



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ  
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ- ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΗ-ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ  
ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΘΛΙΨΗΣ*



ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ – ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ :  
Δρ. ΜΠΙΚΙΝΗΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ :  
ΚΑΚΟΣ ΦΩΚΑΣ

## ΠΑΤΡΑ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2020

*1. Το σύνολο της εργασίας αποτελεί πρωτότυπο έργο, παραχθέν από τον συγγραφέα της, και δεν παραβιάζει δικαιώματα τρίτων καθ' οιονδήποτε τρόπο,*

*2. Εάν η εργασία περιέχει υλικό, το οποίο δεν έχει παραχθεί από τον συγγραφέα, αυτό είναι ευδιάκριτο και αναφέρεται ρητώς εντός του κειμένου της εργασίας ως προϊόν εργασίας τρίτου, σημειώνοντας με παρομοίως σαφή τρόπο τα στοιχεία ταυτοποίησής του, ενώ παράλληλα βεβαιώνεται πως στην περίπτωση χρήσης αυτούσιων γραφικών αναπαραστάσεων, εικόνων, γραφημάτων κλπ., έχει ληφθεί η χωρίς περιορισμούς άδεια του κατόχου των πνευματικών δικαιωμάτων για την συμπερίληψη και επακόλουθη δημοσίευση του υλικού αυτού.*

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο " Πειραματική διερεύνηση θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος και σύγκριση αποτελεσμάτων μη καταστροφικών δοκιμών και δοκιμών θλίψης" εκπονήθηκε στο εργαστήριο σκυροδέματος του Α.Τ.Ε.Ι. Πατρών-Δυτ.Ελλάδος.

Σκοπός μου κατά τη διάρκεια της συγγραφής, δεν ήταν μόνο η ορθή και όσο το δυνατόν πληρέστερη ανάλυση του θέματος. Έγινε προσπάθεια, έτσι ώστε το περιεχόμενο της εργασίας να είναι σαφές, γι'αυτό η ανάλυση του θέματος έγινε με χρήση πληθώρας ,δοκιμών, γραφημάτων και πινάκων. Ελπίζω το περιεχόμενο του να καλύπτει, όχι μόνο το εξεταζόμενο θέμα, αλλά να ανταποκρίνεται και στις απαιτήσεις των καθηγητών μου.

Από αυτή τη θέση θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Δ. Μπισκίνη που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα και για τη βοήθεια του και τις ρηξικέλευθες ιδέες του που αποτέλεσαν το σημαντικότερο παράγοντα στην υλοποίηση της συγκεκριμένης έρευνας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την Εργομετόν Α.Ε. για την πολύτιμη βοήθεια όσο αναφορά το κομμάτι του σκυροδέματος και της ανάλυσης του, τον Καθηγητή μου κύριο Ζαχαρία Χρήστου για την βοήθεια του στο εργαστηριακό τμήμα της εργασίας και την κυρία Παπαλού Αγγελική, καθηγήτρια και διευθύντρια του εργαστηρίου σκυροδέματος, που μου επέτρεψε να κάνω τις δοκιμές μέσω του εργαστηρίου του ιδρύματος.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και όσους με στήριξαν όπου η πορεία μου δίχως αυτούς έως εδώ θα παρουσίαζε πολύ μεγαλύτερες δυσκολίες.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτέλεσε η εξέταση μη καταστροφικών μεθόδων σε υφιστάμενες κατασκευές για τον προσδιορισμό της αντοχής του σκυροδέματος. Καθώς τις τελευταίες δεκαετίες παρουσιάζεται συχνά η ανάγκη για τον έλεγχο μιας υφιστάμενης κατασκευής καθώς και για τον σχεδιασμό και την εκτέλεση επεμβάσεων (είτε αφορούν επισκευή είτε ενίσχυση είτε συνδυασμό των δύο) σε μια υφιστάμενη κατασκευή κρίνεται ιδιαίτερα επίκαιρο.

Η μελέτη αναπτύσσεται σε τρία κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι γενικές αρχές και περιορισμοί κατά προσδιορισμό της αντοχής των κατασκευών, (νέων και υφιστάμενων). Στη συνέχεια το δεύτερο κεφάλαιο εστιάζει στην ανάλυση των μη καταστροφικών μεθόδων αποτίμησης των κατασκευών. Στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας καταγράφεται η διαδικασία διερεύνησης της αντοχής δοκιμίων σκυροδέματος με συνδυασμό μη καταστροφικών μεθόδων (κρουσίμετρο, υπέρηχοι) και δοκιμές θλίψης σε κυβικά και κυλινδρικά δοκίμια.

Οι προβλέψεις των μη καταστροφικών μεθόδων συγκρίνονται με τα πειραματικά αποτελέσματα προκειμένου να διερευνηθεί η εγκυρότητα των μη καταστροφικών μεθόδων και οι παράμετροι που τις επηρεάζουν.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

|  |  |
|--|--|
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....  | 2  |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....   | 3  |
| ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ.....   | 5  |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....   | 7  |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....   | 7  |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....   | 8  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....                                      | 9  |
| 1.1. Σκυρόδεμα.....  | 9  |
| 1.2. Κατηγορίες σκυροδέματος.....  | 9  |
| 1.3. Διάκριση Ελέγχων.....   | <b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b> |
| 1.4. Μεθοδολογία Διάγνωσης Βλαβών.....   | 13   |
| 1.5. Μέθοδοι και Όργανα Διάγνωσης Βλαβών.....  | 13   |
| 1.6. Μέθοδος Κρουσιμέτρησης.....   | 14   |
| 1.6.1. Στάδια κρουσιμέτρησης.....  | 15   |
| 1.6.2. Μειονεκτήματα Μεθόδου .....   | 15   |
| 1.6.3. Κρουσιμετρήσεις.....  | 16   |
| 1.7. Χρήση Υπερήχων .....  | 16   |
| 1.7.1. Απαιτήσεις Υπερήχων .....   | 17   |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΗΣ & ΥΠΕΡΗΧΩΝ ..... | 18   |
| 2.1 Εισαγωγή .....   | 18   |
| 2.2. Μέθοδος Κρουσίμετρου .....  | 18   |
| 2.3 Μέθοδος Υπέρηχων .....   | 21   |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....                                       | 23   |
| 3.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....   | 23   |
| 3.2. ΧΡΗΣΙΜΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ.....   | 24   |
| 3.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....   | 30   |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....   | <b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b> |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....   | 37   |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....   | 37   |

