

# ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

## (Πυρηνοληψία, υπέρηχοι, κρουσίμετρο)<sup>1</sup>

Κων/νος Γ. Τρέζος

Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος ΕΜΠ

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

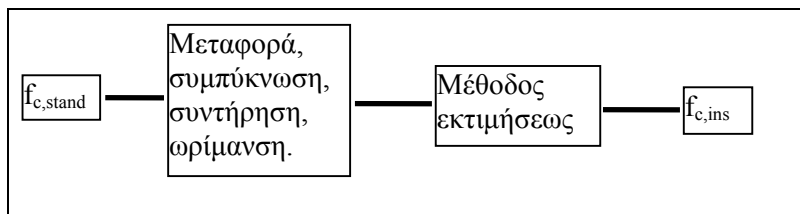
Η μελέτη και η διαστασιολόγηση των κατασκευών από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα βασίζεται στην συμβατική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος  $f_{c,stand}$  όπως αυτή προσδιορίζεται από δοκίμια (κυβικά ή κυλινδρικά) τα οποία λαμβάνονται, συντηρούνται και δοκιμάζονται με συμβατικό τρόπο. Τα δοκίμια αυτά εμπεριέχουν πληροφορίες σχετικά με τα συντιθέμενα υλικά και με την ανάμιξη, δεν μετρούν όμως μια σειρά άλλων παραγόντων που συνδιαμορφώνουν την αντοχή του σκυροδέματος στην τελική θέση του μέσα στο δόμημα  $f_{c,ins}$ . Τέτοιοι παράγοντες είναι συνήθως:

- ενδεχόμενες αλλοιώσεις κατά την μεταφορά και διάστρωση (εξάτμιση, προσθήκη ύδατος, απόμιξη κ.α.)
- τελική συμπίκνωση επιτόπου (δόνηση, πίεση νωπού σκυροδέματος)
- συντήρηση
- περαιτέρω ωρίμανση και γήρανση.

Ετσι, παρά την αλληλεξάρτησή τους, η συμβατική αντοχή  $f_{c,stand}$  δεν έχει μονοσήμαντη σχέση με την πραγματική αντοχή του σκυροδέματος επιτόπου  $f_{c,ins}$ . Η αναπόφευκτη αυτή διαφοροποίηση λαμβάνεται υπόψη από τους κανονισμούς μέσω των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας.

Πολλές φορές στην πράξη συμβαίνει να μην υπάρχουν συμβατικά δοκίμια αλλά παρ' όλα αυτά να πρέπει να εκτιμηθεί η συμβατική αντοχή ή/και η επιτόπου αντοχή  $f_{c,ins}$ . Τέτοιες είναι συνήθως οι περιπτώσεις: **α)** των επισκευών και ενισχύσεων κατά τις οποίες πρέπει να επαναδιαστασιολογηθεί η κατασκευή, **β)** υπάρξεως αμφιβολιών ως προς την ποιότητα του σκυροδέματος και **γ)** της παρακολούθησής της αντοχής συναρτήσει του χρόνου για την επιβολή προεντάσεως. Στις περιπτώσεις αυτές γίνεται εκτίμηση της συμβατικής αντοχής  $f_{c,stand}$  από την επιτόπου αντοχή  $f_{c,ins}$ . Η επιτόπου αντοχή  $f_{c,ins}$  εκτιμάται είτε με έμμεσες μεθόδους είτε με πυρηνοληψίες. Συνηθέστερα εφαρμόζονται οι έμμεσες μέθοδοι (κρουσίμετρο, υπέρηχοι, εξόλκευση ήλου κλπ) οι οποίες όμως παρουσιάζουν έναντι της πυρηνοληψίας το μειονέκτημα της μεγαλύτερης αβεβαιότητας, γι αυτό και συνδυάζονται με πυρηνοληψίες. Στην συνέχεια η επιτόπου αντοχή  $f_{c,ins}$  ανάγεται στην συμβατική αντοχή  $f_{c,stand}$ . Η αναγωγή αυτή περιπλέκεται επειδή πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι εξής **τέσσερις πηγές διασπορών**:

1. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν σφάλματα που οφείλονται στην ίδια την επαναληψιμότητα της μεθόδου ή στην ελαττωματική εφαρμογή-της.
2. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι διασπορές που πηγάζουν από τις αβεβαιότητες συσχέτισεως της αντοχής σκυροδέματος με το εμμέσως μετρούμενο μέγεθος.
3. Στην τρίτη κατηγορία ανήκουν οι συστηματικές διαφοροποιήσεις της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος αναλόγως του εξεταζομένου δομικού στοιχείου. Για την ίδια συμβατική αντοχή του σκυροδέματος οι αναπτυσσόμενες αντοχές στις πλάκες, στις δοκούς, στην βάση των υποστυλωμάτων και τέλος στην κορυφή των υποστυλωμάτων είναι διαφορετικές μεταξύ-τους, για αντικειμενικούς λόγους π.χ. διαφορά στην συμπίκνωση, στη συντήρηση κλπ.
4. Στην τέταρτη τέλος, κατηγορία αβεβαιοτήτων ανήκουν όσες σχετίζονται με τον τυχαίο χαρακτήρα του ίδιου του υλικού.



**Σχήμα 1** Παράγοντες που διαφοροποιούν την συμβατική αντοχή  $f_{c,stand}$  από την επιτόπου αντοχή  $f_{c,ins}$ .

<sup>1</sup> Το κείμενο αυτό παρουσιάστηκε στην ημερίδα για τον Νέο Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος που διοργάνωσε το Τεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδος στις 18/3/99 στο ΕΒΕΑ.

Ετσι, για την ορθολογική εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος απαιτείται να γίνει διαχωρισμός των παραπάνω διασπορών οι οποίες δυστυχώς δύσκολα προσδιορίζονται. Η συμβατική αντοχή  $f_{c,stand}$  και η επιτόπου αντοχή  $f_{c,ins}$  έχουν επομένως έναν τυχαίο χαρακτήρα<sup>2</sup>. Από τα προηγούμενα γίνεται προφανές ότι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της επιτόπου αντοχής  $f_{c,ins}$  εξαρτώνται αντιστοίχως από την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση της συμβατικής αντοχής  $f_{c,stand}$ . Εκείνο όμως που αυξάνει την δυσκολία εκτιμήσεως της μιας αντοχής από την άλλη είναι ότι η εξάρτηση αυτή δεν είναι σταθερή και ο επιμερισμός των διασπορών στις τέσσερις παραπάνω πηγές δεν είναι πάντα εύκολος. Στην συνέχεια θα αναφέρουμε ορισμένους παράγοντες που διαφοροποιούν την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των δύο αντοχών και θα παραθέσουμε αριθμητικές τιμές (από την διεθνή βιβλιογραφία) που ποσοτικοποιούν τις διαφορές αυτές, έτσι ώστε να είναι δυνατή μια πιο ορθολογική εκτίμηση της σχέσεως των δύο αντοχών. Τέλος, στα δύο παραρτήματα γίνεται μια συγκριτική παρουσίαση της Ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας σε θέματα πυρηνολησιών (Παράρτημα Ι) καθώς και σε θέματα εμμέσων μεθόδων και συγκεκριμένα του κρουσιμέτρου και των υπερήχων (Παράρτημα ΙΙ). Στο τέλος παρατίθεται εκτενής βιβλιογραφία (Παράρτημα ΙΙΙ).

## 2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

### 2.1 Λόγος των μέσων τιμών $f_{c,ins,m}/f_{c,stand,m}$

Γενικώς αναφέρεται (Petersons [37], Τάσιος [40], Murrey [56]) ότι ο λόγος  $f_{c,ins,m}/f_{c,stand,m}$  της μέσης επιτόπου αντοχής προς την αντίστοιχη μέση συμβατική μπορεί να είναι 0.85 έως 0.95. Ειδικότερα ο Bloem [29] αναφέρει ότι για τις πλάκες και ανάλογα με την ποιότητα της σκυροδετήσεως και συντηρήσεως ο λόγος αυτός μπορεί να είναι από 0.65 για κακή σκυροδέτηση και συντήρηση έως 0.9 για καλή σκυροδέτηση και συντήρηση. Το BS6089 [48] αναφέρει ότι ο λόγος αυτός μπορεί να είναι για πλάκες 0.50 ενώ για υποστυλώματα από 0.50 έως 0.80. Οι Sandvik και Haug [52] αναφέρουν τέλος ότι σε πυλώνες εξεδρών ανοικτής θάλασσας ο λόγος της επιτόπου αντοχής προς την αντοχή των δοκιμών μπορεί να είναι από 0.74 έως 1.00 για τις 28 ημέρες, ενώ για τις 90 ημέρες ο λόγος αυτός γίνεται 0.88-1.06. Από ερευνητικό πρόγραμμα του Εργαστηρίου Ωπλισμένου Σκυροδέματος του ΕΜΠ [120] κατά το οποίο έγιναν εκτεταμένες πυρηνολησίες σε πραγματικές κατασκευές προέκυψαν οι εξής τιμές του λόγου  $f_{c,ins,m}/f_{c,stand,m}$ :

- για πλάκες: από 1.00 έως 0.55
- για δοκούς: ~0.85
- για υποστυλώματα<sup>3</sup>: από 0.95 έως 0.70
- για τοιχία: ~0.92

Τέλος αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι ένα μέρος της παραπάνω διαφοροποίησης οφείλεται στην μέθοδο εκτιμήσεως της επιτόπου αντοχής. Κατά τον Τάσιο [40] η πυρηνολησία δίδει μικρότερες αντοχές 2% έως 12% της “πραγματικής επιτόπου αντοχής”, ενώ οι λοιπές μη καταστροφικές μέθοδοι δίνουν μικρότερες αντοχές κατά 3MPa έως 10MPa. Πάντως, ειδικώς για την πυρηνολησία, η οποία θεωρείται και ακριβέστερη μέθοδος για την εκτίμηση της επιτόπου αντοχής, παρατηρούνται σημαντικές αποκλίσεις κατά την αναγωγή από την αντοχή του πυρήνα σε αντοχή κυβικού δοκιμίου. Στο Παράρτημα Ι, στο οποίο γίνεται μια εκτεταμένη αναφορά στην διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με τις πυρηνολησίες, παρουσιάζονται εφαρμογές κατά τις οποίες από την ίδια αντοχή πυρήνων υπολογίζονται αντοχές κύβων οι οποίες διαφέρουν έως και 40% μεταξύ τους ανάλογα με το εφαρμοζόμενο πρότυπο. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του προτύπου ΕΛΟΤ 344 [99] και της Εγκυκλίου Ε7 του ΥΠΕΧΩΔΕ [122] όπου για αντοχή πυρήνος 27.5MPa προκύπτει ανηγμένη αντοχή κύβου 40.0MPa κατά το πρότυπο ΕΛΟΤ 344 και 30.0MPa κατά την εγκύκλιο Ε7.

<sup>2</sup> Μαθηματικώς θα λέγαμε ότι είναι **τυχαίες μεταβλητές**. Με τον όρο τυχαία μεταβλητή εννοούμε μια μεταβλητή η οποία δεν γνωρίζουμε εκ των προτέρων ποια τιμή θα λάβει, αλλά γνωρίζουμε ότι ορισμένες τιμές είναι πιθανότερες κάποιων άλλων. Συνήθως οι τυχαίες μεταβλητές περιγράφονται από την **μέση τιμή** (της οποίας το μηχανικό ανάλογο είναι το κέντρο βάρους) και την **τυπική απόκλιση** ή την **διασπορά** (της οποίας το μηχανικό ανάλογο είναι η ροπή αδρανείας). Ο (αδιάστατος) λόγος της τυπικής απόκλισης προς την μέση τιμή λέγεται **συντελεστής διασποράς**.

