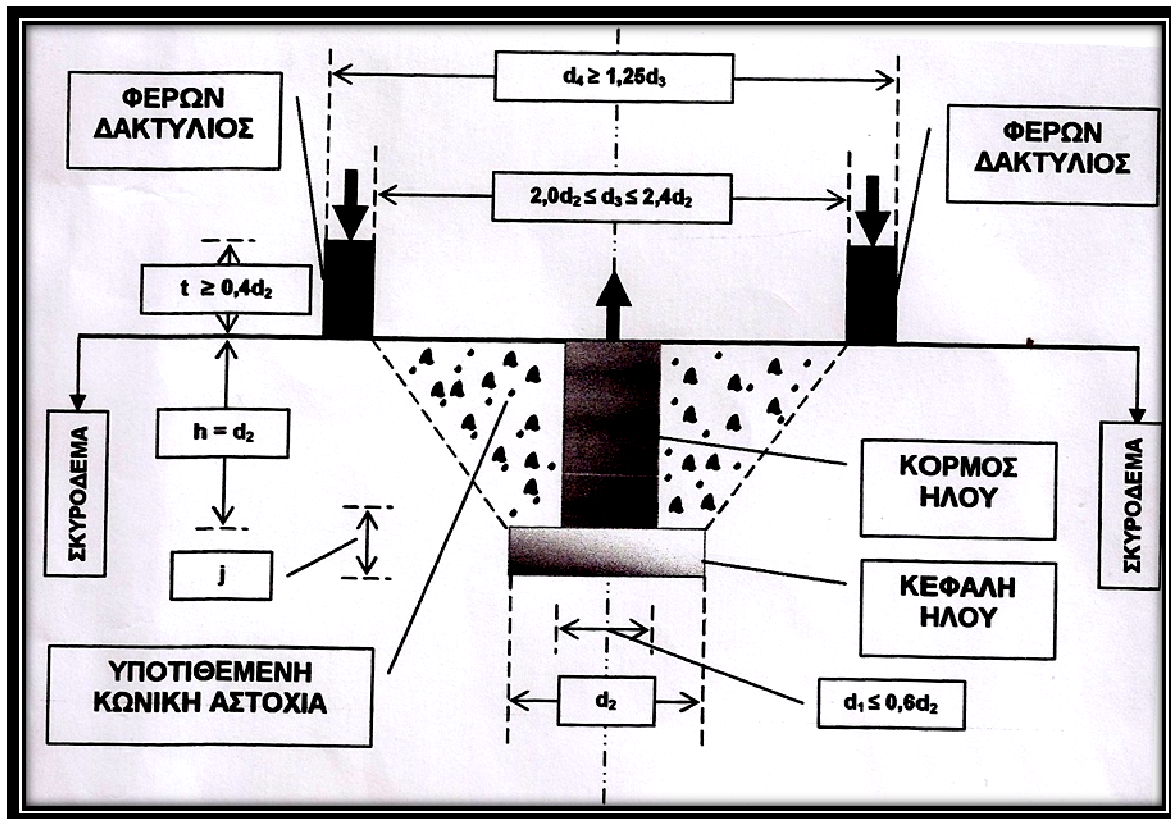
Το πάχος του δακτυλίου t θα πρέπει να είναι $t \geq 0,4 \cdot d_2$. Συγκεκριμένα $t = 14$ mm.

Όλες οι ανοχές των διαστάσεων του προς εξόλκευση μεταλλικού αντικειμένου θα πρέπει να κυμαίνονται στο $\pm 2\%$.

Τα μετρητικά όργανα θα έχουν υποδιαίρεσεις που δεν θα υπερβαίνουν το 5% της μέγιστης τιμής του μεγέθους που σκοπεύουμε να εφαρμόσουμε.

Η όλη συσκευή θα πρέπει να βαθμονομείται τουλάχιστον μια φορά το χρόνο και αμέσως μετά από κάθε επισκευή ή προσαρμογή.

Στο παρακάτω σχεδιάγραμμα παρουσιάζονται αναλυτικά οι παραπάνω διαστάσεις.



Σχήμα 1.10.5 Σχηματική διάταξη της δοκιμής εξόλκευσης.

1.10.6. Sampling (Διαδικασία προετοιμασίας δείγματος).

- Η καθαρή απόσταση μεταξύ των ήλων θα είναι τουλάχιστον 10 φορές μεγαλύτερη από την διάμετρο της κεφαλής του ήλου.
- Η καθαρή απόσταση μεταξύ των ήλων και των ακμών του σκυροδέματος θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 4 φορές μεγαλύτερη από τη διάμετρο της κεφαλής της ήλου.
- Οι ήλοι πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε δυναμικές αστοχίες πέραν της αναμενόμενης κωνικής αστοχίας της επιφάνειας να είναι μεγαλύτερες από τη διάμετρο της ράβδου ή το μέγιστο κόκκο των αδρανών. Ότι από τα δύο είναι μεγαλύτερο.
- Πρέπει να γίνουν 3 δοκιμές εξόλκευσης για να έχουμε ένα αληθές και συγκρίσιμο αποτέλεσμα.

1.10.7 Διαδικασία (Πορεία δοκιμής).

Πρέπει να ακολουθηθούν τα πιο κάτω στάδια.

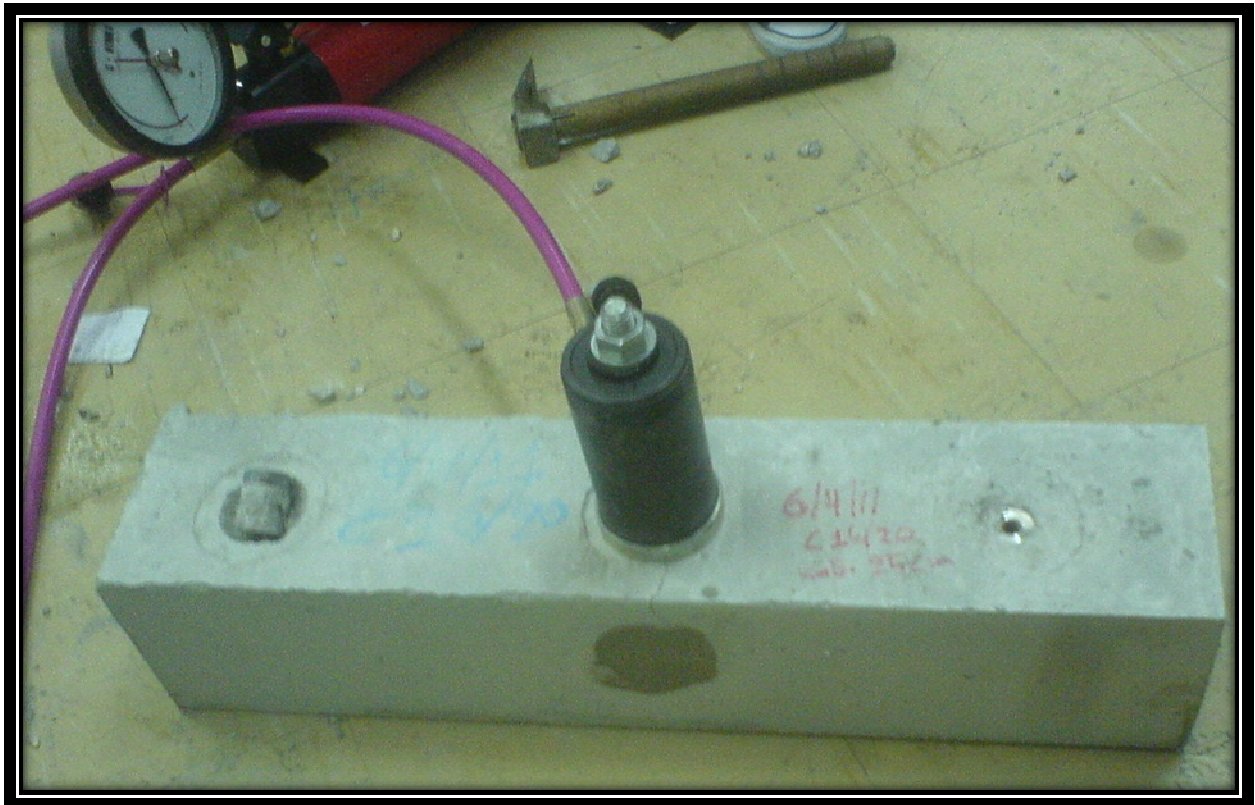
- Οι προς εξόλκευση ήλοι πρέπει να τοποθετηθούν στο νωπό σκυρόδεμα στις μήτρες (φόρμες) αφότου γίνει συμπύκνωση του σκυροδέματος με τον δονητή μάζας.
- Τοποθετούμε την επιφάνεια των ήλων κατευθείαν μέσα στο νωπό σκυρόδεμα με την έννοια του ομοιόμορφου βάθους ενσωμάτωσης και της επίπεδης φέρουσας επιφάνειας κάθετης στον άξονα του κορμού του ήλου.
- Για να πετύχουμε την οριζοντιοποίηση του ήλου τοποθετούμε τον βοηθητικό πλαστικό δίσκο και τον συνδέουμε με μία βίδα στον ήλο.
- Αφήνουμε τις μήτρες με το σκυρόδεμα και τους ενσωματωμένους σε αυτές ήλους, στις κατάλληλες συνθήκες συντήρησης για τουλάχιστον 28 ημέρες πριν την δοκιμασία τους.
- Όταν το σκυρόδεμα πρόκειται να δοκιμαστεί αφαιρούμε τον όλο εξοπλισμό που χρησιμοποιήσαμε για να βεβαιωθούμε για τη σωστή θέση των ήλων. Πριν αρχίσουμε να εφαρμόζουμε το έμβολο δύναμης της δοκιμής βεβαιωθήκαμε ότι έχουμε μια ομαλή επιφάνεια απομακρύνοντας θραύσματα και ανωμαλίες.
- Χρησιμοποιούμε τον φέροντα δακτύλιο για την ρύθμιση όλων των επιφανειών εξόλκευσης. Τοποθετούμε τον φέροντα δακτύλιο γύρω από τον κορμό του ήλου, συνδέουμε τον προς εξόλκευση ήλο με το υδραυλικό έμβολο και τεντώνουμε την συναρμογή εξόλκευσης ενάντια στη φέρουσα επιφάνεια, ελέγχοντας ότι ο φέρον δακτύλιος είναι κεντραρισμένος γύρω από τον άξονα (κορμό) του ήλου και επίπεδος με την φέρουσα επιφάνεια του σκυροδέματος.

- Εάν ο ήλος δοκιμάζεται για να διαρρηγνύσει (θραύσει) το σκυρόδεμα, φορτίζουμε με τέτοια ομοιόμορφη ταχύτητα, η οποία θα έχει σαν αποτέλεσμα την επίτευξη θραύσης εξόλκευσης σε 120 ± 30 sec. Καταγράφουμε τη μέγιστη μέτρηση διαβάζοντας στο πλησιέστερο 5 της ελάχιστης υποδιαίρεσης στον δίσκο του οργάνου.
- Εάν ο ήλος δοκιμάζεται μόνο για να καθορισθεί ένα επίπεδο αποδοχής, φορτίζουμε με τέτοια ομοιόμορφη ταχύτητα, που θα φθάσει το καθορισμένο επίπεδο σε 120 ± 30 sec.

Παρακάτω παρουσιάζονται φωτογραφίες από την πειραματική πορεία δοκιμής της εξόλκευσης του ήλου.



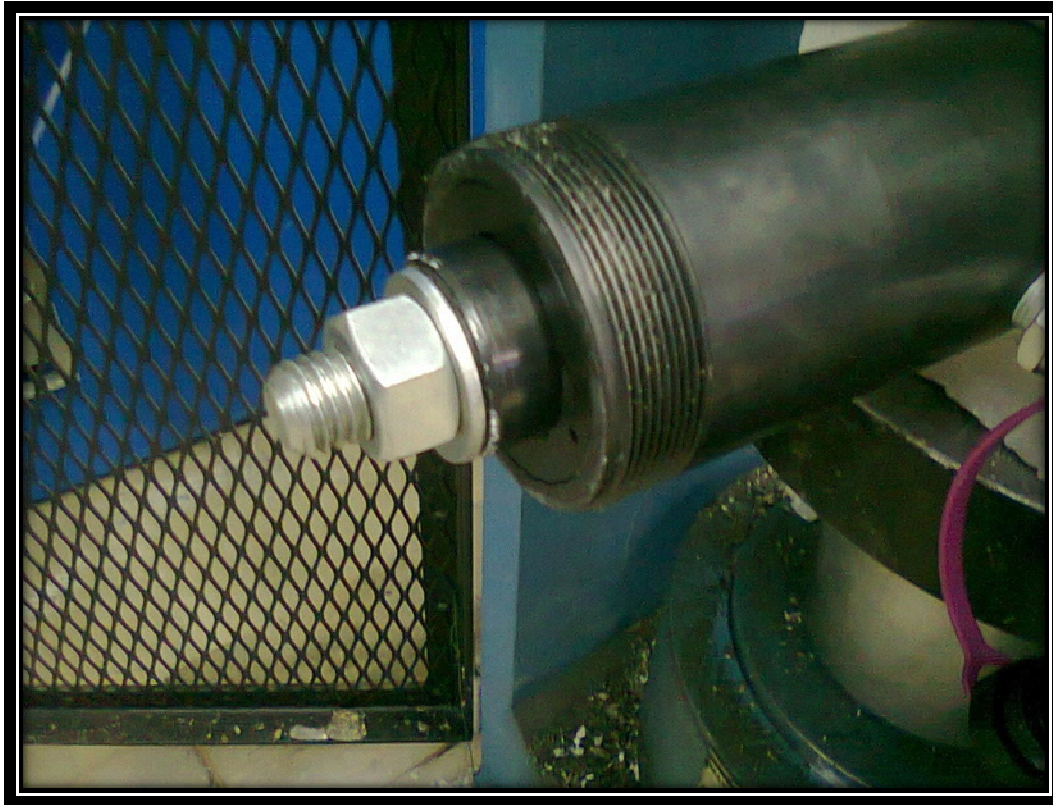
Σχήμα 1.10.6 Το κυβικό δοκίμιο έτοιμο να δοκιμαστεί. Έχει τοποθετηθεί στην πρέσσα για την πλήρη ακινητοποίησή του



Σχήμα 1.10.7 Το πρισματικό δοκίμιο έτοιμο να δοκιμαστεί στον δεύτερο ήλο. Ο πρώτος ήλος έχει εξολκευθεί. Παρατηρούμε τον τρίτο ήλο μέσα στο νωπό σκυρόδεμα.