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ

| ΣΥΜΒΟΛΑ   |  | ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ |                          |
|-----------|--|------------|--------------------------|
| $f_{ck}$  | Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη  | ΜΚΕ        | Μη Καταστροφικές Μέθοδοι |
| $d$       | Ελάχιστη ονομαστική διάσταση κόκκου αδρανούς που καθορίζεται από το μικρότερο άνοιγμα ( $d$ ) κόσκινου τετραγωνικής οπής για το οποίο το ποσοστό των διερχόμενων κόκκων (υποδιάστατο ποσοστό), κλάσματος αδρανών $d/D$ , είναι σύμφωνο με τον Πίνακα ΠΒ1-1 του ΚΤΣ.2016  |            |                          |
| $d/D$     | Χαρακτηρισμός αδρανούς (κλάσματος αδρανών) με βάση το μικρότερο ( $d$ ) και το μεγαλύτερο ( $D$ ) άνοιγμα κόσκινου τετραγωνικής οπής. Το ποσοστό κόκκων που συγκρατούνται στο ανώτερο κόσκινο ( $D$ ) (υπερδιάστατο ποσοστό) και το ποσοστό που διέρχονται από το κατώτερο κόσκινο ( $d$ ) (υποδιάστατο ποσοστό) πρέπει να είναι σύμφωνα με τον Πίνακα ΠΒ1- 1 του ΚΤΣ 2016 |            |                          |
| $f_{ασ}$  | Απαιτούμενη αντοχή σχεδιασμού παραγωγής  |            |                          |
| $f_m$     | Μέσος όρος αντοχής όλων των συμβατικών δοκιμών που θα μπορούσαν να παρασκευασθούν από ένα πληθυσμό σκυροδέματος  |            |                          |
| <b>AS</b> | Περιεκτικότητα των αδρανών υλικών σε θειικά διαλυτά σε οξέα  |            |                          |
| $D_{max}$ | Μέγιστος κόκκος σκυροδέματος (Μέγιστη ονομαστική διάσταση κόκκου του χονδρότερου κλάσματος των αδρανών του σκυροδέματος)   |            |                          |
| <b>D</b>  | Μέγιστη ονομαστική διάσταση κόκκου που καθορίζεται από το μεγαλύτερο άνοιγμα ( $D$ ) κόσκινου τετραγωνικής οπής για το οποίο το ποσοστό των συγκρατούμενων κόκκων (υπερδιάστατο ποσοστό)   |            |                          |

|                                      |  |  |  |
|--------------------------------------|--|--|--|
|                                      | κλάσματος αδρανών d/D είναι σύμφωνο με τον Πίνακα ΠΒ1-1 του ΚΤΣ 2016   |  |  |
| <b>F1 ως F6</b>                      | Κατηγορίες συνεκτικότητας που εκφράζονται σε διάμετρο εξάπλωσης  |  |  |
| <b>FI</b>                            | Δείκτης πλακοειδούς αδρανών  |  |  |
| <b>G<sub>c</sub> , G<sub>F</sub></b> | Κατηγορίες κοκκομετρικής διαβάθμισης   |  |  |
| <b>LA</b>                            | Συντελεστής σύμφωνα με τη δοκιμή Los Angeles   |  |  |
| <b>MB</b>                            | Δείκτης σύμφωνα με τη δοκιμή του μπλε του μεθυλενίου σε g/kg   |  |  |
| <b>S1 ως S5</b>                      | Κατηγορίες συνεκτικότητας που εκφράζονται σε κάθιση  |  |  |
| <b>SE</b>                            | Ισοδύναμο άμμου  |  |  |
| <b>XC1 ως XC4</b>                    | Κατηγορίες έκθεσης όταν υφίσταται κίνδυνος διάβρωσης προκαλούμενης από ενανθράκωση   |  |  |
| <b>XD1 ως XD3</b>                    | Κατηγορίες έκθεσης όταν υφίσταται κίνδυνος διάβρωσης προκαλούμενης από χλωριόντα διαφορετικά από αυτά του θαλασσινού νερού |  |  |
| <b>XS1 ως XS3</b>                    | Κατηγορίες έκθεσης όταν υφίσταται κίνδυνος διάβρωσης προκαλούμενης από χλωριόντα από το θαλασσινό νερό                     |  |  |
| <b>XF1 ως XF4</b>                    | Κατηγορία έκθεσης του σκυροδέματος σε συνθήκες παγετού με ή χωρίς αντιπαγωτικά άλατα                                       |  |  |
| <b>XA1 ως XA3</b>                    | Κατηγορίες έκθεσης σε χημική προσβολή  |  |  |
| <b>ρ</b>                             | Πυκνότητα σκυροδέματος   |  |  |
| <b>ρ<sub>a</sub></b>                 | Πυκνότητα αδρανών κατά ΕΛΟΤ EN 1097-6  |  |  |
| <b>ρ<sub>rd</sub></b>                | Πυκνότητα σε ξηρή βάση αδρανών κατά ΕΛΟΤ EN 1097-6   |  |  |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

|   |  |
|---|--|
| Πίνακας 1. Κατηγορίες σκυροδέματος(Πηγή: Ελληνικός και ευρωπαϊκός κανονισμός σκυροδέματος)..... | 10   |
| Πίνακας 2. Κατηγοριοποίηση ελέγχων βλαβών σε δομικά στοιχεία.....                               | 14   |
| Πίνακας 3. Τρόποι εφαρμογής της μεθόδου υπερήχων.....   | 22   |
| Πίνακας 4. Παράγοντες επιρροής αποτελεσμάτων μετρήσεων της μεθόδου υπερήχων.....                | 23   |
| Πίνακας 5. Υπολογισμός θλιπτικής αντοχής σε Μρα.....  | 27   |
| Πίνακας 6. Ένδειξη θλιπτικής αντοχής σε Μρα.....  | 29   |
| Πίνακας 7. Πειραματικές μετρήσεις για νέο κρουσίμετρο.....                                      | 30   |
| Πίνακας 8. Πειραματικές μετρήσεις για νέο κρουσίμετρο.....                                      | 34   |
| Πίνακας 9. Πραγματική αντοχή δοκιμών σε Μρα.....  | 34   |
| Πίνακας 10. Πειραματικές μετρήσεις για παλιό κρουσίμετρο μέσω τρέζου.....                       | 35   |
| Πίνακας 11. Πειραματικές μετρήσεις για υπέρηχο μέσω τρέζου.....                                 | 35   |
| Πίνακας 12. Ποσοστό αύξησης αντοχής με χρήση νέου κρουσίμετρου.....                             | <b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b> |
| Πίνακας 13. Χαρακτηριστικά μεγέθη για τα συμβατικά δοκίμια του πειράματος.....                  | 39   |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

|   |    |
|---|----|
| Εικόνα 1. Κρουσίμετρο.....  | 15 |
| Εικόνα 2. Στάδια κρουσιμέτρησης.....  | 15 |
| Εικόνα 3. Υπέρηχος.....   | 17 |
| Εικόνα 4. Εξεταζόμενα δοκίμια.....  | 18 |
| Εικόνα 5. Μέθοδος κρουσιμέτρησης.....   | 19 |
| Εικόνα 6. Κώνος κάθισης.....  | 25 |
| Εικόνα 7. Μήτρα Χιτοσιδήρου.....  | 26 |
| Εικόνα 8. Είδη αστοχίας κυβικών δοκιμών ύστερα από επιβολή σε κάθετη αξονική φόρτιση..... | 28 |



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μη καταστροφικός έλεγχος, ΜΚΕ, καλείται κάθε έλεγχος που εφαρμοζόμενος δεν αλλάζει τη μελλοντική χρήση των ελεγχόμενων υλικών. Οι ΜΚΕ αν και εμφανίζονται στις αρχές του περασμένου αιώνα υπό τη σύγχρονη μορφή τους, μόνο μετά το 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο και κυρίως τις τελευταίες δεκαετίες εφαρμόζονται συστηματικά στον ποιοτικό έλεγχο των υλικών, παράλληλα με την ανάπτυξη διαφόρων άλλων επιστημών όπως είναι η Μηχανική, η Αντοχή των Υλικών, η Πληροφορική, η Ηλεκτρονική και κυρίως η Μηχανική των Θραύσεων.