<sup>3</sup> χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της θέσεως καθύψους

## 2.2 Η επίδραση της θέσεως καθύψος

Οι Petersons [37] και Bickley [38] αναφέρουν ότι για πλάκες ο λόγος της αντοχής στην κορυφή προς την αντοχή στην βάση  $f_{top}/f_{bot}$  κυμαίνεται από 0.8 έως 0.9, ενώ το BS6089 [48] δίδει την τιμή 0.75. Από το ερευνητικό πρόγραμμα του ΕΜΠ [120] προέκυψε μια τιμή για τον πιο πάνω λόγο για τις πλάκες  $\sim 0.85$ . Ο Petersons [37] αναφέρει επίσης για δοκούς και υποστυλώματα ότι ο λόγος αυτός κυμαίνεται πάλι από 0.8 έως 0.9. Ο Τάσιος [40] αναφέρει ότι για υποστυλώματα ο λόγος αυτός μπορεί να μεταβάλλεται από 0.90 έως 0.70 ενώ το BSI δίνει ενδεικτικώς για τα υποστυλώματα την τιμή  $\sim 0.87$ . Από το ερευνητικό πρόγραμμα του ΕΜΠ [120] προέκυψε ότι ο λόγος αυτός για υποστυλώματα έχει μεγάλη διασπορά. Η εκτίμησή του ίδιου λόγου από πυρηνοληψίες έδειξε ότι κυμαίνεται από 0.70 έως 1.00 ανάλογα με τον τρόπο σκυροδέτησεως (σκυροδέτηση χωρίς διακοπή καθύψος δίνει μεγαλύτερη μείωση από την σκυροδέτηση σε περισσότερες φάσεις). Μετρήσεις με έμμεσες μεθόδους σε πραγματικές κατασκευές έδωσαν τιμές με πολύ μεγάλες διασπορές, μη αξιοποιήσιμες στατιστικώς.

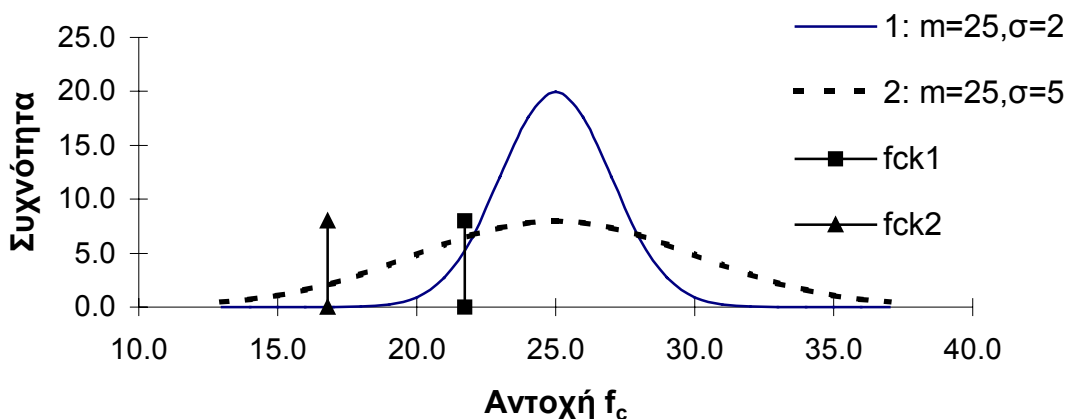
## 2.3 Συντελεστής διασποράς της επιτόπου αντοχής σε σχέση με τον συντελεστή διασποράς της συμβατικής αντοχής(COV<sub>ins</sub>/COV<sub>stand</sub>).

Ο Bloem [29] αναφέρει ότι η επιτόπου αντοχή έχει περίπου τριπλάσιο συντελεστή διασποράς από την συμβατική αντοχή. Κατά το CP110, όπως αναφέρει ο Murrey [56], ο λόγος  $COV_{ins}/COV_{stand}$  των συντελεστών διασποράς είναι περίπου 1,5. Ο Petersons [37] αναφέρει συντελεστή διασποράς της επιτόπου αντοχής ίσο προς 20%. Τέλος οι Bickley [38] και Τάσιος [40] δεν αναφέρονται στον συντελεστή διασποράς αλλά στην τυπική απόκλιση η οποία παίρνει τιμές από  $\sim 1.0$  έως 4.0MPa. Οι Sandvik και Haug [52] αναφέρουν ότι ο συντελεστής διασποράς της επιτόπου αντοχής των επτά ημερών είναι σημαντικά μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο των 28 ημερών: για πυλώνες στις 7 ημέρες αναφέρεται συντελεστής διασποράς 25% ο οποίος γίνεται 14% στις 28 ημέρες. Οι αντίστοιχες τιμές για τοιχεία είναι 17% και 11%. Από το ερευνητικό πρόγραμμα του ΕΜΠ [120] προέκυψαν οι εξής τιμές του λόγου των συντελεστών διασποράς  $COV_{ins}/COV_{stand}$  της επιτόπου αντοχής προς την συμβατική:

- για πλάκες: από 2 έως 5
- για δοκούς:  $\sim 2$
- για υποστυλώματα: από 2 έως 4

Όπως και για τον λόγο των μέσων αντοχών (παράγραφος 2.1), έτσι και στον συντελεστή διασποράς συμβάλλει και η χρησιμοποιούμενη μέθοδος. Ο Τάσιος [40] ενδεικτικώς αναφέρει για την πυρηνοληψία αύξηση  $1\%f_c$  έως  $5\%f_c$  σε σχέση με τον συντελεστή διασποράς των συμβατικών δοκιμίων, για του υπέρηχους 0.5MPa έως 1.5MPa και για το κρουσίμετρο 1.0MPa έως 2.0MPa.

Η αύξηση αυτή της διασποράς έχει ως συνέπεια, ακόμη και για ίδια μέση αντοχή, να προσδιορίζεται μικρότερη χαρακτηριστική αντοχή. Για παράδειγμα, στο παρακάτω Σχήμα 2 φαίνονται δύο ιστογράμματα: το ένα με την συνεχή γραμμή αντιστοιχεί στην συμβατική αντοχή ενώ το άλλο με την διακεκομμένη στην επιτόπου αντοχή. Παρ' όλο που οι δύο αντοχές έχουν



Σχήμα 2 Σύγκριση αντοχών με την ίδια μέση τιμή αλλά διαφορετική τυπική απόκλιση

την ίδια μέση αντοχή (25MPa), η χαρακτηριστική αντοχή που προκύπτει για το επιτόπου σκυρόδεμα είναι σημαντικά μικρότερη ( $f_{ck2} \approx 17\text{MPa}$ ) από την χαρακτηριστική αντοχή που προκύπτει για τα συμβατικά δοκίμια ( $f_{ck1} \approx 22\text{MPa}$ ).

### 3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

#### 3.1 Διαδικασία

Για την εκτίμηση της “κατηγορίας αντοχής του σκυροδέματος υφισταμένων κατασκευών” στην περίπτωση κατά την οποία δεν διατίθενται συμβατικά δοκίμια, εφαρμόζεται η εγκύκλιος Ε7 του ΥΠΕΧΩΔΕ [122]. Σύμφωνα με την εγκύκλιο Ε7 η διαδικασία είναι η εξής:

1. Η κατασκευή χωρίζεται σε τμήματα (παρτίδες) που φαίνεται ότι διαστρώθηκαν σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα
2. Κάθε τμήμα (παρτίδα) ελέγχεται χωριστά με έξι πυρήνες που κόβονται σε τυχαίες θέσεις
3. Οι πυρήνες πρέπει να έχουν διάμετρο 10cm και μήκος πριν από το κατέλωμα 9.5 έως 12.5cm.
4. Η αναγωγή της αντοχής του πυρήνα σε αντοχή κύβου γίνεται με την βοήθεια τεσσάρων συντελεστών  $L_1, L_2, L_3, L_4$  οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη την γεωμετρία των πυρήνων και την ηλικία του σκυροδέματος.
5. Υπολογίζεται η χαρακτηριστική αντοχή από την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των έξι κυλίνδρων με βάση την σχέση<sup>4</sup>:

$$f_{\pi} = X_6 - 1.6 \cdot s$$

6. Το σκυρόδεμα κατατάσσεται στην αμέσως κατώτερη τυποποιημένη κατηγορία σκυροδέματος. Ετσι, αν προκύψει:

$$f_{\text{ckκυβου}}^{(1)} \leq f_{\pi} \leq f_{\text{ckκυβου}}^{(2)}$$

τότε το σκυρόδεμα της παρτίδας που ελέγχεται θεωρείται ότι ανήκει στην κατηγορία  $f_{\text{ckκυβου}}^{(1)}$ . Π.χ. αν προκύψει  $f_{\pi}=19.7\text{MPa}$ , και επειδή το 19.7 είναι μεταξύ των τιμών 15 (που αντιστοιχεί στην αντοχή κύβου για σκυρόδεμα κατηγορίας C12/15) και 20 (που αντιστοιχεί στην αντοχή κύβου για σκυρόδεμα κατηγορίας C16/20), το σκυρόδεμα της εξεταζομένης παρτίδας κατατάσσεται σύμφωνα με την Εγκύκλιο Ε7 στην κατηγορία C12/15.

#### 3.2 Σχολιασμός της Εγκυκλίου Ε7

Η εγκύκλιος είναι χρήσιμη και απαραίτητη για τον Μηχανικό της πράξης, καλύπτει τα κενά του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος αλλά και του Κανονισμού για την Μελέτη έργων από σκυρόδεμα. Ωστόσο θα πρέπει να σημειωθούν τα εξής για ενδεχόμενη συμπλήρωση ή αναθεώρηση της εγκυκλίου:

1. Ο τίτλος της εγκυκλίου οδηγεί σε παρανοήσεις. Πράγματι, ο τίτλος είναι: “*Εκτίμηση της κατηγορίας αντοχής του σκυροδέματος υφισταμένων κατασκευών*” που υπονοεί ότι εκτιμάται **μια** κατηγορία σκυροδέματος για μια υφιστάμενη κατασκευή. Στην πραγματικότητα με την εγκύκλιο εκτιμάται η κατηγορία σκυροδέματος **μιας** παρτίδας και άρα για όλη την κατασκευή θα πρέπει να εκτιμηθούν τόσες κατηγορίες όσες και οι διαφορετικές παρτίδες από τις οποίες απαρτίζεται η κατασκευή. Ετσι, για την εγκύκλιο όπως είναι γραμμένη σήμερα, φαίνεται ότι ορθότερος θα ήταν ένας από τους εξής δύο τίτλους: ή “*Εκτίμηση των κατηγοριών αντοχής του σκυροδέματος υφισταμένης κατασκευής*” ή “*Εκτίμηση της κατηγορίας αντοχής παρτίδας σκυροδέματος υφισταμένης κατασκευής*”. Βέβαια, παρ’ όλο που ο σχεδιασμός **νέων** κατασκευών βασίζεται στην **συμβατική αντοχή** η οποία για μια κατασκευή είναι **μοναδική**, για την περίπτωση των υφισταμένων κατασκευών ο προσδιορισμός μιας μόνον κατηγορίας θα ήταν ίσως πολύ δυσμενής (ιδίως επειδή η εκτίμηση γίνεται συνήθως από το σκυρόδεμα των πλακών το οποίο είναι χαμηλότερης αντοχής και σε κάθε περίπτωση δεν είναι τόσο καθοριστικό για την ασφάλεια όσο είναι το σκυρόδεμα των υποστυλωμάτων).
2. Οι τιμές των συντελεστών αναγωγής που δίνονται στην εγκύκλιο είναι πολύ συντηρητικότερες από τις τιμές που δίνονται στο πρότυπο του ΕΛΟΤ και στην διεθνή βιβλιογραφία. Για την ίδια αντοχή πυρήνος, η εκτιμώμενη αντοχή κύβου με βάση την εγκύκλιο Ε7 είναι από 30% έως 40% μικρότερη από την τιμή που θα προέκυπτε με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ 344 (βλ Παράρτημα Ι). Ετσι, δεν έχει νόημα η παράθεση των συντελεστών με ακρίβεια τριών σημαντικών ψηφίων (βλ. Πίνακες 1, 2, και 3

<sup>4</sup> Χρησιμοποιούνται οι συμβολισμοί της Εγκυκλίου Ε7

της Εγκυκλίου Ε7) διότι έτσι δίνεται εσφαλμένως η εντύπωση ότι η μέθοδος παρουσιάζει σφάλμα εκτιμήσεως της τάξεως του 0.1% ενώ είναι γνωστό ότι το σφάλμα εκτιμήσεως είναι πολύ μεγαλύτερο (έως και 30%).