Σχήμα 1.10.8 Ήλοι που έχουν εξολκευθεί στο πρισματικό δοκίμιο.



Σχήμα 1.10.9 Το σύστημα φόρτισης στο τέλος της εξόλκευσης.



Σχήμα 1.10.10 Η κωνική αστοχία στο σύστημα φόρτισης.



Σχήμα 1.10.11 Η κωνική αστοχία. Σκυρόδεμα πάνω στον ήλο.



Σχήμα 1.10.12 Το πείραμα κατά την διάρκεια της εξόλκευσης του ήλου.

1.10.9.Υπολογισμοί.

Για να μπορέσουμε να εκτιμήσουμε τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος και το ποσοστό προσέγγισης της μεθόδου εξόλκευσης του ήλου σε σχέση με την αντοχή του πρότυπου κυβικού δοκιμίου, κατασκευάσαμε και εξετάσαμε δοκίμια, χωρίς έμπηξη ήλου, στη μηχανή θλίψης (πρέσσα) για κάθε μια κατηγορία ξεχωριστά. Έτσι βρήκαμε ένα Μ.Ο. αντοχής του σκυροδέματος για κάθε μια κατηγορία.

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δοκιμής θλίψεως για κάθε μια κατηγορία σκυροδέματος.

Κυβικά δοκίμια διαστάσεων 150*150 mm			
Κατηγορία	Αστοχία σκυροδέματος σε KN	Αντοχή σε θλίψη 28 ημέρες μετά σε MPa	M.O. αντοχής MPa
C16/20	512,5	22,77	22,83
	515	22,88	
C20/25	625,5	27,8	27,85
	628	27,91	
C25/30	729,5	32,42	32,48
	732,5	32,55	
C30/37	877	38,97	38,94
	875,5	38,91	
C40/50	1171,5	52,06	52,1
	1173	52,13	

Κυβικά δοκίμια διαστάσεων 100*100 mm			
Κατηγορία	Αστοχία σκυροδέματος σε ΚΝ	Αντοχή σε θλίψη 28 ημέρες μετά σε ΜΡα	Μ.Ο. αντοχής ΜΡα
C16/20	224,5	22,45	22,56
	226,7	22,67	
C25/30	324,8	32,48	32,7
	329,2	32,92	
C20/25	264,5	26,45	26,68
	269	26,9	

Μ.Ο. Αντοχής όλων των δοκιμίων κάθε κατηγορίας		
Κατηγορία	Αντοχή δοκιμίου σε MPa	Τελικός Μ.Ο. αντοχής σε MPa
C16/20	22,83 (κυβικό 150*150 mm)	22,7
	22,56 (κυβικό 100*100 mm)	
C20/25	27,85 (κυβικό 150*150 mm)	27,27
	26,68 (κυβικό 100*100 mm)	
C25/30	32,48 (κυβικό 150*150 mm)	32,59
	32,7 (κυβικό 100*100 mm)	
C30/37	38,94 (κυβικό 150*150 mm)	38,94
C40/50	52,1 (κυβικό 150*150 mm)	52,1

1.10.10 Αποτελέσματα της δοκιμής

Μετατρέπουμε τις ενδείξεις του συστήματος μέτρησης φορτίου της δοκιμής, σε φορτίο με βάσει τα δεδομένα βαθμονόμησης.

Όταν ζητείται ο υπολογισμός της τάσης, υπολογίζουμε την τάση εξόλκευσης διαιρώντας τη δύναμη εξόλκευσης προς την επιφάνεια που προέκυψε από την θραύση (αστοχία) εξόλκευσης.

$$f_p = \frac{F}{A} \text{ (MPa)}$$

$$A = \frac{\pi}{4} (d_1 + d_2) \sqrt{4h^2 + (d_3 - d_2)^2} \text{ (mm}^2\text{)}$$

Όπου:

d_1 : Η διάμετρος του κάτω μέρους του κορμού του ήλου.

f_p : Η Αντοχή Εξόλκευσης σε MPa.

F: Η δύναμη εξόλκευσης σε N.

A: Η επιφάνεια της περιοχής αστοχίας σε mm².

d_2 : Η διάμετρος της κεφαλής εξόλκευσης του ήλου σε mm.

d_3 : Η εσωτερική διάμετρος του φέροντος δακτυλίου ή η μεγαλύτερη διάμετρος του (υποτιθέμενου) κόλουρου κώνου σε mm.

h: Το ύψος του (υποτιθέμενου) κόλουρου κώνου από την κεφαλή του ήλου μέχρι τη μεγαλύτερη βάση της επιφάνειας του σκυροδέματος σε mm.

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά η δύναμη εξόλκευσης, οι αντοχές του σκυροδέματος για κάθε κατηγορία και τα ποσοστά προσέγγισης στο πρότυπο κυβικό δοκίμιο για όλες τις δοκιμές που έγιναν στο εργαστήριο.

Κυβικά δοκίμια διαστάσεων 150*150 mm					
Κατηγορία	Δύναμη εξόλκευσης Kgf	Αντοχή κυβικού δοκιμίου Mpa	Μ.Ο. Αντοχής Mpa	Αντοχή Πρότυπου κυβικού δοκιμίου <δοκιμή Θλίψης> MPa	Ποσοστό προσέγγισης στο πρότυπο κυβικό δοκίμιο
C16/20	4900	18,684	18,779	22,7	82,72 %
	4950	18,875			
	4850	18,493			
	5000	19,065			
C20/25	5750	21,925	22,116	27,27	81,10 %
	5900	22,497			
	5800	22,116			
	5750	21,925			
C25/30	6850	26,119	26,119	32,59	80,14 %
	2500	9,532			
	6900	26,310			
	6800	25,929			
C40/50	9950	37,940	37,927	52,1	72,79 %
	9990	38,093			
	2000	7,626			
	9900	37,750			

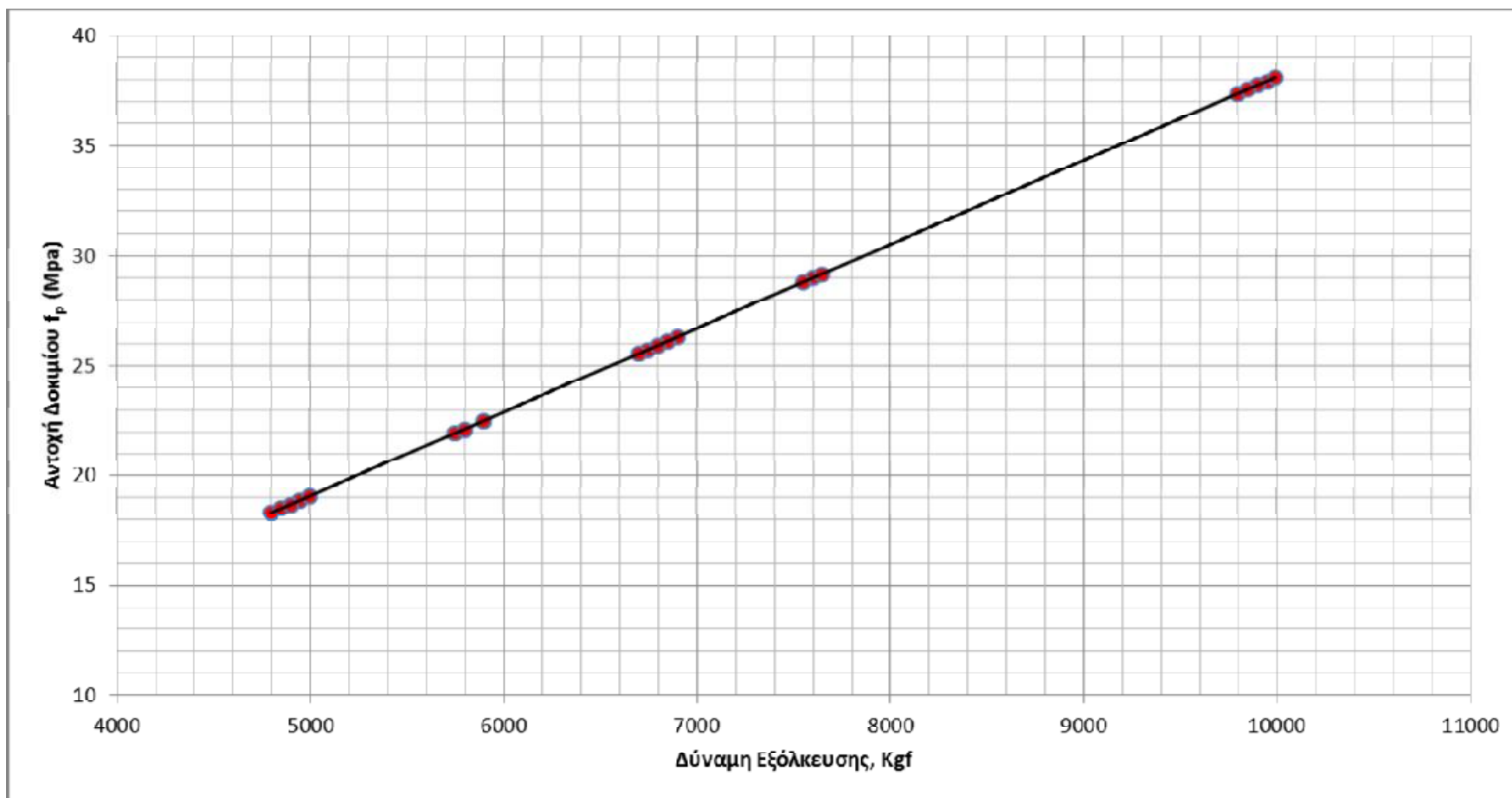
* Τα μαρκαρισμένα αποτελέσματα είναι πλασματικές τιμές. Αυτό προέκυψε από ποικίλους λόγους όπως για παράδειγμα λάθος κατανομή αδρανών ή λάθος συμπίκνωση ή εγκλωβισμένου αέρα στο σκυρόδεμα.

Πρισματικά δοκίμια διαστάσεων 450*150 mm <3 ήλοι στο κάθε δοκίμιο>					
Κατηγορία	Δύναμη εξόλκευσης Kgf	Αντοχή κυβικού δοκιμίου MPa	Μ.Ο. Αντοχής MPa	Αντοχή Πρότυπου κυβικού δοκιμίου <δοκιμή Θλίψης> MPa	Ποσοστό προσέγγισης στο πρότυπο κυβικό δοκίμιο
C16/20	4950	18,875	18,646	22,7	82,14 %
	4900	18,684			
	4800	18,303			
C16/20	5000	19,065			
	4800	18,303			
	3900	14,871			
C20/25	5750	21,925	22,179	27,27	81,33 %
	5900	22,497			
	5800	22,116			
C25/30	6850	26,119	25,802	32,59	79,17 %
	6700	25,547			
	6750	25,738			
C30/37	7600	28,979	28,979	38,94	74,42 %
	7650	29,170			
	7550	28,789			
C40/50	9800	37,368	37,559	52,1	72,09 %
	9900	37,750			
	9850	37,559			

* Τα μαρκαρισμένα αποτελέσματα είναι πλασματικές τιμές. Αυτό προέκυψε από ποικίλους λόγους όπως για παράδειγμα λάθος κατανομή αδρανών ή λάθος συμπίκνωση ή εγκλωβισμένου αέρα στο σκυρόδεμα.

Κυβικά δοκίμια διαστάσεων 100*100 mm					
Κατηγορία	Δύναμη εξόλκευσης Kgf	Αντοχή κυβικού δοκιμίου Mpa	Μ.Ο. Αντοχής Mpa	Αντοχή Πρότυπου κυβικού δοκιμίου <δοκιμή Θλίψης> MPa	Ποσοστό προσέγγισης στο πρότυπο κυβικό δοκίμιο
C16/20	4800	18,303	18,493	22,7	81,47 %
	4850	18,493			
	4900	18,684			
C25/30	6700	25,547	25,738	32,59	78,97 %
	6800	25,929			
	2100	8,007			

* Τα μαρκαρισμένα αποτελέσματα είναι εσφαλμένες τιμές και δεν συμπεριλήφθηκαν στο Μ.Ο. Αυτή η αστοχία προέκυψε από ποικίλους λόγους όπως για παράδειγμα λάθος κατανομή αδρανών ή λάθος συμπύκνωση ή λόγω ύπαρξης εγκλωβισμένου αέρα στο σκυρόδεμα.



Σχήμα 1.10.13. Το νέφος των σημείων και η γραφική απεικόνιση όλων των πειραμάτων.

1.10.11. Συμπεράσματα για την μέθοδο εξόλκευσης Lok.

Για την μέθοδο της εξόλκευσης του ήλου (Lok) παρατηρούμε από τα παραπάνω στοιχεία ότι το ποσοστό προσέγγισης για όλες τις κατηγορίες κυμαίνεται από 72-82 %.

