

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

1. Σκοπός, χρήση και διαδικασίες που καθορίζει το Ευρωπαϊκό Πρότυπο prEN 13791:2006
2. 1^ο άρθρο:
Εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής υφιστάμενων (“παλαιών”) κατασκευών με βάση το: prEN 13791/2006
3. 2^ο άρθρο:
Εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών με βάση τη ΝΕΑ «ΕΓΚΥΚΛΙΟΣ Ε7» Τροποποίηση 31-3-2007 του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.
4. 3^ο άρθρο:
Εκτίμηση της αντοχής σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών βάσει: α. Final Draft prEN 13791, 2006, β. ΕΓΚΥΚΛΙΟΣ Ε7, 28-3-1997, γ. ΝΕΑ «ΕΓΚΥΚΛΙΟΣ Ε7», Τροποποίηση 31-3-2007
5. 4^ο άρθρο:
Αμφισβήτηση της ποιότητας του σκυροδέματος με δεδομένη κατηγορία, σε νέες κατασκευές με βάση το τελικό Προσχέδιο του Ευρωπαϊκού Προτύπου: prEN 13791/2006
6. 5^ο άρθρο:
Εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής κατασκευών με βαθμονομημένες έμμεσες μεθόδους βάσει του: prEN 13791/2006 (με κρουσιμετρήσεις).
7. 6^ο άρθρο:
Εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής κατασκευών με βαθμονομημένες έμμεσες μεθόδους βάσει του: prEN 13791/2006 (με εξολκεύσεις ήλου).
8. 7^ο άρθρο:
Εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής κατασκευών με βαθμονομημένες έμμεσες μεθόδους βάσει του: prEN 13791/2006 (με υπερήχους).

Α. Σακελλαρίου
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

και

Ι. Καλογεροπούλου
Πολιτικός Μηχανικός

Αθήνα 2008

1. Σκοπός, χρήση και διαδικασίες που καθορίζει το Ευρωπαϊκό Πρότυπο prEN 13791:2006

- Το Ευρωπαϊκό Πρότυπο prEN 13791:2006 δημιουργήθηκε με σκοπό να παρέχει τρόπους ώστε να εκτιμηθεί η επί τόπου θλιπτική αντοχή σε υφιστάμενες κατασκευές από σκυρόδεμα. Οι δοκιμές της επί τόπου αντοχής λαμβάνουν υπόψη την επίδραση που έχουν τόσο τα υλικά της κατασκευής όσο και ο τρόπος εκτέλεσης της κατασκευής όπως π.χ. τη συμπύκνωση του σκυροδέματος, τη συντήρηση κλπ. Ας σημειωθεί ότι οι δοκιμές που περιγράφει το παραπάνω πρότυπο δεν αντικαθιστούν τις δοκιμές σκυροδέματος του άλλου Ευρωπαϊκού Προτύπου EN 206-1:2000 που αναφέρεται στην παραγωγή σκυροδέματος για νέες κατασκευές.
- Η χρήση του Προτύπου prEN 13791 είναι απαραίτητη για περιπτώσεις όπως:
 - όταν χρειάζεται να ανασχεδιασθεί (ή τροποποιηθεί) υφιστάμενη κατασκευή.
 - όταν χρειάζεται να εκτιμηθεί η φερεγγυότητα μιας κατασκευής όταν υπάρχουν αμφισβητήσεις ως προς τη θλιπτική της αντοχή (λόγω κατασκευαστικών κακοτεχνιών, βλαβών λόγω πυρκαγιάς ή άλλης αιτίας κλπ.).
 - όταν κατά τη διάρκεια μιας ανοικοδόμησης απαιτείται μια εκτίμηση της επί τόπου αντοχής του σκυροδέματος.
 - όταν χρειάζεται να εκτιμηθεί η φερεγγυότητα μιας κατασκευής σε περίπτωση μη συμμόρφωσης της θλιπτικής αντοχής που προήλθε από δοκιμές συμβατικών δοκιμών.
 - όταν χρειάζεται η αξιολόγηση της συμμόρφωσης της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος όταν αυτό προδιαγράφεται σε κάποια τεχνική προδιαγραφή του έργου.
- Ένα περίγραμμα των διαδικασιών που πρέπει να ακολουθηθούν για τις διαφορετικές παραπάνω περιπτώσεις είναι το ακόλουθο:
 1. Εκτίμηση υφιστάμενων (“παλαιών”) κατασκευών που πρέπει να τροποποιηθούν, να ανασχεδιασθούν ή απλά έχουν υποστεί βλάβες:
 - 1α: Πρώτος τρόπος εκτίμησης: με πυρήνες.
 - 1β: Δεύτερος τρόπος εκτίμησης: με βαθμονομημένες έμμεσες¹ μεθόδους που σχετίζονται με δοσμένη σχέση: έμμεσες μέθοδοι – επί τόπου αντοχές.
 2. Συμμόρφωση της επί τόπου αντοχής με χρήση βαθμονομημένων έμμεσων μεθόδων (π.χ. για προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος).
 3. Αμφισβήτηση της ποιότητας του σκυροδέματος σε νέες κατασκευές (με γνωστό f_{ck} ²), είτε ως μη συμμόρφωση είτε ως κακότεχνη κατασκευή.

¹ Ως έμμεσες μέθοδοι εννοούνται οι κρουσιμετρήσεις, οι δυνάμεις εξόλκευσης ήλου και οι υπέρηχοι.

² Με γνωστό f_{ck} σημαίνει με γνωστή, δεδομένη την κατηγορία του υπό έλεγχο σκυροδέματος.

2. Εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής υφιστάμενων (“παλαιών”) κατασκευών με βάση το: prEN 13791/2006 (1^ο άρθρο)

- Στο παρόν άρθρο εξετάζεται μόνον η περίπτωση 1α της προηγούμενης παραγράφου, δηλαδή η εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής υφιστάμενων – παλαιών – κατασκευών με τη μέθοδο των πυρήνων. Τα στάδια κάθε φάσης είναι τα ακόλουθα:
 - 1^ο) Αναλύεται η διαδικασία λήψης και ελέγχου αντοχής των πυρήνων αφού η κατασκευή έχει χωρισθεί σε τμήματα (περιοχές ελέγχου) με σκυροδέματα που ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό.
 - 2^ο) Ορίζεται το πλήθος των πυρήνων για κάθε περιοχή της κατασκευής, οι διαστάσεις τους, ο τρόπος λήψης, προετοιμασίας, συντήρησης και θραύσης των πυρήνων.
 - 3^ο) Εκτιμάται η χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος για κάθε περιοχή ελέγχου και
 - 4^ο) Με βάση την εκτιμώμενη χαρακτηριστική αντοχή, προσδιορίζεται η αντίστοιχη (ισοδύναμη) κατηγορία αντοχής του σκυροδέματος της υπόψη περιοχής ελέγχου της κατασκευής έτσι όπως αυτές οι κατηγορίες προσδιορίζονται από το πρότυπο EN 206-1 (π.χ. C16/20, C20/25, κλπ.).

Στη συνέχεια του παρόντος άρθρου έχουν συγκεντρωθεί και ταξινομηθεί όλοι οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την αντοχή των πυρήνων, τόσο αυτοί που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος (π.χ. υγρασία πυρήνα, πορώδες πυρήνα κλπ.), οι παράγοντες που ανήκουν στις μεταβλητές της δοκιμής (π.χ. διάμετρος πυρήνα, λόγος ύψους/διάμετρος, περιεχόμενος οπλισμός κλπ.), όσο και παράγοντες που σχετίζονται με την ίδια την κατασκευή (π.χ. ηλικία κατασκευής, θέση πυρήνα σε διαφορετικά δομικά στοιχεία κλπ.).

Τέλος, δίνεται συνοπτικά ένα αριθμητικό παράδειγμα υπολογισμού της εκτιμώμενης αντοχής και της ισοδύναμης κατηγορίας σκυροδέματος για μια περιοχή ελέγχου με λήψη έξι (6) πυρήνων.

3. Εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών με βάση τη ΝΕΑ «ΕΓΚΥΚΛΙΟΣ Ε7» Τροποποίηση 31-3-2007 του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. (2^ο άρθρο)

- Σε ένα επόμενο άρθρο θα γίνει μια προσπάθεια παρουσίασης του σχεδίου που έχει εκπονηθεί από το ΥΠΕΧΩΔΕ/ΚΕΔΕ τον Μάρτιο του 2007 με τίτλο: ΝΕΑ «ΕΓΚΥΚΛΙΟΣ Ε7» με βάση τη μεθοδολογία του παραπάνω Ευρωπαϊκού Προτύπου prEN 13791:2006. Η ανάπτυξη του άρθρου, η μεθοδολογία, τα στάδια ανάλυσης έχουν ακριβώς την ίδια δομή με το 1^ο άρθρο με στόχο να είναι εύκολη η σύγκριση των κρίσιμων σημείων της κάθε μιας μεθόδου.
- Στο τέλος του άρθρου θα δίνεται το ίδιο αριθμητικό παράδειγμα υπολογισμού της κατηγορίας του σκυροδέματος, με τους ίδιους πυρήνες, αλλά με τη μεθοδολογία της νέας εγκυκλίου Ε7, προς σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο προσεγγίσεων.

4. Εκτίμηση της αντοχής σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών βάσει: α. Final Draft prEN 13791, 2006, β. ΕΓΚΥΚΛΙΟΣ Ε7, 28-3-1997, γ. ΝΕΑ «ΕΓΚΥΚΛΙΟΣ Ε7», Τροποποίηση 31-3-2007 (3^ο άρθρο)

Σε ένα 3^ο συνοπτικό άρθρο δίνονται οι πίνακες με τα αριθμητικά παραδείγματα υπολογισμού της κατηγορίας του σκυροδέματος, αυτή τη φορά και με εφαρμογή της μεθοδολογίας της παλαιότερης υπάρχουσας εγκυκλίου Ε7 του Μαρτίου του 1997.

5. Αμφισβήτηση της ποιότητας του σκυροδέματος με δεδομένη κατηγορία, σε νέες κατασκευές με βάση το τελικό Προσχέδιο του Ευρωπαϊκού Προτύπου: prEN 13791/2006 (4^ο άρθρο)

Σε ένα επίσης συνοπτικό άρθρο δίνεται η μεθοδολογία που αναπτύσσεται στο Ευρωπαϊκό Πρότυπο prEN 13791 για εκτίμηση της «πραγματικής» κατηγορίας του σκυροδέματος μιας νέας κατασκευής, όταν αμφισβητείται η ποιότητα του σκυροδέματος αυτής της κατασκευής, όπως αναφέρθηκε ήδη στην περίπτωση 3 της παραγράφου 1 του παρόντος. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην ικανοποίηση δύο (2) κριτηρίων που πρέπει να ικανοποιούν τα αποτελέσματα των αντοχών των πυρήνων της ελεγχόμενης περιοχής για δεδομένη απαίτηση ποιότητας σκυροδέματος (για δεδομένη δηλαδή κατηγορία σκυροδέματος).

6. Εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής κατασκευών με βαθμονομημένες έμμεσες μεθόδους βάσει του: prEN 13791/2006 (5^ο, 6^ο και 7^ο άρθρο).

Στα άρθρα αυτά αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθείται από το Ευρωπαϊκό Πρότυπο prEN 13791 για την εκτίμηση της αντοχής υφιστάμενων κατασκευών με τρόπο εκτίμησης όχι πλέον κάθε φορά λήψης πυρήνων, αλλά χρήση έμμεσων μεθόδων όπως κρουσιμετρήσεις, δυνάμεις εξόλκευσης ήλου, υπέρηχοι, έτσι όπως ήδη αναφέρθηκε στην περίπτωση 1β της παραγράφου 1 του παρόντος.

1^ο Άρθρο

**Εκτίμηση της επί τόπου
θλιπτικής αντοχής
υφιστάμενων (“παλαιών”) κατασκευών
με βάση το: prEN 13791/2006**

A. Σακελλαρίου
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

και

I. Καλογεροπούλου
Πολιτικός Μηχανικός

Αθήνα 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

| | |
|--|-----|
| 1. ΣΚΟΠΟΣ | 3 |
| 2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ | 3 |
| 3. ΤΡΟΠΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ | 3 |
| 4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΠΥΡΗΝΩΝ | 3 |
| 5. ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΥΡΗΝΩΝ | 4 |
| 6. ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ($f_{ck, is.}$) ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (in situ-επί τόπου) | 4 |
| 7. ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ | 5 |
| 8. ΣΥΝΤΑΞΗ ΕΚΘΕΣΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ | 6 |
| 9. ΕΚΤΙΜΗΣΗ $f_{ck, is.}$ με μόνον 3 – 14 ΠΥΡΗΝΕΣ | 6 |
| 10. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΠΥΡΗΝΩΝ | 7-8 |
| 11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 9 |
| 12. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ | 9 |

1. **ΣΚΟΠΟΣ:** Εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής υφιστάμενων κατασκευών.
2. **ΕΦΑΡΜΟΓΗ:** Όταν μια υφιστάμενη (“παλαιά”) κατασκευή πρόκειται να τροποποιηθεί, να επανασχεδιαστεί ή έχει υποστεί βλάβες.
3. **ΤΡΟΠΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ:** Με πυρήνες.
As σημειωθεί ότι η αντοχή που προκύπτει από τον έλεγχο των πυρήνων, λαμβάνει υπόψη όχι μόνο το υλικό αλλά και τη διαδικασία σκυροδέτησης (για παράδειγμα τη συμπύκνωση και συντήρηση του σκυροδέματος), σε αντιδιαστολή με τα συμβατικά δοκίμια στα οποία λαμβάνεται υπόψη μόνο το υλικό.
4. **ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΠΥΡΗΝΩΝ:**
 - 4.1. Η κατασκευή χωρίζεται σε τμήματα (περιοχές ελέγχου¹). Κάθε περιοχή ελέγχου περιλαμβάνει διάφορες θέσεις, οι οποίες επιλέγονται τυχαία², καλύπτοντας την περιοχή ενδιαφέροντος. Από κάθε θέση λαμβάνεται ένας πυρήνας.
 - 4.2. Κάθε περιοχή ελέγχεται χωριστά με 15 τουλάχιστον³ πυρήνες.
 - 4.3. Η λήψη και η προετοιμασία πυρήνων γίνεται σύμφωνα με το Πρότυπο EN 12504-1⁴.
 - 4.4. Οι πυρήνες πρέπει να συντηρούνται τουλάχιστον για 3 ημέρες πριν την ημερομηνία θραύσης τους σε συνθήκες⁵ Εργαστηρίου.
 - 4.6. Ο έλεγχος αντοχής σε θλίψη γίνεται σύμφωνα με το Πρότυπο EN 12390-3⁶.

¹ Μια περιοχή ελέγχου χαρακτηρίζεται από όλα τα δομικά στοιχεία που κατασκευάστηκαν από διάφορα αναμίγματα σκυροδέματος, τα οποία όμως θεωρείται ότι ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό.

² Στην περίπτωση που πρόκειται να εκτιμηθεί το είδος και η έκταση κάποιας βλάβης, θα πρέπει να επιλέγονται περιοχές ελέγχου στις οποίες εμφανίζονται ή εκτιμάται ότι υπάρχουν βλάβες. Χρήσιμο θα είναι να γίνουν στη συνέχεια συγκρίσεις με αποτελέσματα θραύσεων πυρήνων που έχουν ληφθεί από «υγιείς» περιοχές.

³ Για λόγους και στατιστικούς και ασφαλείας, θα πρέπει να λαμβάνεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερος αριθμός πυρήνων, ανάλογα και με τον όγκο του σκυροδέματος της περιοχής ελέγχου. Υπάρχει περίπτωση να γίνει εκτίμηση και με μικρότερο πλήθος πυρήνων (Δες §9).

⁴ EN 12504-1: Δοκιμές σκυροδέματος στις κατασκευές – Μέρος 1: Πυρήνες - Λήψη, εξέταση και δοκιμή αντοχής σε θλίψη.

⁵ Η αντοχή ενός κορεσμένου πυρήνα είναι 10-15% μικρότερη από την αντοχή ενός αντίστοιχου ξηρού πυρήνα (prEN 13791: Παράρτημα A, §A.2.1). Οι συνθήκες υγρασίας της κατασκευής θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Στην περίπτωση που η κατασκευή βρίσκεται σε υγρή κατάσταση, τότε οι πυρήνες πρέπει να ελέγχονται σε κορεσμένη κατάσταση σε αντίθετη περίπτωση, θα ελέγχονται σε ξηρή κατάσταση (prEN 13791: Παράρτημα D, §D.4).

⁶ EN 12390-3: Έλεγχος σκληρυνμένου σκυροδέματος - Μέρος 3: Θλιπτική αντοχή δοκιμίων.

5. ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΥΡΗΝΩΝ:

Οι πυρήνες χωρίζονται σε δύο¹ κατηγορίες:

5.1 Πυρήνες ύψους (H) = 100 mm και διαμέτρου (D) = 100 mm.

Θεωρείται ότι η αντοχή ενός πυρήνα διαμέτρου 100 mm και ύψους 100 mm, αντιστοιχεί στην αντοχή κυβικού δοκιμίου ακμής 150 mm, που έχει μορφωθεί και συντηρηθεί κάτω από τις ίδιες συνθήκες (prEN 13791: § 7.1)

5.2 Πυρήνες διαμέτρου (D) από 100 mm έως 150 mm και ύψους (H) διπλάσιου της διαμέτρου (H/D=2).

Θεωρείται ότι η αντοχή ενός πυρήνα διαμέτρου τουλάχιστον 100 mm και όχι μεγαλύτερης από 150 mm και λόγω H/D=2, αντιστοιχεί στην αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου 150/300 (mm), που έχει μορφωθεί και συντηρηθεί κάτω από τις ίδιες συνθήκες (prEN 13791: § 7.1)

6. ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ($f_{ck, is.}$) ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (in situ-επί τόπου):

Η εκτιμώμενη χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος μιας περιοχής ελέγχου δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$f_{ck, is.} = \min \begin{cases} f_{m(n), is.} - k_2 \cdot s \\ f_{is, lowest} + 4 \end{cases} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (1)$$

Όπου: $f_{ck, is.}$ = η εκτιμώμενη (επί τόπου) χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος της περιοχής ελέγχου

$f_{m(n), is.}$ = ο μέσος όρος των τιμών θραύσης των πυρήνων²

k_2 = λαμβάνει την τιμή 1,48³

s = τυπική απόκλιση των τιμών θραύσης των πυρήνων (όχι όμως μικρότερη από 2,0 N/mm²)

$f_{is, lowest}$ = η μικρότερη τιμή θραύσης πυρήνα⁴

n = πλήθος πυρήνων

¹ Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και πυρήνες με διαμέτρους από 50 mm έως 150 mm και λόγω H/D διάφορο του 2, με την προϋπόθεση ότι θα χρησιμοποιηθούν κατάλληλοι συντελεστές αναγωγής, εφόσον αυτοί δίνονται από υπάρχουσες εθνικές ή τοπικές προβλέψεις. Η μέθοδος δεν εφαρμόζεται σε πυρήνες με διάμετρο μικρότερη από 50 mm (prEN 13791: § 7.1).

² Εάν η διασπορά της αντοχής πυρήνα εμφανίζεται να προέρχεται από δύο πληθυσμούς, η περιοχή πρέπει να χωριστεί σε δύο επιμέρους περιοχές (prEN 13791: §7.3.2, Note 2).

³ Η τιμή του k_2 δίνεται σε προβλέψεις εθνικού επιπέδου ή, εάν δεν δίνεται, λαμβάνει την τιμή 1,48 (prEN 13791: §7.3.2).

⁴ Όταν για να εκτιμηθεί η χαρακτηριστική αντοχή χρησιμοποιείται η μικρότερη τιμή θραύσης πυρήνα ($f_{is, lowest}$), τότε το αποτέλεσμα αυτό αντιπροσωπεύει τη χαμηλότερη αντοχή της υπό εξέταση κατασκευής (prEN 13791: §7.3.2, Note 1).

7. ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ:

Χρησιμοποιώντας την εκτιμώμενη επί τόπου χαρακτηριστική αντοχή $f_{ck.is.}$, η αντίστοιχη (ισοδύναμη) κατηγορία αντοχής λαμβάνεται από τον παρακάτω Πίνακα Νο 1.