3. Ο κβαντισμός και η κατάταξη στην αμέσως κατώτερη κατηγορία δεν είναι σωστός για την επιτόπου αντοχή. Για τις περιπτώσεις επανελέγχου είναι δυνατόν και θα πρέπει να γίνονται αποδεκτές και μη τυποποιημένες κατηγορίες σκυροδέματος (ενδιάμεση σε δύο διαδοχικές τυποποιημένες κατηγορίες).
4. Το σημαντικότερο όμως μειονέκτημα της εγκυκλίου είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψη της την διαφοροποίηση της επιτόπου αντοχής ανά δομικό στοιχείο δεν λαμβάνει υπόψη **κυρίως** την αυξημένη διασπορά των πυρήνων. Ας πάρουμε ως παράδειγμα την περίπτωση μιας νέας κατασκευής από σκυρόδεμα C16/20. Κατά την φάση της ανεγέρσεως, ελήφθησαν συμβατικά δοκίμια και τα κριτήρια συμμορφώσεως έδειξαν ότι το σκυρόδεμα είναι πράγματι C16/20. Επίσης κατά την σκυροδέτηση και συντήρηση ακολουθήθηκαν όλοι οι κανόνες της τέχνης και της επιστήμης. Αρα για την κατασκευή αυτή σε περίπτωση επανελέγχου δεν θα είχαμε καμμία αμφιβολία ότι το σκυρόδεμα είναι κατηγορίας C16/20. Αν στην κατασκευή αυτή γίνει εφαρμογή της εγκυκλίου Ε7 και ληφθούν πυρήνες από πλάκα, είναι βέβαιο ότι η διασπορά των πυρήνων θα είναι πολύ μεγαλύτερη από την διασπορά των συμβατικών δοκιμίων και έτσι (ακόμη και αν η μέση αντοχή των πυρήνων από τις πλάκες είναι ίση με την μέση τιμή της συμβατικής αντοχής) η χαρακτηριστική αντοχή που θα εκτιμηθεί με την διαδικασία της εγκυκλίου θα είναι μικρότερη από 20MPa (βλ. ενδεικτικό παράδειγμα στο σχήμα 2) γεγονός το οποίο δεν είναι λογικό. Θα πρέπει λοιπόν κατά την εκτίμηση της επιτόπου αντοχής να λαμβάνεται υπόψη η αναπόφευκτη αυξημένη διασπορά της αντοχής των πυρήνων. Σημειώνεται ότι στην εγκύκλιο Ε7 όχι μόνον δεν λαμβάνεται υπόψη η αυξημένη διασπορά, αλλά δεν έχει συμπεριληφθεί και η ευνοϊκή διάταξη της παραγράφου 13.7.3 του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος σύμφωνα με την οποία αν ένας πυρήνας εμφανίσει υπερβολικά χαμηλή αντοχή, τότε ο πυρήνας αυτός δεν λαμβάνεται υπόψη στην εκτίμηση της αντοχής.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή αναφέρθηκαν περιληπτικώς οι παράγοντες που διαφοροποιούν την αντοχή επιτόπου  $f_{c,ins}$  του έργου από την συμβατική αντοχή  $f_{c,stand}$  (μεταφορά, διάστρωση, συμπύκνωση, συντήρηση, ωρίμανση). Δόθηκαν ποσοτικά στοιχεία για τις διαφορές της μέσης αντοχής επιτόπου του έργου από την μέση συμβατική αντοχή συναρτήσει του είδους του δομικού στοιχείου καθώς και της θέσεως μετρήσεως καθύψους: μεγαλύτερη μείωση της μέσης επιτόπου αντοχής παρατηρείται στις πλάκες (έως και 50%) ενώ μικρότερη παρατηρείται στα υποστυλώματα και τοιχία (από 30% έως 10%). Επίσης, δόθηκαν ποσοτικά στοιχεία για την αύξηση της διασποράς των αντοχών επιτόπου του έργου σε σύγκριση με την διασπορά των συμβατικών δοκιμίων: σε γενικές γραμμές και κατά μέσον όρο η διασπορά αυξάνεται περίπου 2.5 φορές (κυμαινόμενη από 1.5 έως 4.5 φορές). Από τις δύο αυτές διαφοροποιήσεις, μεγαλύτερη επίπτωση στην εκτιμώμενη χαρακτηριστική αντοχή επιτόπου του έργου έχει η αύξηση της διασποράς της επιτόπου αντοχής παρά η μείωση της μέσης αντοχής. Τέλος διαπιστώθηκε ότι η Εγκύκλιος Ε7 [122] για την εκτίμηση της κατηγορίας σκυροδέματος υφισταμένων κατασκευών είναι πολύ συντηρητική όχι μόνον επειδή χρησιμοποιεί δυσμενέστερους συντελεστές αναγωγής, αλλά κυρίως επειδή δεν λαμβάνει υπόψη της την αναπόφευκτη αύξηση της διασποράς των αντοχών των πυρήνων σε σχέση προς τα συμβατικά δοκίμια.

Από τα προηγούμενα γίνεται φανερό ότι για την αξιόπιστη εκτίμηση της αντοχής σκυροδέματος επιτόπου του έργου απαιτείται αφενός μεν ένα πεπειραμένο εργαστήριο για την εκτέλεση των επιτόπου μετρήσεων και αφετέρου μια κριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες που διαφοροποιούν την συμβατική αντοχή από την επιτόπου αντοχή του σκυροδέματος.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΠΥΡΗΝΩΝ.

### **I.1 Εισαγωγή**

Παρ' όλο που ο σχεδιασμός των έργων από Ω.Σ. βασίζεται στην συμβατική αντοχή του σκυροδέματος (όπως αυτή προσδιορίζεται από τα συμβατικά δοκίμια), πολλές φορές αναζητείται η επιτόπου του έργου αντοχή του σκυροδέματος. Το πρόβλημα συνήθως γίνεται περιπλοκότερο επειδή δεν έχουν ληφθεί συμβατικά δοκίμια. Έτσι η εκτίμηση της επιτόπου αντοχής του σκυροδέματος γίνεται είτε με Εμμεσες Μεθόδους, (κρουσίμετρο, υπέρηχοι, εξόλκευση ήλου), είτε με Πυρηνοληψία. Με τις Εμμεσες Μεθόδους, η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος δεν μετριέται άμεσα, αλλά εκτιμάται εμμέσως από τη συσχέτισή-της με κάποια άλλη ιδιότητα του σκυροδέματος, (π.χ. επιφανειακή σκληρότητα, ελαστικότητα, πυκνότητα, εφελκυστική αντοχή κλπ.). Επειδή η έμμεση εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος γεννά πολλά ερωτηματικά ως προς την ακρίβεια των μεθόδων αυτών, όλοι οι διεθνείς κανονισμοί επιβάλλουν την παράλληλη λήψη πυρήνων απ' τα εξεταζόμενα, με έμμεσες μεθόδους, μέλη μιας κατασκευής. Εκτός από την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, με τους πυρήνες μπορούμε να εξετάσουμε ακόμη: α) γενικότερα την ποιότητα του σκυροδέματος μιας κατασκευής, β) την θέση και το μέγεθος των ράβδων οπλισμού, γ) την ύπαρξη ρωγμών ή άλλων αστοχιών μέσα στη μάζα του σκυροδέματος, δ) την αποτελεσματικότητα των ρητινενέσεων κλπ. Το βασικό πλεονέκτημα των πυρηνοληψιών είναι η αμεσότητα του προσδιορισμού της, επιτόπου του έργου, θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι **α)** το σχετικά υψηλό κόστος (συγκριτικά με τις έμμεσες μεθόδους), **β)** η δυσκολία λήψεως πυρήνων από υποστυλώματα. Πρακτικώς πυρήνες λαμβάνονται κυρίως από πλάκες, οι οποίες όμως, εκ των πραγμάτων (προσθήκη ύδατος κατά την σκυροδέτηση των πλακών, κακή δόνηση, κακή συντήρηση), έχουν σαφώς μειωμένη αντοχή και γ) η ευαισθησία των αποτελεσμάτων τόσο κατά την λήψη και θραύση των πυρήνων (καροτιέρα, επιπέδωση βάσεων κλπ) όσο και στην αξιολόγηση και αναγωγή σε "συμβατική αντοχή" (βλ §I.5).

### **I.2 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 επικρατεί η άποψη ότι η **διάμετρος** των αποκοπόμενων πυρήνων πρέπει να είναι 10 έως 15 cm, αλλά σε κάθε περίπτωση τριπλάσια του μεγέθους του μέγιστου αδρανούς που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή του εξεταζόμενου σκυροδέματος (βλ. [76], [30], [48], [42], [37], [39], [27]). 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 [27], [18] 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 ρητινενέσεων)

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 (λαμβάνοντας υπόψη και τα ακραία τμήματα μήκους ~2.5cm που πρέπει να αποκοπούν) και επειδή πυρήνες συνήθως λαμβάνονται από πλάκες γι' αυτό είναι ανεκτές και τιμές του λόγου κοντά στην μονάδα.

Η **απόσταση** των αποκοπόμενων πυρήνων απ' τις ακμές των εξεταζόμενων στοιχείων πρέπει να είναι τουλάχιστον 8cm [41], ενώ η μεταξύ τους απόσταση πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 4D (D η διάμετρος του πυρήνα) [41], [37].

Ο **συνιστώμενος αριθμός** των αποκοπτόμενων πυρήνων από κάθε εξεταζόμενο δομικό στοιχείο ποικίλει ανάλογα με τους ερευνητές και κανονισμούς. Έτσι: **α)** κατά το ACI [60] και τον Petersons [37] 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 σκυροδέμα χαρακτηρίζεται ικανοποιητικής αντοχής. **β)** κατά τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος [121] (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.

### 1.3 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, [30]. 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 [48] 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

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

Στον πίνακα που ακολουθεί συνοψίζονται οι απόψεις διαφόρων ερευνητών, σχετικά με την μείωση της αντοχής των πυρήνων που περιέχουν οπλισμό [58].

**Πίνακας 1.1** Επίδραση της παρουσίας οπλισμού

Συγγραφέας	Μεταβολή αντοχής (%)	L/D (μήκος / διάμετρο)
Gaynor	-4 έως -18	2
Plowman at al [39]	-3 έως -12	2
Lewandowski	-3	1.5
Petersons	-4	
Loo at al [58]	Σημαντική	2
	Μηδενική*	1

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

Η ύπαρξη **μιας** ράβδου οπλισμού μέσα στους αποκοπτόμενους πυρήνες έχει ως συνέπεια την μείωση της μετρούμενης αντοχής κατά 8-9% [39], 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 [37] μπορεί να φθάσουν και στο 30%. Γενικώς το καπέλωμα προκαλεί μείωση της αντοχής από 2% έως και 20% ([37], [40]). Για την αποφυγή της μεταβλητής αυτής επιδράσεως του καπελώματος

συνιστάται [37] 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 αποκόπτεται έχει πολύ μεγάλη σημασία. Η γενική άποψη που επικρατεί στην διεθνή βιβλιογραφία [40], [48], [39], [56] 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 [39] 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 [37] και Bickley [38] 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 [48] αναφέρει 0.75 και οι Τάσιος & Τρέζος [120] αναφέρουν την τιμή  $\sim 0.85$ .

Ο Petersons [37] αναφέρει επίσης για **δοκούς και υποστυλώματα** ότι ο λόγος αυτός είναι πάλι από 0.8 έως 0.9. Ο Τάσιος [40] αναφέρει ότι για υποστυλώματα ο λόγος αυτός μπορεί να μεταβάλλεται από 0.90 έως 0.70 ενώ το BSI δίνει ως παράδειγμα για τα υποστυλώματα την τιμή  $\sim 0.87$ . Σε μεταγενέστερη έρευνα οι Τάσιος & Τρέζος [120] 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 [42], [37], [6], [40], [70] δίνει ότι ο λόγος  $f_{c,core,horiz}/f_{c,core,vert}$  κυμαίνεται από 0.90 έως 0.95.

Πάντως είναι πρακτικώς δύσκολο να δοκιμαστούν 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. [29] 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:

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

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



#### 1.4 Αναγωγή αντοχής πυρήνα σε αντοχή κύβου.

##### 1.4.a Facaoaru

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

$$f_c = a * b * c * f_{c,core}$$

οι συντελεστές a, b, c λαμβάνονται από τους παρακάτω πίνακες I.3 έως I.5.