Ειδικότερα, όσο χαμηλότερη είναι η κατηγορία του σκυροδέματος, τόσο περισσότερο πλησιάζει η μέθοδος την αντοχή του πρότυπου κυβικού δοκιμίου. Ενώ όσο μεγαλώνει η κατηγορία του σκυροδέματος, τόσο περισσότερο αποκλίνει από την πρότυπη αντοχή του κυβικού δοκιμίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ
ΔΕΥΤΕΡΟ 2^ο

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο Εργαστήριο
2.1	Οπτικός έλεγχος	Με τον οπτικό έλεγχο εντοπίζονται και καταγράφονται οι φθορές - βλάβες που υπάρχουν σε ένα υφιστάμενο κτίριο	<p>Ο έλεγχος συνίσταται στην καταγραφή, πάνω σε σχέδια ή σκαριφήματα, των εξής στοιχείων:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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, κατάσταση τενόντων προεντάσεως (κώνοι αγκυρώσεως, σωλήνες και καλώδια προεντάσεως, κατάσταση τσιμεντενέματος) 	<p>ACI201.1R</p> <p>ACI207.3R</p> <p>ACI224.1R</p> <p>ACI326R</p>	+	+	+	+	

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο Εργαστήριο
2.2	Κρουσίμετρο	Έμμεση μέθοδος η οποία βασίζεται στην μέτρηση της επιφανειακής σκληρότητας σκυροδέματος, λίθων και κονιάματος	Μέθοδος για: <ul style="list-style-type: none"> • τον έμμεσο προσδιορισμό θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος, λίθων ή κονιάματος, • έλεγχο ομοιομορφίας • έλεγχο επιφανειακής σκληρότητας και ομοιογένειας υλικών δομήσεως, κυρίως του σκυροδέματος 	ASTM C805 RILEM NDT3 BSI 1881/202 ISO DIS8145	+	+		+	+

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο Εργαστήριο
2.3	Ραδιο-γραφική μέθοδος	Μη καταστροφική μέθοδος η οποία βασίζεται στην προσβολή της ελεγχόμενης επιφάνειας με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που διέρχεται δια μέσου της μάζας του δομικού στοιχείου	Μέθοδοι για : <ul style="list-style-type: none"> • Μέτρηση πυκνότητας του δομικού στοιχείου, • εντοπισμός οπλισμών και κενών - σπηλαιώσεων στην μάζα του δομικού στοιχείου 	BS 1881/205 ASTM C1040	+	+		+	

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο Εργαστήριο
2.4	Μαγνητικές μέθοδοι	Μη καταστροφικές μέθοδοι οι οποίες βασίζονται στην μεταβολή του μαγνητικού πεδίου από την παρουσία του χάλυβα σε δομικό στοιχείο	Μέθοδοι προσδιορισμού <ul style="list-style-type: none"> • θέσεως χάλυβα, • εκτίμηση διαμέτρου και • επικάλυψης οπλισμού. 	BS 1881/204		+		+	+

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο Εργαστήριο
2.5	Υπέρυθρη Φωτογράφηση	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	Μέθοδος για : <ul style="list-style-type: none"> Έλεγχο ρωγμών και αποφλοιώσεων σε δάπεδα και καταστρώματα γεφυρών, έλεγχο υγρασίας σε κτίρια, έλεγχο ιστορικών κτιρίων, εντοπισμό διαφορετικών υλικών 	ASTM D4788	+	+		+	+

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο Εργαστήριο
2.6	Ραντάρ	Μη καταστροφική μέθοδος η οποία βασίζεται στην μελέτη της ανακλάσεως ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων καθώς διέρχονται από υλικά με διαφορετικές διηλεκτρικές σταθερές.	Μέθοδος για : <ul style="list-style-type: none"> • Τον προσδιορισμό μεταλλικών αντικειμένων και κενών σε δάπεδα, • Τον προσδιορισμό σε περιοχές με αυξημένη υγρασία, • εκτίμηση του πάχους στοιχείων 	ASTM D4748		+		+	

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο Εργαστήριο
2.7	Ενδοσκόπηση	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: <ul style="list-style-type: none"> • Εντοπισμό κοιλοτήτων, κενών, φωλεών σε σκυρόδεμα ή τοιχοποιία • Κατάσταση οπλισμού (διαβρωμένων ή μή) κυρίως προεντεταμένων στοιχείων • Κατάσταση / πληρότητα ενέσεων (κόλλας ή ενεμάτων) 		+	+	+	+	

Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο Εργαστήριο
2.8	Μέτρηση εύρους ρωγμών – έλεγχος παραμορφώσεων	Μη καταστροφικές μέθοδοι με τις οποίες γίνεται μέτρηση και παρακολούθηση των παραμορφώσεων σε δοκιμές που γίνονται στο εργαστήριο ή επί τόπου του έργου	<p>Ο έλεγχος / μέτρηση γίνεται με τα παρακάτω όργανα:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ακουστικά μηκυσιόμετρα • Μηχανικά μηκυσιόμετρα • Ηλεκτρικά μηκυσιόμετρα • Μετρητές μετακινήσεων <p>Εφαρμόζονται για την :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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
2.9	Κρουστικές μέθοδοι	Έμμεσες μέθοδοι οι οποίες βασίζονται στην ανάλυση συχνοτήτων των παλμών κατά την διάδοσή τους διαμέσου του σκυροδέματος	Μέθοδοι για : <ul style="list-style-type: none"> • τον προσδιορισμό κακοτεχνιών στο εσωτερικό στοιχείων από σκυρόδεμα, • την εκτίμηση πάχους επιφανειακών στοιχείων και του μήκους γραμμικών στοιχείων (πασάλων) 	ASTM D4580 ASTM C1383	+	+		+	+

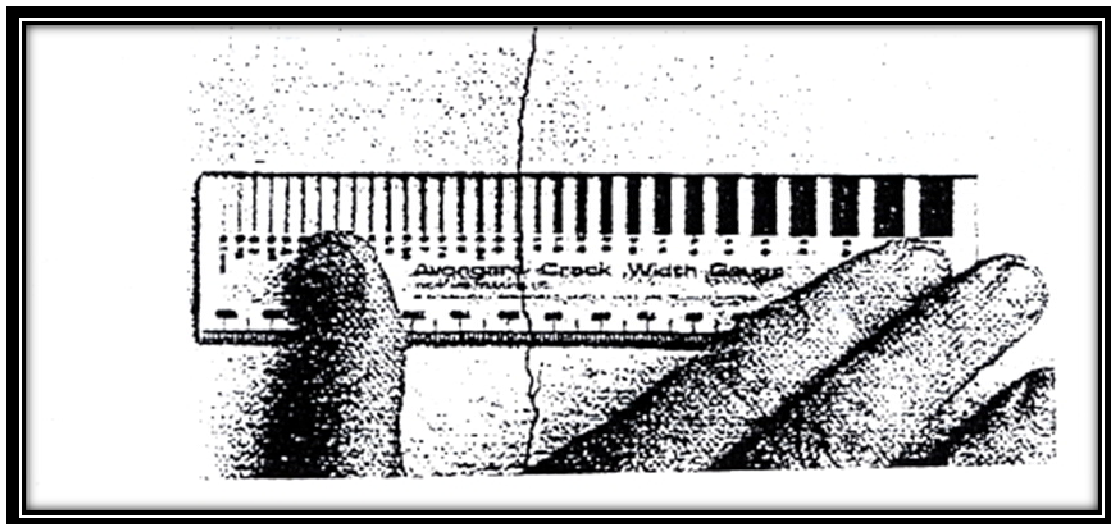
Α/α	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρό-δεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο Εργαστήριο
2.10	Δοκιμαστικές φορτίσεις (στατικές ή δυναμικές)	Μη καταστροφικές μέθοδοι με τις οποίες γίνεται πειραματικός έλεγχος της φέρουσας ικανότητας ή των 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 <ul style="list-style-type: none"> 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 <ul style="list-style-type: none"> προσδιορισμός δυναμικών χαρακτηριστικών (ιδιοπερίοδος και απόσβεση) 	ACI 437 ACI 318	+	+	+	+	

A/a	Μέθοδος	Περιγραφή	Εφαρμογές	Σχετικά Πρότυπα ή οδηγίες	Εφαρμογή σε κτίρια από:			Εφαρμογή:	
					Τοιχοποιία	Σκυρόδεμα	Ξύλο	Επί τόπου	Στο Εργαστήριο
2.11	Μέθοδος τασικών κυμάτων - Υπέρηχοι	Έμμεσες 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)	<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Προσδιορισμός θλιπτικής αντοχής του δομικού στοιχείου. • Εντοπισμός κοιλιοτήτων στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων. • Εκτίμηση βάθους επιφανειακών ρωγμών • Προσδιορισμός ομοιομορφίας • Αποτίμηση βάθους στρώματος δομικού στοιχείου που έχει υποστεί φθορά 	<p>ISO 8047</p> <p>ASTM C597</p> <p>RILEM NDT1</p> <p>BSI 1881/203</p>	+	+	+	+	+

2.1.Οπτικός έλεγχος.

Εκτός της επιθεώρησης που είναι ο πρώτος οπτικός έλεγχος και περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο, 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 όπως στο παρακάτω σχήμα.
- η χρήση **ενδοσκοπίου** η οποία περιγράφεται σε παρακάτω παράγραφο.

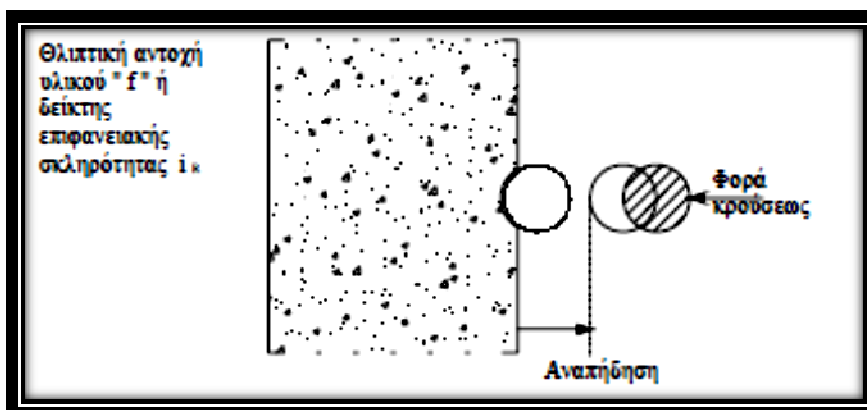


Σχ. 2.1.1 Εκτίμηση εύρους ρωγμής (Καραντώνη)

2.2.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 κρουσιμέτρου 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.



Σχήμα. 2.2.1 Αρχή της μεθόδου

Πριν την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται απομάκρυνση των επιχρισμάτων και τοπική λείανση των δομικών στοιχείων στις θέσεις εφαρμογής. Απαιτούνται 10 τουλάχιστον κρουσιμετρήσεις 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 έλεγχό 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%.

2.2.1. 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, NDT31984, 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 δοκιμίων:

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 δοκιμίων (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 10οC έως 30οC. Μετρήσεις που γίνονται σε χαμηλές θερμοκρασίες (κοντά στους 0οC) 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:

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

όπου:

x :το βάθος ενανθρακώσεως σε mm

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

$f_c(act)$: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 μετρήσεων-μας σύμφωνα με τις οδηγίες που δίνονται στο εγχειρίδιο του οργάνου (RILEM NDT2, NDT3 1984, BSI 1881/202 1986).

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 (Faccaoru 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:

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

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 δοκιμών. 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 BSI1881/202 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.

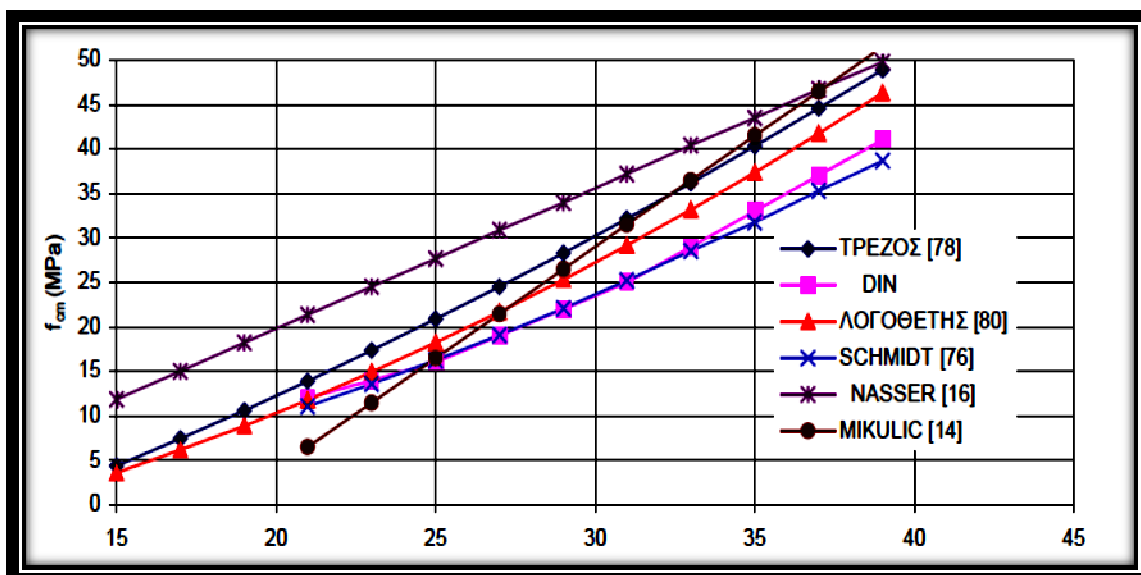
2.2.2.Μέθοδος συσχέτισεως αντοχής συμβατικών δοκιμών και δείκτη επιφανειακής σκληρότητας:

Στο Σχ. 2.2.2 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 δοκιμίων (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. Κύβιοι 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:

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

Μέση θλιπτική αντοχή σκυροδέματος της ενδείξεως του κρουσιμέτρου



Ένδειξη κρουσιμέτρου R

Σχ. 2.2.2 Καμπύλες συσχέτισεως μέσης θλιπτικής αντοχής και ενδείξεως του κρουσιμέτρου (Τρέζος et al 1996)

Στον πίνακα 2.1 δίνονται στοιχεία από την διεθνή βιβλιογραφία (A. Neville 1975 & Taywood Eng. Ltd 1986) για ποιοτική κατάταξη του σκυροδέματος αναλόγως των ενδείξεων του κρουσιμέτρου.

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

Πίνακας 2.1

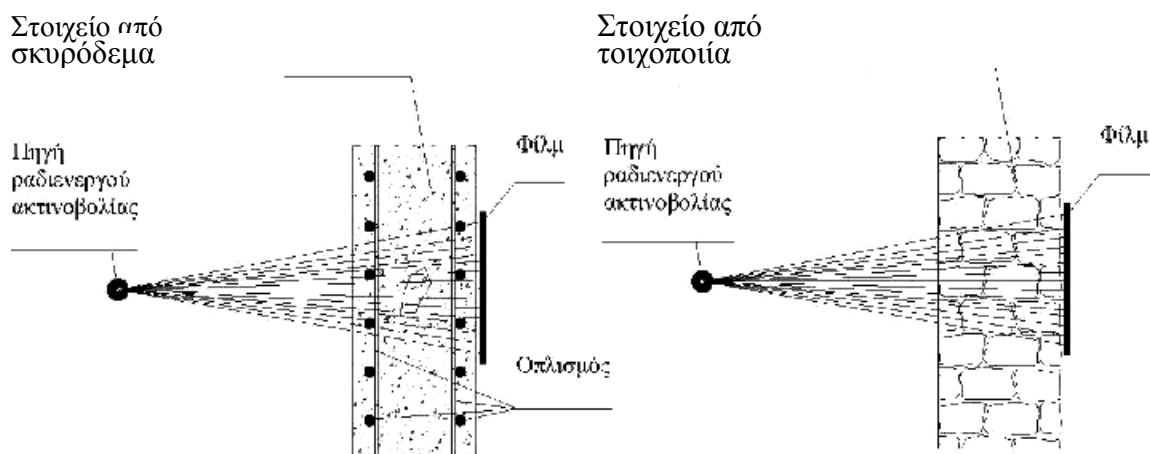


Σχήμα 2.2.3. Μέτρηση επιτόπου του έργου.