Πίνακας Νο 1

| α/α | Κατηγορία θλιπτικής αντοχής σύμφωνα με το Πρότυπο EN 206-1 ¹ | Λόγος της επί τόπου χαρακτηριστικής αντοχής προς την χαρακτηριστική αντοχή συμβατικού δοκιμίου ($f_{ck.is.} / f_{ck}$) | Ελάχιστη χαρακτηριστική επί τόπου αντοχή $f_{ck.is.}$ (N/mm ²) | |
|-----|---|--|--|----------------------|
| | | | $f_{ck.is.cube}^*$ | $f_{ck.is.cyl}^{**}$ |
| 1 | C8/10 | 0,85 ² | 9 | 7 |
| 2 | C12/15 | | 13 | 10 |
| 3 | C16/20 | | 17 | 14 |
| 4 | C20/25 | | 21 | 17 |
| 5 | C25/30 | | 26 | 21 |
| 6 | C30/37 | | 31 | 26 |
| 7 | C35/45 | | 38 | 30 |
| 8 | C40/50 | | 43 | 34 |
| 9 | C45/55 | | 47 | 38 |
| 10 | C50/60 | | 51 | 43 |
| 11 | C55/67 | | 57 | 47 |
| 12 | C60/75 | | 64 | 51 |
| 13 | C70/85 | | 72 | 60 |
| 14 | C80/95 | | 81 | 68 |
| 15 | C90/105 | | 89 | 77 |
| 16 | C100/115 | | 98 | 85 |

(*) $f_{ck.is.cube}$: Χαρακτηριστική επί τόπου θλιπτική αντοχή που εκφράζεται σε ισοδύναμη αντοχή κύβου ακμής 150 mm. Η στήλη αυτή χρησιμοποιείται όταν οι πυρήνες έχουν διάμετρο 100 mm και ύψος 100 mm (δες §5.1).

(**) $f_{ck.is.cyl}$: Χαρακτηριστική επί τόπου θλιπτική αντοχή που εκφράζεται σε ισοδύναμη αντοχή κυλίνδρου 150 mm x 300 mm. Η στήλη αυτή χρησιμοποιείται όταν οι πυρήνες έχουν λόγο H/D = 2 (δες §5.2).

Πίνακας Νο 1: Πίνακας αντιστοιχίας της ελάχιστης χαρακτηριστικής επί τόπου θλιπτικής αντοχής $f_{ck.is.}$ με την κατηγορία θλιπτικής αντοχής βάσει του Προτύπου EN 206-1.

¹ EN 206-1: Σκυρόδεμα – Μέρος 1: Προδιαγραφή, επίδοση, παραγωγή και συμμόρφωση.

² Ο λόγος 0,85 είναι τμήμα του συντελεστή ασφαλείας σκυροδέματος γ_c βάσει του EN 1992-1-1: Ευρωκώδικας 2: «Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα – Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια». Στο Παράρτημα Α: «Τροποποίηση των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας για τα υλικά» του Προτύπου, στην παράγραφο §Α.2 «Υφιστάμενες κατασκευές σκυροδέματος» και στην υποπαράγραφο §Α.2.3: «Μείωση του συντελεστή ασφαλείας λόγω εκτίμησης της επί τόπου αντοχής σκυροδέματος σε υφιστάμενη κατασκευή», αναφέρεται ότι: Ο συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος γ_c μπορεί να μειωθεί κατά το γινόμενο: $\gamma_c * 0,85$, παραδείγματος χάριν από 1,5 θα γίνει 1,3 (1,5*0,85 ~1,3).

8. ΣΥΝΤΑΞΗ ΕΚΘΕΣΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ:

Συντάσσουμε την Έκθεση των αποτελεσμάτων η οποία πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής:

- Σκοπός της εκτίμησης της αντοχής
- Περιγραφή της κατασκευής
- Διαθέσιμες πληροφορίες για το σκυρόδεμα (σύνθεση, κατηγορία αντοχής, ηλικία κλπ.)
- Μέθοδος εκτίμησης της αντοχής: π.χ. με πυρήνες
- Πρόγραμμα δοκιμών: μέθοδοι δοκιμών, πυρήνες (διαστάσεις, συντήρηση κλπ.), σχέδιο δειγματοληψιών, αριθμός δοκιμών.
- Δεδομένα και αποτελέσματα δοκιμών
- Υπολογισμοί
- Εκτίμηση της επί τόπου χαρακτηριστικής αντοχής και, εάν χρειάζεται, ισοδύναμη κατηγορία θλιπτικής αντοχής σύμφωνα με το Πρότυπο EN 206-1.

9. ΕΚΤΙΜΗΣΗ $f_{ck, is}$ με μόνον 3 – 14 ΠΥΡΗΝΕΣ:

9.1 Υπάρχει περίπτωση να είναι διαθέσιμοι μόνον 3-14 πυρήνες για την εκτίμηση της επί τόπου χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής υφιστάμενων κατασκευών. Και στην περίπτωση αυτή, είναι δυνατή η εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής, ακολουθώντας την ίδια διαδικασία λήψης και ελέγχου αντοχής των πυρήνων, με τη διαφορά ότι η εκτιμώμενη χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος της περιοχής ελέγχου, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$f_{ck, is} = \min \begin{cases} f_{m(n), is} - k \\ f_{is, lowest} + 4 \end{cases} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (2)$$

Όπου: $f_{ck, is}$ = η εκτιμώμενη (επί τόπου) χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος της περιοχής ελέγχου

$f_{m(n), is}$ = ο μέσος όρος των τιμών θραύσης των πυρήνων

k = εξαρτάται από το πλήθος των πυρήνων n και λαμβάνει τιμές σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα No 2.

$f_{is, lowest}$ = η μικρότερη τιμή θραύσης πυρήνα.

n = πλήθος πυρήνων

Πίνακας No 2

| α/α | Πλήθος ελεγχόμενων πυρήνων n | k (N/mm ²) |
|-----------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 10-14 | 5 |
| 2 | 7-9 | 6 |
| 3 | 3-6 | 7 |

Πίνακας No 2: Συντελεστής k που σχετίζεται με το πλήθος των ελεγχόμενων πυρήνων.

- 9.2** Λόγω της αβεβαιότητας που σχετίζεται με το μικρό πλήθος αποτελεσμάτων των εξεταζόμενων πυρήνων, η προσέγγιση αυτή δίνει πιο συντηρητικές εκτιμήσεις των χαρακτηριστικών αντοχών. Στην περίπτωση πολύ συντηρητικών εκτιμήσεων της επί τούτου χαρακτηριστικής αντοχής, συνιστάται η λήψη περισσότερων πυρήνων.
- 9.3** Για τον παραπάνω λόγο, η προσέγγιση αυτή δεν θα χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις αμφισβήτησης της ποιότητας του σκυροδέματος που βασίζεται σε δεδομένα από συμβατικά δοκίμια (prEN 13791:§7.3.3, Note).

10. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΠΥΡΗΝΩΝ:

10.1 Γενικά

10.1.1 Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή των πυρήνων μπορεί να διαχωριστούν στις εξής τρεις κατηγορίες:

- α) αυτούς που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος
- β) αυτούς που ανήκουν στις μεταβλητές της δοκιμής και
- γ) αυτούς που σχετίζονται με την ίδια την κατασκευή.

10.1.2 Κατά περίπτωση, κάποιοι από αυτούς τους παράγοντες θα πρέπει να συνυπολογίζονται, κάποιοι άλλοι θα λαμβάνονται απλά υπόψη και τέλος κάποιοι άλλοι θα αγνοούνται κατά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

10.2 Παράγοντες που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος

10.2.1 Υγρασία: Η περιεχόμενη υγρασία του πυρήνα θα επηρεάσει τη μετρούμενη αντοχή. Γενικά, η αντοχή ενός κορεσμένου πυρήνα είναι 10 έως 15% μικρότερη από την αντοχή ενός αντίστοιχου ξηρού πυρήνα.

10.2.2 Πορώδες: Το πορώδες μειώνει την αντοχή. Κατά προσέγγιση, πορώδες 1%, μειώνει την αντοχή κατά από 5% έως 8%.

10.2.3 Διεύθυνση λήψης πυρήνα¹: Η μετρούμενη αντοχή πυρήνα που έχει ληφθεί κάθετα στη διεύθυνση σκυροδέτησης, μπορεί να είναι μεγαλύτερη από την αντοχή πυρήνα που έχει ληφθεί οριζόντια από το ίδιο σκυρόδεμα. Η διαφορά αυτή κυμαίνεται συνήθως από 0 έως 8%.

10.2.4 Ατέλειες: Η ορθότητα της εκτίμησης της αντοχής των πυρήνων που εμφανίζουν ελαττώματα από διάφορες αιτίες όπως: εγκλεισμός μεγάλων πόρων, εγκιβωτισμένα τμήματα οπλισμού κλπ., θα πρέπει να εκτιμάται χωριστά.

10.3 Παράγοντες που ανήκουν στις μεταβλητές της δοκιμής

10.3.1 Διάμετρος πυρήνα: Η διάμετρος του πυρήνα επηρεάζει τη μετρούμενη αντοχή και τη μεταβλητότητά της.

10.3.1.1 Θεωρείται ότι η αντοχή ενός πυρήνα διαμέτρου 100mm και ύψους 100mm, που έχει ληφθεί με οριζόντια διάτρηση, αντιστοιχεί στην αντοχή κυβικού δοκιμίου ακμής 150mm (Δες και § 5.1).

¹ Κανονικά το αποτέλεσμα αντοχής του πυρήνα δεν θα πρέπει να διαφοροποιείται λαμβάνοντας υπόψη τη διεύθυνση λήψης του, εκτός εάν απαιτείται από υπάρχουσες τοπικές προβλέψεις ή από τις προδιαγραφές του έργου.

10.3.1.2 Στην περίπτωση πυρήνων με διαμέτρους μικρότερες από 100mm και λόγο $H/D=1$, η μεταβλητότητα της αντοχής είναι γενικώς μεγαλύτερη. Γι' αυτό, στην περίπτωση πυρήνων με διάμετρο 50mm είναι ορθότερο να ελέγχεται τριπλάσιος αριθμός πυρήνων, από αυτόν που ελέγχεται στην περίπτωση πυρήνων διαμέτρου $D=100\text{mm}$.

10.3.1.3 Ο απαιτούμενος προς έλεγχο αριθμός πυρήνων με διαμέτρους από 50 mm έως 100 mm, υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή.

10.3.1.4 Η μεταβλητότητα της μετρούμενης αντοχής αυξάνεται όταν μειώνεται ο λόγος της διαμέτρου προς το μέγιστο κόκκο αδρανούς.

10.3.2 Λόγος Ύψος/Διάμετρος (H/D): Ο λόγος ύψος/διάμετρος (H/D) επηρεάζει τη μετρούμενη αντοχή. Η αντοχή μειώνεται για λόγους $H/D>1$ και αυξάνεται για λόγους $H/D<1$. Αυτό οφείλεται κυρίως στην «περίσφιγξη» που προκαλούν οι πλάκες της πρέσσας.

10.3.3 Επιπεδότητα βάσεων πυρήνα: Αποκλίσεις από την επιπεδότητα μειώνουν τη μετρούμενη αντοχή. Οι ανοχές επιπεδότητας είναι ίδιες με αυτές των συμβατικών δοκιμών, βάσει του Προτύπου EN 12390-1¹.

10.3.4 «Καπέλωμα» βάσεων πυρήνα: Λεπτές στρώσεις κονίας ή θειάφι υψηλής αντοχής δεν επηρεάζουν σημαντικά την αντοχή του πυρήνα. «Καπελώματα» μικρής αντοχής μειώνουν την αντοχή του πυρήνα. Συνιστάται η λείανση των βάσεων του πυρήνα.

10.3.5 Πυρηνοληψία: Η διαδικασία της πυρηνοληψίας μπορεί να προκαλέσει διαταραχή των επιφανειών κοπής του σκυροδέματος και ως εκ τούτου ένας πυρήνας ενδέχεται να έχει μικρότερη αντοχή από την αντοχή ισοδύναμου κυλινδρικού δοκιμίου.

10.3.6 Περιεχόμενος οπλισμός: Γενικά οι πυρήνες δεν πρέπει να περιέχουν τμήματα ράβδων οπλισμού. Όταν στον πυρήνα υπάρχει ενσωματωμένος οπλισμός, θα αναμένεται μείωση της μετρούμενης αντοχής του πυρήνα. Πυρήνες που θα περιέχουν τμήματα ράβδων οπλισμού παράλληλα στη γενέτειρα, θα απορρίπτονται.

10.4 Παράγοντες που σχετίζονται με την ίδια την κατασκευή

10.4.1 Συντήρηση και ηλικία σκυροδέματος: Η αντοχή ενός πυρήνα επηρεάζεται από τη συντήρηση της κατασκευής και την ηλικία του σκυροδέματος τη χρονική στιγμή που λαμβάνεται ο πυρήνας.

12.4.3 Θέση εντός του ίδιου δομικού στοιχείου: Η αντοχή του σκυροδέματος είναι συνήθως χαμηλότερη κοντά στο άνω τμήμα του δομικού στοιχείου (π.χ. στην «κεφαλή» ενός υποστυλώματος) ενώ η αντοχή αυτή αυξάνει καθώς απομακρυνόμαστε από το άνω τμήμα του ίδιου δομικού στοιχείου (π.χ. στον «πόδα» του υποστυλώματος).

12.4.3 Ύψος έγχυσης σκυροδέματος: Η επί τόπου αντοχή μειώνεται προς την κορυφή της έγχυσης, ακόμα και στις πλάκες. Η αντοχή αυτή ενδέχεται να είναι μικρότερη στην κορυφή από ότι στο σώμα του δομικού στοιχείου μέχρι ένα ποσοστό 25%. Το σκυρόδεμα χαμηλότερης αντοχής συγκεντρώνεται συχνά στα άνω 30 cm ή στο άνω 20% του ύψους του στοιχείου, όποιο είναι μικρότερο.

¹ EN 12390-1: Δοκιμές σκληρυμένου σκυροδέματος- Μέρος 1: Σχήμα, διαστάσεις και άλλες απαιτήσεις για δοκίμια και μήτρες.

11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- 11.1 **Final Draft prEN 13791**, *Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components*, Ιούνιος 2006
- 11.2 **Εγκύκλιος Ε7**, *Εκτίμηση της κατηγορίας αντοχής του σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών*, Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 28 Μαρτίου 1997, Αθήνα.
- 11.3 **EN 206-1**, *Concrete - Part 1: Specification, performance, production and conformity*, Μάρτιος 2001.
- 11.4 **EN 12504-1**, *Testing concrete in structures - Part 1: Cored specimens - Taking, examining and testing in compression*, Ιούλιος 2000.
- 11.5 **EN 12390-3**, *Testing hardened concrete - Part 3: Compressive strength of test specimens*, Μάρτιος 2002
- 11.6 **EN 12390-1**, *Testing hardened concrete - Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds*, Οκτώβριος 2001.
- 11.7 **EN 1992-1-1**, *Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*, Μάιος 2005

12. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

12.1 Στη συνέχεια γίνεται πρακτική εφαρμογή της μεθόδου για την εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών σύμφωνα με το Πρότυπο prEN 13791 (Δες §9.1).

Για απλούστευση όμως της αριθμητικής εφαρμογής, εδώ:

- α. Έχουν επιλεγεί οι αντοχές 6 πυρήνων από τον Πίνακα Νο 4 της Εγκυκλίου Ε7 [11.2] και
- β. Οι λόγοι H/D έχουν ληφθεί ίσοι με τη μονάδα (H/D = 1).

14.2 Η εφαρμογή φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα Νο 3:

Πίνακας Νο 3

| α/α | Διάμετρος πυρήνα D (cm) | Ύψος πυρήνα H (cm) | Λόγος H/D | Αντοχή πυρήνα (MPa) | Μέση τιμή αντοχής $f_{m(6).is}$ (MPa) | Τυπική απόκλιση (s) (MPa) | Υπολογισμός $f_{ck.is}$ (§9.1) (MPa) | Εκτιμώμενη επί τόπου χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος $f_{ck.is}$ (MPa) | Αντίστοιχη κατηγορία αντοχής από Πίνακα Νο 1 (§7) |
|-----|----------------------------|-----------------------|-----------|------------------------|--|------------------------------|--|--|--|
| 1 | 10 | 10 | 1,0 | 16,8 | 21,8 | 3,23 | $f_{m(6).is} - 7$ | min (14.8, 20.8) | C12/15 |
| 2 | 10 | 10 | 1,0 | 26,1 | | | = 21,8 - 7 | | |
| 3 | 10 | 10 | 1,0 | 22,2 | | | = 14,8 | | |
| 4 | 10 | 10 | 1,0 | 21,5 | | | $f_{islowest} + 4$ | | |
| 5 | 10 | 10 | 1,0 | 24,1 | | | = 16,8+4 | | |
| 6 | 10 | 10 | 1,0 | 20,0 | | | = 20,8 | | |

Πίνακας Νο 3: Πίνακας πρακτικής εφαρμογής της μεθόδου για την εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών, σύμφωνα με το Πρότυπο prEN 13791.

2^ο Άρθρο

**Εκτίμηση της αντοχής του
σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών
με βάση τη ΝΕΑ «ΕΓΚΥΚΛΙΟΣ Ε7»
Τροποποίηση 31-3-2007
του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.**

Α. Σακελλαρίου
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

και

Ι. Καλογεροπούλου
Πολιτικός Μηχανικός

Αθήνα 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

| | |
|---|-----|
| 1. ΣΚΟΠΟΣ | 3 |
| 2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ | 3 |
| 3. ΤΡΟΠΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ | 3 |
| 5. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΠΥΡΗΝΩΝ | 3 |
| 5. ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΥΡΗΝΩΝ | 4 |
| 6. ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ (ΚΥΒΙΚΗ) ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (f _{.is.}) ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ – ΠΑΡΤΙΔΑΣ (in situ) | 5 |
| 7. ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΠΑΡΤΙΔΑΣ | 5 |
| 8. ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ (ΚΥΒΙΚΗΣ) ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (f _{.is.}) ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ - ΠΑΡΤΙΔΑΣ (in situ) | 6 |
| 9. ΕΙΔΙΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ | 6 |
| 10. ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΟΓΩ ΠΥΡΗΝΟΛΗΨΙΑΣ | 6-7 |
| 11. ΣΥΝΤΑΞΗ ΦΥΛΛΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΥΡΗΝΩΝ | 7 |
| 12. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΠΥΡΗΝΩΝ | 7-8 |
| 13. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 9 |
| 14. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ | 9 |

1. **ΣΚΟΠΟΣ:** Εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών.
2. **ΕΦΑΡΜΟΓΗ:** Όταν πρέπει να εκτιμηθεί η αντοχή του διαστρωμένου σκυροδέματος υφιστάμενης κατασκευής (την ημέρα του ελέγχου του).
3. **ΤΡΟΠΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ:** Με πυρήνες.
Ας σημειωθεί ότι από την αντοχή που προκύπτει με τον έλεγχο των πυρήνων, δεν μπορεί να διαπιστωθεί η κατηγορία αντοχής στην οποία ανήκε το νωπό σκυρόδεμα (ως υλικό) κατά την ημέρα της διαστρώσεώς του, δεδομένου ότι με τα δοκίμια νωπού σκυροδέματος κρίνεται μόνο το υλικό, ενώ η αντοχή των πυρήνων, εξαρτάται επίσης από τη συμπύκνωση και τη συντήρηση του σκυροδέματος στο εργοτάξιο, καθώς και από άλλες συνθήκες του έργου.
4. **ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΠΥΡΗΝΩΝ^{1,2,3}:**
 - 4.3. Η κατασκευή χωρίζεται σε τμήματα – περιοχές (παρτίδες σκυροδέματος) που διαφαίνεται ή εικάζεται ότι διαστρώθηκαν σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Στο διαχωρισμό αυτό βοηθούν το Ημερολόγιο του Έργου και τα Δελτία Αποστολής σκυροδέματος (αν υπάρχουν), το είδος και η μορφή της κατασκευής, οι διαστάσεις, οι αρμοί εργασίας, οι αρμοί διαστολής κλπ. Για παράδειγμα, ανήκουν σε διαφορετικές παρτίδες τα σκυροδέματα που ανήκουν σε διαφορετικούς ορόφους.
 - 4.4. **Κάθε παρτίδα ελέγχεται χωριστά με 6 πυρήνες.**
 - 4.5. Οι πυρήνες λαμβάνονται σε τυχαίες θέσεις της παρτίδας χωρίς προετοιμασία (διαβροχή κλπ.). Οι θέσεις λήψεως θα είναι, κατά το δυνατόν, διεσπαρμένες τυχαία στο ελεγχόμενο τμήμα, ώστε το αποτέλεσμα του ελέγχου να είναι αντιπροσωπευτικό.
 - 4.6. Για τη λήψη των πυρήνων χρησιμοποιείται κατάλληλο περιστροφικό τρυπάνι, με αδαμαντοκορώνα σε καλή κατάσταση⁴.
 - 4.5. Οι πυρήνες πρέπει να συντηρούνται σε συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας κατά το δυνατόν παρόμοιες με εκείνες λειτουργίας του έργου, από το οποίο αποκόπηκαν.
 - 4.6. Ο έλεγχος αντοχής σε θλίψη γίνεται με θραύση δοκιμίων, σε πρέσσα που ικανοποιεί τις απαιτήσεις των Προτύπων ΕΛΟΤ EN 12504-1⁵:27-7-2000 και ΕΛΟΤ EN 12390-1⁶.