(1)

**Πίνακας I.3** 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 I.4** 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 I.5** 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

##### 1.4.β Plowman et al

Μια άλλη σχέση που δίνεται στη βιβλιογραφία [39] είναι και η ακόλουθη:

$$f_c = f_{c,core} * F_1 * F_2 * F_3$$

όπου οι τιμές των συντελεστών  $F_1$  λαμβάνονται από τους παρακάτω πίνακες I.6 έως και I.9.

(2)

**Πίνακας I.6** Τιμές του συντελεστή  $F_1$  (σχέση (2)) συναρτήσει του λόγου L/D.

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

**Πίνακας I.7** Τιμές του συντελεστή  $F_2$  (σχέση (2)) συναρτήσει της παρουσίας οπλισμού.

Οπλισμός	κανένας	ένας μικρός	ένας μεγάλος
$F_2$	1.02	1.05	1.10

**Πίνακας I.8** Τιμές του συντελεστή  $F_3$  (σχέση (2)).

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

#### 1.4.γ British Standard

Το BS6089 [48], προτείνει δύο διαφορετικές σχέσεις αναγωγής της αντοχής πυρήνων σε αντοχή κύβου. Η μία σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πυρήνες χωρίς οπλισμό, ενώ η άλλη για πυρήνες με οπλισμούς κάθετους στον άξονα του πυρήνα.

α) πυρήνες χωρίς οπλισμούς:

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

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

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

$\lambda$  είναι ο λόγος μήκος / διάμετρος του πυρήνα.

β) πυρήνες με οπλισμούς:

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

όπου  $\Phi_r$  είναι η διάμετρος του οπλισμού.

$\Phi_c$  είναι η διάμετρος του πυρήνα.

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

$l$  το ύψος του πυρήνα.

#### 1.4.δ Monday and Dhir.

Ο Bugney J. [70], 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.

#### 1.4.ε ΕΛΟΤ

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

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

όπου:

$K_\phi$  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

$\lambda_1$  συντελεστής γεωμετρίας του πυρήνα, συναρτήσει του λόγου  $h/d$  (ύψους  $h$  προς διάμετρο  $d$ ) βλ Πίνακα 9 (υπό την προϋπόθεση ότι πρόκειται περί σκυροδέματος κατηγορίας ίσης ή ανωτέρας του B160).

$\lambda_2$  συντελεστής διαμέτρου (βλ Πίνακα 10)

$\lambda_3$  συντελεστής κατηγορίας σκυροδέματος (βλ Πίνακα 11)

**Πίνακας 1.9** Τιμές του συντελεστή  $\lambda_1$  (σχέση 5)

h/d	1.75	1.50	1.25	1.00	0.90
$\lambda_1$	0.98	0.95	0.91	0.85	0.82

**Πίνακας 1.10** Τιμές του συντελεστή  $\lambda_2$  (σχέση 5)

d(cm)	10.0	12.5	15.0
$\lambda_2$	0.96	0.98	1.00

**Πίνακας I.11** Τιμές του συντελεστή  $\lambda_3$  (σχέση 5)

$f_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	120	160	225	300	450
$\lambda_3$	1.30	1.25	1.22	1.18	1.14

**I.4.στ Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος [121] και Εγκύκλιος Ε7 [122]**

Ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος [121] και η Εγκύκλιος Ε7 [122] βασίζονται στο πρότυπο ΕΛΟΤ αλλά με συντηρητικότερες τιμές των παραμέτρων (βλ εφαρμογή I.5 παρακάτω).

**Πίνακας 1.12** Σύνοψη οδηγιών για πυρηνοληψίες.

Προ-έλευση	Γεωμ. μεγέθη		Αριθμ. Πυρήνων	Επίδρ. Καπελώ-ματος στην αντοχή	Από-σταση από ακμή (cm)	Από-σταση μεταξύ (cm)	Επίδραση οπλισμού στην αντοχή	Διαφοροποίηση της αντοχής καθύψους και ανά δομικό στοιχείο $f_{c,bot}/f_{c,top}$				Διεύθυνση κοπής $f_{hor}/f_{ve}$	Μεταβλητότητα	
	D(cm)	L/D						υποστ	τοιχ	δοκοί	πλάκες		Πυ-ρήνες	Συμβ. δοκίμ
NEKΩΣ	$\geq 10$ ή $> 3d_{agg}$	0.9 - 1.75					Να αποφεύγεται							
ISO [30]	10 ή 15	0.95 - 2.1					Να αποφεύγεται							
BSI [48]	10 ή 15	$>0.5$					*(1)	1.25	1.25	1.25	1.25	1.09		
Sullivan [42]	10 ή 15	1.0 - 1.2										$<1.00$		
Petersons [37]	7 έως 15	1.0	$>3$	+30%	4D			1.40	1.25	1.20	1.15	0.90		
Powman-Smith [39]	10 ή 15	$>0.95$					μείωση 8-13%				1.25			
Cample [27]														
Szypula [18]														
Mahlorta [41]		2.0			8cm	4cm							3.3%	4.6%
Loo [58]							L/D= 2.0 ση-μαντική μείωση = 1.0 μη-δενική επίδρ =100/100 αύξηση 9%							
ACI [60]			3 αν $f_{c,cor} = 0.85f_c$										5.0%	4.0%
Tassios [40]				μείωση 2-20%				1.25				0.95		
Marrey [56]								1.10 1.15	1.10 1.15					
Bugney [70]	10 ή 15	1.0 - 2.0			30cm							0.93	6.0%	3.0%
Lyse [6]												0.93		
Bloem [29]													6.0%	2.3%

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

**Πίνακας 1.13** Σχέσεις αναγωγής της αντοχής πυρήνα σε αντοχή συμβατικού δοκιμίου

Προέλευση	Σχέση	Παρατηρήσεις
Facaoaru	$f_c = a * b * c * f_{core}$	a βλ Πίνακα 3 b βλ Πίνακα 4 c βλ Πίνακα 5
Powman - Smith [39]	$f_c = F_1 * F_2 * F_3 * f_{core}$	F <sub>1</sub> βλ Πίνακα 6 F <sub>2</sub> βλ Πίνακα 7 F <sub>3</sub> βλ Πίνακα 8
BSI [48]	$f_c = \{D / (1.5 + 1/\lambda)\} * f_{core}$	D=2.3 έως 2.5 (βλ κείμενο) $\lambda$ =ο λόγος ύψους προς διάμετρο πυρήνα βλ και Πίνακα 12
Monday Dhir [70]	$f_c = 1.5 * f_{core} - 0.007 * [f_{core}]^2$	Υποτίθεται ότι l/d=2.0
ΕΛΟΤ 344	$f_c = f_{core} * [(\lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3) / (K_\phi * K_c * K_d)]$	$\lambda_1$ βλ Πίνακα 9 $\lambda_2$ βλ Πίνακα 10 $\lambda_3$ βλ Πίνακα 11 $K_\phi, K_c, K_d$ βλ κείμενο

## 1.5 Αριθμητική Εφαρμογή

### 1.5.1 Περίπτωση αναφοράς.

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

Οπλισμοί: κανένας, Συντήρηση: στον αέρα.

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

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

3. **B.S.I.**  $f_c = [D / (1.5 + 1/\lambda)] * f_{\text{core}}$   
α) οριζόντια  $D=2.5, \lambda=1.5$  **άρα  $f_c=317 \text{ kg/cm}^2$**

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

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  $L/D \neq 2.0$ ), **άρα  $f_c=359.6 \text{ kg/cm}^2$**

5. **ΕΛΟΤ**  $f_c = (\lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 / K_\phi * K_c * K_d) * f_{\text{core}}$   
 $\lambda_1=0.95, K_\phi=0.85$   
 $\lambda_2=0.96, K_c=0.90$   
 $\lambda_3=1.22, K_d=1.00$   
**άρα  $f_c=400 \text{ kg/cm}^2$**

6. **Εγκύκλιος Ε7 [122]** Σύμφωνα με την εγκύκλιο αυτή του ΥΠΕΧΩΔΕ, η οποία είναι παρακολούθημα του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος [121] η αντοχή θα ήταν:

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

$L_1=0.942$   
 $L_2=0.960$   
 $L_3=1.184$   
 $L_4=1.030$   
**άρα  $f_c=303 \text{ kg/cm}^2$**

### 1.5.2 Παραλλαγές

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

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

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

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

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

Απόσταση οπλισμού από κοντινότερη επίπεδη πλευρά 30mm.

Τα αποτελέσματα, στα οποία καταλήγουμε φαίνονται στην συνέχεια:

#### Περίπτωση α.

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

2. **Plowman, Smith**  $f_c = F_1 * F_2 * F_3 * f_{\text{core}}$   
 $F_1=1.24, F_2=1.02, F_3=1.3, f_{\text{core}}=275$  **άρα  $f_c=452 \text{ kg/cm}^2$**

3. **B.S.I.**  $f_c = [D / (1.5 + 1/\lambda)] * f_{\text{core}}$   
α)  $D=2.5, \lambda=2.0$  **άρα  $f_c=344 \text{ kg/cm}^2$**

β)  $D=2.3, \lambda=2.0$  **άρα  $f_c=316 \text{ kg/cm}^2$**

4. **Monday/Dhir**  $f_c = 1.5 * f_{\text{core}} - 0.007 * f_{\text{core}}^2$   
**άρα  $f_c=359.6 \text{ kg/cm}^2$**

**5. ΕΛΟΤ**  $f_c = (\lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 / K_\phi * K_c * K_d) * f_{core}$   
 $\lambda_1 = 1.02, K_\phi = 0.75$   
 $\lambda_2 = 0.92, U_c = 0.90$   
 $\lambda_3 = 1.22, K_d = 1.00$   
**άρα  $f_c = 466 \text{kg/cm}^2$**

**Περίπτωση β.**

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

**2. Plowman, Smith**  $f_c = F_1 * F_2 * F_3 * f_{core}$   
 $F_1 = 0.87, F_2 = 1.02, F_3 = 1.3, f_{core} = 275$  **άρα  $f_c = 317 \text{kg/cm}^2$**

**3. B.S.I.**  $f_c = [D / (1.5 + 1/\lambda)] * f_{core}$   
a)  $D = 2.5, \lambda = 0.5$  **άρα  $f_c = 196 \text{kg/cm}^2$**   
b)  $D = 2.3, \lambda = 0.5$  **άρα  $f_c = 181 \text{kg/cm}^2$**

**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  $f_c = 359.6 \text{kg/cm}^2$**

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

**Περίπτωση γ.**

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

**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  $f_c = 488 \text{kg/cm}^2$**

**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  $f_c = 373 \text{kg/cm}^2$**

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

**άρα  $f_c = 373 \text{kg/cm}^2$**

**4. Monday/Dhir**  $f_c = 1.5 * f_{core} - 0.007 * f_{core}^2$   
**άρα  $f_c = 359.6 \text{kg/cm}^2$**

**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  $f_c = 466 \text{kg/cm}^2$**

**Περίπτωση δ.**

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

**2. Plowman, Smith**  $f_c = F_1 * F_2 * F_3 * f_{core}$   
 $F_1 = 0.87, F_2 = 1.10, F_3 = 1.3, f_{core} = 275$  **άρα  $f_c = 342 \text{kg/cm}^2$**

**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)  $D = 2.5, \lambda = 0.5$   
 $\Phi_r = 20 \text{mm}$

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

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

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

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

**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  $L/D \neq 2.0$ ), **άρα  $f_c=359.6\text{kgr/cm}^2$**

#### **5. ΕΛΟΤ**

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

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

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

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

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

**Παρατήρηση:** Παρατηρούνται μεγάλες διαφοροποιήσεις κατά την μετατροπή της αντοχής του πυρήνα σε συμβατική αντοχή (π.χ. για την περίπτωση αναφοράς πυρήνας με τάση θραύσεως  $275\text{kg/cm}^2$  αντιστοιχεί σε αντοχή κυβικών δοκιμίων που κυμαίνεται από  $291\text{kg/cm}^2$  έως  $412\text{kg/cm}^2$ ).