2.3. 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.



Σχήμα.2.3.1 Αρχή μεθόδου

2.4. 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.

2.4.1. 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:

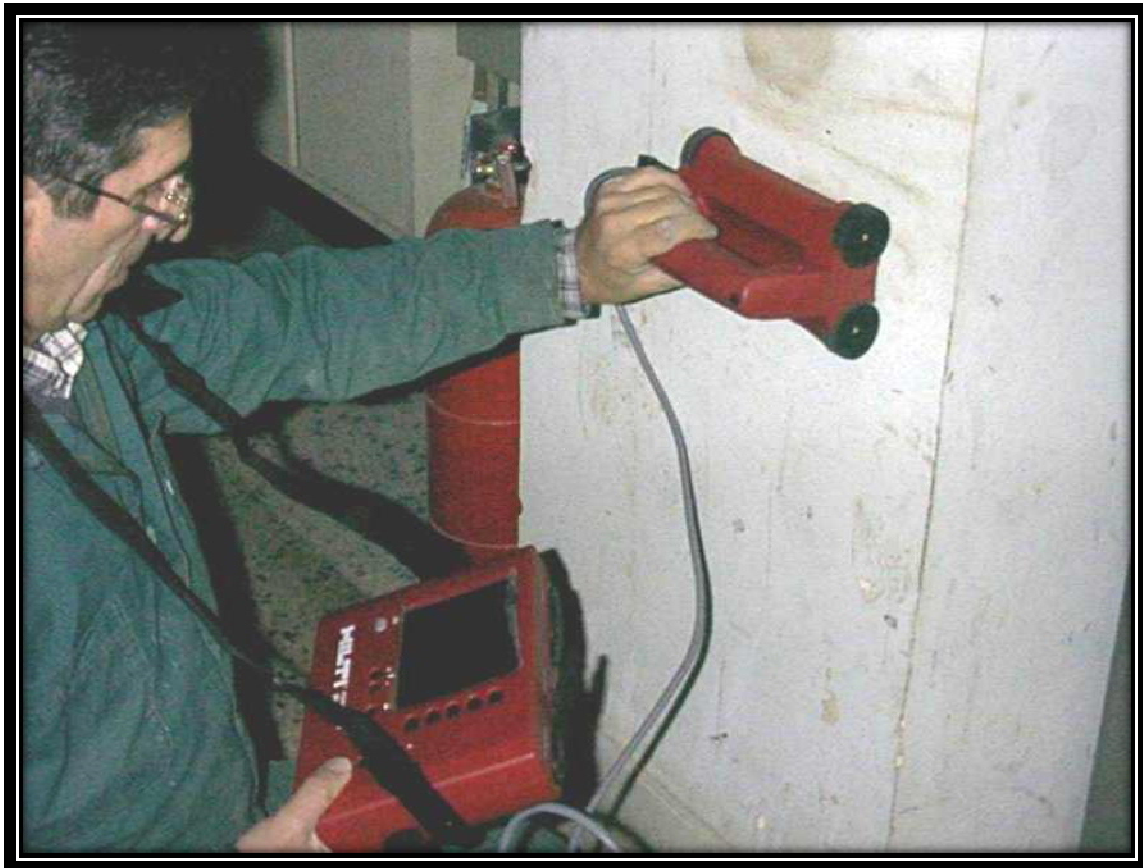
- σε αυτά που βασίζονται στην αρχή της μαγνητικής αντίστασης. Για δεδομένη επικάλυψη η ένδειξη του οργάνου εξαρτάται από το εμβαδόν της ράβδου και τις μαγνητικές ιδιότητές της (σύνθεση του κράματος και τύπος επεξεργασίας). Η ένδειξη επίσης εξαρτάται και από την παρουσία σιδηρούχων αδρανών στο σκυρόδεμα (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 μή μαγνητικά αντικείμενα.

2.4.2. Πλεονεκτήματα και όρια της μεθόδου:

Πρόκειται για καθαρά μή 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 εξεταζομένης 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 αυξανομένης 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.

Παρακάτω παρουσιάζονται φωτογραφίες μετρήσεων επιτόπου του έργου με μαγνητικές μεθόδους:





Σχήμα.2.4.1 Εξοπλισμός μαγνητικών μεθόδων.

2.5. 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.

2.5.1. 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. Αυξανόμενη 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 θερμογράφιση 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 0oC
- κατά την νυκτερινή θερμογράφιση δεν θα πρέπει να υπάρχουν σύννεφα (γιατί αντανακλούν την υπέρυθη ακτινοβολία)
- η θερμογράφιση 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.

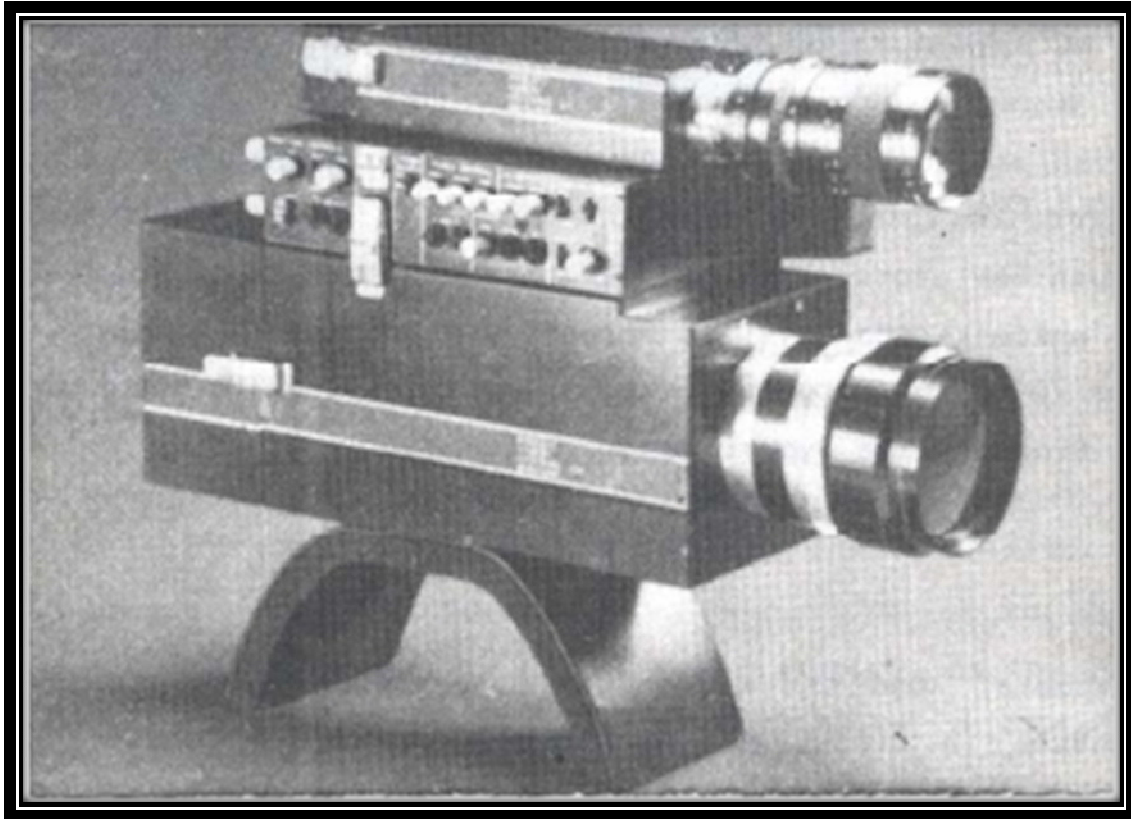
2.5.2. Ο εξοπλισμός:

Το σύστημα αποτελείται από τρία μέρη:

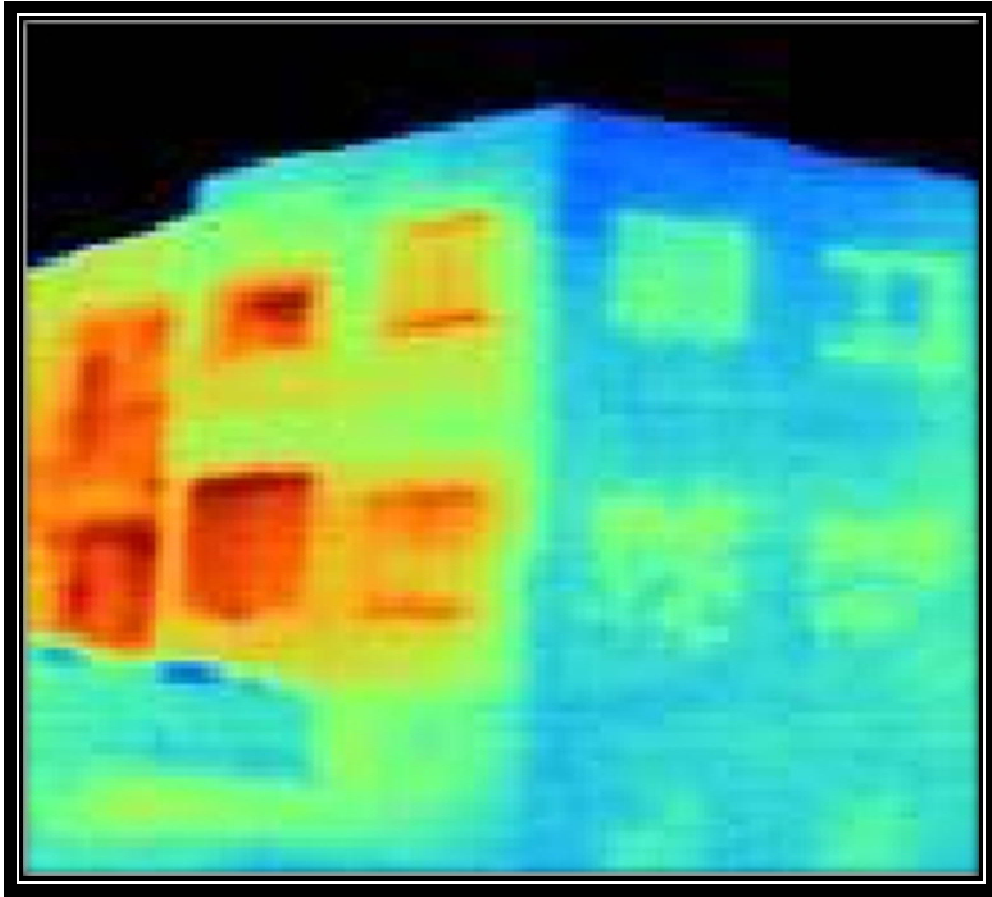
- τον ανιχνευτή / σαρωτή: είναι ένα είδος οπτικής κάμερας οι φακοί της οποίας επιτρέπουν την διέλευση υπέρυθρης ακτινοβολίας μήκους κύματος από 3 έως 5.6μm (βραχέα κύματα) ή 8 έως 12μm (μεσαία κύματα)
- το σύστημα συλλογής και ανάλυσης δεδομένων με το οποίο ψηφιοποιούνται τα δεδομένα και στην συνέχεια 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 υπέρυθη εικόνα οφείλονται στην επιφανειακή ικανότητα εκπομπής ακτινοβολίας ή σε εσωτερικά αίτια (π.χ. επιφανειακά μπαλώματα ή τοπικά βαψίματα έχουν διαφορετική εκπομπή ακτινοβολίας από την υπόλοιπη επιφάνεια).

2.5.3. 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' ότι 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.



Σχήμα.2.5.1 Μηχανή υπέρυθρης φωτογράφισης



Σχήμα.2.5.2 Μηχανή υπέρυθρης φωτογράφισης και υπέρυθρη φωτογραφία.

2.6. 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.

2.6.1 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. Έτσι 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 αντιστοιχών υλικών).

2.6.2.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).

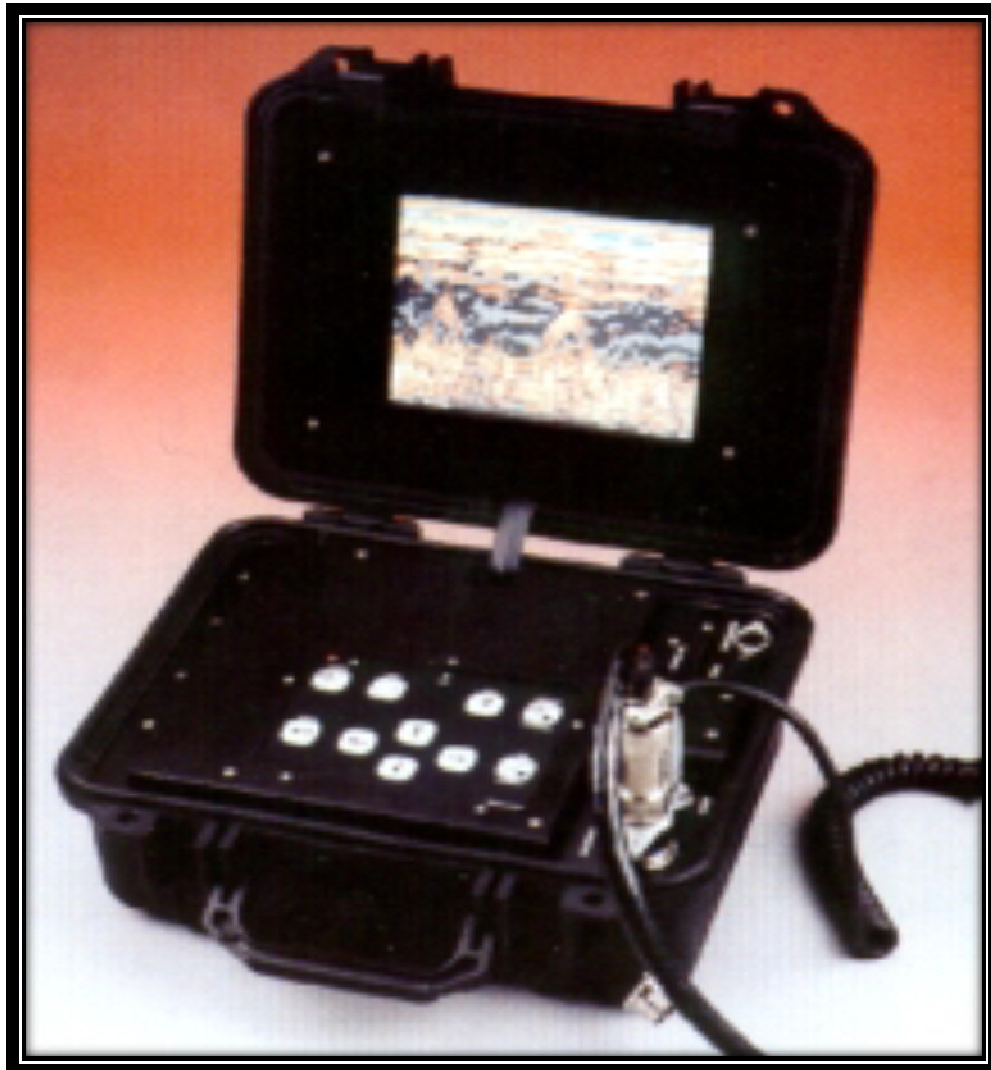
Για την επεξεργασία των δεδομένων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή απαιτούνται εξειδικευμένα λογισμικά προγράμματα.