¹ Η περιγραφόμενη μέθοδος πυρηνοληψίας (λήψεως καρότων), δεν έχει εφαρμογή σε πολύ λεπτά στοιχεία (κελύφη, άνω πλάκα δοκιδωτής πλάκας-σάντουιτς).

² Στη διαδικασία επιλογής των θέσεων και της δειγματοληψίας, και επίσης της θραύσεως των πυρήνων, δικαιούνται να μετέχουν όλοι οι έχοντες νόμιμο συμφέρον και ο επιβλέπων μηχανικός του έργου, καλούμενοι προς τούτο από τον επισπεύδοντα. Η μη συμμετοχή του κληθέντος και μη παραστάτος, δεν αναστέλλει ούτε αποτελεί λόγο αμφισβήτησεως της διαδικασίας.

³ Η πυρηνοληψία δεν υποκαθιστά τους ελέγχους συμμορφώσεως και τους επανελέγχους που ορίζει ο ισχύων Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, οι οποίοι εφαρμόζονται υποχρεωτικά σε κάθε έργο, στο νωπό σκυρόδεμα.

⁴ Η λήψη των πυρήνων γίνεται από σημεία που δεν είναι κοντά σε περιοχή πέρατος στοιχείου (ακμές δομικών στοιχείων, αρμοί διαστολής ή εργασίας κλπ.) ή σε περιοχή που παρουσιάζει εμφανή ρηγμάτωση ή σε περιοχή που παρουσιάζονται ανωμαλίες ιστού (κενά, απόμιξη κλπ.) ή σε περιοχή στην οποία δικαιολογείται αφανής ρηγμάτωση από τη λειτουργία του φορέα (περιοχή εφελκυσμού).

⁵ EN 12504-1: Δοκιμές σκυροδέματος στις κατασκευές – Μέρος 1: Πυρήνες - Λήψη, εξέταση και δοκιμή αντοχής σε θλίψη.

⁶ EN 12390-1: Δοκιμές σκληρυμένου σκυροδέματος- Μέρος 1: Σχήμα, διαστάσεις και άλλες απαιτήσεις για δοκίμια και μήτρες.

6. ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΥΡΗΝΩΝ:

5.3 Πυρήνες ύψους¹ (H) = 100 mm και διαμέτρου² (D) = 100 mm (H/D = 1,0).

Θεωρείται ότι η αντοχή ενός πυρήνα διαμέτρου 100 mm και ύψους 100 mm, που ελήφθη με οριζόντια διάτρηση, αντιστοιχεί στην αντοχή κυβικού δοκιμίου ακμής 150 mm.

5.1.1 Η διάμετρος των πυρήνων θα είναι $D = 100 \pm 5$ mm και το ύψος τους, μετά την αφαίρεση του ακραίου τμήματος και τη λείανση, και πριν από την επίστρωση του κονιάματος επιπεδώσεως (καπέλωμα), $H \geq 95$ mm.

5.1.3 Ο λόγος ύψους/διάμετρος (H/D) πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0,90-1,10: θα επιδιώκεται, να μην είναι μικρότερος από 1,0.

5.1.4 Στην περίπτωση που η τιμή του λόγου H/D των πυρήνων διαφέρει της μονάδος, κάθε τιμή θραύσεως πυρήνα f_i θα πολλαπλασιάζεται με το λόγο $L_1/0,85$, ώστε όλες οι τιμές να γίνουν ισοδύναμες προς την τιμή θραύσεως πυρήνα με λόγο H/D = 1. Οι συντελεστές επιρροής L_1 δίνονται στον παρακάτω Πίνακα Νο 1 ανάλογα με την τιμή του λόγου H/D.

Πίνακας Νο 1

| α/α | Ύψος/Διάμετρος H/D | Συντελεστής επιρροής L ₁ | Παράγοντας μετατροπής L ₁ /0,85 |
|-----|-----------------------|---|--|
| 1 | 0,90 | 0,820 | 0,965 |
| 2 | 0,91 | 0,823 | 0,968 |
| 3 | 0,92 | 0,826 | 0,972 |
| 4 | 0,93 | 0,829 | 0,975 |
| 5 | 0,94 | 0,832 | 0,979 |
| 6 | 0,95 | 0,835 | 0,982 |
| 7 | 0,96 | 0,838 | 0,986 |
| 9 | 0,97 | 0,841 | 0,989 |
| 10 | 0,98 | 0,844 | 0,993 |
| 11 | 0,99 | 0,847 | 0,996 |
| 12 | 1,00 | 0,850 | 1,000 |
| 13 | 1,01 | 0,852 | 1,002 |
| 14 | 1,02 | 0,855 | 1,006 |
| 15 | 1,03 | 0,857 | 1,008 |
| 16 | 1,04 | 0,860 | 1,012 |
| 17 | 1,05 | 0,862 | 1,014 |
| 18 | 1,06 | 0,864 | 1,016 |
| 19 | 1,07 | 0,867 | 1,020 |
| 20 | 1,08 | 0,869 | 1,022 |
| 21 | 1,09 | 0,872 | 1,026 |
| 22 | 1,10 | 0,874 | 1,028 |

Πίνακας Νο 1: Πίνακας συντελεστών επιρροής L_1 και παράγοντα μετατροπής $L_1/0,85$, του λόγου H/D, στην τιμή αντοχής του πυρήνα.

¹ Ως ύψος δοκιμίου (H) λαμβάνεται ο μέσος όρος των μετρήσεων δύο αντιδιαμετρικών γενετειρών με ακρίβεια ± 1 mm.

² Η διάμετρος (D) του δοκιμίου μετρείται περίπου στο μέσο του ύψους του, σε δύο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις, με ακρίβεια $\pm 0,5$ mm.

6. ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ (ΚΥΒΙΚΗ) ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (f_{is}) ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ - ΠΑΡΤΙΔΑΣ (in situ):

Η επί τόπου (κυβική) αντοχή του σκυροδέματος της παρτίδας που ελέγχθηκε με 6 πυρήνες¹, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$f_{is} = \left(\frac{f_{m(6).is}}{0,85} \right) - 1,60 * s \quad (\text{N/mm}^2)$$

Όπου: f_{is} = η επί τόπου (κυβική) αντοχή του σκυροδέματος που ελέγχθηκε με 6 πυρήνες

$f_{m(6).is}$ = η μέση τιμή αντοχής των 6 πυρήνων με $H/D=1$

s = η τυπική απόκλιση των τιμών θραύσης των 6 πυρήνων

7. ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΠΑΡΤΙΔΑΣ:

7.1 Για να θεωρηθεί ότι το αποτέλεσμα της θραύσεως των 6 πυρήνων, αποδεικνύει ότι το ελεγχόμενο σκυρόδεμα έχει τη σχεδιασμένη συμβατική κυβική αντοχή f_{ck} , θα πρέπει να ικανοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$f_{is} \geq f_{ck}$$

Όπου: f_{is} = η επί τόπου (κυβική) αντοχή του σκυροδέματος που ελέγχθηκε με 6 πυρήνες και υπολογίστηκε σύμφωνα με την § 6

f_{ck} = η συμβατική (κυβική) αντοχή που αντιστοιχεί σε κατηγορία σκυροδέματος σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα Νο 2.

7.2 Χρησιμοποιώντας την εκτιμώμενη επί τόπου (κυβική) αντοχή f_{is} και σύμφωνα με την παραπάνω σχέση (§ 7.1), η αντίστοιχη (ισοδύναμη) κατηγορία αντοχής² λαμβάνεται από τον παρακάτω Πίνακα Νο 2.

Πίνακας Νο 2

| α/α | Επί τόπου κυβική αντοχή f_{is} (N/mm ²) | Κατηγορία θλιπτικής αντοχής | α/α | Επί τόπου κυβική αντοχή f_{is} (N/mm ²) | Κατηγορία θλιπτικής αντοχής |
|-----|---|-----------------------------|-----|---|-----------------------------|
| 1 | 10 | C8/10 | 9 | 55 | C45/55 |
| 2 | 15 | C12/15 | 10 | 60 | C50/60 |
| 3 | 20 | C16/20 | 11 | 67 | C55/67 |
| 4 | 25 | C20/25 | 12 | 75 | C60/75 |
| 5 | 30 | C25/30 | 13 | 85 | C70/85 |
| 6 | 37 | C30/37 | 14 | 95 | C80/95 |
| 7 | 45 | C35/45 | 15 | 105 | C90/105 |
| 8 | 50 | C40/50 | 16 | 115 | C100/115 |

Πίνακας Νο 2: Πίνακας αντιστοιχίας της επί τόπου κυβικής θλιπτικής αντοχής f_{is} , με την κατηγορία θλιπτικής αντοχής βάσει του Προτύπου EN 206-1.

¹ Επιτρέπεται και υποδεικνύεται η λήψη ενός επί πλέον (έβδομου) πυρήνα, για την περίπτωση ελαττωματικού δοκιμίου που αποκλίνει τόσο από τον μέσο όρο, ώστε να μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν ανήκει στον ελεγχόμενο πληθυσμό.

² Σύμφωνα με το Πρότυπο EN 206-1: Σκυρόδεμα – Μέρος 1: Προδιαγραφή, επίδοση, παραγωγή και συμμόρφωση.

8. ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ (ΚΥΒΙΚΗΣ) ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (f_{is}) ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ - ΠΑΡΤΙΔΑΣ (in situ):

8.1 Επιτρέπεται ο επανέλεγχος, για την επιβεβαίωση των ληφθέντων αποτελεσμάτων, ιδιαίτερα αν η εμφανιζόμενη υστέρηση είναι μικρή και βρίσκεται μέσα στα όρια του στατιστικού σφάλματος. Στην περίπτωση αυτή, λαμβάνεται νέα εξάδα πυρήνων και ο έλεγχος γίνεται με το σύνολο των 12 πυρήνων, ώστε να αυξηθεί ο βαθμός προσεγγίσεως.

Η επί τόπου (κυβική) αντοχή του σκυροδέματος της παρτίδας που ελέγχθηκε με 12 πυρήνες, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$f_{is} = \left(\frac{f_{m(12),is}}{0,85} \right) - 1,48*s \quad (\text{N/mm}^2)$$

Όπου: f_{is} = η επί τόπου (κυβική) αντοχή του σκυροδέματος που ελέγχθηκε με 12 πυρήνες

$f_{m(12),is}$ = η μέση τιμή αντοχής των 12 πυρήνων με $H/D=1$

s = η τυπική απόκλιση των τιμών θραύσης των 12 πυρήνων

8.2 Στη συνέχεια, και αφού έχουμε υπολογίσει την τιμή της επί τόπου (κυβικής) αντοχής f_{is} σύμφωνα με την παραπάνω σχέση (§ 8.1), η αντίστοιχη (ισοδύναμη) κατηγορία αντοχής λαμβάνεται από τον Πίνακα Νο 2 (§ 7.2), ώστε να ικανοποιείται η σχέση της §7.1 ($f_{is} \geq f_{ck}$).

9. ΕΙΔΙΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ:

9.1 Αν σε μια μικρή περιοχή το σκυρόδεμα παρουσιάζει ελαττώματα¹ από κακή κατασκευή (π.χ. κακή συμπύκνωση, απόμιξη, διαφυγή λεπτού υλικού κλπ.) ή εξωτερικά αίτια (π.χ. πυρκαγιά) και ζητείται η αντοχή του σκυροδέματος σε αυτή την περιοχή, **θα λαμβάνονται 3 πυρήνες**. Η απομένουσα αντοχή του σκυροδέματος θα εκτιμάται ως εξής:

$$f_{res} = \frac{f_{m(3),is}}{0,85} \quad (\text{N/mm}^2)$$

Όπου: f_{res} = η απομένουσα αντοχή του σκυροδέματος σε μια μικρή περιοχή που παρουσιάζει τοπικά προβλήματα.

$f_{m(3),is}$ = η μέση τιμή αντοχής των 3 πυρήνων με $H/D=1$

9.2 **Παρατήρηση:** Στην περίπτωση που πρόκειται να γίνει εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας μιας κατασκευής, που παρουσιάζει τοπικά προβλήματα, εναπόκειται στο μελετητή Μηχανικό να εκτιμήσει αν η φέρουσα ικανότητα του συνόλου, θα κριθεί ή θα επηρεασθεί και πόσο, από την αντοχή των περιοχών με ελαττωματικό σκυρόδεμα (Δες § 9.1). Αν δηλαδή η έκταση, το πλήθος και η θέση αυτών των περιοχών στον φορέα, σε συνάρτηση με την αντοχή σκυροδέματος στον υπόλοιπο φορέα, αλλά και με το είδος και τη μορφολογία της κατασκευής, επηρεάζουν τόσο τη στατική λειτουργία, ώστε να απαιτείται ή όχι η ενίσχυση κάποιων περιοχών ή κάποιου στοιχείου ή του συνολικού φορέα.

10. ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΟΓΩ ΠΥΡΗΝΟΛΗΣΙΑΣ:

10.1. Γενικά, η διάτρηση των δομικών στοιχείων (στύλων, τοιχίων) δεν πρέπει να δημιουργεί (έστω και προσωρινούς) κινδύνους για την ευστάθεια της κατασκευής.

Οι διαμορφούμενες οπές στο σκυρόδεμα από τη λήψη των πυρήνων, ιδιαίτερα αν αυτές έχουν δημιουργηθεί σε κατακόρυφα στοιχεία ή δοκούς, θα γεμίζουν αμέσως και πλήρως

¹ Στην περίπτωση ελαττώματος που επιβλήθηκε από εξωτερικά αίτια, ενδεχομένως απαιτούνται περισσότεροι, πιο εκτεταμένοι ή και άλλης φύσεως έλεγχοι.

με πολυμερικό ή μη συρρικνούμενο σκυρόδεμα, από το συνεργείο που εκτελεί τη διάτρηση και υπ' ευθύνη του.

Η σχετική δαπάνη βαρύνει, κατ' αρχήν, τον αιτούντα τον έλεγχο.

- 10.2.** Η κοπή ή η κάκωση ράβδων οπλισμού κατά τη διάτρηση πρέπει να αποφεύγεται, με διερεύνηση της θέσεως των οπλισμών, πριν από τη λήψη των πυρήνων. Αν όμως συμβεί, πρέπει να αποκαθίσταται η λειτουργία των ράβδων, ανάλογα και με τη συμβολή της πληγείσης ράβδου στην αντοχή του έργου.

11. ΣΥΝΤΑΞΗ ΦΥΛΛΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΥΡΗΝΩΝ:

Στο φύλλο ελέγχου των πυρήνων (ή σε κάποιο σκαρίφημα του έργου) πρέπει να αναγράφονται τα εξής:

- Η θέση ή το στοιχείο από το οποίο ελήφθη κάθε πυρήνας
- Η ύπαρξη τυχόν ενσωματωμένων ξένων σωμάτων στη μάζα του πυρήνα (οπλισμός, ξύλα, χαρτιά κλπ.) ή κενών διαστρώσεως ή περιοχών απομίξεως, ή διακοπής διαστρώσεως, τα οποία δεν εμφανίζονταν στην εξωτερική επιφάνεια.

12. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΠΥΡΗΝΩΝ:

12.1 Γενικά

- 12.1.1** Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή των πυρήνων μπορεί να διαχωριστούν στις εξής τρεις κατηγορίες:

α) αυτούς που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος

β) αυτούς που ανήκουν στις μεταβλητές της δοκιμής και

γ) αυτούς που σχετίζονται με την ίδια την κατασκευή.

- 12.1.2** Η τελική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από τον έλεγχο με τους πυρήνες, πρέπει να γίνεται από έμπειρο μηχανικό, που είναι σε θέση να συνεκτιμήσει την επίδραση καθενός από τους παράγοντες στα λαμβανόμενα αριθμητικά αποτελέσματα, και να συνθέσει την τελική κρίση.

12.2 Παράγοντες που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος

- 12.2.1 Διεύθυνση λήψης πυρήνα:** Οι αντοχές πυρήνων που λαμβάνονται κατά τη διεύθυνση σκυροδετήσεως ή κατά την κάθετη διεύθυνση διαφέρουν. Γενικώς, οι πυρήνες που λαμβάνονται κατά τη διεύθυνση σκυροδετήσεως, δίνουν μεγαλύτερες αντοχές.

- 12.2.2 Ατέλειες:** Θα απορρίπτονται και δεν θα ελέγχονται πυρήνες που παρουσιάζουν ρωγμές ή κενά ή θα έχουν ενσωματωμένα ξένα σώματα (ξύλο, χαρτί, πανί, πολυστερίνη κλπ.) ή θα εμφανίζουν ενδείξεις διακοπής διαστρώσεως (συνήθως καθ' ύψος).

Δεν θα αποκλείονται πυρήνες που εμφανίζουν στην πλευρική τους επιφάνεια τις ενδείξεις εγκιβωτισμένων φουσαλίδων αέρα.

- 12.2.3 Μέγιστος κόκκος αδρανούς:** Για να είναι αξιόπιστα τα αποτελέσματα του ελέγχου, πρέπει ο μέγιστος κόκκος αδρανούς του ελεγχόμενου σκυροδέματος να μην είναι μεγαλύτερος του 1/3 της διαμέτρου του πυρήνα.

12.3 Παράγοντες που ανήκουν στις μεταβλητές της δοκιμής

- 12.3.1 Διάμετρος πυρήνα:** Η διάμετρος του πυρήνα επηρεάζει τη μετρούμενη αντοχή του.
Θεωρείται ότι η αντοχή ενός πυρήνα διαμέτρου 100mm και ύψους 100mm, που έχει ληφθεί με οριζόντια διάτρηση, αντιστοιχεί στην αντοχή κυβικού δοκιμίου ακμής 150mm (Δες και § 5.1).
- 12.3.2 Λόγος Ύψους/Διάμετρος (H/D):** Πυρήνες με λόγο $H/D > 1$ εμφανίζουν μικρότερη αντοχή, λόγω της μειώσεως της «περισφίξεως» που προκαλούν οι πλάκες της πρέσσας κατά τη διαδικασία θραύσεως, με την αναπτυσσόμενη τριβή στις επιφάνειες των βάσεων.
- 12.3.3 Επιπεδότητα βάσεων πυρήνα:** Οι αποκοπτόμενοι πυρήνες, θα διαμορφώνονται με κοπή ή άλλη επεξεργασία έτσι ώστε να προκύπτουν επίπεδα βάσεων κάθετα στις γενέτειρες.
- 12.3.4 «Καπέλωμα» βάσεων πυρήνα:** Οι βάσεις του πυρήνα θα επιπεδώνονται με λείανση ή με ειδική κονία επιπεδώσεως (καπέλωμα).
Συνιστάται η λείανση των βάσεων του πυρήνα.
- 12.3.5 Πυρηνοληψία:** Η αντοχή του πυρήνα είναι μικρότερη από την αντοχή δοκιμίου, επειδή η κοπή αδρανών στην πλευρική επιφάνεια κατά τη διάτρηση, χαλαρώνει τη συγκόλλησή τους με τον τσιμεντοπολτό (χωρίς αυτό να είναι εμφανές), με συνέπεια οι κομμένοι κόκκοι αδρανών να διατηρούνται ενδεχομένως στη θέση τους μόνον δια της εμπλοκής τους στον ιστό, χωρίς να συνεισφέρουν πλήρως στην αντοχή.
- 12.3.6 Περιεχόμενος οπλισμός:** Η αντοχή πυρήνων που περιέχουν τεμάχια οπλισμού εμφανίζεται μειωμένη, εξαρτώμενη και από τη διάμετρο και τη θέση ράβδων. Θα καταβάλλεται προσπάθεια, ώστε οι πυρήνες να μην περιέχουν οπλισμό.
Πυρήνες που θα περιέχουν περισσότερα από ένα τμήμα ράβδου οπλισμού ή τμήμα ράβδου κατά τον άξονα του πυρήνα ή τμήμα ράβδου με διάμετρο μεγαλύτερη από 8 m, θα απορρίπτονται και δεν θα λαμβάνονται υπόψη στην εκτίμηση της αντοχής.