Οι σημαντικότερες ΜΚΜ που εφαρμόζονται σήμερα στον ποιοτικό έλεγχο των υλικών είναι: Οι οπτικές μέθοδοι, η μέθοδος των υπερήχων, οι ακτινογραφικές μέθοδοι, η μέθοδος της ακουστικής εκπομπής, η μέθοδος της θερμογραφίας, η μέθοδος των δινορευμάτων, η μέθοδος των μαγνητικών σωματιδίων, η μέθοδος των δεισδυτικών υγρών, η αντίσταση στην εξόλκευση ήλου, το κρουσίμετρο αναπήδησης και το κρουσίμετρο ουλής κ.ά. (Ιωάννης Ν. ΠΡΑΣΙΑΝΑΚΗΣ, 2018)

Η χρήση των μη καταστροφικών μεθόδων οδηγεί σε αυξημένη ασφάλεια και επιτρέπει τον καλύτερο προγραμματισμό της κατασκευής, καθιστώντας έτσι πιθανό, αυτή να προχωρήσει γρηγορότερα και οικονομικότερα. Οι μέθοδοι μη καταστροφικού ελέγχου του σκυροδέματος (ή έμμεσες μέθοδοι), αποσκοπούν στην εκτίμηση ορισμένων ιδιοτήτων ή χαρακτηριστικών του σκυροδέματος σε παλαιές ή νέες κατασκευές βάσει πειραματικών διαδικασιών που δεν επιφέρουν ζημιά (όπως είναι η θραύση πυρήνων). Γενικά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: (α) σε αυτές που στηρίζονται στη μέτρηση μιας ιδιότητας του σκυροδέματος (π.χ. επιφανειακή σκληρότητα, μέτρο ελαστικότητας) βάσει της οποίας εκτιμάται η αντοχή, η ανθεκτικότητα σε διάρκεια κ.τ.λ. και (β) σε αυτές που αποσκοπούν στον προσδιορισμό διαφόρων χαρακτηριστικών, όπως η θέση, η διάμετρος και η κατάσταση των ράβδων οπλισμού, περιοχές κακής συμπίκνωσης, περιεκτικότητα σε υγρασία κ.τ.λ. Οι μέθοδοι που χρήζουν μεγαλύτερου ενδιαφέροντος είναι συνήθως αυτές που στηρίζονται σε σχέσεις μεταξύ αντοχής και άλλων ιδιοτήτων, οι οποίες έχουν στατιστικό χαρακτήρα. Συνιστάται η χρήση των μεθόδων αυτών να γίνεται σε συσχέτιση με εργαστηριακές μεθόδους, το δε αποτέλεσμα να θεωρείται ενδεικτικό και χρήσιμο κυρίως για σύγκριση της ποιότητας του σκυροδέματος από περιοχή σε περιοχή. (Βορκά Χρυστάλλα, Λακκοτρύπη Κώστας).

**Αντικείμενο μελέτης της παρούσας πτυχιακής εργασίας** είναι η μέτρηση της αντοχής του σκυροδέματος με τη βοήθεια μη καταστροφικών δοκιμών και εν συνεχεία η σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με τα αποτελέσματα της μέτρησης της αντοχής του σκυροδέματος με την κλασική μέθοδο της δοκιμής σε θλίψη.

Στην παρούσα εργασία θα αναπτυχθεί ο τρόπος χρήσης δυο μην καταστροφικών μεθόδων. Συγκεκριμένα: i) η μέθοδος με το κρουσίμετρο και ii) η

μέθοδος με τους υπερήχους. Υστέρα, θα πραγματοποιηθεί σύγκριση των τιμών της αντοχής του σκυροδέματος των δυο δοκιμών με αυτή της δοκιμής σε θλίψη (θραύση κυβικών δοκιμών) για να εξεταστεί ποια από τις δυο δοκιμές συμπίπτει περισσότερο με τα αποτελέσματα θραύσης των συμβατικών δοκιμών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

### 1.1. Σκυρόδεμα

Υλικό που προέρχεται από ανάμιξη τσιμέντου, χονδρών και λεπτών αδρανών και νερού, με ή χωρίς προσθήκη πρόσμικτων και προσθέτων, το οποίο αναπτύσσει τις ιδιότητές του μέσω της ενυδάτωσης του τσιμέντου. Οι διαφορετικές ιδιότητες των πρώτων υλών που αναμιγνύονται στη παραγωγή του σκυροδέματος (μάζα, όγκος, φυσικοχημικά χαρακτηριστικά) ανάγουν την παραγωγή σκυροδέματος σε μια εξαιρετικά πολύπλοκη και σύνθετη διαδικασία.

Το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται ευρύτατα στις κατασκευές γιατί, σε σύγκριση με άλλα φυσικά (λίθοι) ή τεχνητά υλικά (πλίνθοι, κεραμικά, κονιάματα), οι πρώτες του ύλες είναι διαθέσιμες παντού, είναι σχετικά εύκολο να κατασκευασθεί και να μορφοποιηθεί, έχει χαμηλό κόστος και παρουσιάζει υψηλή αντοχή σε θλίψη. Η ποιότητα του σκυροδέματος εξαρτάται από την ποιότητα των χρησιμοποιούμενων υλικών για την κατασκευή του (τσιμέντο, άμμος, χαλίκια, νερό, πρόσθετα), από την αναλογία τους, τον τρόπο ανάμιξης τους, την συμπύκνωση μέσα στα καλούπια και την συντήρησή του ιδιαίτερα τις πρώτες 7 ημέρες από την παρασκευή του, καθώς στο διάστημα αυτό αποκτάει το μεγαλύτερο ποσοστό των ιδιοτήτων του.

Σε διεθνές και ευρωπαϊκό επίπεδο, η διαδικασία παραγωγής όσο και η τελική ενσωμάτωση του σκυροδέματος στις κατασκευές διέπονται από σειρά κανονισμών και προτύπων. Ιδιαίτερα λόγω της έντονης σεισμικής δραστηριότητας που σημειώνεται στη χώρα μας, οι κανονισμοί οι οποίοι ισχύουν σήμερα στην Ελλάδα καλύπτουν τις αυξημένες απαιτήσεις για σύγχρονες, ασφαλείς και αντισεισμικές κατασκευές (Α. Μοροπούλου, Κ. Λαμπρόπουλος)

### 1.2. Κατηγορίες σκυροδέματος

- **Εργοταξιακό σκυρόδεμα** λέγεται το σκυρόδεμα στο οποίο ο κύριος του έργου ή η Υπηρεσία ή ο επιβλέπων έχει πλήρη παρακολούθηση και έλεγχο της παραγωγής σε όλες της φάσεις της, δηλαδή όταν μπορεί να ελέγχει τα υλικά του σκυροδέματος, τα μηχανήματα παραγωγής, μπορεί να μεταβάλλει τις αναλογίες συνθέσεως και τη διαδικασία αναμίξεως και μπορεί να ελέγχει το έτοιμο προϊόν σε οποιαδήποτε θέση (μέσα στον αναμικτήρα, μετά την αποφόρτωση, μετά τη μεταφορά κλπ.). Το εργοταξιακό σκυρόδεμα μπορεί να παρασκευάζεται δίπλα στο έργο ή σε μεγαλύτερη απόσταση, οπότε και μεταφέρεται με αυτοκίνητα αναδευτήρες. Μπορεί ακόμα να παρασκευάζεται σε εργοστάσιο έτοιμου σκυροδέματος όταν,

μετά από συμφωνία εξασφαλίζονται οι διευκολύνσεις για της εκτέλεση των προηγούμενων ελέγχων. Το εργοταξιακό σκυρόδεμα θεωρείται «σκυρόδεμα μικρών έργων» όταν παρασκευάζεται με τις αναλογίες υλικών που δίνονται από τη μελέτη συνθέσεως χωρίς να έχει προηγηθεί η παρασκευή στο εργοτάξιο δοκιμαστικών αναμιγμάτων για τον προσδιορισμό της τυπικής απόκλισης. Το εργοταξιακό σκυρόδεμα θεωρείται «σκυρόδεμα μεγάλων έργων» αν η σπουδαιότητα του και λιγότερο ο όγκος του το χαρακτηρίζουν μεγάλο.