2.6.3. Πλεονεκτήματα και όρια της μεθόδου:

Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου κατατάσσονται η ικανότητα διεισδύσεως και ο προσδιορισμός μή 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 0.1m², 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 αντανακλάσεως, 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.



Σχήμα.2.6.1 Αντένα Radar (διακρίνεται και η κεντρική μονάδα)



Σχήμα.2.6.2 Αντένα Radar (κεντρική μονάδα)

2.7 Ενδοσκόπηση

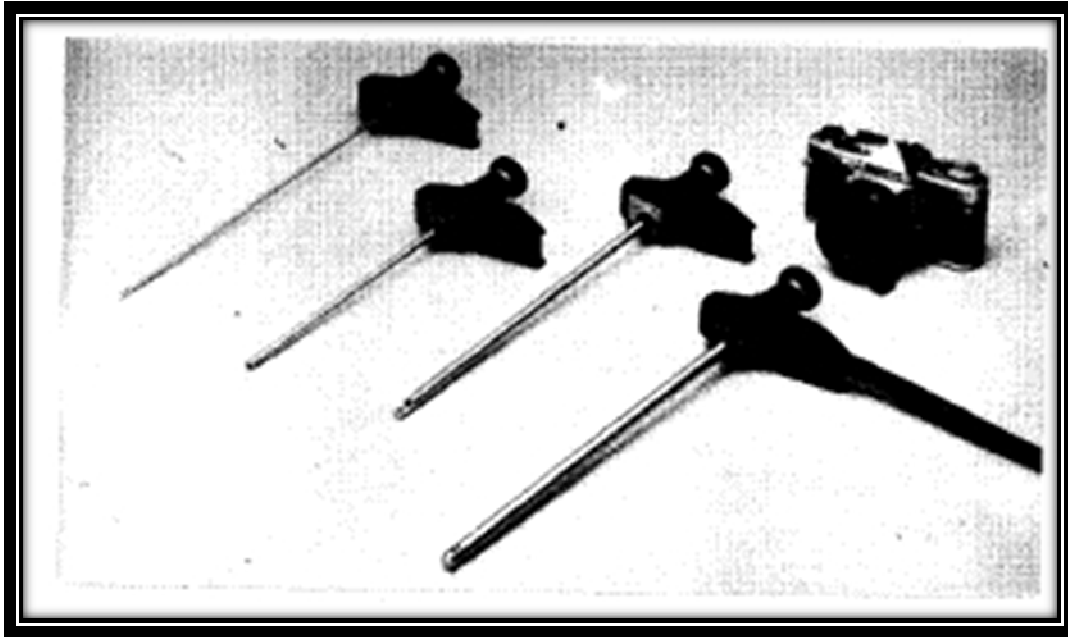
Ανήκει στην κατηγορία των μη καταστρεπτικών μεθόδων. Μέσω της μεθόδου αυτής είναι δυνατή η παρατήρηση του μετώπου, αλλά και των παραπλεύρων επιφανειών της διατρήσεως και καταγραφή ενδεχομένων κοιλοτήτων, υπάρξεως κενών, ρωγμών στο εσωτερικό δομικών στοιχείων (σκυροδέματος, τοιχοποιίας ή ξύλου) ή μέτρηση 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 ινδοσκόπια) 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, 10-15mm, 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)

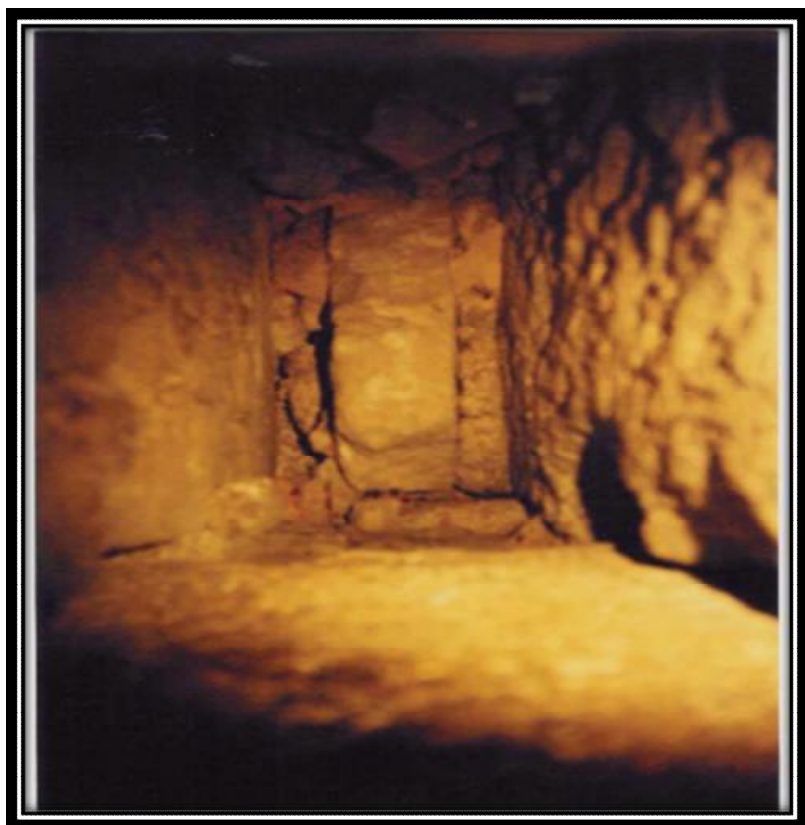
Η βασική συσκευή ενός ενδοσκοπίου αποτελείται από τα εξής:

- 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 παρακολουθήσεως και πηγή φωτισμού. Επίσης είναι δυνατόν να προσαρμοσθεί φωτογραφική μηχανή ή βιντεοκάμερα για την καταγραφή των παρεχομένων 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 παρεχομένων 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 φαίνεται στις παρακάτω φωτογραφίες:



Σχήμα.2.7.1 Εξοπλισμός ενδοσκοπίου



Σχήμα.2.7.2 Εικόνα από το ενδοσκόπιο



Σχήμα.2.7.3 Εξοπλισμός ενδοσκοπίου (Ενδοσκόπια, πηγή φωτισμού, φωτογραφική μηχανή)

2.8. 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 αιτίων 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 μηκυσιόμετρα έως πολύπλοκες συσκευές Laser, οι οποίες αναλόγως του αν χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση μακροχρονίων 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.

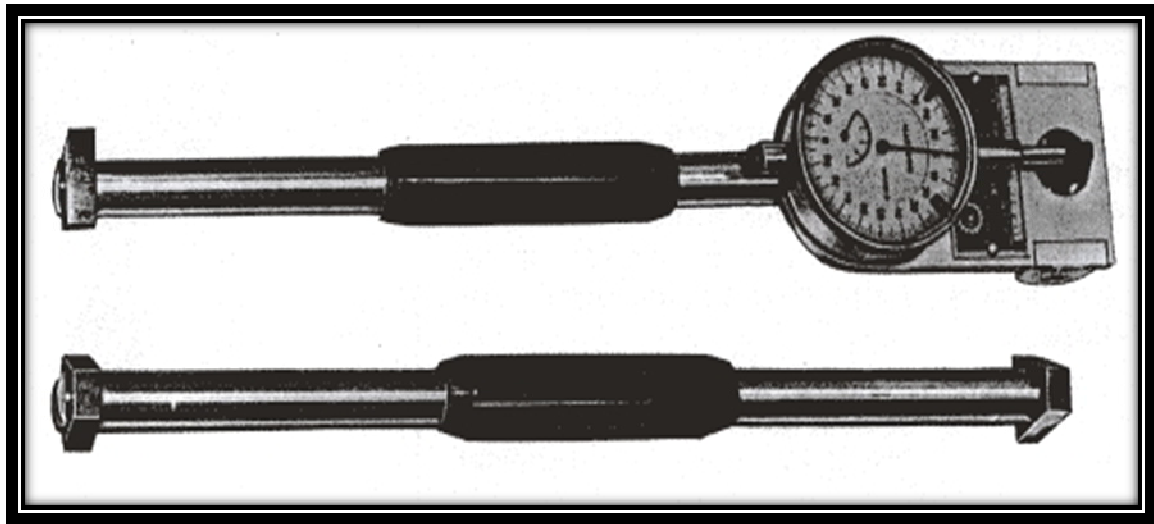
Τα όργανα τα οποία χρησιμοποιούνται για καταγραφή παραμορφώσεων είναι:

- ακουστικά μηκυσιόμετρα
- μηχανικά μηκυσιόμετρα
- ηλεκτρικά μηκυσιόμετρα
- μετρητές μετακινήσεων

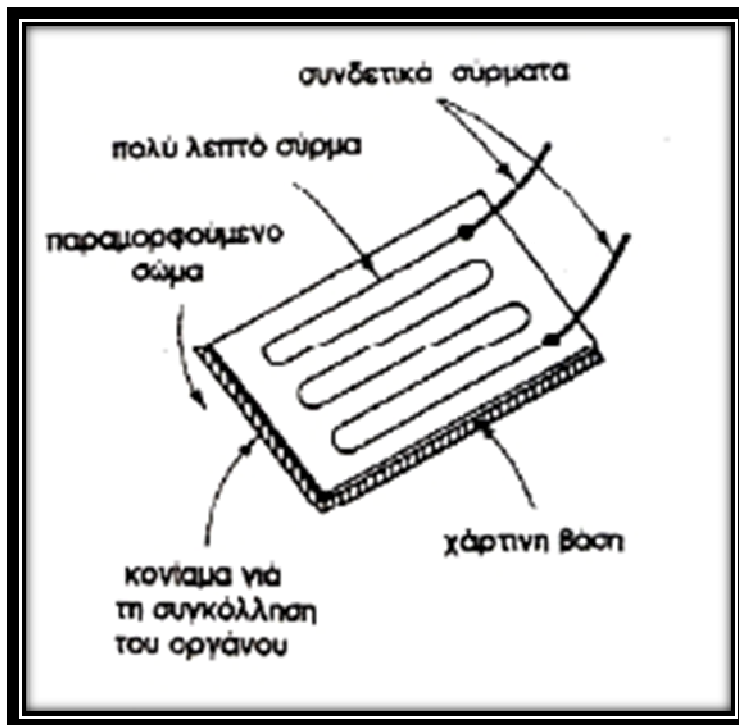
Παρακάτω παρουσιάζονται σε φωτογραφίες τα όργανα για την καταγραφή των παραμορφώσεων:



Σχήμα.2.8.1 Ακουστικό μηκυνσιόμετρο



Σχήμα 2.8.2. Μηχανικό μηκυσιόμετρο



Σχήμα 2.8.3. Ηλεκτρικό μηκυνσιόμετρο

2.9. Κρουστικές μέθοδοι

Ένα 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). Έτσι αντανακλάσεις μπορούν να επιστρέψουν από όλες τις διευθύνσεις. Το γεγονός αυτό δυσχεραίνει την ανάλυση του επιστρέφοντος σήματος. Ένα 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.

2.10. 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 δοκιμαζόμενων 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.

2.10.1 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 ηλεκτρομηκυσιόμετρα). 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 αστοχίες 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 ελεύθερος 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 εκτέλεσης 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.

2.10.2 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 : $f_{\pi\lambda} \leq 1/4f_{\sigma\lambda}$

2.10.3 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 **εξαναγκασμένων ταλαντώσεων** ελεγχόμενου αιτίου διεγέρσεως: γεννήτριες ταλαντώσεων, άνθρωπος, δονητικές τράπεζες (μόνον για εργαστηριακές δοκιμές) ανεξέλεγκτου αιτίου διεγέρσεως: άνεμος, κυκλοφορία οχημάτων, εκρήξεις, σεισμός.

2.11. Μέθοδος τασικών κυμάτων – Υπέρηχοι

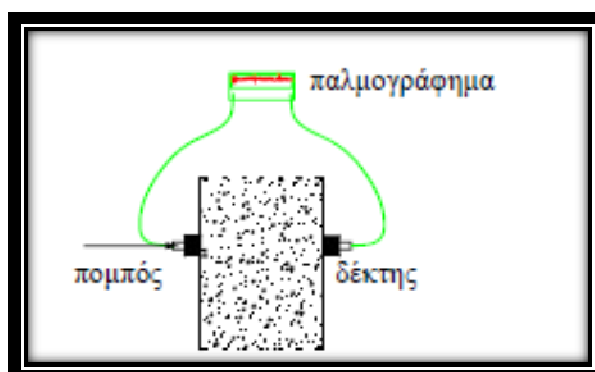
Διάφορες μέθοδοι βασιζόμενες στην διάδοση (τασικών) κυμάτων διαμέσου του σκυροδέματος χρησιμοποιούνται για τον μή καταστροφικό έλεγχο κατασκευών από σκυρόδεμα και τοιχοποιία. Στις μεθόδους αυτές ανήκουν η μέθοδος των υπερήχων καθώς και μια σειρά μεθόδων που βασίζονται στην ηχώ («αντήχηση», «αντίλαλο») εξ αντανακλάσεως 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

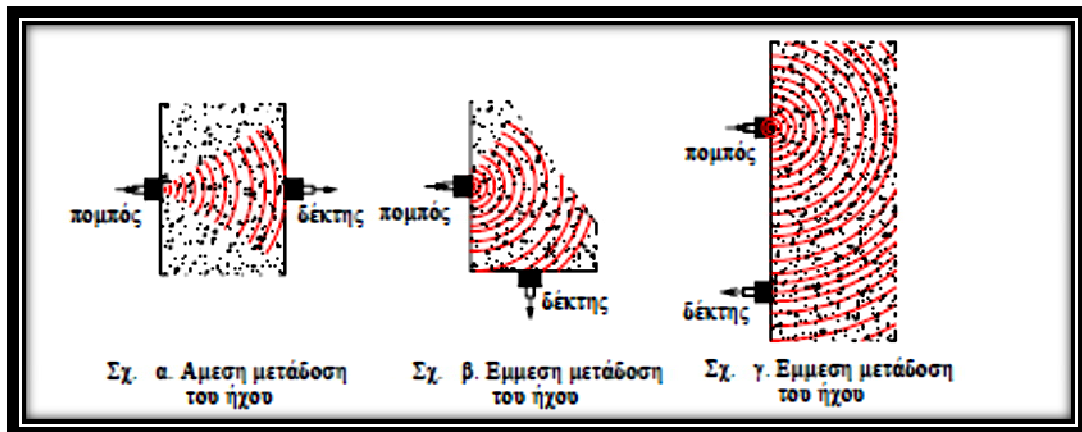
Είναι μια έμμεση μή καταστροφική μέθοδος. Τα κύρια στοιχεία της συσκευής των υπερήχων φαίνονται στο σχήμα 2.11.1: η συσκευή αποτελείται από δύο κρυστάλλους εκ των οποίων ο ένας είναι πομπός και ο άλλος δέκτης. Οι δύο κρύσταλλοι τοποθετούνται αντικριστά σε δύο παράλληλες επιφάνειες του υπό εξέταση στοιχείου.