12.4 Παράγοντες που σχετίζονται με την ίδια την κατασκευή

- 12.4.1 Δομικό στοιχείο:** Η αντοχή έχει, γενικώς, μεγαλύτερη σημασία για το διαστρωμένο σκυρόδεμα στα κατακόρυφα στοιχεία (στήλοι, τοιχία) απ' ό,τι στις πλάκες, οι οποίες ενδεχομένως υστερούν ως προς τη συμπίκνωση του νωπού σκυροδέματος κατά τη διάστρωση.
- 12.4.2 Θέση εντός του ίδιου δομικού στοιχείου:** Η επί τόπου αντοχή διαφοροποιείται, γενικώς, εντός του ελεγχόμενου τμήματος κατασκευής (παρτίδας) αλλά και εντός του ίδιου δομικού στοιχείου, κατά απρόβλεπτο τρόπο, εξαρτώμενο από τις συνθήκες του έργου.
- 12.4.3 Κατακόρυφα στοιχεία:** Η αντοχή πυρήνων που λαμβάνονται στον «πόδα» κατακόρυφων στοιχείων (στήλων, τοιχίων) είναι μεγαλύτερη από την αντοχή αυτών που λαμβάνονται στην «κεφαλή».
- 12.4.4 Ανώτερο στρώμα πλάκας:** Η αντοχή του ανώτερου στρώματος πλακός, περί το 20% του συνολικού πάχους, έχει αντοχή μικρότερη του υπολοίπου, λόγω αυξημένης αναλογίας νερού εκ της εξιδρώσεως και λόγω μειωμένης συμπίκνωσης.

13. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- 13.1 ΝΕΑ «ΕΓΚΥΚΛΙΟΣ Ε7» Τροποποίηση 31-3-2007, Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.
- 13.2 Εγκύκλιος Ε7, Εκτίμηση της κατηγορίας αντοχής του σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών, Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 28 Μαρτίου 1997, Αθήνα.
- 13.3 EN 12504-1, Testing concrete in structures - Part 1: Cored specimens - Taking, examining and testing in compression, Ιούλιος 2000.
- 13.4 EN 12390-1, Testing hardened concrete - Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds, Οκτώβριος 2001.
- 13.5 EN 206-1, Concrete - Part 1: Specification, performance, production and conformity, Μάρτιος 2001.

14. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

- 14.1 Στη συνέχεια γίνεται πρακτική εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου της «ΝΕΑΣ ΕΓΚΥΚΛΙΟΥ Ε7» Τροποποίηση 31-3-2007 του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, για την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών.
Για απλούστευση όμως της αριθμητικής εφαρμογής, εδώ:
- α. Έχουν επιλεγεί οι αντοχές 6 πυρήνων από τον Πίνακα Νο 4 της Εγκυκλίου Ε7 [13.2] και
- β. Οι λόγοι H/D έχουν ληφθεί ίσοι με τη μονάδα (H/D = 1).

- 14.2 Η εφαρμογή φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα Νο 3:

Πίνακας Νο 3

| α/α | Διάμετρος πυρήνα D (cm) | Ύψος πυρήνα H (cm) | Λόγος H/D | Αντοχή πυρήνα (MPa) | Μέση τιμή αντοχής $f_{m(6).is.}$ (MPa) | Τυπική απόκλιση (s) (MPa) | Υπολογισμός $f_{is.}$ (§6) (MPa) | Επί τόπου (κυβική) αντοχή σκυρ/τος (MPa) | Αντίστοιχη κατηγορία αντοχής (§7.1) |
|-----|-------------------------|--------------------|-----------|---------------------|--|---------------------------|--|--|-------------------------------------|
| 1 | 10 | 10 | 1,0 | 16,8 | 21,8 | 3,23 | $\frac{f_{m(6).is.}}{0,85} - 1,60*s$ $= \frac{21,8}{0,85} - 1,6*3,23$ $= 20,5$ | 20,5 | $f_{is.} \geq f_{ck}$ |
| 2 | 10 | 10 | 1,0 | 26,1 | | | | | $20,5 \geq f_{ck}$ |
| 3 | 10 | 10 | 1,0 | 22,2 | | | | | Από Πίνακα Νο 2 (§7.2): |
| 4 | 10 | 10 | 1,0 | 21,5 | | | | | |
| 5 | 10 | 10 | 1,0 | 24,1 | | | | | |
| 6 | 10 | 10 | 1,0 | 20,0 | | | | | C16/20 |

Πίνακας Νο 3: Πίνακας πρακτικής εφαρμογής της μεθόδου της «ΝΕΑΣ ΕΓΚΥΚΛΙΟΥ Ε7» Τροποποίηση 31-3-2007 του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, για την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών.

3^ο Άρθρο

Εκτίμηση της αντοχής σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών βάσει:

α. Final Draft prEN 13791, 2006

β. ΕΓΚΥΚΛΙΟΣ Ε7, 28-3-1997

γ. ΝΕΑ «ΕΓΚΥΚΛΙΟΣ Ε7», Τροποποίηση 31-3-2007

Α. Σακελλαρίου
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

και

Ι. Καλογεροπούλου
Πολιτικός Μηχανικός

Αθήνα 2008

1. Έγινε σύγκριση της εκτιμώμενης αντοχής σκυροδέματος υφιστάμενης κατασκευής, με αριθμητικό παράδειγμα εφαρμόζοντας τις εξής τρεις (3) μεθόδους:

α. Final Draft prEN 13791, 2006

β. ΕΓΚΥΚΛΙΟΣ Ε7, 28-3-1997

γ. ΝΕΑ «ΕΓΚΥΚΛΙΟΣ Ε7», Τροποποίηση 31-3-2007

Για απλούστευση της αριθμητικής εφαρμογής, επελέγησαν οι αντοχές 6 πυρήνων από τον Πίνακα Νο 4 της Εγκυκλίου Ε7 [8.2] και οι λόγοι διάμετρος/ύψος (H/D) λήφθηκαν ίσοι με τη μονάδα (H/D = 1).

2. Στον παρακάτω Πίνακα Νο 1 δίνεται η πρακτική εφαρμογή της μεθόδου που βασίζεται στο Πρότυπο prEN 13791 και αναλύεται στη βιβλιογραφική αναφορά [8.1]:

Πίνακας Νο 1

| α/α | Διάμετρος πυρήνα D (cm) | Ύψος πυρήνα H (cm) | Λόγος H/D | Αντοχή πυρήνα (MPa) | Μέση τιμή αντοχής $f_{m(6).is}$ (MPa) | Τυπική απόκλιση (s) (MPa) | Υπολογισμός $f_{ck.is}$ (MPa) | Εκτιμώμενη επί τόπου χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος $f_{ck.is}$ (MPa) | Αντίστοιχη κατηγορία αντοχής (Πίνακας Νο 1 §6, prEN 13791) |
|-----|-------------------------|--------------------|-----------|---------------------|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---|--|
| 1 | 10 | 10 | 1,0 | 16,8 | 21,8 | 3,23 | $f_{m(6).is} - 7$ | min (14,8, 20,8) | C12/15 |
| 2 | 10 | 10 | 1,0 | 26,1 | | | = 21,8 - 7 | | |
| 3 | 10 | 10 | 1,0 | 22,2 | | | = 14,8 | | |
| 4 | 10 | 10 | 1,0 | 21,5 | | | $f_{islowest}+4$ | | |
| 5 | 10 | 10 | 1,0 | 24,1 | | | = 16,8+4 | | |
| 6 | 10 | 10 | 1,0 | 20,0 | | | = 20,8 | | |

Πίνακας Νο 1: Πίνακας πρακτικής εφαρμογής της μεθόδου για την εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών, **σύμφωνα με το Πρότυπο prEN 13791.**

3. Στον παρακάτω Πίνακα Νο 2 δίνεται η πρακτική εφαρμογή της μεθόδου που βασίζεται στην Εγκύκλιο Ε7 και αναλύεται στη βιβλιογραφική αναφορά [8.2]:

Πίνακας Νο 2

| α/α | Διάμετρος πυρήνα D (cm) | Ύψος πυρήνα H (cm) | Λόγος H/D | Αντοχή πυρήνα (MPa) | Μέση τιμή αντοχής $f_{m(6).is}$ (MPa) | Τυπική απόκλιση (s) (MPa) | Υπολογισμός $f_{π}$ (MPa) | Τυπική αντοχή παρτίδας $f_{π}$ (MPa) | Αντίστοιχη κατηγορία αντοχής |
|-----|-------------------------|--------------------|-----------|---------------------|---------------------------------------|---------------------------|--|--------------------------------------|--|
| 1 | 10 | 10 | 1,0 | 16,8 | 21,8 | 3,23 | $f_{π} = f_{m(6)} - 1,60 \cdot s$ = 21,8 - 1,6 * 3,23 = 16,6 | 16,6 | $f_{ck}^{(1)} \leq f_{ck,cube} < f_{ck}^{(2)}$ → 15 ≤ 16,6 < 20 C12/15 |
| 2 | 10 | 10 | 1,0 | 26,1 | | | | | |
| 3 | 10 | 10 | 1,0 | 22,2 | | | | | |
| 4 | 10 | 10 | 1,0 | 21,5 | | | | | |
| 5 | 10 | 10 | 1,0 | 24,1 | | | | | |
| 6 | 10 | 10 | 1,0 | 20,0 | | | | | |

Πίνακας Νο 2: Πίνακας πρακτικής εφαρμογής της μεθόδου της Εγκυκλίου Ε7 για την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών.

4. Στον παρακάτω Πίνακα Νο 3 δίνεται η πρακτική εφαρμογή της μεθόδου που βασίζεται στην ΝΕΑ Εγκύκλιο Ε7 και αναλύεται στη βιβλιογραφική αναφορά [8.3]:

Πίνακας Νο 3

| α/α | Διάμετρος πυρήνα D (cm) | Ύψος πυρήνα H (cm) | Λόγος H/D | Αντοχή πυρήνα (MPa) | Μέση τιμή αντοχής $f_{m(6).is.}$ (MPa) | Τυπική απόκλιση (s) (MPa) | Υπολογισμός $f_{.is.}$ (MPa) | Επί τόπου (κυβική) αντοχή σκυρ/τος (MPa) | Αντίστοιχη κατηγορία αντοχής |
|-----|-------------------------|--------------------|-----------|---------------------|--|---------------------------|---|--|------------------------------|
| 1 | 10 | 10 | 1,0 | 16,8 | 21,8 | 3,23 | $\left(\frac{f_{m(6).is.}}{0,85} \right) - 1,60 \cdot s$ $= \frac{21,8}{0,85} - 1,6 \cdot 3,23$ $= 20,5$ | 20,5 | $f_{.is.} \geq f_{ck}$ |
| 2 | 10 | 10 | 1,0 | 26,1 | | | | | $20,5 \geq f_{ck}$ |
| 3 | 10 | 10 | 1,0 | 22,2 | | | | | C16/20 |
| 4 | 10 | 10 | 1,0 | 21,5 | | | | | |
| 5 | 10 | 10 | 1,0 | 24,1 | | | | | |
| 6 | 10 | 10 | 1,0 | 20,0 | | | | | |

Πίνακας Νο 3: Πίνακας πρακτικής εφαρμογής της μεθόδου της «ΝΕΑΣ ΕΓΚΥΚΛΙΟΥ Ε7» Τροποποίηση 31-3-2007 του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, για την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών.

5. Στον παρακάτω Πίνακα Νο 4 δίνονται συγκριτικά τα αποτελέσματα της αριθμητικής εφαρμογής και για τις τρεις μεθόδους:

Πίνακας Νο 4

| prEN13791/2006 | | Εγκύκλιος Ε7/1997 | | Τροποποίηση Εγκυκλίου Ε7/2007 | |
|---|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--|------------------------------|
| Εκτιμώμενη επί τόπου χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος (MPa) | Αντίστοιχη κατηγορία αντοχής | Τυπική αντοχή παρτίδας (MPa) | Αντίστοιχη κατηγορία αντοχής | Επί τόπου κυβική αντοχή σκυροδέματος (MPa) | Αντίστοιχη κατηγορία αντοχής |
| 14,8 | C12/15 | 16,6 | C12/15 | 20,5 | C16/20 |

Πίνακας Νο 4: Συγκριτικός πίνακας αποτελεσμάτων αριθμητικής εφαρμογής.

6. Από τη σύγκριση των παραπάνω πρακτικών εφαρμογών των τριών μεθόδων, προκύπτει ότι η μέθοδος που βασίζεται στο prEN 13791 και η μέθοδος βάσει της Εγκυκλίου Ε7 δίνουν την ίδια κατηγορία σκυροδέματος C12/15. Η εκτίμηση βάσει της νέας Εγκυκλίου Ε7 δίνει μεγαλύτερη κατηγορία αντοχής σκυροδέματος C16/20.

7. Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η νέα Εγκύκλιος Ε7 δίνει μία κατηγορία σκυροδέματος μεγαλύτερη, για την ίδια εξάδα ελεγχόμενων πυρήνων.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

8.1 **Final Draft prEN 13791**, Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components, Ιούνιος 2006

11.8 **Εγκύκλιος Ε7**, Εκτίμηση της κατηγορίας αντοχής του σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών, Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 28 Μαρτίου 1997, Αθήνα

8.3 **ΝΕΑ «ΕΓΚΥΚΛΙΟΣ Ε7» Τροποποίηση 31-3-2007**, Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.

4^ο Άρθρο

**Αμφισβήτηση της ποιότητας του σκυροδέματος
με δεδομένη κατηγορία, σε νέες κατασκευές
με βάση το τελικό Προσχέδιο του
Ευρωπαϊκού Προτύπου: prEN 13791/2006 (§9)**

Α. Σακελλαρίου
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

και

Ι. Καλογεροπούλου
Πολιτικός Μηχανικός

Αθήνα 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

| | |
|---|-----|
| 1. ΣΚΟΠΟΣ | 2 |
| 2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ | 2 |
| 3. ΤΡΟΠΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ | 2 |
| 4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΠΥΡΗΝΩΝ | 2 |
| 5. ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΥΡΗΝΩΝ | 2 |
| 6. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ | 2-3 |
| 7. ΕΙΔΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΙΚΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ | 3 |
| 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 4 |
| 9. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ | 4 |

-
- 1. ΣΚΟΠΟΣ:** Όταν υπάρχει αμφισβήτηση της ποιότητας του σκυροδέματος σε νέες κατασκευές είτε ως μη συμμόρφωση είτε ως κακοτεχνία της κατασκευής.
 - 2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ:** Προσδιορισμός του εάν η κατασκευή έχει την κατάλληλη αντοχή έτσι όπως προσδιορίζεται από την κατηγορία αντοχής του σκυροδέματος της κατασκευής με γνωστό f_{ck} .
 - 3. ΤΡΟΠΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ:** Με πυρήνες.
 - 4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΠΥΡΗΝΩΝ:** Η διαδικασία λήψης και ελέγχου αντοχής των πυρήνων πραγματοποιείται σύμφωνα με τη βιβλιογραφική αναφορά [8.1].
 - 7. ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΥΡΗΝΩΝ:** Οι διαστάσεις των πυρήνων συμφωνούν με τα αναφερόμενα στη βιβλιογραφική αναφορά [8.1].
 - 6. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ:**
 - 6.1** Όλα τα δομικά στοιχεία που κατασκευάστηκαν από διάφορα αναμίγματα σκυροδέματος, τα οποία όμως θεωρείται ότι ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό, χαρακτηρίζουν μια **περιοχή ελέγχου**.
 - 6.2** Κάθε περιοχή ελέγχου ελέγχεται **με 15 και πλέον πυρήνες**.

6.3 Η αντοχή της ελεγχόμενης περιοχής οφείλει να ικανοποιεί και τα δύο παρακάτω κριτήρια:

| | | |
|-------------------------|---|----------------------|
| 1 ^ο κριτήριο | $\left(\frac{f_{m(n),is.}}{0,85}\right) - 1,48*s \geq f_{ck}$ | (N/mm ²) |
|-------------------------|---|----------------------|

και

| | | |
|--------------------------------------|---|----------------------|
| 2 ^ο κριτήριο ¹ | $\left(\frac{f_{is,lowest}}{0,85}\right) + 4 \geq f_{ck}$ | (N/mm ²) |
|--------------------------------------|---|----------------------|

Όπου: $f_{m(n),is.}$ = ο μέσος όρος των τιμών θραύσης των πυρήνων

s = η τυπική απόκλιση των τιμών θραύσης των πυρήνων

f_{ck} = η χαρακτηριστική αντοχή που αντιστοιχεί στη δεδομένη κατηγορία του υπό έλεγχο σκυροδέματος

$f_{is,lowest}$ = η μικρότερη τιμή θραύσης πυρήνα²

n = πλήθος πυρήνων

6.4 Αν ικανοποιούνται τα παραπάνω δύο κριτήρια, η περιοχή μπορεί να θεωρηθεί ότι διαθέτει σκυρόδεμα με κατάλληλη αντοχή και ότι αυτό συμμορφώνεται με το Πρότυπο EN 206-1³.

7. ΕΙΔΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΙΚΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

7.1 Επιτρέπεται ο έλεγχος αντοχής σκυροδέματος σε μικρή περιοχή, αν αυτή η περιοχή συνίσταται από σκυρόδεμα μικρού όγκου (μία ή λίγες βαρέλες σκυροδέματος). Η μικρή αυτή περιοχή ελέγχεται με 2 πυρήνες. Ο ειδικός με την εμπειρία του, πρέπει να επιλέξει δύο θέσεις για πυρηνοληψία.

7.2 Η αντοχή της μικρής αυτής περιοχής, οφείλει να ικανοποιεί μόνο το 2^ο κριτήριο:

| | | |
|-------------------------|---|----------------------|
| 2 ^ο κριτήριο | $\left(\frac{f_{is,lowest}}{0,85}\right) + 4 \geq f_{ck}$ | (N/mm ²) |
|-------------------------|---|----------------------|

Όπου: $f_{is,lowest}$ = η μικρότερη τιμή θραύσης πυρήνα

f_{ck} = η χαρακτηριστική αντοχή που αντιστοιχεί στη δεδομένη κατηγορία του υπό έλεγχο σκυροδέματος

7.3 Παρατήρηση: Όμως, έστω και αν ικανοποιείται το παρακάτω κριτήριο, η περιοχή μπορεί μεν να θεωρηθεί ότι διαθέτει σκυρόδεμα με κατάλληλη αντοχή, πλην όμως, το Πρότυπο δεν δίνει το δικαίωμα να θεωρηθεί ότι συμμορφώνεται με το Πρότυπο EN 206-1.

¹ Όταν το 2^ο κριτήριο δεν ικανοποιείται, οι παραδοχές σχεδιασμού δεν ισχύουν και θα πρέπει να γίνει εκτίμηση της καταλληλότητας της κατασκευής. Μία χαμηλή επί τόπου αντοχή μπορεί να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες (αστοχία σκυροδέματος, κακή συμπύκνωση, ανεξέλεγκτη προσθήκη νερού στο εργοτάξιο κλπ.). Ο παραγωγός και ο χρήστης θα πρέπει να εντοπίσουν ποιοι είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες, λαμβάνοντας υπόψη το πορώδες και την ύπαρξη οπλισμού στους πυρήνες καθώς και την ηλικία του πυρήνα την ημερομηνία της δοκιμής. Περισσότερες οδηγίες δεν παρέχονται σε αυτό το Πρότυπο. (prEN 13791: §9, Note 2).

² Αστοχία ενός μεμονωμένου πυρήνα μπορεί να υποδηλώνει τοπικό παρά γενικευμένο πρόβλημα. (prEN 13791: §9, Note 1).

³ EN 206-1: Σκυρόδεμα – Μέρος 1: Προδιαγραφή, επίδοση, παραγωγή και συμμόρφωση.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- 8.1 Εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής υφιστάμενων (“παλαιών”) κατασκευών με βάση το: prEN 13791/2006, Α. Σακελλαρίου & Ι. Καλογεροπούλου, Αθήνα 2008 (αδημοσίευτο).
- 8.2 Εγκύκλιος Ε7, Εκτίμηση της κατηγορίας αντοχής του σκυροδέματος υφιστάμενων κατασκευών, Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., 28 Μαρτίου 1997, Αθήνα
- 11.9 Final Draft prEN 13791, Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components, Ιούνιος 2006
- 8.4 EN 206-1, Concrete - Part 1: Specification, performance, production and conformity, Μάρτιος 2001.

9. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

- 9.1 Στη συνέχεια γίνεται πρακτική εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου. Η μέθοδος prEN 13791/2006, για τον έλεγχο του σκυροδέματος σε νέες κατασκευές όταν αμφισβητείται η ποιότητά του, απαιτεί 15 και πλέον πυρήνες.
Για απλούστευση όμως της αριθμητικής εφαρμογής, εδώ:
- α. Έχουν επιλεγεί οι αντοχές 6 πυρήνων από τον Πίνακα Νο 4 της Εγκυκλίου Ε7 [8.2] αντί 15 και πλέον πυρήνων και
- β. Οι λόγοι H/D έχουν ληφθεί ίσοι με τη μονάδα (H/D = 1).
- γ. Ως δεδομένη κατηγορία σκυροδέματος θεωρείται η C16/20.