- **Εργοταξιακό σκυρόδεμα** λέγεται το σκυρόδεμα στο οποίο ο κύριος του έργου ή η Υπηρεσία ή ο Επιβλέπων ή ο κατασκευαστής δεν έχει δικές του πληροφορίες για τα υλικά, τις αναλογίες συνθέσεως και τη διαδικασία παραγωγής ελέγχει μόνο το έτοιμο προϊόν στη θέση παραδόσεως του. Το εργοταξιακό σκυρόδεμα είναι κατά κανόνα έτοιμο.
- **Έτοιμο σκυρόδεμα** λέγεται το σκυρόδεμα που παρασκευάζεται σε απόσταση από το έργο και μεταφέρεται σε αυτό : α) μετά από πλήρη ανάμιξη με φορτηγά αυτοκίνητα ή αυτοκίνητα – αναδευτήρες β) μετά από μερική ανάμιξη ή χωρίς να έχει γίνει εισαγωγή νερού με αυτοκίνητα – αναδευτήρες. (Α. Μοροπούλου,Κ. Λαμπρόπουλος).

Για την μελέτη και κατασκευή των έργων χρησιμοποιούνται οι κατηγορίες σκυροδέματος του Πίνακα 1, όπου ο πρώτος αριθμός κάθε κατηγορίας ορίζει την χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου και ο δεύτερος ορίζει την χαρακτηριστική αντοχή κύβου σε MPa.

| <b>Κατηγορία σκυροδέματος</b> | <b><math>f_{ck}</math>, κυλ. (MPa)</b> | <b><math>f_{ck}</math>, κύβου (MPa)</b> |
|-------------------------------|--|---|
| C8/10                         | 8                                      | 10                                      |
| C12/15                        | 12                                     | 15                                      |
| C16/20                        | 16                                     | 20                                      |
| C20/25                        | 20                                     | 25                                      |
| C25/30                        | 25                                     | 30                                      |
| C30/37                        | 30                                     | 37                                      |
| C35/45                        | 35                                     | 45                                      |
| C40/50                        | 40                                     | 50                                      |
| C45/55                        | 45                                     | 55                                      |

Πίνακας 1. Κατηγορίες σκυροδέματος(Πηγή: Ελληνικός και ευρωπαϊκός κανονισμός σκυροδέματος)

Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, μετράται σε κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 150 mm και ύψους 300 mm ή σε κυβικά δοκίμια ακμής 150 mm, ηλικίας 28 ημερών. Σε σκυρόδεμα κατηγορίας C16/20, ο πρώτος αριθμός υποδηλώνει την χαρακτηριστική αντοχή του κυλίνδρου  $f_{ck}$ , κυλ. =16 MPa, ενώ ο δεύτερος την χαρακτηριστική αντοχή κύβου  $f_{ck}$ , κύβου= 20 MPa.

Χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου ή κυβικού δοκιμίου, θεωρείται εκείνη που παρουσιάζει πιθανότητα 5% να υποσκελιστεί από την αντοχή ενός τυχαίου δοκιμίου.

#### **ΜΟΝΑΔΕΣ**

- $1\text{Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
- $1\text{MPa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 10.2 \frac{\text{Kp}}{\text{cm}^2}$
- $1 \frac{\text{Kp}}{\text{cm}^2} = 0.098 \text{MPa}$

### 1.3. Έλεγχοι σκληρυμένου σκυροδέματος

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

- Έμμεσες (μη καταστροφικές) μεθόδους, οι οποίες πρακτικά εφαρμόζονται με μηδενική επέμβαση στα φέροντα στοιχεία της κατασκευής.

Ελάχιστα καταστρεπτικές, η εφαρμογή των οποίων απαιτεί την αποκοπή μικρών τεμαχίων από φέροντα στοιχεία της κατασκευής. Για να προβούμε σε βελτιωτικές επεμβάσεις σε οποιονδήποτε φέροντα οργανισμό αρχικώς θα πρέπει να διερευνήσουμε και να προσδιορίσουμε την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε κάθε περιοχή του φέροντος οργανισμού. Για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό της υφιστάμενης κατασκευής θα λαμβάνουμε υπόψη την επιτόπου αντοχή σε κάθε κρίσιμη περιοχή κάθε δομικού στοιχείου. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η αναμενόμενη συστηματική διαφοροποίηση αντοχής σκυροδέματος, ανάλογα με τη χαρακτηριστική θέση-του στον φορέα και ανάλογα με τις συνθήκες σκυροδέτησης, συμπύκνωσης και συντήρησης.

Όταν δεν υπάρχουν ενδείξεις τοπικών κακοτεχνιών οι τιμές της αντοχής σκυροδέματος που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς για κάθε χαρακτηριστική θέση στο φορέα επιτρέπεται να προέρχονται από μετρήσεις που γίνονται σε ένα επιλεγμένο ποσοστό του συνόλου των θέσεων αυτών στο κτίριο.

Η εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος σε κάθε κρίσιμη περιοχή δομικού στοιχείου γίνεται με αξιόπιστες έμμεσες (μη καταστροφικές) μεθόδους, η επιτόπου βαθμονόμηση των οπίων πρέπει να γίνεται όπως ορίζεται από (ΚΑΝ.ΕΠΕ. κεφ.3 σελ.15-3.7.1.2-)

Το πλήθος των χαρακτηριστικών θέσεων στις οποίες θα γίνονται τέτοιες μετρήσεις ανά όροφο και είδος δομικού στοιχείου πρέπει να είναι αρκετό για την επιζητούμενη αξιοπιστία, επηρεάζεται δε και από το μέγεθος της από θέση σε θέση διαφοράς τιμών που θα παρατηρηθούν. Πάντως το πλήθος αυτό δεν μπορεί να είναι μικρότερο των ελάχιστων απαιτήσεων Σ.Α.Δ.(στάθμης αξιοπιστίας δοκιμών)

Όσο αναφορά τους μεθόδους εκτίμησης αντοχής, θα γίνεται συνδυασμός εμμέσων μεθόδων και πυρηνοληψίας ώστε να δίνεται η δυνατότητα ελέγχου σε περισσότερες θέσεις με μεγαλύτερη αξιοπιστία. Η μετατροπή της αντοχής των πυρήνων στην πραγματική

επιτόπου αντοχή γίνεται μέσω διορθωτικών συντελεστών με τους οποίους λαμβάνονται υπόψη:

- Ο λόγος του ύψους προς τη διάμετρο του πυρήνα.
- Η διάμετρος του πυρήνα.
- Το πάχος του στοιχείου από το οποίο ελήφθη ο πυρήνας.
- Η διαταραχή από την πυρηνοληψία.

Επειδή η ακρίβεια των έμμεσων μεθόδων εξαρτάται και από το πλήθος τοπικών συνθηκών, επιβάλλεται η παράλληλη λήψη πυρήνων, προκειμένου να γίνεται βαθμονόμηση των μεθόδων αυτών στο υπόψη δόμημα.

Με βάση τα αποτελέσματα των ως άνω δοκιμών, ο μελετητής Μηχανικός υποχρεούται να αιτιολογήσει τις παραδοχές για τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος που θα χρησιμοποιηθούν κατά την αποτίμηση και τον ανασχεδιάσμο, λαμβάνοντας υπόψη και συνεκτιμώντας και άλλες τυχόν διαθέσιμες πληροφορίες.