Σχ. 2.11.1 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 2.11.2). Ο πρώτος είναι τοποθετώντας τους δύο κρυστάλλους σε δύο αντικριστές πλευρές του προς εξέταση δοκιμίου (direct transmission), (βλ. Σχ 2.11.2α) ο δεύτερος τοποθετώντας-τους σε δύο κάθετες μεταξύ τους πλευρές (semi- direct transmission), (βλ. Σχ 2.11.2β) ενώ στον τρίτο οι κρύσταλλοι τοποθετούνται στην μοναδική προσιτή πλευρά του δομικού στοιχείου (indirect or surface transmission) (βλ. Σχ 2.11.2γ).



Σχ.2.11.2 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 τις 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 σκυρόδεμα 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 +/- 1% κατά ISO DIS 8047 (1982) ή +/- 2% κατά ASTM C597 (1983).

2.11.1. 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 2.11.1:

Πίνακας 2.11.1 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 2.11.2 δίνονται οι διορθωτικοί συντελεστές, με τους οποίους

προσαυξάνεται (ή μειώνεται) η μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων, όταν η θερμοκρασία βρίσκεται εκτός του διαστήματος +5oC έως +30oC.

Πίνακας 2.11.2 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 2.11.3 για την επιλογή της συχνότητας ανάλογα με το μήκος διαδρομής.

Πίνακας 2.11.3 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 2.11.4 φαίνεται η συνιστώμενη ελάχιστη διάσταση του δοκιμίου συναρτήσει της συχνότητας του οργάνου και της ταχύτητας των υπερήχων κατά το BSI 1881/203 (1986).

Πίνακας 2.11.4 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:

a) Αξονες οπλισμών κάθετοι προς την διεύθυνση μετρήσεως:

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

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.

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

b) 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:

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

$$\text{Για } 4\{a/L\}^2 < (v_s - v_c) - (v_s + v_c)$$

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 (Popovics - Popovics 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 «v». Στον πίνακα 2.11.5 δίνονται οι αναγκαίες διορθώσεις που πρέπει να γίνονται για κάθε περίπτωση. Οι τιμές που παρατίθενται πρέπει να προστίθενται στις μετρούμενες ταχύτητες.

Πίνακας 2.11.5 Διόρθωση της ταχύτητας των υπερήχων συναρτήσει της εντατικής καταστάσεως (Λογοθέτης 1979).

Σκυροδέμα	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%

2.11.2 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

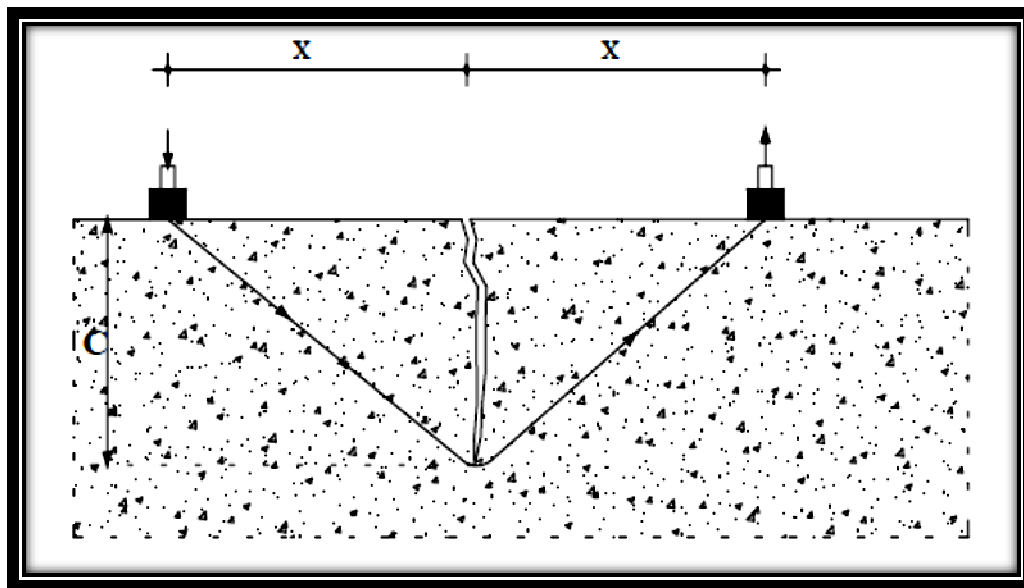
ομοιογένεια του σκυροδέματος του εξεταζόμενου στοιχείου. Η εκτίμηση του βάθους μιας επιφανειακής ρωγμής, κάθετης στην επιφάνεια, μπορεί να γίνει τοποθετώντας τους κρυστάλλους όπως φαίνεται στο Σχ. 2.11.3. Δίνουμε στο L τις τιμές 150mm και 300mm και μετράμε τους χρόνους διαδόσεως των υπερήχων t1 και t2. 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:

t1 : ο χρόνος διαδόσεως για L=150mm

t2 : ο χρόνος διαδόσεως για L=300mm



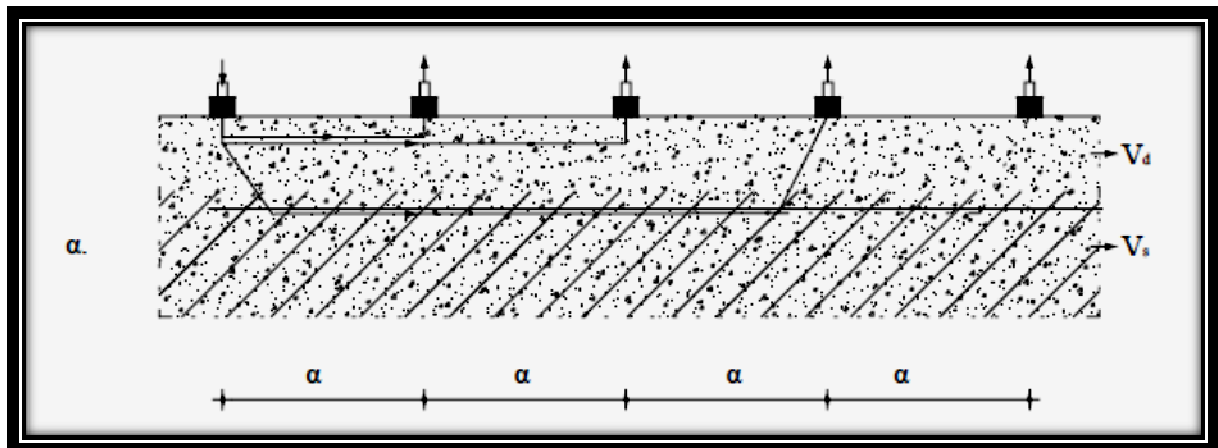
Σχ. 2.11.3 Εκτίμηση βάθους ρωγμής

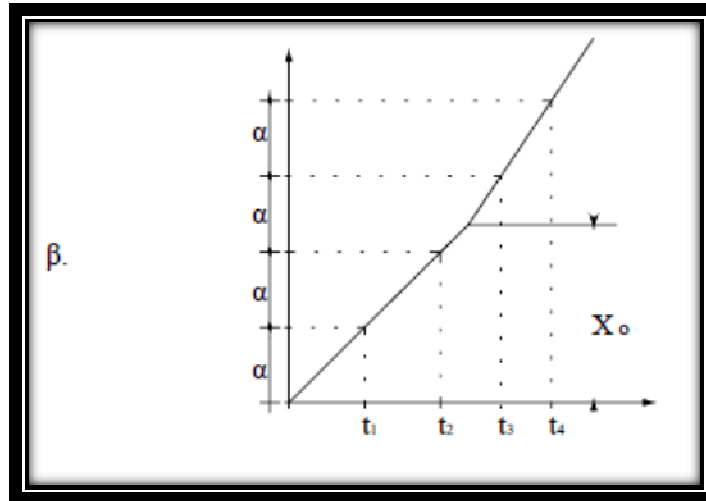
Η ύπαρξη εσωτερικών ρωγμών ή κενών προκαλούν περίθλαση των υπερήχων με αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου διαδόσεως των υπερήχων. Έτσι, αν δεν είναι γνωστή η εσωτερική κατάσταση του στοιχείου, η φαινομενικά μειωμένη ταχύτητα των υπερήχων, μπορεί να θεωρηθεί ότι οφείλεται στην μειωμένη αντοχή του σκυροδέματος Σχ. 2.11.3.

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.2.11.4α). Κάνοντας την γραφική παράσταση του χρόνου διαδόσεως συναρτήσει της απόστασης «x» των κρυστάλλων, η ύπαρξη κατεστραμμένης επιφάνειας φαίνεται από την αλλαγή της κλίσεως των δεδομένων (Σχ.2.11.4β). Η απόσταση x_0 όπου οι χρόνοι διαδόσεως των δύο διαδρομών είναι ίσοι βρίσκεται από την τομή των δύο ευθειών όπως φαίνεται στο Σχ. 2.11.4. 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):

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



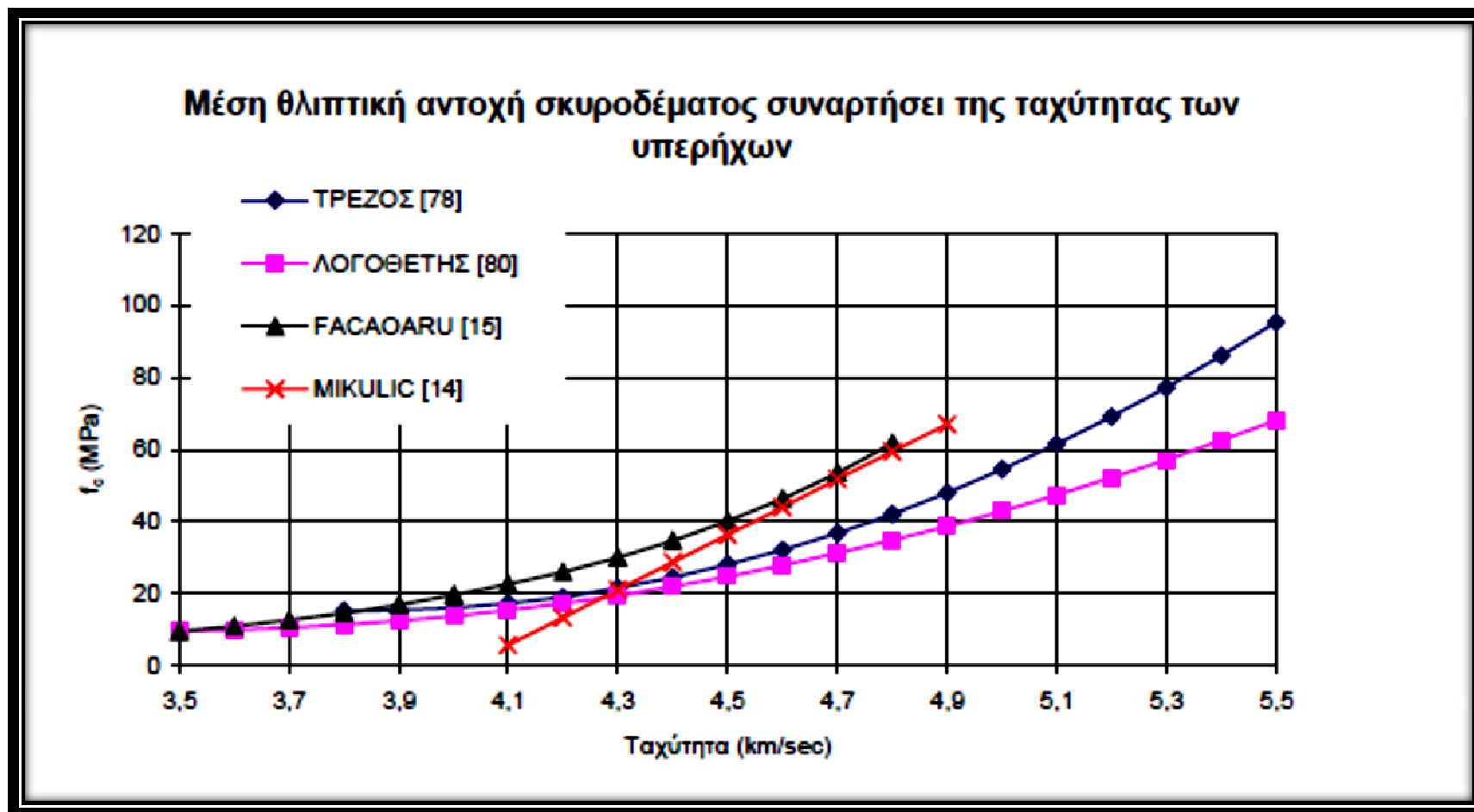


Σχ. 2.11.4 Εκτίμηση πάχους κατεστραμμένου επιφανειακού στρώματος με την μέθοδο των υπερήχων.

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

2.11.3. Συσχέτιση αντοχής συμβατικών δοκιμίων και ταχύτητας υπερήχων.

Στο Σχ. 2.11.5 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 δοκιμίων (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 δοκιμίων (π.χ. στην περίπτωση ελέγχου υπαρχουσών 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. 2.11.5 Συσχέτιση μέσης θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος με ταχύτητα υπερήχων

Στον επόμενο πίνακα 2.11.6 δίνονται στοιχεία από την διεθνή βιβλιογραφία (A. Neville 1975 & Taywood Eng. Ltd 1986) για ποιοτική κατάταξη του σκυροδέματος αναλόγως των ενδείξεων των υπερήχων.