- 9.2 Η εφαρμογή φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα Νο 1*:

Πίνακας Νο 1

| α/α | Διάμετρος πυρήνα D (cm) | Ύψος πυρήνα H (cm) | Λόγος H/D** | Αντοχή πυρήνα (MPa) | Μέση τιμή αντοχής $f_{m(n),is.}$ (MPa) | Τυπική απόκλιση (s) (MPa) | Δεδομένη κατηγορία αντοχής (f_{ck} : MPa) | Κριτήρια Ελέγχου (§6.3) |
|---|-------------------------|--------------------|-------------|---------------------|--|---------------------------|--|---|
| 1 | 10 | 10,6 | 1,0 | 16,8 | 21,8 | 3,23 | C16/20 (20 MPa) | <p>1° κριτήριο:</p> $\left(\frac{f_{m(n),is.}}{0,85}\right) - 1,48*s \geq f_{ck}$ $\left(\frac{21,8}{0,85}\right) - 1,48*3,23 \geq 20$ <p>20,9 ≥ 20</p> <p>OK → C16/20</p> |
| 2 | 10 | 10,6 | 1,0 | 26,1 | | | | |
| 3 | 10 | 10,7 | 1,0 | 22,2 | | | | |
| 4 | 10 | 11,1 | 1,0 | 21,5 | | | | |
| 5 | 10 | 10,6 | 1,0 | 24,1 | | | | |
| 6 | 10 | 10,8 | 1,0 | 20,0 | | | | |
| <p>2° κριτήριο:</p> $\left(\frac{f_{is,lowest}}{0,85}\right) + 4 \geq f_{ck}$ $\left(\frac{16,8}{0,85}\right) + 4 \geq 20$ <p>23,8 ≥ 20</p> <p>OK → C16/20</p> | | | | | | | | |

(*) Το prEN 13791/2006 δεν επιτρέπει τον έλεγχο σε αμφισβήτηση της ποιότητας του σκυροδέματος με πλήθος πυρήνων μικρότερο του 15. Εδώ η απλούστευση γίνεται χάριν της εφαρμογής.

(**) Οι λόγοι H/D έχουν ληφθεί ίσοι με τη μονάδα.

Πίνακας Νο 1: Πίνακας εφαρμογής των κριτηρίων ελέγχου σε περιοχή από την οποία έχουν ληφθεί 6 πυρήνες με λόγο H/D =1, σύμφωνα με το Πρότυπο prEN 13791/2006.

5^ο Άρθρο

**Εκτίμηση της
επί τόπου θλιπτικής αντοχής κατασκευών
με βαθμονομημένες κρουσιμετρήσεις
βάσει του: prEN 13791/2006**

A. Σακελλαρίου
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

και

I. Καλογεροπούλου
Πολιτικός Μηχανικός

Αθήνα 2008

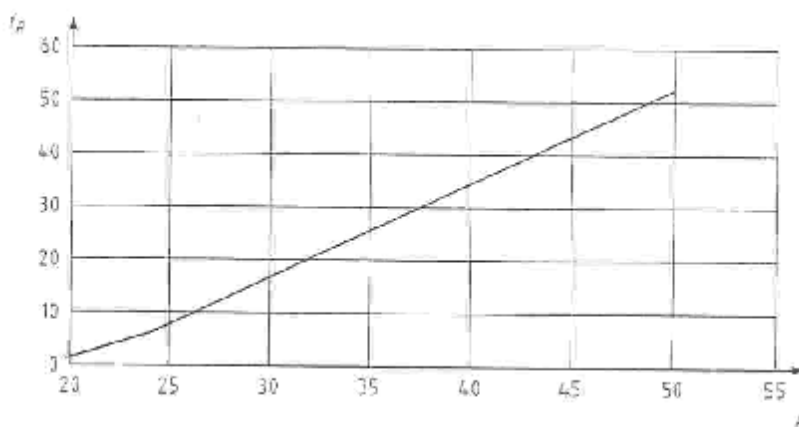
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

| | |
|--|-----|
| 1. ΣΚΟΠΟΣ | 3 |
| 2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ | 3 |
| 3. ΤΡΟΠΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ | 3 |
| 4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΕΩΝ | 3 |
| 5. ΒΑΣΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΩΝ | 3 |
| 6. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΕΩΝ - ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΩΝ ΜΕ ΠΥΡΗΝΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟ ΕΡΓΟ (ΠΛΗΘΟΣ ΠΥΡΗΝΩΝ: 9-17) | 4-5 |
| 7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟΥ ΕΡΓΟΥ ΜΟΝΟ ΜΕ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΕΙΣ | 6 |
| 8. ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ | 7 |
| 9. ΣΥΝΤΑΞΗ ΕΚΘΕΣΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ | 8 |
| 10. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΕΩΝ - ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΩΝ ΜΕ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟΥΣ ΑΠΟ 17 ΠΥΡΗΝΕΣ | 8-9 |
| 11. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΕΩΝ | 9 |
| 12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 9 |

- 1. ΣΚΟΠΟΣ:** Εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μιας κατασκευής με βαθμονομημένες κρουσιμετρήσεις, χρησιμοποιώντας μια σχέση μεταξύ κρουσιμετρήσεων και επί τόπου αντοχών από πυρήνες. Η σχέση αυτή παρουσιάζεται στο Πρότυπο υπό μορφή γραφήματος (Σχήμα 1: Βασική καμπύλη για κρουσιμετρήσεις)
- 2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ:** Όταν μια κατασκευή πρόκειται να τροποποιηθεί, να επανασχεδιαστεί ή έχει υποστεί βλάβες.
- 3. ΤΡΟΠΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ:** Με βαθμονομημένες κρουσιμετρήσεις που συσχετίζονται με δοσμένη σχέση κρουσιμετρήσεων – επί τόπου αντοχών.
- 4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΕΩΝ:** Πρόκειται για μη καταστρεπτική μέθοδο εκτίμησης της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μιας κατασκευής. Χρησιμοποιείται είτε ως εναλλακτική προς τους πυρήνες, είτε ως συμπληρωματική των πυρήνων. Και στις δύο περιπτώσεις, η μέθοδος εφαρμόζεται πάντοτε μετά από συσχέτιση των κρουσιμετρήσεων με τιμές αντοχών από πυρήνες που έχουν ληφθεί από το έργο¹.
- 5. ΒΑΣΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΩΝ:**

- Το Πρότυπο prEN 13791 δίνει μια γενικευμένη συσχέτιση μεταξύ των κρουσιμετρήσεων και των επί τόπου αντοχών του σκυροδέματος υπό μορφή διαγράμματος. Το διάγραμμα αυτό που ονομάζεται **'βασική καμπύλη'** παρουσιάζεται στο παρακάτω Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Βασική καμπύλη για κρουσιμετρήσεις².

Όπου: **R** (άξονας X): Κρουσιμετρήσεις (βάσει EN 12504-2³)

f_R (άξονας Y): Αρχικές τιμές επί τόπου αντοχών σκυροδέματος (MPa)

- Στην περίπτωση αριθμητικών υπολογισμών, οι εξισώσεις της **'βασικής καμπύλης'** δίνονται στη συνέχεια:

| | | |
|------------------------------|---------------------|------------|
| $f_R = 1,25 \times R - 23$ | $20 \leq R \leq 24$ | (1) |
| $f_R = 1,25 \times R - 34,5$ | $24 \leq R \leq 50$ | |

¹ Το Πρότυπο prEN 13791 δεν περιλαμβάνει την περίπτωση που η μέθοδος των κρουσιμετρήσεων χρησιμοποιείται χωρίς συσχέτισμό με αντοχές πυρήνων από το έργο. Σε αυτές τις περιπτώσεις, θα εφαρμόζονται τοπικές προβλέψεις, εφόσον υπάρχουν (prEN 13791, §1).

² Η βασική καμπύλη του Σχήματος 1 ή το μεγενθυμένο αντίγραφο της μπορεί να χρησιμοποιηθεί για γραφικούς υπολογισμούς χωρίς να παραβιάζεται η πνευματική ιδιοκτησία (prEN 13791, §8.3.3)

³ EN 12504-2: Δοκιμές σκυροδέματος στις κατασκευές - Μέρος 2: Μη καταστροφικοί έλεγχοι - Προσδιορισμός αριθμού κρουσιμετρήσεων.

6. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΕΩΝ - ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΩΝ ΜΕ ΠΥΡΗΝΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟ ΕΡΓΟ (ΠΛΗΘΟΣ ΠΥΡΗΝΩΝ: 9-17)¹:

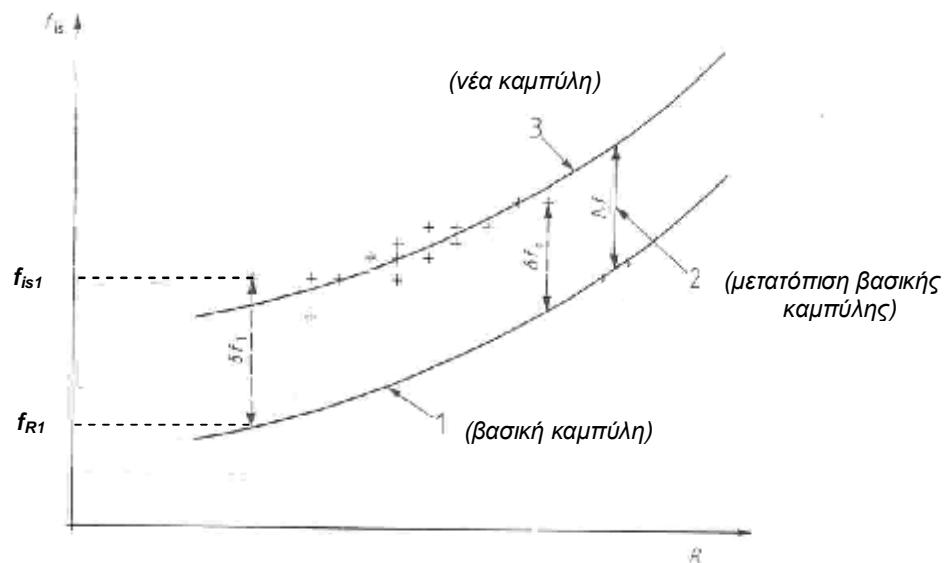
6.1 Γενικά

Η εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής μιας κατασκευής με τη μέθοδο των βαθμονομημένων κρουσιμετρήσεων επιτυγχάνεται, χρησιμοποιώντας τη βασική καμπύλη και μετατοπίζοντάς την στο κατάλληλο επίπεδο που καθορίζεται από δοκιμές πυρήνων του έργου. Αυτή η τεχνική εφαρμόζεται σε κανονικό σκυρόδεμα που έχει παραχθεί από την ίδια ομάδα υλικών και με την ίδια διαδικασία παραγωγής. Σκοπός της μεθόδου είναι να κατασκευαστεί μια νέα καμπύλη που θα συσχετίζει τις κρουσιμετρήσεις με τις επί τόπου αντοχές στο συγκεκριμένο έργο.

6.2 Διαδικασία

Για τη συσχέτιση των κρουσιμετρήσεων με τις επί τόπου θλιπτικές αντοχές πυρήνων του έργου, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- α. Γίνεται επιλογή μιας περιοχής ελέγχου που περιλαμβάνει **τουλάχιστον 9 θέσεις ελέγχου**. Σε κάθε θέση ελέγχου αντιστοιχεί μια τιμή κρουσιμέτρησης² και ένας πυρήνας².
- β. Η αντοχή του πυρήνα και η τιμή της κρουσιμέτρησης, αποτυπώνονται στο διάγραμμα της βασικής καμπύλης, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 2. Ο συνδυασμός³ των δύο αυτών αποτελεσμάτων, για κάθε θέση ελέγχου, εμφανίζεται στο Σχήμα 2 πάνω από τη βασική καμπύλη με τα σημεία μορφής σταυρού (+).



$\delta_{1...n}$: Διαφορά μεταξύ της μεμονωμένης αντοχής πυρήνα του έργου f_{is} και της τιμής αντοχής f_R που δίνεται από τη βασική καμπύλη, για κάθε θέση ελέγχου.

Σχήμα 2: Διάγραμμα συσχέτισης κρουσιμετρήσεων με τις επί τόπου θλιπτικές αντοχές πυρήνων του έργου. Κατασκευή νέας καμπύλης.

¹ Η μέθοδος αυτή αναφέρεται στο Πρότυπο prEN 13791 ως Εναλλακτική 2 (Alternative 2).

² Ο εξοπλισμός, η διαδικασία των δοκιμών και η διατύπωση των αποτελεσμάτων θα πρέπει να συμφωνούν με το Πρότυπο EN 12504-1 για τους πυρήνες και με το Πρότυπο EN 12504-2, για τις κρουσιμετρήσεις. Οι διαστάσεις των πυρήνων και η αντιστοιχία τους με κυβικά ή κυλινδρικά δοκίμια αναλύονται στις §5, 6 και 7 του Προτύπου prEN 13791 [12.1].

³ Συνδυασμός αποτελεσμάτων είναι ένα αποτέλεσμα θραύσης πυρήνα και ένα αποτέλεσμα κρουσιμέτρησης από την ίδια θέση ελέγχου.

- γ. Για κάθε θέση ελέγχου προσδιορίζεται η διαφορά δ_f της επί τόπου αντοχής μεταξύ της μετρούμενης τιμής του πυρήνα και της τιμής που δίνεται από τη βασική καμπύλη.

$$\delta_f = f_{is} - f_R \quad (2)$$

- Όπου: δ_f = Διαφορά μεταξύ της μεμονωμένης αντοχής πυρήνα και της τιμής αντοχής σύμφωνα με τη βασική σχέση, για μια θέση ελέγχου.
 f_{is} = Η τιμή της μεμονωμένης αντοχής πυρήνα.
 f_R = Η τιμή αντοχής που δίνεται από τη βασική καμπύλη

- δ. Υπολογίζεται ο μέσος όρος $\delta f_{m(n)}$ για τα 'n' αποτελέσματα και η τυπική απόκλιση s του δείγματος.

- ε. Υπολογίζεται η ποσότητα Δf , κατά την οποία πρέπει να μετατοπιστεί η βασική καμπύλη.

$$\Delta f = \delta f_{m(n)} - k_1 \times s \quad (3)$$

- Όπου: Δf = μετατόπιση της βασικής καμπύλης¹ ή αλλιώς: νέα καμπύλη κρουσιμετρήσεων – επί τόπου αντοχών για το συγκεκριμένο έργο.
 $\delta f_{m(n)}$ = ο μέσος όρος των 'n' αποτελεσμάτων
 k_1 = συντελεστής που λαμβάνει τιμές από τον Πίνακα Νο 1.
 s = τυπική απόκλιση του δείγματος
 n = πλήθος αποτελεσμάτων ($n \geq 9$)

Πίνακας Νο 1

| α/α | Πλήθος συνδυασμένων δοκιμών n | Συντελεστής k_1 |
|-----|-------------------------------|-------------------|
| 1 | 9 | 1,67 |
| 2 | 10 | 1,62 |
| 3 | 11 | 1,58 |
| 4 | 12 | 1,55 |
| 6 | 13 | 1,52 |
| 6 | 14 | 1,50 |
| 7 | ≥15 | 1,48 |

Πίνακας Νο 1: Συντελεστής k_1 που εξαρτάται από το πλήθος των συνδυασμένων δοκιμών 'n'.

- στ. Μετατοπίζεται η βασική καμπύλη κατά Δf ώστε να προσδιοριστεί η σχέση μεταξύ των κρουσιμετρήσεων (R) και της επί τόπου θλιπτικής αντοχής για το συγκεκριμένο υπό έλεγχο σκυρόδεμα με τη νέα καμπύλη.

¹ Η βασική καμπύλη έχει τοποθετηθεί σε «χαμηλή θέση», έτσι ώστε η μετατόπιση Δf να προκύπτει πάντα θετική (prEN 13791: §8.3.3, Note).

7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟΥ ΕΡΓΟΥ ΜΟΝΟ ΜΕ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΕΙΣ:

Η εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μιας περιοχής ελέγχου βασίζεται σε **τουλάχιστον 15 θέσεις ελέγχου κρουσιμετρήσεων**. Οι 15 αυτές τιμές (R_i) των κρουσιμετρήσεων με τη βοήθεια της νέας καμπύλης Δf έτσι όπως κατασκευάστηκε προηγουμένως (καμπύλη 3 του Σχήματος 2)¹ οδηγούν στην εύρεση 15 τουλάχιστον αντίστοιχων τιμών θλιπτικής αντοχής ($f_{is,i}$). Βάσει δε αυτών των τιμών εκτιμάται η επί τόπου χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή $f_{ck,is}$, η οποία δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$f_{ck,is} = \min \begin{cases} f_{m(n),is} - 1,48*s \\ f_{is,lowest} + 4 \end{cases} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (4)$$

Όπου: $f_{ck,is}$ = η εκτιμώμενη (επί τόπου) χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος της περιοχής ελέγχου.

$f_{is,i}$ = οι τιμές των επί τόπου θλιπτικών αντοχών που αντιστοιχούν στις κρουσιμετρήσεις R_i βάσει της νέας καμπύλης 3 (Σχήμα 2)

$f_{m(n),is}$ = ο μέσος όρος των τιμών $f_{is,i}$

s = τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων των $f_{is,i}$ (όχι όμως μικρότερη από 3,0 N/mm²)

$f_{is,lowest}$ = η μικρότερη τιμή $f_{is,i}$

n = το πλήθος των αποτελεσμάτων ($n \geq 15$)

¹ Η καμπύλη αυτή θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για την εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του συγκεκριμένου σκυροδέματος και τις συνθήκες για τις οποίες προσδιορίστηκε. Επίσης, η καμπύλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την εξής ανοχή για τις κρουσιμετρήσεις: επιτρέπονται μόνο ± 2 κρουσιμετρήσεις εκτός της περιοχής των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για την κατασκευή της.

8. ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ:

Χρησιμοποιώντας την εκτιμώμενη επί τόπου χαρακτηριστική αντοχή $f_{ck, is}$ που υπολογίστηκε πριν, η αντίστοιχη (ισοδύναμη) κατηγορία αντοχής του έργου λαμβάνεται από τον παρακάτω Πίνακα Νο 2 [12.1 και 12.6].

Πίνακας Νο 2

| α/α | Κατηγορία θλιπτικής αντοχής σύμφωνα με το Πρότυπο EN 206-1 ¹ | Λόγος της επί τόπου χαρακτηριστικής αντοχής προς την χαρακτηριστική αντοχή συμβατικού δοκιμίου ($f_{ck, is} / f_{ck}$) | Ελάχιστη χαρακτηριστική επί τόπου αντοχή $f_{ck, is}$ (N/mm ²) | |
|-----|---|--|--|------------------------|
| | | | $f_{ck, is, cube}^*$ | $f_{ck, is, cyl}^{**}$ |
| 1 | C8/10 | 0,85 ² | 9 | 7 |
| 2 | C12/15 | | 13 | 10 |
| 3 | C16/20 | | 17 | 14 |
| 4 | C20/25 | | 21 | 17 |
| 5 | C25/30 | | 26 | 21 |
| 6 | C30/37 | | 31 | 26 |
| 7 | C35/45 | | 38 | 30 |
| 8 | C40/50 | | 43 | 34 |
| 9 | C45/55 | | 47 | 38 |
| 10 | C50/60 | | 51 | 43 |
| 11 | C55/67 | | 57 | 47 |
| 12 | C60/75 | | 64 | 51 |
| 13 | C70/85 | | 72 | 60 |
| 14 | C80/95 | | 81 | 68 |
| 15 | C90/105 | | 89 | 77 |
| 16 | C100/115 | | 98 | 85 |

(*) $f_{ck, is, cube}$: Χαρακτηριστική επί τόπου θλιπτική αντοχή που εκφράζεται σε ισοδύναμη αντοχή κύβου ακμής 150 mm. **Η στήλη αυτή χρησιμοποιείται όταν οι πυρήνες έχουν διάμετρο 100 mm και ύψος 100 mm.**

(**) $f_{ck, is, cyl}$: Χαρακτηριστική επί τόπου θλιπτική αντοχή που εκφράζεται σε ισοδύναμη αντοχή κυλίνδρου 150 mm x 300 mm. **Η στήλη αυτή χρησιμοποιείται όταν οι πυρήνες έχουν λόγο H/D = 2.**

Πίνακας Νο 2: Πίνακας αντιστοιχίας της ελάχιστης χαρακτηριστικής επί τόπου θλιπτικής αντοχής $f_{ck, is}$, με την κατηγορία θλιπτικής αντοχής βάσει του Προτύπου EN 206-1.

¹ EN 206-1: Σκυρόδεμα – Μέρος 1: Προδιαγραφή, επίδοση, παραγωγή και συμμόρφωση.

² Ο λόγος 0,85 είναι τμήμα του συντελεστή ασφαλείας σκυροδέματος γ_c βάσει του EN 1992-1-1: Ευρωκώδικας 2: «Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα – Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια». Στο Παράρτημα Α: «Τροποποίηση των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας για τα υλικά» του Προτύπου, στην παράγραφο §Α.2 «Υφιστάμενες κατασκευές σκυροδέματος» και στην υποπαράγραφο §Α.2.3: «Μείωση του συντελεστή ασφαλείας λόγω εκτίμησης της επί τόπου αντοχής σκυροδέματος σε υφιστάμενη κατασκευή», αναφέρεται ότι: Ο συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος γ_c μπορεί να μειωθεί κατά το γινόμενο: $\gamma_c * 0,85$, παραδείγματος χάριν από 1,5 θα γίνει 1,3 (1,5*0,85 ~1,3).