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ**

### **ΙΙ. ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ**

Οι μη καταστρεπτικές μέθοδοι (ή και έμμεσες μέθοδοι) είναι μέθοδοι έμμεσου προσδιορισμού της αντοχής του σκυροδέματος μιας κατασκευής. Με τις μεθόδους αυτές δεν μετρίεται άμεσα η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, αλλά ένα άλλο χαρακτηριστικό του σκυροδέματος το οποίο σχετίζεται έμμεσα με την θλιπτική αντοχή. Ο έμμεσος αυτός προσδιορισμός της αντοχής του σκυροδέματος κρίνεται αναγκαίος στις περιπτώσεις κατά τις οποίες θέλουμε:

1. να εξετάσουμε την ομοιογένεια της αντοχής του σκυροδέματος σε μια κατασκευή.,
2. να παρακολουθήσουμε την ανάπτυξη της αντοχής με την πάροδο του χρόνου (προκατασκευή, αφαίρεση ξυλοτύπων κλπ)
3. να προσδιορίσουμε την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος επιτόπου του έργου.

Οι μη καταστρεπτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται περισσότερο στον Ελλαδικό χώρο είναι: το κρουσίμετρο (R), οι υπέρηχοι (V) και η εξόλκευση ήλου (H). Οι μη καταστρεπτικές μέθοδοι είναι οικονομικές, εύκολες στη χρήση αλλά η αξιοπιστία τους εξαρτάται από το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα. Έτσι, αν πρόκειται να ελέγξουμε την ομοιογένεια ή την εξέλιξη της αντοχής του σκυροδέματος οι έμμεσες μη καταστροφικές μέθοδοι δίνουν σχετικώς καλά αποτελέσματα, στις περιπτώσεις όμως κατά τις οποίες επιδιώκεται ο προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος τα αποτελέσματα είναι λιγότερο αξιόπιστα. Στις περιπτώσεις αυτές, οι έμμεσες μέθοδοι πρέπει να συνδυάζονται με πυρηνοληψίες και αντίστοιχη βαθμονόμηση των ερμηνευτικών καμπυλών.

#### **ΙΙ.1 Η Μέθοδος των Υπερήχων**

##### **ΙΙ.1.1. Εφαρμογές**

Η μη καταστρεπτική μέθοδος των υπερήχων έχει τις εξής επιπλέον εφαρμογές:

- α) Διαπίστωση της ομοιομορφίας του σκυροδέματος της κατασκευής.
- β) Εξέταση της ύπαρξης ρωγμών, πόρων ή άλλων ανωμαλιών στο εσωτερικό της μάζας του σκυροδέματος.
- γ) Μέτρηση των αλλαγών που παρατηρούνται με την πάροδο του χρόνου στις ιδιότητες του σκυροδέματος των κατασκευών.
- δ) Υπολογισμός του μέτρου ελαστικότητας και της σταθεράς του Poisson του σκυροδέματος.

##### **ΙΙ.1.2. Βασικές Αρχές**

Η συσκευή των υπερήχων αποτελείται από μια γεννήτρια παραγωγής υπερηχητικών κυμάτων, από δύο κρυστάλλους (έναν πομπό και έναν δέκτη) και από ένα μετρητή του χρόνου που χρειάζεται ο υπέρηχος για να διανύσει το προς εξέταση δοκίμιο σκυροδέματος. 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/sec) δίνεται απ' τον τύπο:  $V=L/T$ . Μετρήσεις με την μέθοδο των υπερήχων μπορούν να γίνουν με τρεις τρόπους. Ο πρώτος είναι τοποθετώντας τους δύο κρυστάλλους σε δύο αντικριστές πλευρές του προς εξέταση δοκιμίου (direct transmission), ο δεύτερος τοποθετώντας τους σε δύο κάθετες μεταξύ τους πλευρές (semi-direct transmission), ενώ στον τρίτο οι κρύσταλλοι τοποθετούνται στην μοναδική προσιτή πλευρά του δομικού στοιχείου (indirect or surface transmission). 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.

### Π.1.3. Χρήση Λιπαντικών Ουσιών

Για να είμαστε σίγουροι ότι τα υπερηχητικά κύματα, που διοχετεύονται από τον κρύσταλλο πομπό, περνούν στο σύνολό τους μέσα στην μάζα του σκυροδέματος, τοποθετούμε μεταξύ των κρυστάλλων και του σκυροδέματος μια λιπαντική ουσία, η οποία καλύπτει τις ατέλειες της εξωτερικής επιφάνειας του στοιχείου [67],[36],[50],[34]. Η λιπαντική ουσία, η οποία μπορεί να είναι γράσο βαζελίνη ή γενικά κάποιο παράγωγο του πετρελαίου, πρέπει να τοποθετείται σε μικρή ποσότητα, γιατί διαφορετικά προκαλεί αθέλητες διαφοροποιήσεις στην μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων. Οι διαφοροποιήσεις αυτές οφείλονται στο γεγονός ότι η ταχύτητα διαδόσεως των υπερήχων είναι διαφορετική στο σκυροδέμα από ότι στην χρησιμοποιούμενη λιπαντική ουσία. Παράλληλα με την χρήση των ανωτέρω λιπαντικών ουσιών, κατά την διάρκεια της δοκιμής, για να επιτύχουμε την μέτρηση του σωστού χρόνου διαδόσεως των υπερηχητικών κυμάτων, 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 σμυριδόπανου.

### Π.1.4. Βαθμονόμηση.

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 όργανο βαθμονομήσεως πρέπει να είναι τόση όση δίνεται πάνω στην ράβδο του οργάνου [34], [36]. Η ακρίβεια πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ  $\pm 1\%$  κατά ISO [34] ή  $\pm 2\%$  κατά ASTM [36].

### Π.1.5. Παράγοντες που επηρεάζουν την μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων

#### Π.1.5.α. Υγρασία

Όταν στο δοκιμαζόμενο στοιχείο το ποσοστό υγρασίας είναι υψηλό παρατηρείται μια αύξηση της μετρούμενης ταχύτητας των υπερήχων [34]. Ο Λογοθέτης [80] συνιστά τη χρήση των διορθωτικών συντελεστών που φαίνονται παρακάτω.

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

Πρέπει να σημειωθεί ότι είναι δυνατή η χρήση ενδιάμεσων τιμών, κατ' εκτίμηση του βαθμού ξηράνσεως ή του βαθμού κορεσμού της υπό έλεγχο μάζας σκυροδέματος.

#### Π.1.5.β. Θερμοκρασία του Σκυροδέματος

Έχει παρατηρηθεί μέσα από μία σειρά πειραμάτων ότι όταν η θερμοκρασία κυμαίνεται από  $+5^{\circ}\text{C}$  έως  $+30^{\circ}\text{C}$  δεν παρατηρείται καμία σημαντική διαφοροποίηση στην μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων [34], [50]. Αντίθετα, όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη από  $+5^{\circ}\text{C}$  ή υψηλότερη από  $+30^{\circ}\text{C}$ , τότε διαπιστώνονται σημαντικές μεταβολές στην ταχύτητα των υπερήχων, για σκυροδέματα συντηρημένα τόσο σε ξηρές, όσο και σε υγρές συνθήκες. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι διορθωτικοί συντελεστές, με τους οποίους προσαυξάνεται (ή μειώνεται) η μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων, όταν η θερμοκρασία βρίσκεται εκτός του διαστήματος  $+5^{\circ}\text{C}$  έως  $+30^{\circ}\text{C}$ .

**Πίνακας Π.1** Επίδραση της θερμοκρασίας σκυροδέματος στην ταχύτητα των υπερήχων κατά RILEM [50].

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

Για θερμοκρασίες μεταξύ των τιμών που δίνονται στον παραπάνω πίνακα μπορεί να γίνεται γραμμική παρεμβολή, για τον προσδιορισμό του σωστού διορθωτικού συντελεστή. Η μείωση που παρατηρείται στην ταχύτητα των υπερήχων στις θερμοκρασίες 40° C και 60° C είναι πιθανό να προέρχεται από τις εσωτερικές μικρορηγματώσεις που σημειώνονται στην μάζα του σκυροδέματος σ' αυτές τις θερμοκρασίες. Επειδή δεν υπάρχει αντίστοιχη μείωση και στην αντοχή του σκυροδέματος, οι συντελεστές του πίνακα βοηθούν στην σωστή συσχέτιση της ταχύτητας των υπερήχων με την αντοχή του σκυροδέματος της κατασκευής [50]. Αντίθετα η αύξηση της ταχύτητας των υπερήχων σε θερμοκρασίες μικρότερες των -4° C οφείλεται στην μετατροπή του νερού των πόρων σε πάγο.

#### Π.1.5.γ. Μήκος Διαδρομής (path length)

Το B.S. 1881 [67] δίνει ότι το ελάχιστο μήκος διαδρομής πρέπει να είναι ίσο με 100mm για σκυροδέματα με μέγιστο μέγεθος αδρανούς 20mm και 150mm για μέγιστο μέγεθος αδρανούς μεταξύ 20mm και 40mm. Στα I.S.O [34] 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 στα ASTM [36], 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 για τις μή καταστρεπτικές μεθόδους [50], δίνεται ο κατωτέρω πίνακας για την επιλογή της συχνότητας ανάλογα με το μήκος διαδρομής.

**Πίνακας Π.2** Απαιτούμενη συχνότητα οργάνου συναρτήσει του μήκους διαδρομής των υπερήχων [50].

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

#### Π.1.5.δ. 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 επιτρεπομένη. 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 που ακολουθεί φαίνεται η ελάχιστη διάσταση του δοκιμίου συναρτήσει της συχνότητας του οργάνου και της ταχύτητας των υπερήχων [67].

**Πίνακας Π.3** Ελάχιστη διάσταση δοκιμίου συναρτήσει της συχνότητας του οργάνου.

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

#### **Π.1.5.ε. 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 [50],[67],[34]. 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 επιβεβλημένες, τότε τα αποτελέσματα των μετρήσεων θα πρέπει να διορθώνονται, σύμφωνα με τις κατωτέρω προτεινόμενες διαδικασίες [50].

α) Οι άξονες των οπλισμών κάθετοι προς την διεύθυνση διαδόσεως των υπερηχητικών κυμάτων (βλ Σχήμα Π.1).

**Σχήμα Π.1** Μετρήσεις ταχύτητας υπερήχων σε σκυρόδεμα παρουσία οπλισμών (από το [50])

Εστω ότι στο στοιχείο που εξετάζουμε υπάρχουν "n" διαφορετικές ράβδοι οπλισμού με διαμέτρους  $\Phi_i$  ( $i=1,\dots,n$ ). Η σχέση μέσω της οποίας γίνονται οι απαραίτητες διορθώσεις των υπολογισμών μας είναι η εξής:

$$V_c/V = (1-L_s/L)/[1-L_s*V/(L*V_s)]$$

$V$  : 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 στο χάλυβα από 5.2km/sec έως 6.0km/sec.

$L$  : το πάχος του στοιχείου που εξετάζουμε.

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

β) Οι άξονες των οπλισμών παράλληλοι προς την διεύθυνση διαδόσεως των υπερηχητικών κυμάτων.