A/α	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

Πίνακας 2.11.6

2.11.4. 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.

2.12. Πειραματική διαδικασία της μεθόδου των υπερήχων.

2.12.1 Σκοπός.

Η εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος δοκιμίων (κυβικών) ή μιας κατασκευής.

Ο προσδιορισμός της γίνεται με την μέτρηση της ταχύτητας των υπερήχων από τον πομπό στον δέκτη και στη συνέχεια μέσω καμπυλών εκτιμάται η θλιπτική αντοχή .

2.12.2 Εφαρμογή.

Όταν μια κατασκευή πρόκειται να τροποποιηθεί, να επανασχεδιαστεί ή έχει υποστεί βλάβες.

2.12.3 Συνοπτικά η μέθοδος.

Η συσκευή των υπερήχων καταγράφει τον χρόνο διέλευσης T του υπερηχητικού κύματος, διαμέσου της μάζας του σκυροδέματος του δοκιμίου ή της κατασκευής.

Ελέγχουμε την τυχόν απόκλιση του οργάνου καθορίζοντας τον διορθωτικό συντελεστή ($\Delta.Σ.$).

Επιλέγουμε τις θέσεις των κεφαλών (πομπός-δέκτης) και τοποθετούμε λιπαντική ουσία μεταξύ των κεφαλών και σκυροδέματος.

Προετοιμάζουμε το όργανο για την μετάδοση του υπερηχητικού κύματος, από τον πομπό στον δέκτη.

Αφού ρυθμιστεί η συχνότητα των υπερήχων με βάση το μήκος του στοιχείου, καταγράφουμε τον χρόνο διέλευσης T από τον δείκτη μετρήσεως πάνω στη μηχανή, msec.

Υπολογίζουμε τον τελικό χρόνο T , λαμβάνοντας υπ' όψη τον ανωτέρω $\Delta.Σ.$

2.12.4 Σπουδαιότητα και Χρήση.

Η μέθοδος των υπερήχων, εκτός από την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος, βοηθάει ακόμη και στον προσδιορισμό της ύπαρξης και του μεγέθους κατασκευαστικών σφαλμάτων, όπως επίσης ρωγμές, κενά, πόρους ή άλλες ανωμαλίες στο εσωτερικό του σκυροδέματος του ανωτέρου στοιχείου.

Μπορούμε να εξετάσουμε με την βοήθεια των υπερήχων την ομοιογένεια του συγκεκριμένου στοιχείου της κατασκευής.

Παρακολουθούνται και καταγράφονται τυχόν αλλαγές που μπορούν να συμβούν σε ιδιότητες του σκυροδέματος με την πάροδο του χρόνου ή και με την επίδραση άλλων παραγόντων όπως της φωτιάς, του παγετού, χημικών επιδράσεων κ.τ.λ.

2.12.5H συσκευή.

Για την πειραματική διαδικασία της δοκιμής των υπερήχων χρησιμοποιήσαμε την συσκευή υπερήχων E48 ultrasound device της μάρκας CONTROLS.

Ο εξοπλισμός για την μέθοδο αυτή αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Από την Γεννήτρια παραγωγής Υπερηχητικών κυμάτων.
- Από δύο κεφαλές (Κρυστάλλους) Εκπομπής και Λήψης Υπερηχητικών κυμάτων με τα αντίστοιχα καλώδια τους.
- Από το καλώδιο φόρτισης του συσσωρευτή.
- Από ένα δοχείο με λιπαντική ουσία, που τοποθετείται μεταξύ των ανωτέρω κεφαλών και του υπό εξέταση στοιχείου του σκυροδέματος.
- Από μία ένδειξη μέτρησης του χρόνου T σε msec.
- Από μία ράβδο βαθμονόμησης του οργάνου.
- Από διακόπτες λειτουργίας
- Από υποδοχές για την εκπομπή και λήψη των υπερήχων.



Σχήμα 2.12.1. Γεννήτρια παραγωγής Υπερηχητικών κυμάτων. Παρατηρούμε τις υποδοχές εκπομπής και λήψης υπερήχων, το διακόπτη λειτουργίας, την οθόνη με την ένδειξη της μέτρησης της ταχύτητας των υπερήχων όπως επίσης και δύο κουμπιά για την ρύθμιση παραμέτρων π.χ. συχνότητα μετάδοσης υπερήχων.



Σχήμα 2.12.2 Λιπαντική ουσία και κεφαλές (Κρύσταλλοι) με τα καλώδια τους.



Σχήμα 2.12.3 Ράβδος βαθμονόμησης και κεφαλές (Κρύσταλλοι) με τα καλώδια τους.

2.12.6 Sampling (Διαδικασία προετοιμασίας δείγματος).

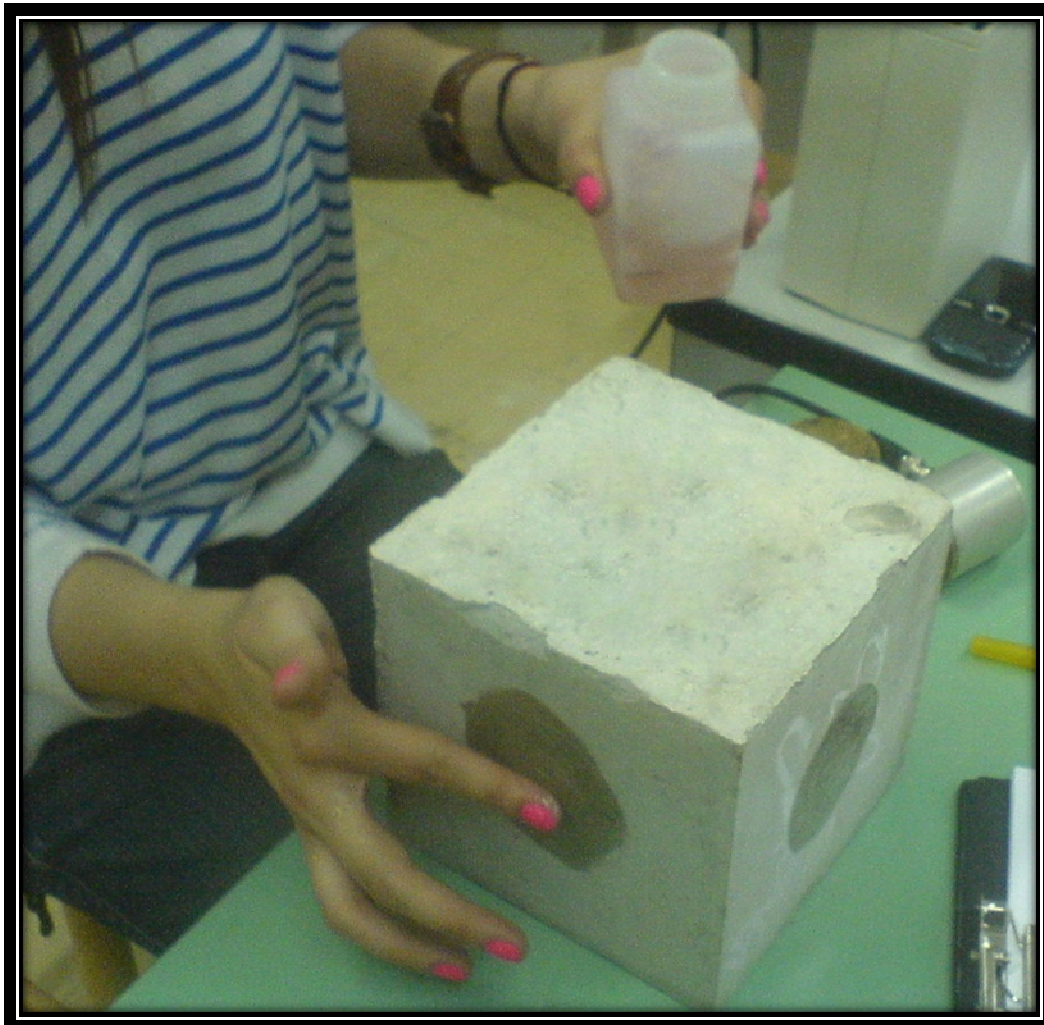
- Τα δοκίμια βγαίνουν από τις μήτρες.
- Καθαρίζονται και εξετάζονται για τυχόν ανωμαλίες στις επιφάνειες τους.
- Βεβαιωνόμαστε ότι δεν υπάρχει πολύ υγρασία στο δοκίμιο γιατί μας αλλοιώνει το αποτέλεσμα.
- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος πρέπει να κυμαίνεται από $5^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$.
- Ελέγχουμε την τυχόν απόκλιση του οργάνου καθορίζοντας τον διορθωτικό συντελεστή (Δ.Σ.)
- Τοποθετούμε τα δοκίμια σε μία οριζόντια και σταθερή επιφάνεια.
- Πρέπει να γίνουν 2 μετρήσεις του χρόνου T στις δυο κάθετες μεταξύ των διευθύνσεις.

2.12.7 Διαδικασία (Πορεία δοκιμής).

Πρέπει να ακολουθηθούν τα πιο κάτω στάδια.

- Προετοιμάζουμε το όργανο για την μετάδοση του υπερηχητικού κύματος από τον πομπό στο δέκτη, σύμφωνα με τις οδηγίες των προδιαγραφών του.
- Επιλέγουμε τις θέσεις που θα τοποθετηθούν οι κεφαλές εκπομπής και λήψης των υπερηχητικών κυμάτων.
- Προετοιμάζουμε την επιφάνεια δοκιμής τοποθετώντας μεταξύ των κεφαλών εκπομπής και λήψης και της επιφάνειας σκυροδέματος, αντίστοιχη ποσότητα από την λιπαντική ουσία που συνοδεύει το όργανο.
 - Αυτό γίνεται για να καλυφθούν όλες οι ατέλειες των εξωτερικών επιφανειών του στοιχείου στα ανωτέρω σημεία επαφής και έτσι να περάσουν στο σύνολο τους τα υπερηχητικά κύματα μέσα από τη μάζα του σκυροδέματος.
- Καταγράφουμε από το δείκτη των μετρήσεων το χρόνο T, σε msec.
- Υπολογίζουμε τον τελικό χρόνο T, λαμβάνοντας υπ' όψη τον ανωτέρω Δ.Σ.
- Μετρούμε την απόσταση L μεταξύ των κέντρων των κεφαλών σε mm.

Παρακάτω παρουσιάζονται φωτογραφίες από την πειραματική πορεία δοκιμής της μεθόδου των υπερήχων.



Σχήμα 2.12.4 Τοποθέτηση λιπαντικής ουσίας για την τοποθέτηση των κεφαλών εκπομπής και λήψης.



Σχήμα 2.12.5 Τοποθέτηση κεφαλών εκτομής και λήψης και καταγραφή χρόνου T.



Σχήμα 2.12.6 Μέτρηση και καταγραφή χρόνου T.

2.12.8 Υπολογισμοί.

Για να μπορέσουμε να εκτιμήσουμε τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος και το ποσοστό προσέγγισης της μεθόδου των υπερήχων σε σχέση με την αντοχή του πρότυπου κυβικού δοκιμίου, θα χρησιμοποιήσουμε τους Μ.Ο. αντοχής του σκυροδέματος του προηγούμενου κεφαλαίου.

Στη συνέχεια θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της μεθόδου των υπερήχων με αυτά του πρότυπου κυβικού δοκιμίου.

2.12.9 Αποτελέσματα της δοκιμής

Μετατρέπουμε την ένδειξη της μέτρησης του χρόνου T σε ταχύτητα υπερήχων με τον παρακάτω τύπο.

$$V = L/T \quad (\text{km/sec}).$$

Αφού γίνουν οι 2 μετρήσεις του χρόνου T στις δυο κάθετες μεταξύ των πλευρών διευθύνσεις και γνωρίζοντας το μήκος διαδρομής του δοκιμίου L :

- Υπολογίζουμε το $V_1 = L_1/T_1$ (km/sec).
- Υπολογίζουμε το $V_2 = L_2/T_2$ (km/sec).
- Και στη συνέχεια το τελικό V :

$$V = [(V_1 + V_2)/2]$$

Έχοντας την ταχύτητα των υπερήχων και το διάγραμμα της μέσης θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος συναρτήσει της ταχύτητας των υπερήχων, υπολογίζουμε την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος ενός συγκεκριμένου στοιχείου.