9. ΣΥΝΤΑΞΗ ΕΚΘΕΣΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ:

Συντάσσουμε την Έκθεση των αποτελεσμάτων η οποία πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής:

- Σκοπός της εκτίμησης της αντοχής
- Περιγραφή της κατασκευής
- Διαθέσιμες πληροφορίες για το σκυρόδεμα (σύνθεση, κατηγορία αντοχής, ηλικία κλπ.)
- Μέθοδος εκτίμησης της αντοχής
- Προσδιορισμός της νέας καμπύλης
- Πρόγραμμα δοκιμών: μέθοδοι δοκιμών, πυρήνες (διαστάσεις, συντήρηση κλπ.), σχέδιο δειγματοληψιών, αριθμός δοκιμών.
- Δεδομένα και αποτελέσματα δοκιμών
- Υπολογισμοί
- Εκτίμηση της επί τόπου χαρακτηριστικής αντοχής και, εάν χρειάζεται, ισοδύναμη κατηγορία θλιπτικής αντοχής σύμφωνα με το Πρότυπο EN 206-1.

10. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΕΩΝ - ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΩΝ ΜΕ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟΥΣ ΑΠΟ 17 ΠΥΡΗΝΕΣ:

Υπάρχει περίπτωση να είναι διαθέσιμοι περισσότεροι από 17¹ πυρήνες για τη συσχέτιση κρουσιμετρήσεων – επί τόπου αντοχών των πυρήνων. Στην περίπτωση αυτή, είναι δυνατή η εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής, κατασκευάζοντας απευθείας μια ευθεία ή καμπύλη που θα συσχετίζει τις κρουσιμετρήσεις με τις επί τόπου αντοχές των πυρήνων, χωρίς χρήση της βασικής καμπύλης.

10.1 Γενικά

Η εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής μιας κατασκευής με τη μέθοδο των κρουσιμετρήσεων μετά από συσχέτιση των κρουσιμετρήσεων με περισσότερους από 17 πυρήνες από το έργο, επιτυγχάνεται, εφαρμόζοντας ένα εκτεταμένο πρόγραμμα δοκιμών. Σκοπός της μεθόδου είναι να κατασκευαστεί μια ευθεία ή καμπύλη που θα συσχετίζει τις κρουσιμετρήσεις με τις επί τόπου αντοχές των πυρήνων.

10.2 Διαδικασία κατασκευής ευθείας ή καμπύλης κρουσιμετρήσεων – επί τόπου αντοχών για το συγκεκριμένο έργο²

Για τη συσχέτιση των κρουσιμετρήσεων με τις επί τόπου θλιπτικές αντοχές πυρήνων του έργου, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- α. Λαμβάνονται **τουλάχιστον 18 συνδυασμοί αποτελεσμάτων** που καλύπτουν την περιοχή ενδιαφέροντος. Σε κάθε συνδυασμό αντιστοιχεί μια τιμή κρουσιμέτρησης³ και ένας πυρήνας³.
- β. Καθορίζεται με ανάλυση παλινδρόμησης, η βέλτιστη ευθεία ή καμπύλη των συνδυασμών των δεδομένων⁴. Η τιμή της κρουσιμέτρησης θεωρείται ως μεταβλητή και η αντοχή του πυρήνα ως συνάρτηση της μεταβλητής αυτής.

¹ Το ελάχιστο απαιτούμενο πλήθος συνδυασμένων δοκιμών είναι 18 σε πολλές περιπτώσεις όμως, είναι ωφέλιμο να υπάρχει ένα αρκετά μεγαλύτερο πλήθος παρατηρήσεων στα δεδομένα για τον προσδιορισμό της σχέσης.

² Η μέθοδος αυτή αναφέρεται στο Πρότυπο prEN 13791 ως Εναλλακτική 1 (Alternative 1).

³ Ο εξοπλισμός, η διαδικασία των δοκιμών και η διατύπωση των αποτελεσμάτων θα πρέπει να συμφωνούν με το Πρότυπο EN 12504-1 για τους πυρήνες και με το Πρότυπο EN 12504-2, για τις κρουσιμετρήσεις. Οι διαστάσεις των πυρήνων και η αντιστοιχία τους με κυβικά ή κυλινδρικά δοκίμια αναλύονται στις §5, 6 και 7 του Προτύπου prEN 13791 [12.1].

⁴ Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για να προκύψει η βέλτιστη ευθεία ή καμπύλη θα πρέπει να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα εντός των ορίων των δεδομένων.

- γ. Υπολογίζεται το στατιστικό σφάλμα της εκτίμησης και καθορίζονται τα όρια εμπιστοσύνης για τη βέλτιστη ευθεία ή καμπύλη καθώς και τα όρια ανοχής για μεμονωμένες παρατηρήσεις.
- δ. Η σχέση καθορίζεται ως το 10% της υποανοχής (ten percentile), δηλαδή δίνει ένα επίπεδο ασφαλείας όπου το 90% των τιμών ανοχής αναμένεται να είναι υψηλότερες από την εκτιμώμενη τιμή ανοχής.

10.3 Εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μιας περιοχής ελέγχου του συγκεκριμένου έργου μόνο με κρουσιμετρήσεις:

Η εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μιας περιοχής ελέγχου βασίζεται πάλι σε **τουλάχιστον 15 θέσεις ελέγχου κρουσιμετρήσεων**. Οι 15 αυτές τιμές (R_i) των κρουσιμετρήσεων με τη βοήθεια της ευθείας ή καμπύλης έτσι όπως κατασκευάστηκε προηγουμένως¹ οδηγούν στην εύρεση 15 τουλάχιστον αντίστοιχων τιμών θλιπτικής αντοχής ($f_{is,i}$). Βάσει δε αυτών των τιμών εκτιμάται η επί τόπου χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή $f_{ck, is}$, που δίνεται από τη σχέση (4) της §7, με τη διαφορά ότι οι τιμές $f_{is,i}$ είναι οι τιμές των επί τόπου θλιπτικών αντοχών που αντιστοιχούν στις κρουσιμετρήσεις R_i βάσει της ευθείας ή καμπύλης που προσδιορίστηκε.

11. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΕΩΝ:

Η σχέση μεταξύ της αντοχής και του αριθμού των κρουσιμετρήσεων επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος και τις συνθήκες της δοκιμής.

12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- 12.1 **Final Draft prEN 13791**, *Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components*, Ιούνιος 2006
- 12.2 **EN 12504-1**, *Testing concrete in structures - Part 1: Cored specimens - Taking, examining and testing in compression*, Ιούλιος 2000.
- 12.3 **EN 12504-2**, *Testing concrete in structures - Part 2: Non-destructive testing – Determination of rebound number*, Δεκέμβριος 2001
- 12.4 **EN 206-1**, *Concrete - Part 1: Specification, performance, production and conformity*, Μάρτιος 2001.
- 11.10 **EN 1992-1-1**, *Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*, Μάιος 2005.
- 12.6 **Εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής υφιστάμενων (“παλαιών”) κατασκευών με βάση το: prEN 13791/2006**, Α. Σακελλαρίου & Ι. Καλογεροπούλου, Αθήνα 2008 (αδημοσίευτο).

¹ Η ευθεία ή καμπύλη αυτή θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για την εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του συγκεκριμένου σκυροδέματος και τις συνθήκες για τις οποίες προσδιορίστηκε καθώς και εντός του εύρους των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της.

6° Άρθρο

**Εκτίμηση της επί τόπου
θλιπτικής αντοχής κατασκευών
με βαθμονομημένες εξολκεύσεις ήλου
βάσει του: prEN 13791/2006**

A. Σακελλαρίου
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

και

I. Καλογεροπούλου
Πολιτικός Μηχανικός

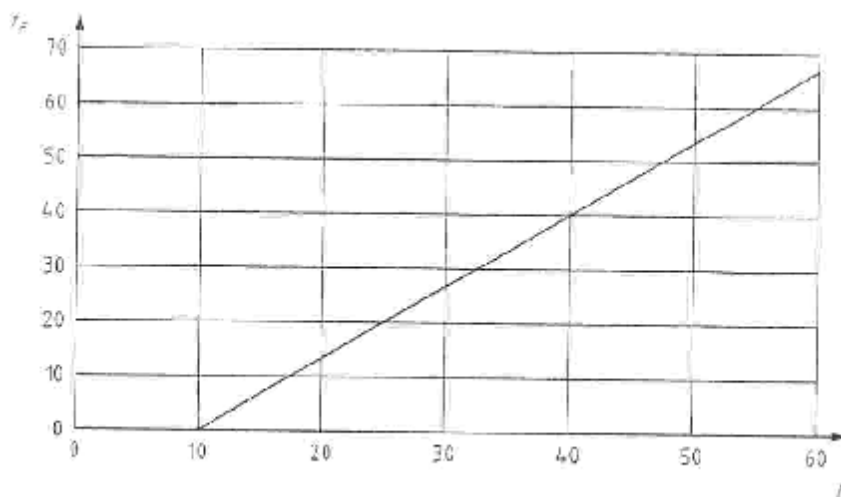
Αθήνα 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

| | |
|---|------|
| 1. ΣΚΟΠΟΣ | 3 |
| 2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ | 3 |
| 3. ΤΡΟΠΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ | 3 |
| 4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΞΟΛΚΕΥΣΗΣ ΗΛΟΥ | 3 |
| 5. ΒΑΣΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΕΞΟΛΚΕΥΣΗΣ – ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΩΝ | 3 |
| 6. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΕΞΟΛΚΕΥΣΗΣ - ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΩΝ ΜΕ ΠΥΡΗΝΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟ ΕΡΓΟ (ΠΛΗΘΟΣ ΠΥΡΗΝΩΝ: 9-17) | 4-5 |
| 8. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟΥ ΕΡΓΟΥ ΜΟΝΟ ΜΕ ΕΞΟΛΚΕΥΣΕΙΣ ΗΛΟΥ | 6 |
| 8. ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ | 7 |
| 9. ΣΥΝΤΑΞΗ ΕΚΘΕΣΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ | 8 |
| 10. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΕΞΟΛΚΕΥΣΗΣ – ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΩΝ ΜΕ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟΥΣ ΑΠΟ 17 ΠΥΡΗΝΕΣ | 8-9 |
| 11. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΕΞΟΛΚΕΥΣΕΩΝ ΗΛΟΥ | 9 |
| 12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 9-10 |

1. **ΣΚΟΠΟΣ:** Εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μιας κατασκευής με βαθμονομημένες εξολκεύσεις ήλου, χρησιμοποιώντας μια σχέση μεταξύ δυνάμεων εξόλκευσης και επί τόπου αντοχών από πυρήνες. Η σχέση αυτή παρουσιάζεται στο Πρότυπο υπό μορφή γραφήματος (Σχήμα 1: Βασική καμπύλη για εξολκεύσεις ήλου).
2. **ΕΦΑΡΜΟΓΗ:** Όταν μια κατασκευή πρόκειται να τροποποιηθεί, να επανασχεδιαστεί ή έχει υποστεί βλάβες.
3. **ΤΡΟΠΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ:** Με βαθμονομημένες εξολκεύσεις ήλου που συσχετίζονται με δοσμένη σχέση δυνάμεων εξόλκευσης – επί τόπου αντοχών.
4. **ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΞΟΛΚΕΥΣΗΣ ΗΛΟΥ:** Πρόκειται για ημι-καταστρεπτική μέθοδο εκτίμησης της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μιας κατασκευής. Χρησιμοποιείται είτε ως εναλλακτική προς τους πυρήνες, είτε ως συμπληρωματική των πυρήνων. Και στις δύο περιπτώσεις, η μέθοδος εφαρμόζεται πάντοτε μετά από συσχέτιση των δυνάμεων εξόλκευσης με τιμές αντοχών από πυρήνες που έχουν ληφθεί από το έργο¹.
5. **ΒΑΣΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΕΞΟΛΚΕΥΣΗΣ – ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΩΝ:**
 - Το Πρότυπο prEN 13791 δίνει μια γενικευμένη συσχέτιση μεταξύ των δυνάμεων εξόλκευσης και των επί τόπου αντοχών του σκυροδέματος υπό μορφή διαγράμματος. Το διάγραμμα αυτό που ονομάζεται 'βασική καμπύλη' παρουσιάζεται στο παρακάτω Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Βασική καμπύλη για εξολκεύσεις ήλου².

Όπου: **F** (άξονας X): Δυνάμεις εξόλκευσης σε kN (βάσει EN 12504-3³)

f_F (άξονας Y): Αρχικές τιμές επί τόπου αντοχών σκυροδέματος (MPa)

- Στην περίπτωση αριθμητικών υπολογισμών, η εξίσωση της 'βασικής καμπύλης' δίνεται στη συνέχεια:

$$f_F = 1,33 \times (F - 10) \quad 10 \leq F \leq 60 \text{ (kN)}^4 \quad (1)$$

¹ Το Πρότυπο prEN 13791 δεν περιλαμβάνει την περίπτωση που η μέθοδος των εξολκεύσεων ήλου χρησιμοποιείται χωρίς συσχέτισμό με αντοχές πυρήνων από το έργο. Σε αυτές τις περιπτώσεις, θα εφαρμόζονται τοπικές προβλέψεις, εφόσον υπάρχουν (prEN 13791, §1).

² Η βασική καμπύλη του Σχήματος 1 ή το μεγενθυμένο αντίγραφο της μπορεί να χρησιμοποιηθεί για γραφικούς υπολογισμούς χωρίς να παραβιάζεται η πνευματική ιδιοκτησία (prEN 13791, §8.3.3)

³ EN 12504-3: Δοκιμές σκυροδέματος στις κατασκευές - Μέρος 3: Προσδιορισμός της δύναμης εξόλκευσης.

⁴ Εκτιμάται ότι στην §8.3.3 του Προτύπου prEN 13791 έχει αναγραφεί εκ παραδρομής: $20 \leq F \leq 60$ αντί του σωστού: $10 \leq F \leq 60$.

6. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΕΞΟΛΚΕΥΣΗΣ - ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΩΝ ΜΕ ΠΥΡΗΝΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟ ΕΡΓΟ (ΠΛΗΘΟΣ ΠΥΡΗΝΩΝ: 9-17)¹:

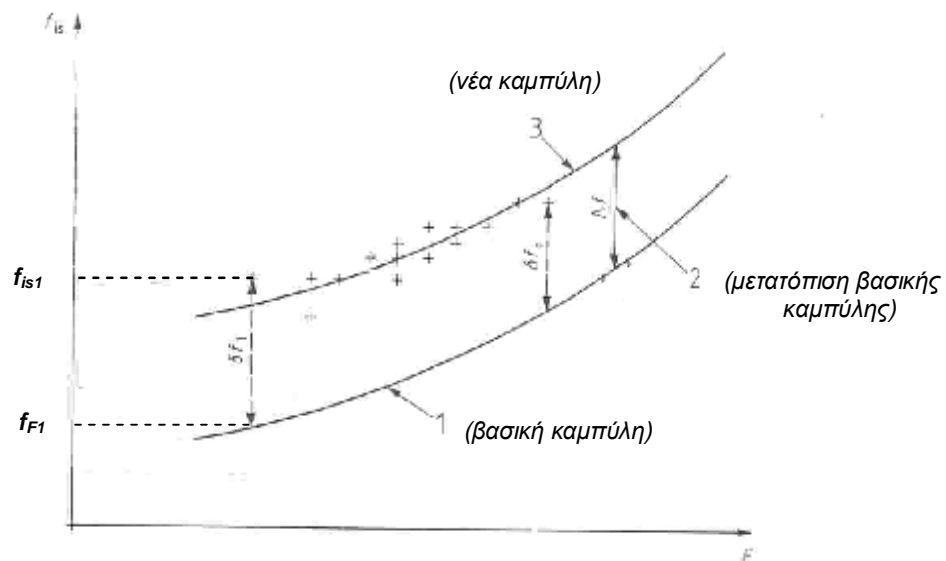
6.1 Γενικά

Η εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής μιας κατασκευής με τη μέθοδο των βαθμονομημένων εξολκεύσεων ήλου επιτυγχάνεται, χρησιμοποιώντας τη βασική καμπύλη και μετατοπίζοντάς την στο κατάλληλο επίπεδο που καθορίζεται από δοκιμές πυρήνων του έργου. Αυτή η τεχνική εφαρμόζεται σε κανονικό σκυρόδεμα που έχει παραχθεί από την ίδια ομάδα υλικών και με την ίδια διαδικασία παραγωγής. Σκοπός της μεθόδου είναι να κατασκευαστεί μια νέα καμπύλη που θα συσχετίζει τις δυνάμεις εξόλκευσης με τις επί τόπου αντοχές στο συγκεκριμένο έργο.

6.2 Διαδικασία

Για τη συσχέτιση των δυνάμεων εξόλκευσης με τις επί τόπου θλιπτικές αντοχές πυρήνων του έργου, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- α. Γίνεται επιλογή μιας περιοχής ελέγχου που περιλαμβάνει **τουλάχιστον 9 θέσεις ελέγχου**. Σε κάθε θέση ελέγχου αντιστοιχεί μια τιμή δύναμης εξόλκευσης ήλου² και ένας πυρήνας².
- β. Η αντοχή του πυρήνα και η τιμή της δύναμης εξόλκευσης, αποτυπώνονται στο διάγραμμα της βασικής καμπύλης, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 2. Ο συνδυασμός³ των δύο αυτών αποτελεσμάτων, για κάθε θέση ελέγχου, εμφανίζεται στο Σχήμα 2 πάνω από τη βασική καμπύλη με τα σημεία μορφής σταυρού (+).



$\delta_{F1...n}$: Διαφορά μεταξύ της μεμονωμένης αντοχής πυρήνα του έργου f_{is} και της τιμής αντοχής f_F που δίνεται από τη βασική καμπύλη, για κάθε θέση ελέγχου.

Σχήμα 2: Διάγραμμα συσχέτισης δυνάμεων εξόλκευσης με τις επί τόπου θλιπτικές αντοχές πυρήνων του έργου. Κατασκευή νέας καμπύλης.

¹ Η μέθοδος αυτή αναφέρεται στο Πρότυπο prEN 13791 ως Εναλλακτική 2 (Alternative 2).

² Ο εξοπλισμός, η διαδικασία των δοκιμών και η διατύπωση των αποτελεσμάτων θα πρέπει να συμφωνούν με το Πρότυπο EN 12504-1 για τους πυρήνες και με το Πρότυπο EN 12504-3, για τις εξολκεύσεις ήλου. Οι διαστάσεις των πυρήνων και η αντιστοιχία τους με κυβικά ή κυλινδρικά δοκίμια αναλύονται στις §5, 6 και 7 του Προτύπου prEN 13791 [12.1].

³ Συνδυασμός αποτελεσμάτων είναι ένα αποτέλεσμα θραύσης πυρήνα και ένα αποτέλεσμα εξόλκευσης ήλου από την ίδια θέση ελέγχου.

- γ. Για κάθε θέση ελέγχου προσδιορίζεται η διαφορά δ_f της επί τόπου αντοχής μεταξύ της μετρούμενης τιμής του πυρήνα και της τιμής που δίνεται από τη βασική καμπύλη.

$$\delta_f = f_{is} - f_F \quad (2)$$

- Όπου: δ_f = Διαφορά μεταξύ της μεμονωμένης αντοχής πυρήνα και της τιμής αντοχής σύμφωνα με τη βασική σχέση, για μια θέση ελέγχου.
 f_{is} = Η τιμή της μεμονωμένης αντοχής πυρήνα.
 f_F = Η τιμή αντοχής που δίνεται από τη βασική καμπύλη

- δ. Υπολογίζεται ο μέσος όρος $\delta f_{m(n)}$ για τα 'n' αποτελέσματα και η τυπική απόκλιση s του δείγματος.
 ε. Υπολογίζεται η ποσότητα Δf , κατά την οποία πρέπει να μετατοπιστεί η βασική καμπύλη.

$$\Delta f = \delta f_{m(n)} - k_1 \times s \quad (3)$$

- Όπου: Δf = μετατόπιση της βασικής καμπύλης¹ ή αλλιώς: νέα καμπύλη δυνάμεων εξόλκευσης - επί τόπου αντοχών για το συγκεκριμένο έργο.
 $\delta f_{m(n)}$ = ο μέσος όρος των 'n' αποτελεσμάτων
 k_1 = συντελεστής που λαμβάνει τιμές από τον Πίνακα Νο 1.
 s = τυπική απόκλιση του δείγματος
 n = πλήθος αποτελεσμάτων ($n \geq 9$)

Πίνακας Νο 1

| α/α | Πλήθος συνδυασμένων δοκιμών n | Συντελεστής k_1 |
|-----|-------------------------------|-------------------|
| 1 | 9 | 1,67 |
| 2 | 10 | 1,62 |
| 3 | 11 | 1,58 |
| 4 | 12 | 1,55 |
| 6 | 13 | 1,52 |
| 6 | 14 | 1,50 |
| 7 | ≥15 | 1,48 |

Πίνακας Νο 1: Συντελεστής k_1 που εξαρτάται από το πλήθος των συνδυασμένων δοκιμών 'n'.