#### **Απαιτούμενο πλήθος δοκιμών**

Για μικρά κτίρια (μέχρι διώροφα), το απολύτως ελάχιστο απαιτούμενο πλήθος πυρήνων είναι  $n=3$ , από ομοειδή δομικά στοιχεία. Για μεγαλύτερα κτίρια, απαιτούνται τουλάχιστον 3 πυρήνες ανά δύο ορόφους, οπωσδήποτε όμως 3 πυρήνες στον "κρισιμο" όροφο.

Για να μπορεί η Σ.Α.Δ., για την αντοχή του σκυροδέματος, να θεωρείται "υψηλή" πρέπει οι θέσεις εφαρμογής των έμμεσων μεθόδων να καλύπτουν σε κάθε όροφο επαρκές ποσοστό για κάθε είδος δομικού στοιχείου και ειδικότερα:

- Το 45% των κατακόρυφων στοιχείων
- Το 25% των οριζοντίων στοιχείων (δοκοί ή πλάκες)

Για να μπορεί η Σ.Α.Δ. να θεωρείται "ικανοποιητική", αρκεί οι θέσεις εφαρμογής των έμμεσων μεθόδων να καλύπτουν ένα μικρότερο αλλά επαρκές ποσοστό για κάθε είδος δομικού στοιχείου και ειδικότερα:

Το 30% των κατακόρυφων στοιχείων

Το 15% των οριζοντίων στοιχείων (δοκοί ή πλάκες)

Στην περίπτωση που τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζουν ικανοποιητική σύγκλιση (τυπική απόκλιση  $S \leq 0,20X$ ), τότε η Σ.Α.Δ. μπορεί να θεωρείται "υψηλή".

Με εφαρμογή της μεθόδου στο μισό των παραπάνω ποσοστών του εδαφίου, η Σ.Α.Δ. μπορεί να θεωρείται "ανεκτή", εκτός αν τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζουν ικανοποιητική σύγκλιση (τυπική απόκλιση  $S \leq 0,20X$ ), οπότε η Σ.Α.Δ. μπορεί να θεωρείται "ικανοποιητική".

Σε ειδικές περιπτώσεις κτιρίων για τα οποία διατίθενται υπεύθυνες και αξιόπιστες πληροφορίες για τον τρόπο κατασκευής τους, οι δοκιμές για την επαλήθευση των διατιθέμενων πληροφοριών μπορούν να περιορίζονται στην ελάχιστη πυρηνοληψία όπως προβλέπεται στο πιο πάνω εδάφιο, από ομοειδή δομικά στοιχεία κάθε ορόφου. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η επαρκής σύγκλιση των αποτελεσμάτων (η απόκλιση

αντοχής κάθε πυρήνα να είναι μικρότερη από το 15% της μέσης τιμής). Στις περιπτώσεις αυτές η Σ.Α.Δ. θεωρείται "ικανοποιητική". Είναι όμως δυνατόν, εάν εκτελεστούν οι δοκιμές του παραπάνω εδαφίου, η Σ.Α.Δ. να θεωρείται "υψηλή". Εάν η σύγκλιση των αποτελεσμάτων της πυρηνολήψιας δεν είναι ικανοποιητική, τότε επιβάλλεται η εφαρμογή των πιο πάνω.

#### 1.4. Μεθοδολογία Διάγνωσης Βλαβών

Η μεθοδολογία διάγνωσης βλαβών περιλαμβάνει το συνδυασμό της οπτικής αξιολόγησης της κατασκευής με τις κατάλληλες ενόργανες μεθόδους διάγνωσης βλαβών με σκοπό την αποκατάσταση επαρκών στοιχείων για την κατάσταση της κατασκευής. Επίσης η θέση και η επιλογή των προς εξέταση δειγμάτων είναι σημαντική για την εξαγωγή σωστών συμπερασμάτων που αφορούν το σύνολο του φορέα. Ο αριθμός των ελέγχων πρέπει να επαρκεί για την επιλογή της σωστής στρατηγικής επεμβάσεων και την κακή εκτίμηση του συνολικού τμήματος της κατασκευής που χρήζει επισκευών. Για τη διεξαγωγή των ελέγχων απαιτείται πεπειραμένο συνεργείο, το οποίο σε συνεργασία με το μελετητή Μηχανικό πρέπει να διασφαλίσει τα ακόλουθα:

- Την εφαρμογή των κατάλληλων μεθόδων διάγνωσης βλαβών στην πράξη, συμπεριλαμβανομένης της λειτουργίας του απαραίτητου εξοπλισμού.
- Την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου και θέσης ελέγχου ανάλογα με το είδος της βλάβης.
- Την ορθή και λεπτομερή περιγραφή των αποτελεσμάτων της έρευνας, καθώς και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων αυτών.

Επιτόπου, μία εξιδανικευμένη διάγνωση ξεκινά πάντα με έναν οπτικό έλεγχο που σκοπό έχει την απόκτηση μιας εποπτικής εικόνας του κτιρίου και των βλαβών που έχει υποστεί.

Οι οπτικές παρατηρήσεις καταγράφονται σε πρόχειρα σχέδια κατόψεων και όψεων. Τα σχέδια πρέπει να περιλαμβάνουν την ταυτότητα και τον προσανατολισμό των ελεγχόμενων στοιχείων.

Όταν ολοκληρωθεί ο οπτικός έλεγχος, γίνεται μία «υπόθεση εργασίας» σχετικά με την αιτία των βλαβών. Με βάση την υπόθεση αυτή, επιλέγονται οι μέθοδοι διάγνωσης βλαβών που θα εφαρμοστούν καθώς και οι θέσεις των προς εξέταση περιοχών. Αφού προσδιοριστούν οι θέσεις, μετρούνται κατακόρυφες αποστάσεις, συνήθως από το επίπεδο του εδάφους. Οριζόντιες αποστάσεις πρέπει επίσης να μετρηθούν από μία καλώς ορισμένη θέση αναφοράς (π.χ. γωνία κάποιου συγκεκριμένου υποστυλώματος).

Όταν όλοι οι προγραμματισμένοι έλεγχοι έχουν ολοκληρωθεί, οι οπτικές παρατηρήσεις και τα αποτελέσματα των ελέγχων πρέπει να συνεκτιμηθούν έτσι ώστε να καθοριστεί επακριβώς η αιτία, η έκταση, και η πιθανή περαιτέρω ανάπτυξη βλαβών. Εάν ο ακριβής καθορισμός δεν είναι δυνατός, συμπληρωματικοί έλεγχοι πρέπει να επιλεγούν και να εκτελεστούν.

Εφόσον τα αποτελέσματα των ελέγχων δεν επαληθεύουν την αρχική υπόθεση για την αιτία των βλαβών, αυτή πρέπει να αναθεωρηθεί. Ενδέχεται να απαιτηθεί η εκτέλεση συμπληρωματικών ελέγχων για την επιβεβαίωση της αναθεωρημένης υπόθεσης.