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:

$$\frac{V_c}{V} = \frac{V_c}{V_s} + 2 * \frac{a}{L} * \sqrt{1 - \left(\frac{V_c}{V_s}\right)^2}$$

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

$V$  : 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/sec)

$a$  : η απόσταση μεταξύ της ράβδου οπλισμού και του πλησιέστερου κρυστάλλου (σε mm)

$T$  : ο χρόνος διαδόσεως των υπερήχων (sec)

$L$  : το μήκος διαδρομής (path length)

Η επίδραση των οπλισμών μηδενίζεται όταν

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

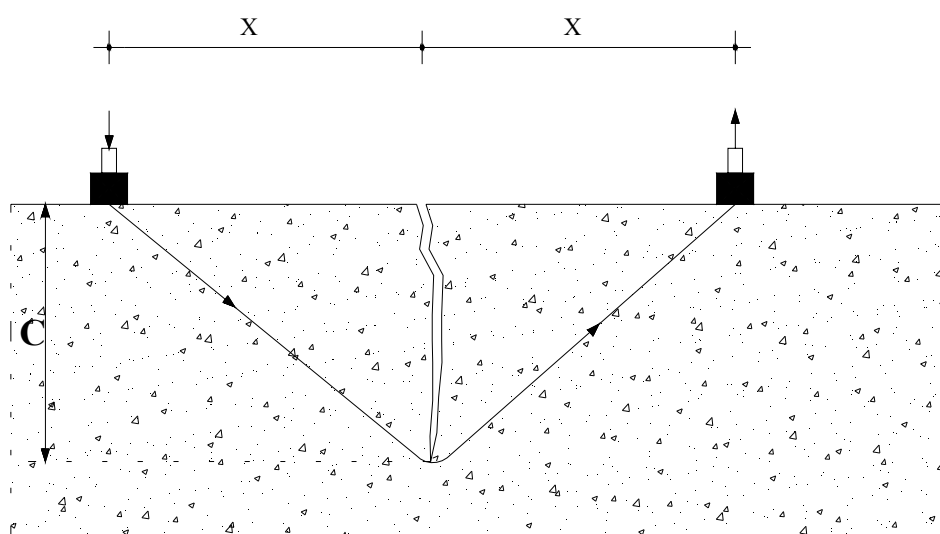
και η ανωτέρω σχέση παύει να ισχύει. Ο λόγος  $a/L$  έχει μέγιστο όριο περίπου το 0.25, για σκυροδέματα χαμηλής ποιότητας και οπλισμούς με διάμετρο αρκετά μεγάλη. Αντίθετα για σκυροδέματα υψηλής ποιότητας που περιέχουν ράβδους οπλισμού με διάμετρο μικρότερη ή ίση των 12 mm ο λόγος  $a/L$  παίρνει το ελάχιστο όριο που είναι περίπου 0.15. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι τιμές του διορθωτικού συντελεστή, για διάφορες τιμές των λόγων  $V_c/V_s$  και  $a/L$ .

**Πίνακας Π.4** Διορθωτικοί συντελεστές της ταχύτητας των υπερήχων παρουσία οπλισμών.

a/L	Πραγματική ταχύτητα υπερήχων στο σκυρόδεμα/ Μετρούμενη ταχύτητα υπερήχων= $V_c/V$			
	$V_c/V_s=0.90$	$V_c/V_s=0.80$	$V_c/V_s=0.71$	$V_c/V_s=0.60$
0	0.90	0.80	0.71	0.60
1/20	0.94	0.86	0.78	0.68
1/15	0.96	0.88	0.80	0.71
1/10	0.99	0.92	0.85	0.76
1/7	1.00	0.97	0.91	0.83
1/5	1.00	1.00	0.99	0.92
1/4	1.00	1.00	1.00	1.00

### Π.1.6. Εξέταση της ύπαρξης ατελειών στη μάζα του σκυροδέματος.

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 κενών μέσα στην μάζα του σκυροδέματος [67],[50]. Η ύπαρξη ενός τέτοιου κενού μπορεί να διαπιστωθεί μόνο όταν η προβολή του κατά μήκος της διαδρομής των υπερήχων είναι μεγαλύτερη από το πλάτος των ακροδεκτών (κρυστάλλων) και από το μήκος κύματος των υπερήχων. Στην περίπτωση αυτή οι παλμοί διανύουν μεγαλύτερο μήκος και έτσι ο χρόνος διαδόσεως του υπερηχητικού κύματος παρουσιάζεται σημαντικά αυξημένος σε σχέση με τον χρόνο διαδόσεως σε γειτονικές θέσεις χωρίς ρωγμές και κενά. Απαραίτητη προϋπόθεση, για να είναι οι μετρηθέντες χρόνοι συγκρίσιμοι, 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 σχήμα Π.2.



**Σχήμα Π.2** Διάταξη μετρήσεως για τον προσδιορισμό του βάθους ρωγμής (από το [67])

Δίνουμε στο  $x$  τις τιμές 150mm και 300mm και μετράμε τους χρόνους διαδόσεως των υπερήχων  $t_1$  και  $t_2$ . Χρησιμοποιώντας αυτές τις τιμές υπολογίζουμε το βάθος της ρωγμής  $C$  (σε mm) ως εξής:

$$(C/150)^2 = [4t_1^2 - t_2^2] / [t_2^2 - t_1^2]$$

όπου:

$t_1$  : ο χρόνος διαδόσεως για  $x=150$ mm

$t_2$  : ο χρόνος διαδόσεως για  $x=300$ mm

Πρέπει να σημειωθεί ότι προϋπόθεση για την ισχύ της ανωτέρω σχέσεως είναι η ομοιογένεια του σκυροδέματος του δομικού στοιχείου.

### Π.1.7. Εντατική κατάσταση

Για την επίδραση της εντατικής καταστάσεως στην ταχύτητα διαδόσεως των υπερήχων οι Poronics [9] αναφέρουν ότι η ταχύτητα των υπερήχων αυξάνει ελαφρά όταν το σκυρόδεμα φορτίζεται προοδευτικά, αλλά μειώνεται απότομα όταν η εξωτερική τάση γίνει ίση με το 70% της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. Το φαινόμενο αυτό δικαιολογείται απ' το γεγονός ότι όσο η τάση αυξάνεται προοδευτικά τόσο τα μικροκενά στη μάζα του σκυροδέματος καλύπτονται, 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 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 που ακολουθεί δίνονται οι αναγκαίες διορθώσεις που πρέπει να γίνονται για κάθε περίπτωση. Οι τιμές που παρατίθενται πρέπει να προστίθενται στις μετρούμενες ταχύτητες.

**Πίνακας Π.5** Διόρθωση της ταχύτητας των υπερήχων συναρτήσει της εντατικής καταστάσεως.

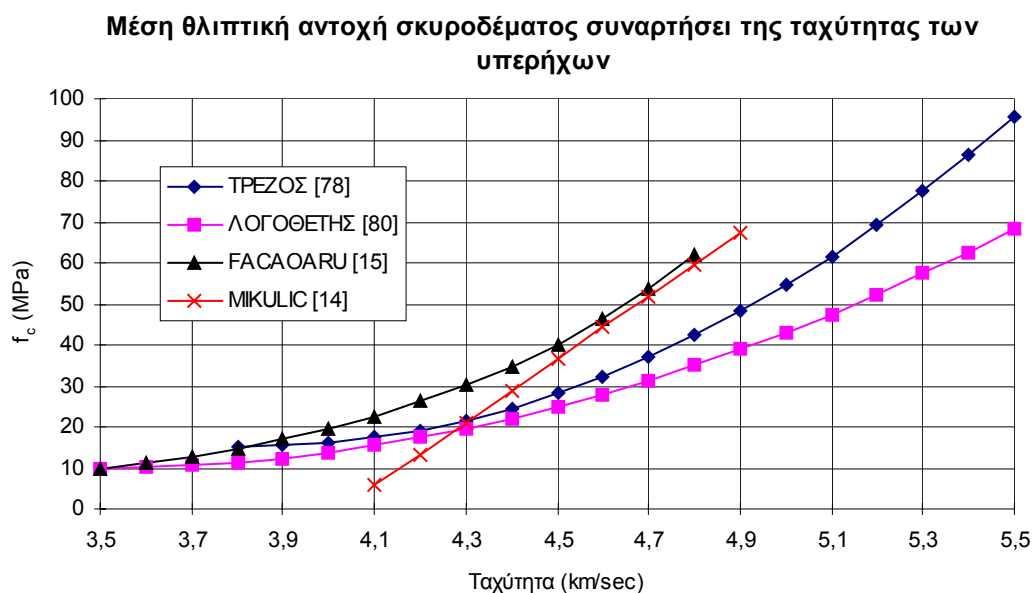
Σκυροδέμα	$\sigma/f_c$	Κύκλος φορτίσεως	$\Delta V/V$
Πρωτοφορτιζόμενο	0.0-0.4	1ος	0
	0.4-0.6		$0.06 * \sigma/f_c$
	0.6-0.8		$\{0.04+0.2[(\sigma/f_c)-0.6]\}$
Προφορτισθέν και πλήρως αποφορτισθέν	0.0-0.5	2ος	4%
		3ος	6%
		4ος	8%

### Π.1.8. Μέθοδος συσχέτισεως αντοχής συμβατικών δοκιμίων και ταχύτητας υπερήχων

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. 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<sup>5</sup>. Στα αποτελέσματα προσαρμόζεται συνήθως, με παλινδρόμηση, παραβολική σχέση της μορφής:

$$f_c = aV^2 + bV + c$$

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκριτικά διάφορες προτεινόμενες καμπύλες που συσχετίζουν την ταχύτητα των υπερήχων με την μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. Πάντως σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά: το διάστημα εμπιστοσύνης 90% εκτείνεται  $\pm 0.25f_{cm}$



<sup>5</sup> Προσοχή απαιτείται στον καλό καθαρισμό των επιφανειών του σκυροδέματος από την λιπαντική ουσία, διότι διαφορετικά θα μειωθούν οι τριβές μεταξύ πλακών επιβολής του φορτίου και επιφανειών σκυροδέματος, με αποτέλεσμα να προκύψουν μικρότερες αντοχές σκυροδέματος.

## **II.2. Η Μέθοδος του κρουσίμετρου**

Η μέθοδος του κρουσίμετρου είναι μια μη καταστρεπτική μέθοδος μετρήσεως της αντοχής του σκυροδέματος, η οποία βασίζεται στην επιφανειακή σκληρότητα των δομικών στοιχείων που εξετάζονται. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την μέθοδο αυτή, οι αναγκαίες μετρήσεις που πρέπει να γίνονται για την κάθε θέση δοκιμής, καθώς και τρόποι συσχέτισεως της συμβατικής αντοχής του σκυροδέματος με τις ενδείξεις του κρουσίμετρου αναφέρονται στην συνέχεια. 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. Στα ASTM [45] προτείνεται ο συνδυασμός της μεθόδου του κρουσίμετρου με την ημικαταστρεπτική μέθοδο των πυρήνων, οι οποίοι μας βοηθούν στον συσχετισμό της ένδειξης του κρουσίμετρου R με την πραγματική αντοχή του σκυροδέματος των κατασκευών.

### **II.2.1. Εφαρμογές**

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

### **II.2.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος με την μέθοδο του κρουσίμετρου.**

#### **II.2.2.α. 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 [51],[66]. 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 [51].

#### **II.2.2.β 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 λειαινούνται αν είναι ανώμαλες, καθότι έχει παρατηρηθεί ότι οι ενδείξεις του κρουσίμετρου στις λείες επιφάνειες είναι αυξημένες σε σχέση με τις ενδείξεις στις ανώμαλες επιφάνειες [32],[51]. 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 καμία μεταβολή στον μετρούμενο δείκτη επιφανειακής σκληρότητας (R).

#### **II.2.2.γ 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% [51],[66].

#### Π.2.2.δ Ενανθράκωση.

Όταν τα δομικά στοιχεία είναι μεγάλης ηλικίας ή εκτίθενται σε περιβάλλον πλούσιο σε CO<sub>2</sub> αναπτύσσεται το φαινόμενο της ενανθράκωσης. Το φαινόμενο αυτό, προκαλεί αύξηση των ενδείξεων του κρουσίμετρου έως και 50% [51] για σταθερή συμβατική αντοχή σκυροδέματος  $f_c$ . Γίνεται εύκολα κατανοητό ότι για μεγάλα βάθη ενανθράκωσης 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 ενανθράκωσης 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 [45].

Από την [79] έχει προκύψει η παρακάτω μεταβολή της αντοχής συναρτήσει του βάθους ενανθράκωσης:

$$f_c(R)/f_c(\text{act})=1.0+0.04*x$$

όπου  $x$  το βάθος ενανθράκωσης σε mm

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

$f_c(\text{act})$  η πραγματική αντοχή

#### Π.2.2.ε 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 [51],[66].

**Πίνακας Π.6** Επίδραση της διεύθυνσης κρουσιμετρήσεως.

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

### Π.2.3. Διαδικασία μετρήσεως.

#### Π.2.3.α Θερμοκρασία.

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά την διάρκεια των μετρήσεων πρέπει να είναι από 10°C έως 30°C [51]. Μετρήσεις που γίνονται σε χαμηλές θερμοκρασίες (κοντά στους 0°C) δίνουν αυξημένες ενδείξεις κρουσίμετρου [32], γι' αυτό καλό είναι να αποφεύγονται οι μετρήσεις σ' αυτές τις θερμοκρασίες.