- στ. Μετατοπίζεται η βασική καμπύλη κατά Δf ώστε να προσδιοριστεί η σχέση μεταξύ των δυνάμεων εξόλκευσης (F) και της επί τόπου θλιπτικής αντοχής για το συγκεκριμένο υπό έλεγχο σκυρόδεμα με τη νέα καμπύλη.

¹ Η βασική καμπύλη έχει τοποθετηθεί σε «χαμηλή θέση», έτσι ώστε η μετατόπιση Δf να προκύπτει πάντα θετική (prEN 13791: §8.3.3, Note).

7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟΥ ΕΡΓΟΥ ΜΟΝΟ ΜΕ ΕΞΟΛΚΕΥΣΕΙΣ ΗΛΟΥ:

Η εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μιας περιοχής ελέγχου βασίζεται σε **τουλάχιστον 15 θέσεις ελέγχου με εξολκεύσεις ήλου**. Οι 15 αυτές τιμές (F_i) των δυνάμεων εξόλκευσης με τη βοήθεια της νέας καμπύλης Δf έτσι όπως κατασκευάστηκε προηγουμένως (καμπύλη 3 του Σχήματος 2)¹ οδηγούν στην εύρεση 15 τουλάχιστον αντίστοιχων τιμών θλιπτικής αντοχής ($f_{is,i}$). Βάσει δε αυτών των τιμών εκτιμάται η επί τόπου χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή $f_{ck,is}$, η οποία δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$f_{ck,is} = \min \begin{cases} f_{m(n),is} - 1,48 \cdot s \\ f_{is,lowest} + 4 \end{cases} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (4)$$

Όπου: $f_{ck,is}$ = η εκτιμώμενη (επί τόπου) χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος της περιοχής ελέγχου.

$f_{is,i}$ = οι τιμές των επί τόπου θλιπτικών αντοχών που αντιστοιχούν στις δυνάμεις εξόλκευσης F_i βάσει της νέας καμπύλης 3 (Σχήμα 2)

$f_{m(n),is}$ = ο μέσος όρος των τιμών $f_{is,i}$

s = τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων των $f_{is,i}$ (όχι όμως μικρότερη από 3,0 N/mm²)

$f_{is,lowest}$ = η μικρότερη τιμή $f_{is,i}$

n = το πλήθος των αποτελεσμάτων ($n \geq 15$)

¹ Η καμπύλη αυτή θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για την εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του συγκεκριμένου σκυροδέματος και τις συνθήκες για τις οποίες προσδιορίστηκε. Επίσης, η καμπύλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την εξής ανοχή για τη δύναμη εξόλκευσης: επιτρέπονται μόνο $\pm 2,5$ kN εκτός της περιοχής των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για την κατασκευή της.

8. ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ:

Χρησιμοποιώντας την εκτιμώμενη επί τόπου χαρακτηριστική αντοχή $f_{ck, is}$ που υπολογίστηκε πριν, η αντίστοιχη (ισοδύναμη) κατηγορία αντοχής του έργου λαμβάνεται από τον παρακάτω Πίνακα Νο 2 [12.1 και 12.6].

Πίνακας Νο 2

| α/α | Κατηγορία θλιπτικής αντοχής σύμφωνα με το Πρότυπο EN 206-1 ¹ | Λόγος της επί τόπου χαρακτηριστικής αντοχής προς την χαρακτηριστική αντοχή συμβατικού δοκιμίου ($f_{ck, is} / f_{ck}$) | Ελάχιστη χαρακτηριστική επί τόπου αντοχή $f_{ck, is}$ (N/mm ²) | |
|-----|---|--|--|------------------------|
| | | | $f_{ck, is, cube}^*$ | $f_{ck, is, cyl}^{**}$ |
| 1 | C8/10 | 0,85 ² | 9 | 7 |
| 2 | C12/15 | | 13 | 10 |
| 3 | C16/20 | | 17 | 14 |
| 4 | C20/25 | | 21 | 17 |
| 5 | C25/30 | | 26 | 21 |
| 6 | C30/37 | | 31 | 26 |
| 7 | C35/45 | | 38 | 30 |
| 8 | C40/50 | | 43 | 34 |
| 9 | C45/55 | | 47 | 38 |
| 10 | C50/60 | | 51 | 43 |
| 11 | C55/67 | | 57 | 47 |
| 12 | C60/75 | | 64 | 51 |
| 13 | C70/85 | | 72 | 60 |
| 14 | C80/95 | | 81 | 68 |
| 15 | C90/105 | | 89 | 77 |
| 16 | C100/115 | | 98 | 85 |

(*) $f_{ck, is, cube}$: Χαρακτηριστική επί τόπου θλιπτική αντοχή που εκφράζεται σε ισοδύναμη αντοχή κύβου ακμής 150 mm. **Η στήλη αυτή χρησιμοποιείται όταν οι πυρήνες έχουν διάμετρο 100 mm και ύψος 100 mm.**

(**) $f_{ck, is, cyl}$: Χαρακτηριστική επί τόπου θλιπτική αντοχή που εκφράζεται σε ισοδύναμη αντοχή κυλίνδρου 150 mm x 300 mm. **Η στήλη αυτή χρησιμοποιείται όταν οι πυρήνες έχουν λόγο H/D = 2.**

Πίνακας Νο 2: Πίνακας αντιστοιχίας της ελάχιστης χαρακτηριστικής επί τόπου θλιπτικής αντοχής $f_{ck, is}$, με την κατηγορία θλιπτικής αντοχής βάσει του Προτύπου EN 206-1.

¹ EN 206-1: Σκυρόδεμα – Μέρος 1: Προδιαγραφή, επίδοση, παραγωγή και συμμόρφωση.

² Ο λόγος 0,85 είναι τμήμα του συντελεστή ασφαλείας σκυροδέματος γ_c βάσει του EN 1992-1-1: Ευρωκώδικας 2: «Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα – Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια». Στο Παράρτημα Α: «Τροποποίηση των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας για τα υλικά» του Προτύπου, στην παράγραφο §Α.2 «Υφιστάμενες κατασκευές σκυροδέματος» και στην υποπαράγραφο §Α.2.3: «Μείωση του συντελεστή ασφαλείας λόγω εκτίμησης της επί τόπου αντοχής σκυροδέματος σε υφιστάμενη κατασκευή», αναφέρεται ότι: Ο συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος γ_c μπορεί να μειωθεί κατά το γινόμενο: $\gamma_c * 0,85$, παραδείγματος χάριν από 1,5 θα γίνει 1,3 (1,5*0,85 ~1,3).

9. ΣΥΝΤΑΞΗ ΕΚΘΕΣΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ:

Συντάσσουμε την Έκθεση των αποτελεσμάτων η οποία πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής:

- Σκοπός της εκτίμησης της αντοχής
- Περιγραφή της κατασκευής
- Διαθέσιμες πληροφορίες για το σκυρόδεμα (σύνθεση, κατηγορία αντοχής, ηλικία κλπ.)
- Μέθοδος εκτίμησης της αντοχής
- Προσδιορισμός της νέας καμπύλης
- Πρόγραμμα δοκιμών: μέθοδοι δοκιμών, πυρήνες (διαστάσεις, συντήρηση κλπ.), σχέδιο δειγματοληψιών, αριθμός δοκιμών.
- Δεδομένα και αποτελέσματα δοκιμών
- Υπολογισμοί
- Εκτίμηση της επί τόπου χαρακτηριστικής αντοχής και, εάν χρειάζεται, ισοδύναμη κατηγορία θλιπτικής αντοχής σύμφωνα με το Πρότυπο EN 206-1.

10. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΕΞΟΛΚΕΥΣΗΣ - ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΩΝ ΜΕ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟΥΣ ΑΠΟ 17 ΠΥΡΗΝΕΣ:

Υπάρχει περίπτωση να είναι διαθέσιμοι περισσότεροι από 17¹ πυρήνες για τη συσχέτιση δυνάμεων εξόλκευσης – επί τόπου αντοχών των πυρήνων. Στην περίπτωση αυτή, είναι δυνατή η εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής, κατασκευάζοντας απευθείας μια ευθεία ή καμπύλη που θα συσχετίζει τις δυνάμεις εξόλκευσης με τις επί τόπου αντοχές των πυρήνων, χωρίς χρήση της βασικής καμπύλης.

10.1 Γενικά

Η εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής μιας κατασκευής με τη μέθοδο των εξολκεύσεων ήλου μετά από συσχέτιση των δυνάμεων εξόλκευσης με περισσότερους από 17 πυρήνες από το έργο, επιτυγχάνεται, εφαρμόζοντας ένα εκτεταμένο πρόγραμμα δοκιμών. Σκοπός της μεθόδου είναι να κατασκευαστεί μια ευθεία ή καμπύλη που θα συσχετίζει τις δυνάμεις εξόλκευσης με τις επί τόπου αντοχές των πυρήνων.

10.2 Διαδικασία κατασκευής ευθείας ή καμπύλης δυνάμεων εξόλκευσης – επί τόπου αντοχών για το συγκεκριμένο έργο²

Για τη συσχέτιση των δυνάμεων εξόλκευσης με τις επί τόπου θλιπτικές αντοχές πυρήνων του έργου, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- α. Λαμβάνονται **τουλάχιστον 18 συνδυασμοί αποτελεσμάτων** που καλύπτουν την περιοχή ενδιαφέροντος. Σε κάθε συνδυασμό αντιστοιχεί μια τιμή δύναμης εξόλκευσης³ και ένας πυρήνας³.
- β. Καθορίζεται με ανάλυση παλινδρόμησης, η βέλτιστη ευθεία ή καμπύλη των συνδυασμών των δεδομένων⁴. Η τιμή της δύναμης εξόλκευσης θεωρείται ως μεταβλητή και η αντοχή του πυρήνα ως συνάρτηση της μεταβλητής αυτής.

¹ Το ελάχιστο απαιτούμενο πλήθος συνδυασμένων δοκιμών είναι 18 σε πολλές περιπτώσεις όμως, είναι ωφέλιμο να υπάρχει ένα αρκετά μεγαλύτερο πλήθος παρατηρήσεων στα δεδομένα για τον προσδιορισμό της σχέσης.

² Η μέθοδος αυτή αναφέρεται στο Πρότυπο prEN 13791 ως Εναλλακτική 1 (Alternative 1).

³ Ο εξοπλισμός, η διαδικασία των δοκιμών και η διατύπωση των αποτελεσμάτων θα πρέπει να συμφωνούν με το Πρότυπο EN 12504-1 για τους πυρήνες και με το Πρότυπο EN 12504-3, για τις εξολκεύσεις ήλου. Οι διαστάσεις των πυρήνων και η αντιστοιχία τους με κυβικά ή κυλινδρικά δοκίμια αναλύονται στις §5, 6 και 7 του Προτύπου prEN 13791 [12.1].

⁴ Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για να προκύψει η βέλτιστη ευθεία ή καμπύλη θα πρέπει να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα εντός των ορίων των δεδομένων.

- γ. Υπολογίζεται το στατιστικό σφάλμα της εκτίμησης και καθορίζονται τα όρια εμπιστοσύνης για τη βέλτιστη ευθεία ή καμπύλη καθώς και τα όρια ανοχής για μεμονωμένες παρατηρήσεις.
- δ. Η σχέση καθορίζεται ως το 10% της υποανοχής (ten percentile), δηλαδή δίνει ένα επίπεδο ασφαλείας όπου το 90% των τιμών αντοχής αναμένεται να είναι υψηλότερες από την εκτιμώμενη τιμή αντοχής.

10.3 Εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μιας περιοχής ελέγχου του συγκεκριμένου έργου μόνο με εξολκεύσεις ήλου:

Η εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μιας περιοχής ελέγχου βασίζεται πάλι σε **τουλάχιστον 15 θέσεις ελέγχου με εξολκεύσεις ήλου**. Οι 15 αυτές τιμές (F_i) των δυνάμεων εξόλκευσης με τη βοήθεια της ευθείας ή καμπύλης έτσι όπως κατασκευάστηκε προηγουμένως¹ οδηγούν στην εύρεση 15 τουλάχιστον αντίστοιχων τιμών θλιπτικής αντοχής ($f_{is,i}$). Βάσει δε αυτών των τιμών εκτιμάται η επί τόπου χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή $f_{ck, is}$, που δίνεται από τη σχέση (4) της §7, με τη διαφορά ότι οι τιμές $f_{is,i}$ είναι οι τιμές των επί τόπου θλιπτικών αντοχών που αντιστοιχούν στις δυνάμεις εξόλκευσης F_i βάσει της ευθείας ή καμπύλης που προσδιορίστηκε.

11. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΕΞΟΛΚΕΥΣΕΩΝ ΗΛΟΥ:

Η σχέση μεταξύ της αντοχής και της μετρούμενης δύναμης εξόλκευσης επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος και τις συνθήκες της δοκιμής.

Κάποιοι πιθανοί παράγοντες είναι:

- Τύπος αδρανών
- Συμπύκνωση
- Συντήρηση
- Συνθήκες υγρασίας κατά τη δοκιμή
- Βάθος έμπηξης
- Ανωμαλίες επιφάνειας
- Παρουσία οπλισμού: ιδιαίτερα η παρουσία οπλισμού κοντά στη θέση ελέγχου, μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα.

Περαιτέρω πληροφορίες για τον προσδιορισμό της συσχέτισης μεταξύ της αντοχής και της δύναμης εξόλκευσης δίνονται επίσης στο πρότυπο EN 12504-3 [12.3].

12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- 12.1 Final Draft prEN 13791, Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components**, Ιούνιος 2006
- 12.2 EN 12504-1, Testing concrete in structures - Part 1: Cored specimens - Taking, examining and testing in compression**, Ιούλιος 2000.
- 12.3 EN 12504-3, Testing concrete in structures - Part 3: Determination of pull-out force**, Σεπτέμβριος 2005.
- 12.5 EN 206-1, Concrete - Part 1: Specification, performance, production and conformity**, Μάρτιος 2001.

¹ Η ευθεία ή καμπύλη αυτή θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για την εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του συγκεκριμένου σκυροδέματος και τις συνθήκες για τις οποίες προσδιορίστηκε καθώς και εντός του εύρους των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της.

- 12.6 EN 1992-1-1, Eurocode 2:** Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, Μάιος 2005.
- 12.7 Εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής υφιστάμενων (“παλαιών”) κατασκευών με βάση το: prEN 13791/2006,** Α. Σακελλαρίου & Ι. Καλογεροπούλου, Αθήνα 2008 (αδημοσίευτο).

7^ο Άρθρο

**Εκτίμηση της επί τόπου
θλιπτικής αντοχής κατασκευών
με βαθμονομημένους υπέρηχους
βάσει του: prEN 13791/2006**

A. Σακελλαρίου
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

και

I. Καλογεροπούλου
Πολιτικός Μηχανικός

Αθήνα 2008

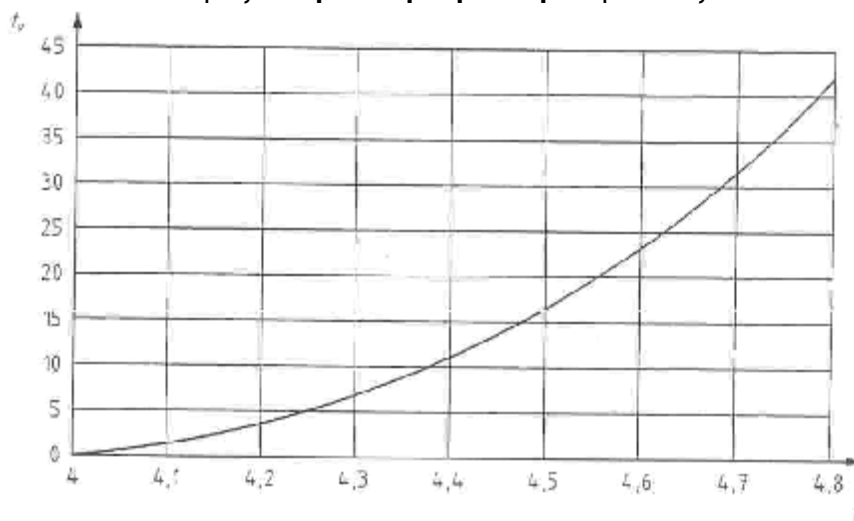
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

| | |
|--|-----|
| 1. ΣΚΟΠΟΣ | 3 |
| 2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ | 3 |
| 3. ΤΡΟΠΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ | 3 |
| 4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ | 3 |
| 5. ΒΑΣΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ – ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΩΝ | 3 |
| 7. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ - ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΩΝ ΜΕ ΠΥΡΗΝΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟ ΕΡΓΟ (ΠΛΗΘΟΣ ΠΥΡΗΝΩΝ: 9-17) | 4-5 |
| 9. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟΥ ΕΡΓΟΥ ΜΟΝΟ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ | 6 |
| 8. ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ | 7 |
| 9. ΣΥΝΤΑΞΗ ΕΚΘΕΣΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ | 8 |
| 10. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ - ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΩΝ ΜΕ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟΥΣ ΑΠΟ 17 ΠΥΡΗΝΕΣ | 8-9 |
| 11. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ | 9 |
| 12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 9 |

1. **ΣΚΟΠΟΣ:** Εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μιας κατασκευής με βαθμονομημένους υπέρηχους, χρησιμοποιώντας μια σχέση μεταξύ ταχυτήτων υπέρηχων και επί τόπου αντοχών από πυρήνες. Η σχέση αυτή παρουσιάζεται στο Πρότυπο υπό μορφή γραφήματος (Σχήμα 1: Βασική καμπύλη για υπέρηχους).
2. **ΕΦΑΡΜΟΓΗ:** Όταν μια κατασκευή πρόκειται να τροποποιηθεί, να επανασχεδιαστεί ή έχει υποστεί βλάβες.
3. **ΤΡΟΠΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ:** Με βαθμονομημένους υπέρηχους που συσχετίζονται με δοσμένη σχέση ταχυτήτων υπέρηχων – επί τόπου αντοχών.
4. **ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ:** Πρόκειται για μη καταστρεπτική μέθοδο εκτίμησης της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μιας κατασκευής. Χρησιμοποιείται είτε ως εναλλακτική προς τους πυρήνες, είτε ως συμπληρωματική των πυρήνων. Και στις δύο περιπτώσεις, η μέθοδος εφαρμόζεται πάντοτε μετά από συσχέτιση των ταχυτήτων των υπέρηχων με τιμές αντοχών από πυρήνες που έχουν ληφθεί από το έργο¹.
5. **ΒΑΣΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ – ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΩΝ:**

- Το Πρότυπο prEN 13791 δίνει μια γενικευμένη συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων των υπέρηχων και των επί τόπου αντοχών του σκυροδέματος υπό μορφή διαγράμματος. Το διάγραμμα αυτό που ονομάζεται **‘βασική καμπύλη’** παρουσιάζεται στο παρακάτω Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Βασική καμπύλη για υπέρηχους².

Όπου: v (άξονας Χ): ταχύτητα υπέρηχων σε km/s (βάσει EN 12504-4³)

f_v (άξονας Υ): Αρχικές τιμές επί τόπου αντοχών σκυροδέματος (MPa)

- Στην περίπτωση αριθμητικών υπολογισμών, η εξίσωση της **‘βασικής καμπύλης’** δίνεται στη συνέχεια:

| | | |
|--|------------------------------------|------------|
| $f_v = 62,5 \times v^2 - 497,5 \times v + 990$ | $4 \leq v \leq 4,8 \text{ (km/s)}$ | (1) |
|--|------------------------------------|------------|

¹ Το Πρότυπο prEN 13791 δεν περιλαμβάνει την περίπτωση που η μέθοδος των υπέρηχων χρησιμοποιείται χωρίς συσχέτισμό με αντοχές πυρήνων από το έργο. Σε αυτές τις περιπτώσεις, θα εφαρμόζονται τοπικές προβλέψεις, εφόσον υπάρχουν (prEN 13791, §1).

² Η βασική καμπύλη του Σχήματος 1 ή το μεγενθυμένο αντίγραφο της μπορεί να χρησιμοποιηθεί για γραφικούς υπολογισμούς χωρίς να παραβιάζεται η πνευματική ιδιοκτησία (prEN 13791, §8.3.3)

³ EN 12504-4: Δοκιμές σκυροδέματος στις κατασκευές - Μέρος 4: Προσδιορισμός της ταχύτητας μετάδοσης του ήχου με υπέρηχους.

6. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ - ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΩΝ ΜΕ ΠΥΡΗΝΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟ ΕΡΓΟ (ΠΛΗΘΟΣ ΠΥΡΗΝΩΝ: 9-17)¹:

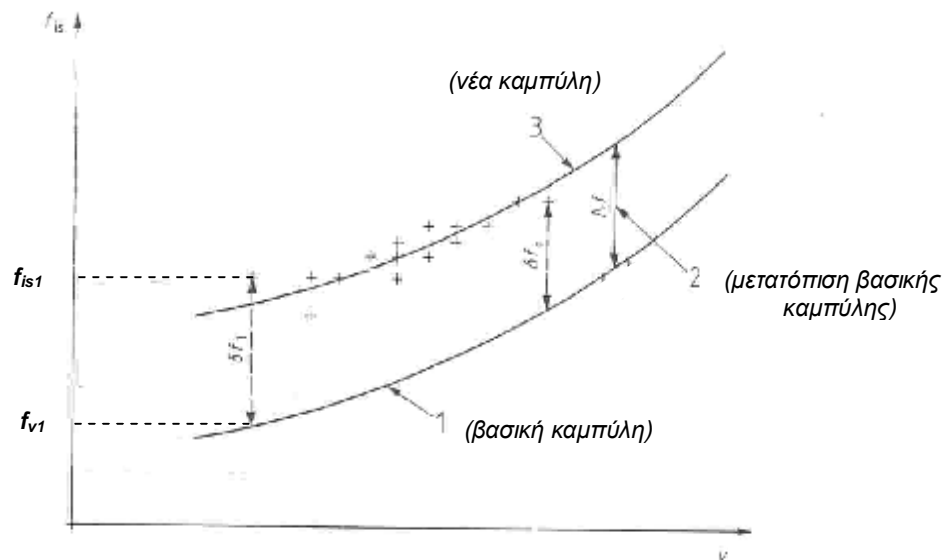
6.1 Γενικά

Η εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής μιας κατασκευής με τη μέθοδο των βαθμονομημένων υπερήχων επιτυγχάνεται, χρησιμοποιώντας τη βασική καμπύλη και μετατοπίζοντάς την στο κατάλληλο επίπεδο που καθορίζεται από δοκιμές πυρήνων του έργου. Αυτή η τεχνική εφαρμόζεται σε κανονικό σκυρόδεμα που έχει παραχθεί από την ίδια ομάδα υλικών και με την ίδια διαδικασία παραγωγής. Σκοπός της μεθόδου είναι να κατασκευαστεί μια νέα καμπύλη που θα συσχετίζει τις ταχύτητες των υπερήχων με τις επί τόπου αντοχές στο συγκεκριμένο έργο.

6.2 Διαδικασία

Για τη συσχέτιση των ταχυτήτων των υπερήχων με τις επί τόπου θλιπτικές αντοχές πυρήνων του έργου, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- α. Γίνεται επιλογή μιας περιοχής ελέγχου που περιλαμβάνει **τουλάχιστον 9 θέσεις ελέγχου**. Σε κάθε θέση ελέγχου αντιστοιχεί μια τιμή ταχύτητας² και ένας πυρήνας².
- β. Η αντοχή του πυρήνα και η τιμή της ταχύτητας, αποτυπώνονται στο διάγραμμα της βασικής καμπύλης, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 2. Ο συνδυασμός³ των δύο αυτών αποτελεσμάτων, για κάθε θέση ελέγχου, εμφανίζεται στο Σχήμα 2 πάνω από τη βασική καμπύλη με τα σημεία μορφής σταυρού (+).



δ_n..._n: Διαφορά μεταξύ της μεμονωμένης αντοχής πυρήνα του έργου f_{is} και της τιμής αντοχής f_v που δίνεται από τη βασική καμπύλη, για κάθε θέση ελέγχου.

Σχήμα 2: Διάγραμμα συσχέτισης ταχυτήτων υπερήχων με τις επί τόπου θλιπτικές αντοχές πυρήνων του έργου. Κατασκευή νέας καμπύλης.

¹ Η μέθοδος αυτή αναφέρεται στο Πρότυπο prEN 13791 ως Εναλλακτική 2 (Alternative 2).

² Ο εξοπλισμός, η διαδικασία των δοκιμών και η διατύπωση των αποτελεσμάτων θα πρέπει να συμφωνούν με το Πρότυπο EN 12504-1 για τους πυρήνες και με το Πρότυπο EN 12504-4, για τους υπέρηχους. Οι διαστάσεις των πυρήνων και η αντιστοιχία τους με κυβικά ή κυλινδρικά δοκίμια αναλύονται στις §5, 6 και 7 του Προτύπου prEN 13791 [12.1].

³ Συνδυασμός αποτελεσμάτων είναι ένα αποτέλεσμα θραύσης πυρήνα και ένα αποτέλεσμα υπέρηχου από την ίδια θέση ελέγχου.

- γ. Για κάθε θέση ελέγχου προσδιορίζεται η διαφορά δ_f της επί τόπου αντοχής μεταξύ της μετρούμενης τιμής του πυρήνα και της τιμής που δίνεται από τη βασική καμπύλη.

$$\delta_f = f_{is} - f_v \quad (2)$$

- Όπου: δ_f = Διαφορά μεταξύ της μεμονωμένης αντοχής πυρήνα και της τιμής αντοχής σύμφωνα με τη βασική σχέση, για μια θέση ελέγχου.
 f_{is} = Η τιμή της μεμονωμένης αντοχής πυρήνα.
 f_v = Η τιμή αντοχής που δίνεται από τη βασική καμπύλη

- δ. Υπολογίζεται ο μέσος όρος $\delta f_{m(n)}$ για τα 'n' αποτελέσματα και η τυπική απόκλιση s του δείγματος.
 ε. Υπολογίζεται η ποσότητα Δf , κατά την οποία πρέπει να μετατοπιστεί η βασική καμπύλη.

$$\Delta f = \delta f_{m(n)} - k_1 \times s \quad (3)$$

- Όπου: Δf = μετατόπιση της βασικής καμπύλης¹ ή αλλιώς: νέα καμπύλη ταχυτήτων υπερήχων - επί τόπου αντοχών για το συγκεκριμένο έργο.
 $\delta f_{m(n)}$ = ο μέσος όρος των 'n' αποτελεσμάτων
 k_1 = συντελεστής που λαμβάνει τιμές από τον Πίνακα Νο 1.
 s = τυπική απόκλιση του δείγματος
 n = πλήθος αποτελεσμάτων ($n \geq 9$)

Πίνακας Νο 1

| α/α | Πλήθος συνδυασμένων δοκιμών n | Συντελεστής k_1 |
|-----|-------------------------------|-------------------|
| 1 | 9 | 1,67 |
| 2 | 10 | 1,62 |
| 3 | 11 | 1,58 |
| 4 | 12 | 1,55 |
| 6 | 13 | 1,52 |
| 6 | 14 | 1,50 |
| 7 | ≥15 | 1,48 |

Πίνακας Νο 1: Συντελεστής k_1 που εξαρτάται από το πλήθος των συνδυασμένων δοκιμών 'n'.

- στ. Μετατοπίζεται η βασική καμπύλη κατά Δf ώστε να προσδιοριστεί η σχέση μεταξύ των ταχυτήτων των υπερήχων (v) και της επί τόπου θλιπτικής αντοχής για το συγκεκριμένο υπό έλεγχο σκυρόδεμα με τη νέα καμπύλη.

¹ Η βασική καμπύλη έχει τοποθετηθεί σε «χαμηλή θέση», έτσι ώστε η μετατόπιση Δf να προκύπτει πάντα θετική (prEN 13791: §8.3.3, Note).

7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟΥ ΕΡΓΟΥ ΜΟΝΟ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ:

Η εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μιας περιοχής ελέγχου βασίζεται σε **τουλάχιστον 15 θέσεις ελέγχου με υπέρηχους**. Οι 15 αυτές τιμές (v_i) των ταχυτήτων των υπερήχων με τη βοήθεια της νέας καμπύλης Δf έτσι όπως κατασκευάστηκε προηγουμένως (καμπύλη 3 του Σχήματος 2)¹ οδηγούν στην εύρεση 15 τουλάχιστον αντίστοιχων τιμών θλιπτικής αντοχής ($f_{is,i}$). Βάσει δε αυτών των τιμών εκτιμάται η επί τόπου χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή $f_{ck,is}$, η οποία δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$f_{ck,is} = \min \begin{cases} f_{m(n),is} - 1,48 \cdot s \\ f_{is,lowest} + 4 \end{cases} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (4)$$

Όπου: $f_{ck,is}$ = η εκτιμώμενη (επί τόπου) χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος της περιοχής ελέγχου.

$f_{is,i}$ = οι τιμές των επί τόπου θλιπτικών αντοχών που αντιστοιχούν στις ταχύτητες υπερήχων v_i βάσει της νέας καμπύλης 3 (Σχήμα 2)

$f_{m(n),is}$ = ο μέσος όρος των τιμών $f_{is,i}$

s = τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων των $f_{is,i}$ (όχι όμως μικρότερη από 3,0 N/mm²)

$f_{is,lowest}$ = η μικρότερη τιμή $f_{is,i}$

n = το πλήθος των αποτελεσμάτων ($n \geq 15$)

¹ Η καμπύλη αυτή θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για την εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του συγκεκριμένου σκυροδέματος και τις συνθήκες για τις οποίες προσδιορίστηκε. Επίσης, η καμπύλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την εξής ανοχή για την ταχύτητα των υπερήχων: επιτρέπονται μόνο $\pm 0,05$ km/s εκτός της περιοχής των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για την κατασκευή της.

8. ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ:

Χρησιμοποιώντας την εκτιμώμενη επί τόπου χαρακτηριστική αντοχή $f_{ck, is}$ που υπολογίστηκε πριν, η αντίστοιχη (ισοδύναμη) κατηγορία αντοχής του έργου λαμβάνεται από τον παρακάτω Πίνακα Νο 2 [12.1 και 12.6].

Πίνακας Νο 2

| α/α | Κατηγορία θλιπτικής αντοχής σύμφωνα με το Πρότυπο EN 206-1 ¹ | Λόγος της επί τόπου χαρακτηριστικής αντοχής προς την χαρακτηριστική αντοχή συμβατικού δοκιμίου ($f_{ck, is} / f_{ck}$) | Ελάχιστη χαρακτηριστική επί τόπου αντοχή $f_{ck, is}$ (N/mm ²) | |
|-----|---|--|--|------------------------|
| | | | $f_{ck, is, cube}^*$ | $f_{ck, is, cyl}^{**}$ |
| 1 | C8/10 | 0,85 ² | 9 | 7 |
| 2 | C12/15 | | 13 | 10 |
| 3 | C16/20 | | 17 | 14 |
| 4 | C20/25 | | 21 | 17 |
| 5 | C25/30 | | 26 | 21 |
| 6 | C30/37 | | 31 | 26 |
| 7 | C35/45 | | 38 | 30 |
| 8 | C40/50 | | 43 | 34 |
| 9 | C45/55 | | 47 | 38 |
| 10 | C50/60 | | 51 | 43 |
| 11 | C55/67 | | 57 | 47 |
| 12 | C60/75 | | 64 | 51 |
| 13 | C70/85 | | 72 | 60 |
| 14 | C80/95 | | 81 | 68 |
| 15 | C90/105 | | 89 | 77 |
| 16 | C100/115 | | 98 | 85 |

(*) $f_{ck, is, cube}$: Χαρακτηριστική επί τόπου θλιπτική αντοχή που εκφράζεται σε ισοδύναμη αντοχή κύβου ακμής 150 mm. **Η στήλη αυτή χρησιμοποιείται όταν οι πυρήνες έχουν διάμετρο 100 mm και ύψος 100 mm.**

(**) $f_{ck, is, cyl}$: Χαρακτηριστική επί τόπου θλιπτική αντοχή που εκφράζεται σε ισοδύναμη αντοχή κυλίνδρου 150 mm x 300 mm. **Η στήλη αυτή χρησιμοποιείται όταν οι πυρήνες έχουν λόγο H/D = 2.**

Πίνακας Νο 2: Πίνακας αντιστοιχίας της ελάχιστης χαρακτηριστικής επί τόπου θλιπτικής αντοχής $f_{ck, is}$, με την κατηγορία θλιπτικής αντοχής βάσει του Προτύπου EN 206-1.

¹ EN 206-1: Σκυρόδεμα – Μέρος 1: Προδιαγραφή, επίδοση, παραγωγή και συμμόρφωση.

² Ο λόγος 0,85 είναι τμήμα του συντελεστή ασφαλείας σκυροδέματος γ_c βάσει του EN 1992-1-1: Ευρωκώδικας 2: «Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα – Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια». Στο Παράρτημα Α: «Τροποποίηση των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας για τα υλικά» του Προτύπου, στην παράγραφο §Α.2 «Υφιστάμενες κατασκευές σκυροδέματος» και στην υποπαράγραφο §Α.2.3: «Μείωση του συντελεστή ασφαλείας λόγω εκτίμησης της επί τόπου αντοχής σκυροδέματος σε υφιστάμενη κατασκευή», αναφέρεται ότι: Ο συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος γ_c μπορεί να μειωθεί κατά το γινόμενο: $\gamma_c * 0,85$, παραδείγματος χάριν από 1,5 θα γίνει 1,3 (1,5*0,85 ~1,3).

9. ΣΥΝΤΑΞΗ ΕΚΘΕΣΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ:

Συντάσσουμε την Έκθεση των αποτελεσμάτων η οποία πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής:

- Σκοπός της εκτίμησης της αντοχής
- Περιγραφή της κατασκευής
- Διαθέσιμες πληροφορίες για το σκυρόδεμα (σύνθεση, κατηγορία αντοχής, ηλικία κλπ.)
- Μέθοδος εκτίμησης της αντοχής
- Προσδιορισμός της νέας καμπύλης
- Πρόγραμμα δοκιμών: μέθοδοι δοκιμών, πυρήνες (διαστάσεις, συντήρηση κλπ.), σχέδιο δειγματοληψιών, αριθμός δοκιμών.
- Δεδομένα και αποτελέσματα δοκιμών
- Υπολογισμοί
- Εκτίμηση της επί τόπου χαρακτηριστικής αντοχής και, εάν χρειάζεται, ισοδύναμη κατηγορία θλιπτικής αντοχής σύμφωνα με το Πρότυπο EN 206-1.

10. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ - ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΩΝ ΜΕ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟΥΣ ΑΠΟ 17 ΠΥΡΗΝΕΣ:

Υπάρχει περίπτωση να είναι διαθέσιμοι περισσότεροι από 17¹ πυρήνες για τη συσχέτιση ταχυτήτων υπερήχων – επί τόπου αντοχών των πυρήνων. Στην περίπτωση αυτή, είναι δυνατή η εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής, κατασκευάζοντας απευθείας μια ευθεία ή καμπύλη που θα συσχετίζει τις ταχύτητες των υπερήχων με τις επί τόπου αντοχές των πυρήνων, χωρίς χρήση της βασικής καμπύλης.

10.1 Γενικά

Η εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής μιας κατασκευής με τη μέθοδο των υπερήχων μετά από συσχέτιση των ταχυτήτων των υπερήχων με περισσότερους από 17 πυρήνες από το έργο, επιτυγχάνεται, εφαρμόζοντας ένα εκτεταμένο πρόγραμμα δοκιμών. Σκοπός της μεθόδου είναι να κατασκευαστεί μια ευθεία ή καμπύλη που θα συσχετίζει τις ταχύτητες των υπερήχων με τις επί τόπου αντοχές των πυρήνων.

10.2 Διαδικασία κατασκευής ευθείας ή καμπύλης ταχυτήτων υπερήχων – επί τόπου αντοχών για το συγκεκριμένο έργο²

Για τη συσχέτιση των ταχυτήτων των υπερήχων με τις επί τόπου θλιπτικές αντοχές πυρήνων του έργου, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- α. Λαμβάνονται **τουλάχιστον 18 συνδυασμοί αποτελεσμάτων** που καλύπτουν την περιοχή ενδιαφέροντος. Σε κάθε συνδυασμό αντιστοιχεί μια τιμή ταχύτητας³ και ένας πυρήνας³.
- β. Καθορίζεται με ανάλυση παλινδρόμησης, η βέλτιστη ευθεία ή καμπύλη των συνδυασμών των δεδομένων⁴. Η τιμή της ταχύτητας θεωρείται ως μεταβλητή και η αντοχή του πυρήνα ως συνάρτηση της μεταβλητής αυτής.

¹ Το ελάχιστο απαιτούμενο πλήθος συνδυασμένων δοκιμών είναι 18 σε πολλές περιπτώσεις όμως, είναι ωφέλιμο να υπάρχει ένα αρκετά μεγαλύτερο πλήθος παρατηρήσεων στα δεδομένα για τον προσδιορισμό της σχέσης.

² Η μέθοδος αυτή αναφέρεται στο Πρότυπο prEN 13791 ως Εναλλακτική 1 (Alternative 1).

³ Ο εξοπλισμός, η διαδικασία των δοκιμών και η διατύπωση των αποτελεσμάτων θα πρέπει να συμφωνούν με το Πρότυπο EN 12504-1 για τους πυρήνες και με το Πρότυπο EN 12504-4, για τους υπερήχους. Οι διαστάσεις των πυρήνων και η αντιστοιχία τους με κυβικά ή κυλινδρικά δοκίμια αναλύονται στις §5, 6 και 7 του Προτύπου prEN 13791 [12.1].

⁴ Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για να προκύψει η βέλτιστη ευθεία ή καμπύλη θα πρέπει να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα εντός των ορίων των δεδομένων.

- γ. Υπολογίζεται το στατιστικό σφάλμα της εκτίμησης και καθορίζονται τα όρια εμπιστοσύνης για τη βέλτιστη ευθεία ή καμπύλη καθώς και τα όρια ανοχής για μεμονωμένες παρατηρήσεις.
- δ. Η σχέση καθορίζεται ως το 10% της υποανοχής (ten percentile), δηλαδή δίνει ένα επίπεδο ασφαλείας όπου το 90% των τιμών αντοχής αναμένεται να είναι υψηλότερες από την εκτιμώμενη τιμή αντοχής.

10.3 Εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μιας περιοχής ελέγχου του συγκεκριμένου έργου μόνο με υπέρηχους:

Η εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος μιας περιοχής ελέγχου βασίζεται πάλι σε **τουλάχιστον 15 θέσεις ελέγχου με υπέρηχους**. Οι 15 αυτές τιμές (v_i) των ταχυτήτων των υπερήχων με τη βοήθεια της ευθείας ή καμπύλης έτσι όπως κατασκευάστηκε προηγουμένως¹ οδηγούν στην εύρεση 15 τουλάχιστον αντίστοιχων τιμών θλιπτικής αντοχής ($f_{is,i}$). Βάσει δε αυτών των τιμών εκτιμάται η επί τόπου χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή $f_{ck, is}$, που δίνεται από τη σχέση (4) της §7, με τη διαφορά ότι οι τιμές $f_{is,i}$ είναι οι τιμές των επί τόπου θλιπτικών αντοχών που αντιστοιχούν στις ταχύτητες v_i βάσει της ευθείας ή καμπύλης που προσδιορίστηκε.

11. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ:

Η σχέση μεταξύ της αντοχής και της ταχύτητας των υπερήχων επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος και τις συνθήκες της δοκιμής. Αυτοί οι παράγοντες περιγράφονται στο Πρότυπο EN 12504-4 και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών.

Περαιτέρω πληροφορίες για τον προσδιορισμό της συσχέτισης μεταξύ της αντοχής και της ταχύτητας των υπερήχων δίνονται επίσης στο Πρότυπο EN 12504-4 [12.3].

12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- 12.1 **Final Draft prEN 13791**, *Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components*, Ιούνιος 2006
- 12.2 **EN 12504-1**, *Testing concrete in structures - Part 1: Cored specimens - Taking, examining and testing in compression*, Ιούλιος 2000.
- 12.3 **EN 12504-4**, *Testing concrete in structures - Part 4: Determination of ultrasonic pulse velocity*, Μάρτιος 2005.
- 12.4 **EN 206-1**, *Concrete - Part 1: Specification, performance, production and conformity*, Μάρτιος 2001.
- 12.5 **EN 1992-1-1**, *Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*, Μάιος 2005.
- 12.6 **Εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής υφιστάμενων (“παλαιών”) κατασκευών με βάση το: prEN 13791/2006**, Α. Σακελλαρίου & Ι. Καλογεροπούλου, Αθήνα 2008 (αδημοσίευτο).

¹ Η ευθεία ή καμπύλη αυτή θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για την εκτίμηση της επί τόπου θλιπτικής αντοχής του συγκεκριμένου σκυροδέματος και τις συνθήκες για τις οποίες προσδιορίστηκε καθώς και εντός του εύρους των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της.