#### 1.5. Μέθοδοι και Όργανα Διάγνωσης Βλαβών

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία ελέγχων διάγνωσης βλαβών που χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση τόσο των μηχανικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος όσο και της διαβρωτικής δράσης ουσιών στο σκυρόδεμα και στο χάλυβα του σπλισμού. Οι έλεγχοι αποσκοπούν κυρίως στην εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος και στον προσδιορισμό περιοχών που χαρακτηρίζονται από μεγάλη διαπερατότητα, ρηγματώσεις, αποφλοιώσεις, μειωμένη πυκνότητα, κ.λπ. Διακρίνουμε τέσσερις κύριες κατηγορίες ελέγχων:

- Μη καταστροφικοί
- Ημικαταστροφικοί
- Επιτόπου χημικοί
- Καθολική φόρτιση

Εκτός από τις παραπάνω κύριες κατηγορίες διάγνωσης βλαβών, μία κατασκευή μπορεί επίσης να υποβληθεί και σε άλλους συμπληρωματικούς ελέγχους για την εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά την εμφάνιση βλαβών, όπως καταφαίνεται στον Πίνακα 1:

|  |  |
|--|--|
| Έλεγχοι γεωμετρίας δομικών στοιχείων φορέα | Μετρήσεις των διαστάσεων των διατομών και του μήκους των μελών και των τελειωμάτων, όπως κατασκευάστηκαν.<br><br>Μετρήσεις του εύρους των ρωγμών στο σκυρόδεμα ή στη φέρουσα τοιχοποιία. Μετρήσεις των παραμενουσών παραμορφώσεων (συνιστάται χρήση τοπογραφικών οργάνων). |
| Έλεγχοι θεμελίωσης                         | Μέτρηση των διαστάσεων των θεμελιώσεων και αξιολόγηση με την εκσκαφή τάφρων ελέγχου. Λήψη και εξέταση δειγμάτων υπεδάφους.   |

Πίνακας 2. Κατηγοριοποίηση ελέγχων βλαβών σε δομικά στοιχεία

### 1.6. Μέθοδος Κρουσιμέτρησης

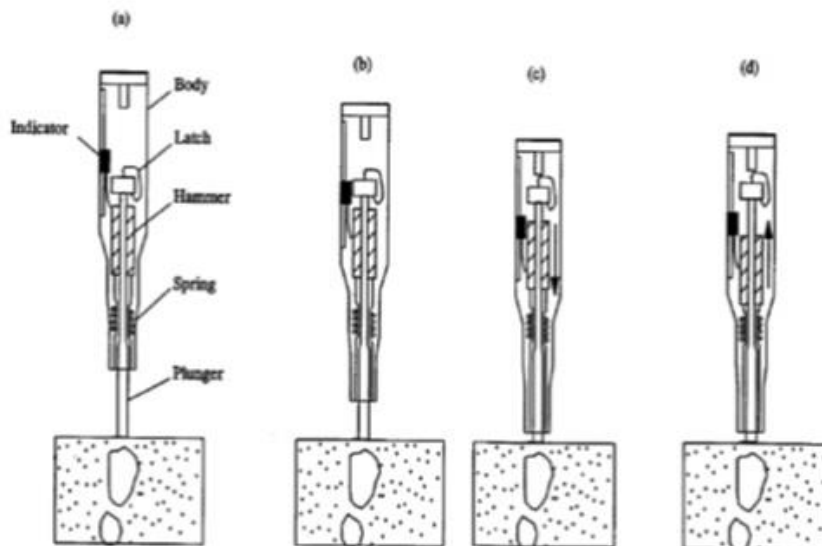
Ο συνηθέστερος μη καταστροφικός έλεγχος είναι η κρουσιμέτρηση.<sup>(1)</sup> Αποτελεί έμμεση μέθοδο η οποία βασίζεται στην μέτρηση της επιφανειακής σκληρότητας σκυροδέματος, λίθων και κονιάματος. Χρησιμοποιείται για τον έμμεσο προσδιορισμό θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος, λίθων ή κονιάματος, έλεγχο ομοιομορφίας, έλεγχο επιφανειακής σκληρότητας και ομοιογένειας των υλικών δομήσεως.<sup>(2)</sup> Η μέτρηση του δείκτη επιφανειακής σκληρότητας του σκυροδέματος έχει μικρότερο ποσοστό σφάλματος για ηλικίες σκυροδέματος μεταξύ 14 ημερών και 3 μηνών. Τα κρουσίμετρα είναι εύκολα στην χρήση και η μέθοδος σχετικά απλή και αξιόπιστη.



Εικόνα 1. Κρουσίμετρο

### 1.6.1. Στάδια κρουσιμέτρησης

Οι κρουσιμετρίσεις θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 ανά θέση με την ελάχιστη απόσταση ανάμεσα τους να είναι 3 cm.<sup>(2)</sup>



Εικόνα 2. Στάδια κρουσιμέτρησης

### 1.6.2. Μειονεκτήματα Μεθόδου



Συχνές βαθμονομήσεις του οργάνου ανάλογα με τον τύπο τσιμέντου, και την ποιότητα των αδρανών (σκληρά, μαλακά, κτλ.). Αποτελέσματα επηρεάζονται από : επιφανειακές συνθήκες και τις διαστάσεις του σκυροδέματος. Αξιοπιστία των αποτελεσμάτων είναι επαρκής μέχρι βάθος 30 mm.

Σύσταση : η μέθοδος της κρουσιμέτρησης να συνδυάζεται με κάποια άλλη μέθοδο διάγνωσης βλαβών, (λήψης πυρήνων).

Απαιτήσεις: οι επιφάνειες απολύτως λείες, -αξιοπιστία του κρουσίμετρου είναι αυξημένη στις λείες επιφάνειες.

**Ακατάλληλες** επιφάνειες που προκύπτουν από κοπή. Μετρήσεις σε ξηρά στοιχεία υψηλού ποσοστού υγρασίας στο σκυρόδεμα του δοκιμίου έχει σαν αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της αξιοπιστίας του οργάνου.

**Ένας πρόσθετος παράγοντας** που μπορεί να επιφέρει μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ της πραγματικής αντοχής του σκυροδέματος και αυτής που υπολογίζεται με τη μέθοδο της κρουσιμέτρησης είναι το βάθος ενανθράκωσης. Αφαίρεση μίας επιφανειακής στρώσης πάχους έως 5 mm από την επιφάνεια του δοκιμίου.

### 1.6.3. Κρουσιμετρήσεις

Αρχή λειτουργίας:

Μέτρηση της σκληρότητας μέσω της τιμής αναπήδησης R (Rebound Value). Λόγω διαφορών σκληρότητας στα δομικά υλικά, χρησιμοποιούνται διαφόρων τύπων κρουσίμετρα (L, N κλπ.). Διακρίνονται σε:

- Μηχανικά κρουσίμετρα
- Ηλεκτρονικά-Ψηφιακά κρουσίμετρα

### 1.7. Χρήση Υπερήχων

Είναι μία μέθοδος όπου βασίζεται στην ηχώ (αντήχηση) εξ αντανάκλασης υπερηχητικών ή κρουστικών κυμάτων και κατατάσσεται στη κατηγορία έμμεσων μη καταστροφικών μεθόδων από σκυρόδεμα και τοιχοποιία. Με τη μέθοδο των υπερήχων έχουμε τη δυνατότητα να εντοπίσουμε τις ανωμαλίες του σκυροδέματος (φθορές, ρωγμές, κενά κ.α.), να ελέγξουμε την ποιότητα και να εκτιμήσουμε την αντοχή του σκυροδέματος μετά από την κατάλληλη βαθμονόμηση του οργάνου (συσκευή υπερήχων).