#### Π.2.3.β Αριθμός και θέσεις δοκιμών.

Ο αριθμός των κρουσιμετρήσεων που πρέπει να γίνονται σε κάθε θέση δοκιμής είναι ένα θέμα, το οποίο έχει εξεταστεί απ' το σύνολο των ερευνητών που έχουν ασχοληθεί με την μη καταστρεπτική μέθοδο του κρουσίμετρου. 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 [26],[32],[51],[66]. 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 [45] 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 [32] 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.

### **Π.2.3.γ 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 [45],[32]. 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.

### **Π.2.4. Συντελεστής μεταβλητότητας.**

Οι Marzay A., Long A. [56] 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% απ' 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 να κυμαίνεται από 0.4 έως 1.1% . Στα B.S. [66] 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.

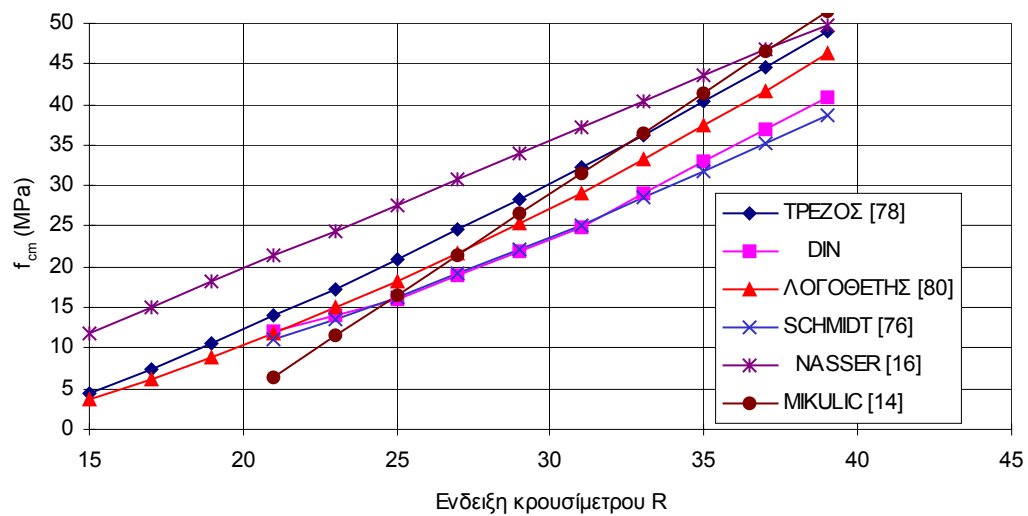
### **Π.2.5. Μέθοδος συσχέτισεως αντοχής συμβατικών δοκιμών και δείκτη επιφανειακής σκληρότητας.**

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. Η πλέον ικανοποιητική οδός μετρήσεως του δείκτη επιφανειακής σκληρότητας των κύβων (R) είναι να τα 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 απ' τις ακμές του δοκιμίου κατά 30mm, ενώ τόση θα πρέπει να είναι και η μεταξύ τους απόσταση. 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 συνήθως, με παλινδρόμηση, παραβολική σχέση της μορφής:

$$f_c = aR^2 + bR + c$$

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκριτικά διάφορες προτεινόμενες καμπύλες που συσχετίζουν την ένδειξη του κρουσίμετρου με την μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. Πάντως σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά: το διάστημα εμπιστοσύνης 90% εκτείνεται  $\pm 0.25f_{cm}$ .

Μέση θλιπτική αντοχή σκυροδέματος συναρτήσει της ενδείξεως του κρουσίμετρου



**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ**  
**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

No	ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ	ΤΙΤΛΟΣ	Περιοδικό	Ημερ	Σελ
01 Cb	Skramtaev B.G- Leshchinsky M.Y	Complex methods of NDT of concrete in con- structions and structural works	Bul RILEM No 30	1966 /03	99- 104
02 V	Jones R - Facaoaru I	Recom for testing concrete by ultra sonic pulse method	Mater + Constr vol 2, No 10	1969	275 - 291
03 NDT	RILEM	Rilem WG on NDT of concrete	RILEM No 27	1965 /06	121-124
04 Fi	Logothetis L Oikonomou C	The influence of high temperature on calibration of NDT of concrete	Mater Construc Vol 14 No 79	1981	39- 43
05 Cb	Leshchinsky A.M	Combined methods of determining control measures of concrete quality	Mater + Struct, 24	1991	177-184
06 Sp	Lyse I. Johansen R	An investigation on the relationship between the cube and cylinder strengths of concrete	RILEM no 14	1962 /03	125-133
07 Cb	Postacioglu B	Nouvelles significations de l indice sclerometrique Schmidt et de la vitesse de propagation des ultra sons	Mater + Constr Vol 18 No 108	1985	447-451
08 V	Durant A Durant G	Etude de la variation de la vitesse lon- gitudinale V des ultrasons dans une eprouvette normalisee de beton soumise a des charges croissantes	Mater + Constr vol 11 No 63	1978	199-203
09 V	Popovic S Popovic J	Effect of stresses on the Ultrason pulse velocity in concrete	Mater + Struct 24	1991	15- 23
10 ND	RILEM	Recommendation for testing concrete by hard- ness method	Mater + Constr vol 16 No 95	1983	369-376
11 Ca	RILEM	Measurement of hardened concrete car- bonation depth	Mater Constr vol 17 no 102	1984	437-440
12 Fi	Mamillan M Sidorowicz J	Calcul previsionel des resistances des betons apres traitement thermique	Mater Constr Vol 12 no 71	1979	367-373
13 R	Mommens A	La precision de l estimation de la resistance du beton au moyen du l indice sclerometrique	Mater Constr Vol 10 No 55	1977	49-54
14 Cb	Mikulic D Pause Z Ukraincik V	Determination of concrete quality in a struc- ture by a combination of destructive and ND method	Mater Struc 25	1992	65- 69
15 V	Facaoaru I	Contribution a l etude de la relation entre la resistance du beton a la compression et de la vitesse de propagation longitudinale des ultra sons	RILEM no 92	1961 /9	125-154
16 NDT	Nasser K -Al Manasser I	Comparison of ND testers of hardened concrete	ACI mater jour	1987 /07-8	374-380
17 V	Galant A	Determination de la resistance a compression du beton d apres la vitesse transversale de propagation des ultrasons et les methodes combinees qui en decoulent	Mater Constr vol 15 no 86	1982	127-132

Στην 1η στήλη τα γράμματα μετά τον αύξοντα αριθμό συμβολίζουν:

NDT=Non Destructive Testing, R=Rebound, V=Pulse velocity, H=Greek method, Cr=Cores, Cb=Combination,  
Ins=Insitu, Fi=Fire, Ca=Carbonization, Sp=Specimen, Ma=Maturity, X=Rays

No	ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ	ΤΙΤΛΟΣ	Περιοδικό	Ημερ	Σελ
18 Cr	Szypula A Grossman J	Cylinder vs core strength	Concr Intal vol 12 no 2	1990 /02	55-61
19 V	Durant G Mace M	Utilisation de la variation de la vitesse longitudinale des ultrasons dans les betons en fonction du temps dans les controles des produits manufactures	Mater Constr Vol 16 no 95	1983	353-358
20 Cb	Cianfrone F Facaoaru I	Study on the introduction into Italy on the combined ND method for the determination of the insitu concrete strength	Mater Constr Vol 12 no 71	1979	413-424
21 NDT	Serikh R.L	Concrete quality control in design of concrete components	TPT	1991 09	5pp
22 Ins	Sririvindrajah R- Loo Y.H- Tam C.T.	Strength evaluation of recycled aggregate concrete by insitu tests	Mater Stru 21	1988	289-295
23 Cb	Knaze P Beno P	The use of combined ND testing methods to determine the compressive strength of concrete	Mater Constr vol 17 no 99	1984	207-210
24 NDT	Schickert G	Critical reflection on ND testing of concrete	Mater Constr vol 17 no 99	1984	217-223
25 Cb	Galant A	Determination des caracteristiques des resistances des beton d apres les mesures de propagation des ultra sons combinees avec les donees sclerometriques	Mater Constr vol 17 no 99	1984	201-206
26 R	Facaoaru I	Comparison between recommendation existing in some european countries concerning the determination of concrete strength by surface hardness methods	Mater Constr vol 9 no 51	1976	207-210
27 Cr	Campbel R.H Tobin R.E	Core and cylinder strengths of natural and lightweight concrete	ACI jour	1967 /04	190-195
28 NDT	Chabowski A.J- Bryden-Smith D.W	Assessing the strength of insitu portland cement by internal fracture tests	Magaz of concrete rese vol 32 no 112	1980 /09	164-172
29 Ins	Bloem D.L	Concrete strength in structures	ACI journ	1968 /03	176-187
30 Cr	ISO	Cores of hardened concrete - Taking, examination and testing in compression	ISO/ DIS7034	1983	3pp
31	ISO	Concrete hardened - Determination of the depth of penetration of water under pressure	ISO/ DIS7031	1983	3pp
32 R	ISO	Concrete hardened - determination of the rebound number using the rebound hammer	ISO/ DIS8045	1982	2pp
33 H	ISO	Concrete hardened - determination of pullout strength	ISO/ DIS8046	1982	3pp
34 V	ISO	Concrete hardened - determination of ultrasonic pulse velocity	ISO/ DIS8047	1982	4pp
35	ISO	Concrete hardened - determination of density	ISO 6275	1982	2pp

Στην 1η στήλη τα γράμματα μετά τον αύξοντα αριθμό συμβολίζουν:

NDT=Non Destructive Testing, R=Rebound, V=Pulse velocity, H=Greek method, Cr=Cores, Cb=Combination, Ins=Insitu, Fi=Fire, Ca=Carbonization, Sp=Specimen, Ma=Maturity, X=Rays

No	ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ	ΤΙΤΛΟΣ	Περιοδικό	Ημερ	Σελ
36 V	ASTM	Standard test method for pulse velocity through concrete	ASTM C597	1983	4pp
37 Ins	Petersons N	Recommendations for estimation of quality of concrete in finished structures	Mater Constr vol 4 no 24	1971	379-396
38 Ins	Bickley J.A	The variability of pullout tests and in-place concrete strength	Concr Intal	1992 /04	44- 51
39 Cr	Plowman J.M- Smith W.F- Sherriff T	Cores cubes and the specified strength of concrete	Struc Engin no 11 vol 52	1974 /11	421-426
40 Ins	Tassios T.P	Uncertainties of instructure assessment of concrete strength	ACI Symposium 4-9/3/84 Phoenix Ariz	1984	22p
41 H	Malhotra V.M- Carette G	Comparison of pullout test of concrete with compressive strength of cylinders and cores, pulse velocity and rebound number	ACI jour	1980 /05-6	161-170
42 NDT	Sullivant P.J.E	Testing and evaluation of concrete strength in structures	ACI mater jour	1991 /091 0	530-535
43 NDT	Leshchinsky A.M	NDT of concrete strength: statistical control	Mater Struc 25	1992	70- 78
44 Ins	Philleo R.E	A need for insitu testing of concrete	Concr Intal	1979 /09	43- 44
45 R	ASTM	Standard test method for rebound number of hardened concrete	ASTM C805	1985	398-399
46 H	ASTM	Standard test method for penetration resistance of hardened concrete	ASTM C803	1990	394-397
47 H	Johansen R	In situ strength evaluation of concrete - the "break-off" method	Concr Intal	1979 /09	45- 51
48 Ins	BSI	Assessment of concrete strength in existing structures	BS 6089	1981	13p
49 NDT	Malhotra V.M	Symposium review: insitu strength evaluation of concrete	Concr Intal	1979 /09	40- 42
50 V	RILEM	Testing of concrete by the ultrasonic pulse method	RILEM NDT1	1972	10p
51 R (V)	RILEM	Recom for the use of resonant frequency method in testing concrete specimens. Recom for testing of concrete by the hardness method	RILEM NDT2 NDT3	1984	11p
52 Ins	Sandvik M Haug A.K	Insitu strength of concrete in offshore structures	TPT	1990 -?	295-297
53 H	Long A Murray A	Pulloff test for insitu concrete strength	Concrete	1981 /12	23- 24
54 H	Dilly R.L Ledbetter W.B	Concrete strength based on maturity and pullout	ASCE Str Eng vol 110 no 2	1984 /02	354-369
55	Bugney J.H	Concrete strength determination by pullout	Proc Inst Civ Eng Part	1981	379-394