Το διάγραμμα της μέσης θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος συναρτήσει της ταχύτητας των υπερήχων του Τρέζου κατασκευάζεται από την παρακάτω σχέση:

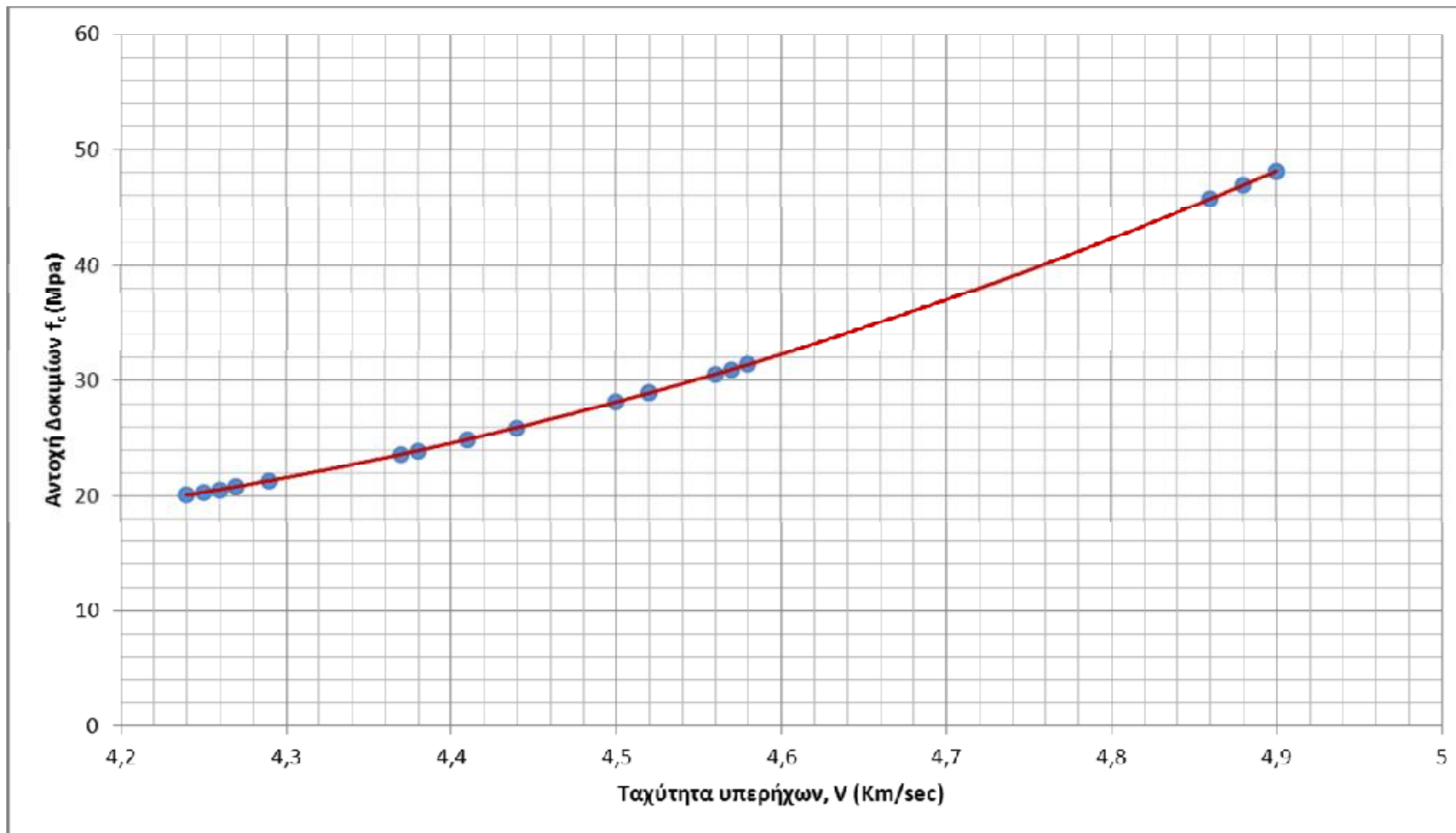
$$f_c = 440.1 - 221.6 * V + 28.9 * V^2$$

Σύμφωνα με τις ανωτέρω σχέσεις παρουσιάζονται παρακάτω αναλυτικά η ταχύτητα των υπερήχων, η μέση θλιπτική αντοχή f_m και το ποσοστό προσέγγισης στο πρότυπο κυβικό δοκίμιο.

Κυβικά δοκίμια διαστάσεων 150*150 mm					
Κατηγορία	Ταχύτητα Υπερήχων V Km/sec	Μέση θλιπτική αντοχή f_m MPa	Μ.Ο. μέσης θλιπτικής αντοχής MPa	Αντοχή Πρότυπου κυβικού δοκιμίου MPa	Ποσοστό προσέγγισης στο πρότυπο δοκίμιο
C16/20	4,25	20,306	20,551	22,7	90,53 %
	4,27	20,798			
	4,26	20,549			
C20/25	4,37	23,608	24,482	27,27	89,77 %
	4,44	25,919			
	4,38	23,921			
C25/30	4,58	31,389	29,473	32,59	90,43 %
	4,5	28,125			
	4,52	28,906			
C40/50	4,9	48,149	46,935	52,1	90,08 %
	4,86	45,730			
	4,88	46,928			

Πρισματικά δοκίμια διαστάσεων 450*150 mm					
Κατηγορία	Ταχύτητα Υπερήχων V Km/sec	Μέση θλιπτική αντοχή f_m MPa	Μ.Ο. μέσης θλιπτικής αντοχής MPa	Αντοχή Πρότυπου κυβικού δοκιμίου MPa	Ποσοστό προσέγγισης στο πρότυπο δοκίμιο
C16/20	4,27	20,798	-	22,7	91,62 %
C20/25	4,41	24,894	-	27,27	91,28 %
C25/30	4,56	30,539	-	32,59	93,70 %
C40/50	4,9	48,149	-	52,1	92,41 %

Κυβικά δοκίμια διαστάσεων 100*100 mm					
Κατηγορία	Ταχύτητα Υπερήχων V Km/sec	Μέση θλιπτική αντοχή f_m MPa	Μ.Ο. μέσης θλιπτικής αντοχής MPa	Αντοχή Πρότυπου κυβικού δοκιμίου MPa	Ποσοστό προσέγγισης στο πρότυπο δοκίμιο
C16/20	4,24	20,068	20,691	22,7	91,15 %
	4,29	21,314			
C25/30	4,52	28,906	29,934	32,59	91,85 %
	4,57	30,961			



Σχήμα 2.12.7 Το νέφος των σημείων και η γραφική απεικόνιση όλων των πειραμάτων με την μέθοδο των υπερήχων.

2.12.10. Συμπεράσματα για την εκτίμηση θλιπτικής αντοχής μέσω της μεθόδου των υπερήχων.

Για την μέθοδο των υπερήχων παρατηρούμε από τα παραπάνω στοιχεία ότι το ποσοστό προσέγγισης για όλες τις κατηγορίες κυμαίνεται από 90-94 %. Τα εν λόγω ποσοστά κρίνονται αρκετά ικανοποιητικά.

Δεν παρατηρείται καμία σημαντική διακύμανση του ποσοστού προσέγγισης της εκτιμώμενης αντοχής στην αντοχή του πρότυπου κυβικού δοκιμίου, όταν αλλάζει η κατηγορία του σκυροδέματος, για την συγκεκριμένη μέθοδο.

Ειδικότερα, η μέθοδος των υπερήχων είναι η πιο διαδεδομένη έμμεση μέθοδος για την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος και χρησιμοποιείται αρκετά συχνά σε υπάρχουσες κατασκευές, διότι μας δίνει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα.

ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΤΩΝ 2 ΜΕΘΟΔΩΝ.

Με βάση την πειραματική διαδικασία της πτυχιακής εργασίας, και συγκρίνοντας τις δύο μεθόδους που εργαστήκαμε, συμπεραίνουμε ότι η μέθοδος που δίνει τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα, είναι η μέθοδος των υπερήχων. Συγκεκριμένα, το ποσοστό προσέγγισης της εκτιμώμενης θλιπτικής αντοχής στο πρότυπο κυβικό δοκίμιο βρίσκεται στο γύρω 90% με την μέθοδο των υπερήχων. Ενώ, το ποσοστό προσέγγισης της εκτίμησης θλιπτικής αντοχής, με την αντοχή του πρότυπου κυβικού δοκιμίου στην μέθοδο της εξόλκευσης ήλου κυμαίνεται από 72% - 82%.

Λαμβάνοντας υπόψη την διεθνή βιβλιογραφία, συμπεραίνουμε ότι η διαφορά της αντοχής που υπολογίζεται στο εργαστήριο μέσω στατιστικών δειγμάτων και της αντοχής που προσδιορίζεται επί τόπου σε πραγματικές κατασκευές, είναι συχνά σημαντική και συχνά μεγαλύτερη από τη διαφορά της αντοχής που προσδιορίζεται από ήμι-καταστροφικές και μη καταστροφικές μεθόδους. Έτσι, η ακρίβεια εκτίμησης της αντοχής είναι ικανοποιητική μόνο στις περιπτώσεις που η ποιότητα του σκυροδέματος στην κατασκευή είναι περίπου ίδια με αυτή των δοκιμίων που ελέγχθηκαν στο εργαστήριο και τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την βαθμονόμηση της μεθόδου των υπερήχων. Σε αντίθεση με την εξόλκευση ήλου που βασικό μειονέκτημα στην περίπτωση αυτή είναι ότι η τοποθέτηση των βυσμάτων θα πρέπει να έχει προβλεφθεί κατά τη σκυροδέτηση. Λόγω της μικρής σχετικά περιοχής στην οποία γίνεται η δοκιμή εξόλκευσης, τα αποτελέσματα χαρακτηρίζονται από μεγάλη διασπορά. Εντούτοις, η δοκιμή εξόλκευσης ήλου ενδείκνυται ιδιαίτερα για την εκτίμηση της εξέλιξης της αντοχής του σκυροδέματος σε νεαρές ηλικίες.

Είναι βέβαιο ότι η αποτίμηση των ιδιοτήτων των υλικών σε υφιστάμενες κατασκευές θα συνεχίσει να αναπτύσσεται όλο και περισσότερο τα επόμενα χρόνια. Αυτό απαιτεί από τον Μηχανικό της πράξης να είναι ενήμερος των διατιθέμενων μεθόδων καθώς και των δυνατοτήτων και ορίων-τους. Τούτο γίνεται όλο και πιο επιτακτικό διότι η τεχνολογία μας προσφέρει νέα όργανα και μεθόδους για τα οποία πρέπει να ενημερωνόμαστε. Εκτός όμως από την ενημέρωση, ο Μηχανικός πρέπει να κάνει έναν σωστό προγραμματισμό των ελέγχων που θα ζητήσει (διότι οι έλεγχοι αυτοί έχουν ίσως και ένα αυξημένο κόστος), αλλά κυρίως πρέπει να είναι σε θέση να κάνει μια σωστή αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα πολλές φορές μπορεί να έχουν μεγάλες διασπορές ή ακόμη και να είναι αντιφατικά μεταξύ τους. Έτσι, θα πρέπει ο Μηχανικός να είναι σε θέση να κατανοήσει τις αιτίες αυτών των αποκλίσεων (διασπορά της μεθόδου, λάθη του παρατηρητή, εξωγενείς παράγοντες ή φυσική διασπορά του μεγέθους). Και βέβαια, οι μέθοδοι αυτές δεν θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να υποκαταστήσουν τους συμβατικούς ελέγχους των υλικών και τις συμβατικές υποχρεώσεις όλων των εμπλεκόμενων μερών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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

ΟΑΣΠ «Συστάσεις για προσεισμικές και μετασεισμικές επεμβάσεις σε κτίρια», Αθήνα, Οκτώβριος 2000.

Θ.Π. Τάσιος, Κ. Αλιγιζάκη, «Ανθεκτικότητα Ωπλισμένου Σκυροδέματος», Αθήνα, 1993

Τ.Ε.Ε., «Επισκευές – Ενισχύσεις. Παραδείγματα Διαστασιολογήσεως», Αθήνα, 1987

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

SCHMIDT, Concrete Test Hammer Types N and NR, Operating instructions, 1977, 16p

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. Demiris K., Νέα έμμεση μέθοδος προσδιορισμού αντοχής σκυροδέματος δι' εξολκεύσεως ήλου, Επιστ. Δημοσ. ΕΜΠ Νο 21, 1968

Tassios T.P., Η εφαρμογή των υπερήχων εις την διαγνωστική των υλικών και των κατασκευών, Τεχνικά Χρονικά Νο 3, 1960

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

ΥΠΕΧΩΔΕ, Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, ΦΕΚ 266, 1985β

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

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

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Π.1. 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 1.1.3.

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

$$f_c = a * b * c * f_{\text{core}}$$

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

2. Plowman, Smith

$$f_c = F_1 * F_2 * F_3 * f_{\text{core}}$$

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

3. B.S.I.

$$f_c = [D / (1.5 + 1/\lambda)] * f_{\text{core}}$$

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

$$f_c = 1.5 * f_{\text{core}} - 0.007 * f_{\text{core}}^2$$

(κανονικά η σχέση αυτή δεν μπορεί να εφαρμοσθεί στην περίπτωση αυτή, διότι $L/D \neq 2$), άρα $f_c=359.6 \text{ kgf/cm}^2$

5. ΕΛΟΤ

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

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

$$\lambda_2=0.96, K_c=0.90$$

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

$$\text{άρα } f_c=400 \text{ kgf/cm}^2$$

Π.1.1 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 $f_c = a \cdot b \cdot c \cdot f_{core}$

$a=1.25$, $b=1.20$, $c=1.20$, $f_{core}=275$ **άρα $f_c=495\text{kgr/cm}^2$**

2. Plowman, Smith $f_c = F1 \cdot F2 \cdot F3 \cdot f_{core}$

$F1=1.24$, $F2=1.02$, $F3=1.3$, $f_{core}=275$ **άρα $f_c=452\text{kgr/cm}^2$**

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

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 $f_c = 1.5 \cdot f_{core} - 0.007 \cdot f_{core}^2$

άρα $f_c=359.6\text{kgr/cm}^2$

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

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

$\lambda_2=0.92$, $U_c=0.90$

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

άρα $f_c=466\text{kgr/cm}^2$

Περίπτωση β.

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

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

2. Plowman, Smith $f_c = F1 \cdot F2 \cdot F3 \cdot f_{core}$

$F1=0.87$, $F2=1.02$, $F3=1.3$, $f_{core}=275$ **άρα $f_c=317\text{kgr/cm}^2$**

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

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. $f_c=[D/(1.5+1/\lambda)]*f_{core}*(1.0+1.5*\Sigma\Phi_r*d/\Phi_c*1)$

a) $D=2.5, \lambda=2.0,$

$\Phi_r=20\text{mm}$

$\Phi_c=50\text{mm}$

άρα $f_c=373\text{kgr/cm}^2$

b) $D=2.3, \lambda=2.0$

άρα $f_c=373\text{kgr/cm}^2$

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 $f_c=(\lambda_1*\lambda_2*\lambda_3/K_\phi*K_c*K_d)*f_{core}$

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

$\lambda_2=0.92, K_c=0.90$

$\lambda_3=1.22, K_d=1.00$

άρα $f_c=466\text{kgr/cm}^2$

Περίπτωση δ.

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 $f_c = F1 * F2 * F3 * f_{core}$
 $F1=0.87, F2=1.10, F3=1.3, f_{core}=275$ **άρα $f_c=342\text{kgr/cm}^2$**

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

a) $D=2.5, \lambda=0.5$

$\Phi_r=20\text{mm}$

$\Phi_c=50\text{mm}$

άρα $f_c=232\text{kgr/cm}^2$

b) $D=2.3, \lambda=0.5$

άρα $f_c=213\text{kgr/cm}^2$

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

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).

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή Δημήτριο Παγανό για την άψογη καθοδήγηση και συνεργασία στα πλαίσια της εκπόνησης της εργασίας.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή Ζαχαρία Χρήστου για την πολύτιμη βοήθεια του στο πειραματικό κομμάτι της εργασίας, όπως και το Α.Τ.Ε.Ι. Πάτρας που μας παρείχε τελευταίας τεχνολογίας εξοπλισμό.

Τέλος ευχαριστούμε τον φίλο Τάσο Θεοδωρακάκη για την δημιουργία της εικόνας του εξώφυλλου.