Με τη χρήση των υπερήχων ανιχνεύονται, κενά, ρωγμές, πυκνότητα, ελαστικότητα, δομή και άλλες ιδιότητες στο ξύλο, τα κονιάματα, το σκυρόδεμα. Είναι μια μη καταστρεπτική μέθοδος ελέγχου της πλήρους δομής. Ο πομπός παράγει ένα ηλεκτρικό παλμό ο οποίος όταν εφαρμόζεται, μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε έναν παλμό υπερήχων. Τα σήματα μπορούν να καταγραφούν με το μέσο για επανεξέταση στην οθόνη ή για τη μεταφορά σε έναν υπολογιστή. Στα σύγχρονα συστήματα περισσότερες από 200

αναγνώσεις μπορούν να καταγραφούν στην κύρια μνήμη και τα δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν σε ένα PC για επεξεργασία.<sup>(3)</sup>



Εικόνα 3. Υπέρηχος

<sup>(3)</sup> <mailto:http://www.aeinaes.gr/el/equipment/?nid=956>

### 1.7.1. Απαιτήσεις Υπερήχων

Η συσκευή των υπερήχων αποτελείται από μία γεννήτρια παραγωγής υπερηχητικών κυμάτων, από δύο κρυστάλλους που παίζουν το ρόλο του πομπού και του δέκτη και από ένα μετρητή του χρόνου που χρειάζεται ο υπέρηχος για να διανύσει το υπό εξέταση στοιχείο.

Πρέπει να εξασφαλιστεί ότι τα υπερηχητικά κύματα περνούν στο σύνολό τους μέσα από τη μάζα του σκυροδέματος, συνιστάται να τοποθετείται μεταξύ των κρυστάλλων και του σκυροδέματος μία λιπαντική ουσία, η οποία καλύπτει τις ατέλειες της εξωτερικής επιφάνειας του στοιχείου.

Η μέθοδος των υπερήχων είναι εξαιρετικά δημοφιλής όχι μόνο για τον εντοπισμό ατελειών (ρωγμές, πόροι, κτλ.) στη δομή του σκυροδέματος, αλλά επίσης για την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής, του μέτρου ελαστικότητας, της σταθεράς του Poisson και της ποιότητας του σκυροδέματος. Επίσης, με τη μέθοδο των υπερήχων μπορούν να μετρηθούν αλλαγές που παρατηρούνται με την πάροδο του χρόνου στις ιδιότητες του σκυροδέματος των κατασκευών.

#### **Πλεονεκτήματα μεθόδου**

- Χαμηλό κόστος των οργάνων
- Ευκολία χρήσης

#### **Μειονεκτήματα μεθόδου**

Συγκαταλέγεται το γεγονός ότι η πυκνότητα και οι διαβαθμίσεις στο μέγεθος των αδρανών του σκυροδέματος μπορούν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΗΣ & ΥΠΕΡΗΧΩΝ

### 2.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα πειραματικής διερεύνησης, όπου χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι ελέγχου της αντοχής σκυροδέματος, που αναφέρθηκαν περιληπτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο. Οι μέθοδοι αυτοί είναι το κρουσίμετρο και οι υπέρηχοι και θα αναλυθούν περαιτέρω σε αυτό το κεφάλαιο. Από τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από την εφαρμογή τους στα δοκίμια θα γίνει σύγκριση με τη πειραματική αντοχή του κάθε δοκιμίου, ώστε να έχουμε την δυνατότητα να κρίνουμε αν οι προβλέψεις των μεθόδων είναι έγκυρες και να διερευνηθεί που οφείλονται οι τυχόν αποκλίσεις. Στην Εικόνα 4 φαίνονται τα εξεταζόμενα δοκίμια.



Εικόνα 4. Εξεταζόμενα δοκίμια

### 2.2. Μέθοδος Κρουσίμετρου

Το κρουσίμετρο είναι ένα όργανο που κατατάσσεται στις μη καταστρεπτικές μεθόδους για την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος. Είναι μια διαδεδομένη και απλή σε εφαρμογή μέθοδος αποτίμησης όπου βασίζεται στη μέτρηση της επιφανειακής σκληρότητας του σκυροδέματος ή όποιου άλλου δομικού στοιχείου εξετάζεται και δίνει ένδειξη έως και 30mm. Οι κρουσιμετρήσεις αποτελούν μια έμμεση και φυσικά μη

καταστρεπτική μέθοδο ώστε να προσδιορίζεται η αντοχή και να ελέγχεται η ομοιογένεια του σκυροδέματος, αυτό βέβαια πρέπει πάντα να γίνεται σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους αποτίμησης υλικών και δομικών στοιχείων, ώστε να είναι αξιόπιστα τα αποτελέσματα. Συνήθως προτείνεται ο συνδυασμός με τη μέθοδο της πυρηνοληψίας, των υπερήχων, μαγνητομετρήσεις και άλλων.

Πριν ξεκινήσει η διαδικασία των μετρήσεων καθαρίζεται το σημείο που θα έρθει σε επαφή το έμβολο του κρουσίμετρου και απομακρύνονται όλα τα ξένα αντικείμενα όπως τα επιχρίσματα και άλλα δομικά υλικά. Στη συνέχεια γίνεται τοπική λείανση του στοιχείου για να έρθει σε άμεση επαφή με το έμβολο του κρουσίμετρου ώστε να μειωθούν τα τυχόν σφάλματα από την ανομοιομορφία των δομικών στοιχείων. Τέλος δημιουργείται ένας κάναβος όπου καθορίζει τις θέσεις που θα γίνει η εφαρμογή με το κρουσίμετρο.

Η δοκιμή γίνεται πιέζοντας το έμβολο του κρουσίμετρου στην επιφάνεια που έχουν γίνει απαραίτητες εργασίες που προαναφέρθηκαν με αποτέλεσμα την αναπήδηση του εμβόλου όπου εξαρτάται από την ελαστικότητα των υλικών και συνεπώς την αντοχή τους. Κάθε αναπήδηση μπορεί να έχει διαφορετική ένδειξη και αναγράφεται πάνω στο κρουσίμετρο. Το κρουσίμετρο πρέπει να είναι πάντα κάθετο στη εξεταζόμενη επιφάνεια του σκυροδέματος κατά την εκτέλεση της δοκιμής. Ως τελικό αποτέλεσμα της δοκιμής δίνεται ο μέσος όρος των μετρήσεων.



*Εικόνα 5. Μέθοδος κρουσιμέτρησης*

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα των κρουσιμετρήσεων παρουσιάζονται παρακάτω.

❖ **Παρουσία αδρανών υλικών και κενών**

Στην επιφάνεια του στοιχείου που εξετάζεται δεν θα πρέπει να υπάρχουν αδρανή ή άλλα υλικά, ώστε η επιφάνεια του να είναι λεία και καθαρή με σκοπό τα αποτελέσματα

που θα παρθούν να είναι έγκυρα. Επίσης για την αποφυγή σφαλμάτων στις μετρήσεις η εφαρμογή θα πρέπει να γίνεται σε συμπαγή σώμα και όχι τμήματα που υπάρχουν κενά.

#### ❖ Τύπος τσιμέντου

Οι διαφορετικοί τύποι τσιμέντου μπορούν να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό τις ενδείξεις του κρουσίμετρου σε ποσοστό από 50 έως 100%. Οι τύποι τσιμέντου που κατατάσσονται στην κατηγορία Portland δεν επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα, η μέγιστη απόκλιση μπορεί να φτάσει έως το 10%. Απαραίτητο λοιπόν είναι κάθε φορά που γίνεται η χρήση του συγκεκριμένου οργάνου, πριν την εφαρμογή του να βαθμονομείται με τα δεδομένα του στοιχείου που εξετάζεται.