Στην 1η στήλη τα γράμματα μετά τον αύξοντα αριθμό συμβολίζουν:

NDT=Non Destructive Testing, R=Rebound, V=Pulse velocity, H=Greek method, Cr=Cores, Cb=Combination, Ins=Insitu, Fi=Fire, Ca=Carbonization, Sp=Specimen, Ma=Maturity, X=Rays

No	ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ	ΤΙΤΛΟΣ	Περιοδικό	Ημερ	Σελ
H		tests on wedge anchor bolts	2 71	/06	
56 Ins	Murrey A.McC- Long A.E	A study of insitu variability of concrete using the pulloff method	Proc Inst Civ Eng Part 2 83	1987 /12	731-745
57 Ins	Ash J.E	Assessment of insitu concrete and its application to HAC beams	Concrete	1977 /03	24- 25
58 Cr	Loo Y.H Tan C.W Tam C.T	Effects of embedded reinforcement on measured strength of concrete cylinders	Magaz of concrete resea no 146, 41	1989	11- 18
59 H	ASTM	Pullout strength of hardened concrete	ASTM C900	1987	5p
60 NDT	ACI com 228	Inplace methods for determination of strength of concrete	ACI mater jour	1988 /091 0	446-471
61 Ins	Balaguru P.N- Ramakrishnan V	Criteria for estimating the required average strength $f'_{crit}$ to comply with the specified compressive strength $f'_c$	ACI mater jour	1987 /010 2	35- 41
62 Ma	Chengju G	Maturity for concrete: method for predicting early stage strength	ACI mater jour	1989 /070 8	341-353
63 Ins	Hindo KBerg- strom R	Statistical evaluation of the inplace compressive strength of concrete	Concrete Intal	1985 /02	44- 48
64	BSI	Testing concrete: normal curing	BSI 1881/111	1983	4pp
65	BSI	Testing concrete: accelerated curing	BSI 1881/112	1983	?pp
66 R	BSI	Testing concrete: Rebound hammer	BSI 1881/202	1986	6pp
67 V	BSI	Testing concrete: Pulse velocity	BSI 1881/203	1986	18pp
68 Ins	Stone W.C- Reeve C.P	A new statistical method for prediction of concrete strength from in-place tests	Cem Concr Aggr Vol 8 No 1	1986	3-12
69 Ins	ACI	Recommended practice for evaluation of strength test results of concrete	ACI 214/77	1977	14pp
70 Cr	Bungey J.H	The testing of concrete in structures Chapter 5: Cores	Surrey Univ Press	1990 -?	94-109
71 Cb	DiMaio A. Tra- versa LP. Gio- vambatista A.	Non destructive combined methods applied to structural concrete members	Cem Conc Aggr vol 7 no 2	1985	89- 94
72 NDT	Kriviak G.J. Scanlon A.	Estimation of compressive strength of concrete in existing structures based on in-situ test data	ACI Mat Jour	1987 /5-6	235-245
73N DT	Olson L.D Wright C.C.	Non destructive testing for repair and rehabilitation	Concr Intal V12, No3	1990 /03	58- 64
74 NDT	Jenkins R.S	Nondestructive testing - An evaluation tool	Conc Intal Vol 7 No 2	1985 /02	22- 26
75	YPEXODE	Εκτίμηση κατηγορίας αντοχής παλιών κατα-	Εγκύκλιος Ε58	1985	7p

Στην 1η στήλη τα γράμματα μετά τον αύξοντα αριθμό συμβολίζουν:

NDT=Non Destructive Testing, R=Rebound, V=Pulse velocity, H=Greek method, Cr=Cores, Cb=Combination, Ins=Insitu, Fi=Fire, Ca=Carbonization, Sp=Specimen, Ma=Maturity, X=Rays

No	ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ	ΤΙΤΛΟΣ	Περιοδικό	Ημερ	Σελ
		σκευών			
76 R	SCHMIDT	Concrete Test Hammer Types N and NR	Operating instructions	1977	16p
77 Fi	Tasios T, Trezos K, Maravelias X.	Επιτόπου προσδιορισμός της αντοχής του σκυροδέματος και συσχέτιση με την συμβατική αντοχή	10ο Συνέδριο Σκυροδέμα-τος, Ρόδος	1991 /10	
78 NDT	Trezos K, Georgiou K, Maravelias X.	Προσδιορισμός της επιτόπου αντοχής του σκυροδέματος με έμμεσες μεθόδους. Βαθμολόγηση του κρουσίμετρου και των υπερήχων	Τεχνικά Χρονικά TEE	1993 - 0406	27-44
79	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	
80	Logothetis L	Συμβολή εις την επί τόπου εκτίμησιν της αντοχής του σκυροδέματος δια συνδυασμού τριών έμμεσων μεθόδων	Διδακτορική διατριβή	1979	
81	Chung Hung-Wan, Kwok Sang Law	Assessing fire damage of concrete by the ultrasonic pulse technique.	Cem. Concr. and Aggr Vol 7, No 2	1985 /Win t	
82	Tasios T., Deodatis G	Πρακτικός σχεδιασμός κατασκευών από ΩΣ έναντι πυρκαγιάς		1984	
83	Tassios T.P.	A-posteriori estimation of conventional concrete strength from in-situ measurements	RILEM work-shop, Mainz, Germany	1990 /03	
84	Tomsett H.N.	The practical use of ultrasonic pulse velocity measurements in the assessment of concrete quality	Magazine of concrete research	1980 /03	7-16
85	Chung H.W., Law K.S.	Diagnosing in situ concrete by ultrasonic pulse technique.	Concrete International	1983 /10	
86	Mitchell L., Hoagland G.	Investigation of the impact type concrete test hammer.	Highway Res Board, Bul 305	1961	
87	Tasios T, Trezos C, Maravelias X	Ανάπτυξη μεθόδου για την αξιοπιστία των έμμεσων μεθόδων επιτόπου προσδιορισμού της αντοχής σκυροδέματος σε δομήματα Ω.Σ.	Εργαστ ΩΣ/ΕΜΠ, 1η έκθεση προόδου	1991 /08	
89	ISO 834	Fire resistance tests - Elements of building construction.	ISO 834	1975 /11	
90	CEB	Design of Concrete structures for fire resistance.	CEB Bul 145	1982 /01	
91 Cr	Malhotra VM	Contract Strength Requirements - Cores vs in situ evaluation	ACI journal	1977 /04	163-172
92 Cb	Nikkari K	Testing compressive strength of in-situ concrete structures by REBULTRA methode	RILEM 43-CND TC Athens	1981 /04	
93 Cr	Concrete Society	Concrete Core strength testing	Conc Soc Digest No 9	1988	8pp
94 NDT	Marchandise H	The use of uncertainties to quantify quality	Materials and Structures,24	1991	380-386

Στην 1η στήλη τα γράμματα μετά τον αύξοντα αριθμό συμβολίζουν:

NDT=Non Destructive Testing, R=Rebound, V=Pulse velocity, H=Greek method, Cr=Cores, Cb=Combination, Ins=Insitu, Fi=Fire, Ca=Carbonization, Sp=Specimen, Ma=Maturity, X=Rays

No	ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ	ΤΙΤΛΟΣ	Περιοδικό	Ημερ	Σελ
95 NDT	Korshunov D.A, Sidorenko M.V.	Methods for determining the strength of concrete	Materials and Structures,25	1992	29-33
96 Cb	RILEM CND43	Draft Recommendation for in-situ concrete strength determination by combined non-destructive methods	Materials and Structures,26	1993	43-49
97 Cr	Indelicato F	A Statistical method for the assessment of concrete strength through microcores	Materials and Structures,26	1993	261-267
98	YPEXODE	Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος	ΦΕΚ 266	1985	
99 Cr	ELOT	Συσχέτισις της αντοχής αποκοπτομένου πυρήνος σκυροδέματος εκ θραυστών ασβεστολιθικών αδρανών προς την συμβατική αντοχήν	Σχέδιο ΕΛΟΤ 344		
100	Gaede K - Schmidt E.	Ruckprallprüfung von Beton mit dichtem Gefuge.	Heft 158 Deutschen Ausschusses fur Stahl beton.	1960	
101 H	Tassios T. Demiris K.	Νέα έμμεση μέθοδος προσδιορισμού αντοχής σκυροδέματος δι' εξολκείσεως ήλου.	Επιστ. Δημοσ. ΕΜΠ No 21	1968	
102 H	Chabowski A.J Bryden-SmithD	A simple Pull-Out Test to Assess the strength of In Situ Concrete	Precast Concrete Vol.8, No5	1977 /05	pp164-172
103 H	Tassios T, Koufopoulos P., Oikonomou X.	Διερεύνησις της συσχετίσεως αντοχής σκυροδέματος και της δυναμικής εξολκείσεως ήλου	1ο Συνεδ. Σκυρ. Βόλος	1973	
104 ND M	Malhotra V.M.	Testing Hardened Concrete: Non destructive methods	ACI Monograph, No 9	1976	
105	Nasser K.W. Al- Manasser A.A.	New Non destructive test	Concrete International	1987 /01	pp 41-44
106	Skramtajew B.J."	Determining Concrete Strength for Control of Concrete in Structures	ACI Journ Proceed. V.34,No 3	1938 /010 2	
107	Keiller A.P.	Assessing the strength of in situ concrete	Concrete International	1985 /02	pp 15-21
108 H	Stone W.C., Carino N.J., Reeve C.P.	Statistical methods for in Place Strength prediction by the pull-out test	ACI Journal,	1986 /091 0	pp 745-757
109 Cb	Logothetis L. Tassios T.P.	In-situ assessment of concrete quality by means of three combined N.D.-methods	RILEM "Quality control of concrete structures	1979	
113 V	Tassios T.P.	Η εφαρμογή των υπερήχων εις την διαγνωστική των υλικών και των κατασκευών	Τεχνικά Χρονικά No 3	1960	
114 X	Tassios T.P.	Practical utilisation of gamma-rays measurements as a non-destructive method of determination of concrete strength	2nd Int. Symp. on non-destructive testing, Constanta,Romania	1974 / 09	
115	Tassios T.P.	Interaction of theory and testing in situ (A State-of-the-Art Report)	RILEM Symposium: In situ testing of concrete structures,	1977	

Στην 1η στήλη τα γράμματα μετά τον αύξοντα αριθμό συμβολίζουν:

NDT=Non Destructive Testing, R=Rebound, V=Pulse velocity, H=Greek method, Cr=Cores, Cb=Combination, Ins=Insitu, Fi=Fire, Ca=Carbonization, Sp=Specimen, Ma=Maturity, X=Rays



No	ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ	ΤΙΤΛΟΣ	Περιοδικό	Ημερ	Σελ
116 H	Stone W.C. Ciza B.J	The effect of geometry and aggregate on the reliability of the pullout test	Concrete International	1985 / 02	pp 27 -36
117	Kolias St.	Αξιολόγηση του 1ου κριτηρίου του MC78 CEB/FIP για τον έλεγχο συμμορφώσεως του σκυροδέματος σε αντοχή σε θλίψη	4ο Ελ Συνέδριο Σκυροδέματος, Ηράκλειο	1979	
118	Kolias St.	Σκυρόδεμα - Υλικά - Ποιοτικός έλεγχος	6ο Ελλ Συνδρ Σκυρ. Γιάννενα	1983	
119	Kolias St.	Evaluation of the CEB compliance criteria for quality control of concrete strength	Comm. VII concrete Budapest	1980 / 06	
120	Tassios T., Trezos C.	Correlation between in situ and standard strengths of concrete	2 <sup>nd</sup> Intal Conf in Computational Stoch. Mech	1994	
121	ΥΠΕΧΩΔΕ	Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος	Εκδοση ΚΕΔΕ ή Εν. Δελτ ΤΕΕ Νο1956 26-5-97	1997	
122	ΥΠΕΧΩΔΕ	Εγκύκλιος Ε7	Εκδοση ΚΕΔΕ ή Εν. Δελτ ΤΕΕ Νο1964 21-7-97	1997	

Στην 1η στήλη τα γράμματα μετά τον αύξοντα αριθμό συμβολίζουν:

NDT=Non Destructive Testing, R=Rebound, V=Pulse velocity, H=Greek method, Cr=Cores, Cb=Combination, Ins=Insitu, Fi=Fire, Ca=Carbonization, Sp=Specimen, Ma=Maturity, X=Rays