#### ❖ Υγρασία

Εάν το στοιχείο που εξετάζεται περιέχει υψηλή ποσότητα υγρασίας τότε μειώνεται η ακρίβεια των αποτελεσμάτων έως 20% σε σχέση με τα στοιχεία που εξετάζονται υπό κανονικές συνθήκες.

#### ❖ Θερμοκρασία

Αν κατά τη διάρκεια των κρουσιμετρήσεων η θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή (περίπου 0°C) τότε τα αποτελέσματα των μετρήσεων θα είναι αυξημένα. Η κατάλληλη θερμοκρασία για να παρθούν οι μετρήσεις πρέπει να είναι από 10° έως 30°C, αλλιώς προκύπτουν σφάλματα στα αποτελέσματα.

#### ❖ Πυρκαγιά

Το κρουσίμετρο δεν δίνει αξιόπιστες μετρήσεις σε επιφάνειες που έχουν υποστεί πυρκαγιά και συνήθως υπερεκτιμά την αντοχή του σκυροδέματος, γι' αυτό καλύτερο είναι να αποφεύγεται σε τέτοιες συνθήκες η χρήση του.

#### ❖ Τύπος και γεωμετρία

Η εξεταζόμενη επιφάνεια θα πρέπει να είναι λεία και καθαρή, ώστε ανάμεσα στο έμβολο και την επιφάνεια να μην δημιουργούνται κενά για την αποφυγή σφαλμάτων. Σημαντική διασπορά παρατηρείται στις επιφάνειες (όπως κολώνες) που έχει χρησιμοποιηθεί το μυστρί για την κατασκευή τους με αποτέλεσμα να ανταποκρίνονται εντελώς διαφορετικά από ότι οι επιφάνειες που προέρχονται από καλούπια. Αν λοιπόν οι εξεταζόμενες επιφάνειες δεν προέρχονται από καλούπια και είναι ανώμαles τότε πρέπει να λειανθούν για να δοθούν οι σωστές ενδείξεις, αν όμως δεν είναι δυνατή η λείανση τους κάλο θα ήταν να αποφεύγονται, όπως επίσης πρέπει να αποφεύγονται και οι μετρήσεις που γίνονται σε δοκίμια που έχει γίνει αλλαγή στο μέγεθός τους.

#### ❖ Ενανθράκωση

Το φαινόμενο της ενανθράκωσης μεγιστοποιεί της ενδείξεις του κρουσίμετρου σε ποσοστό έως 50%. Το φαινόμενο αυτό συναντάται κυρίως σε δομικά στοιχεία μεγάλης ηλικίας ή σε δομικά στοιχεία που περιβάλλονται σε διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Για την αποφυγή σφαλμάτων στις μετρήσεις θα πρέπει προτού αρχίσει η διαδικασία της κρουσιμέτρησης να αφαιρεθεί ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 5εκ. από τα εξεταζόμενα στοιχεία.

#### ❖ Διεύθυνση κρουσιμέτρησης

Κάθε κρουσίμετρο έχει το δικό του εγχειρίδιο όπου αναφέρονται οι οδηγίες χρήσης, αλλά και οι σχετικές διορθώσεις που πρέπει να γίνονται ανάλογα με τη διεύθυνση που γίνεται η εφαρμογή (οριζόντια ή κατακόρυφη). Η επιφανειακή σκληρότητα (Rebound) επηρεάζεται αρκετά από τη διεύθυνση κρουσιμέτρησης για αυτό το λόγο λοιπόν θα πρέπει να ακολουθούνται οι αναμενόμενες διορθώσεις. Η γωνία υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχετική θέση του κρουσίμετρου ως προς το δάπεδο. Για παράδειγμα: Για μετρήσεις σε κατακόρυφα στοιχεία – π.χ. κολώνες - η γωνία του κρουσίμετρου σε σχέση με το δάπεδο είναι 0°.

Για μετρήσεις σε οριζόντια στοιχεία, από την κάτω μεριά – π.χ. πλάκα στο ταβάνι – η γωνία του κρουσίμετρου σε σχέση με το δάπεδο είναι 90° Για μετρήσεις σε οριζόντια στοιχεία, από την πάνω μεριά – π.χ. πλάκα στο πάτωμα – η γωνία του κρουσιμέτρου σε σχέση με το δάπεδο είναι -90°.

#### ❖ Αριθμός και θέσεις δοκιμίων

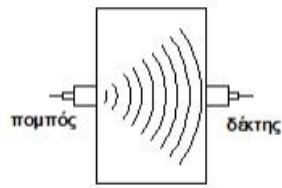
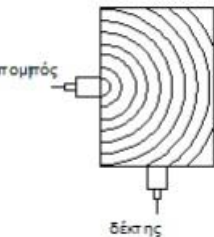
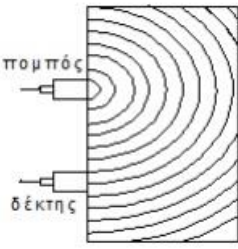
Ο αριθμός των κρουσιμετρήσεων θα πρέπει να είναι από 5 έως 10 στην κάθε θέση τουλάχιστον, ανάλογα πάντα και με το εγχειρίδιο κάθε οργάνου. Ανάμεσα σε 150 έως 300mm θα πρέπει να είναι η συνολική διάμετρος στην περιοχή των μετρήσεων. Αφού γίνουν οι μετρήσεις ελέγχονται τα αποτελέσματα και αν υπάρχουν διαφορές πάνω από 5 μονάδες μεταξύ τους, οι τιμές αυτές απορρίπτονται και από τις υπόλοιπες τιμές υπολογίζεται ο μέσος όρος οπου θεωρείται η τελική τιμή. Σε περίπτωση όμως που το 20% των μετρήσεων διαφέρει κατά 6 μονάδες τότε η διαδικασία επαναλαμβάνεται γιατί θεωρείται αναξιόπιστη.

### 2.3 Μέθοδος Υπερήχων

Η συσκευή υπέρηχων αποτελείται από έναν πομπό και ένα δέκτη. Η μέθοδος αυτή κατατάσσεται στις μεθόδους τασικών κυμάτων και είναι μια έμμεση και μη καταστρεπτική μέθοδος. Χρησιμοποιείται κυρίως για τον έλεγχο ομοιομορφίας ενός δομικού στοιχείου, την διερεύνηση ύπαρξης ρωγμών ή ανομοιομορφιών, τον προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας και με την κατάλληλη βαθμονόμηση του οργάνου μπορεί να εκτιμηθεί η αντοχή του σκυροδέματος. Όπως προαναφέρθηκαν ήδη, η συσκευή των υπερήχων αποτελείται από δύο κρυστάλλους, έναν πομπό και ένα δέκτη οι οποίοι τοποθετούνται με μία απόσταση στην επιφάνεια ενός δομικού στοιχείου. Ο πομπός και ο δέκτης περιέχουν πιεζοηλεκτρικά κεραμικά στοιχεία τα οποία αλλάζουν μέγεθος όταν εφαρμόζεται ηλεκτρικό ρεύμα ή παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα όταν αλλάζουν μέγεθος, με αποτέλεσμα ο πομπός να πάλλεται με τη φυσική συχνότητα του. Μέσω του σκυροδέματος διαδίδονται τασικά κύματα που παράγονται από την ταλάντωση του κρυστάλλου, ενώ ταυτόχρονα με την έναρξη του παλμού τίθεται σε λειτουργία ένα χρονόμετρο ακριβείας. Μόλις ο παλμός φτάσει στο δέκτη το χρονόμετρο σταματά και αναγράφεται στη συσκευή ο αντίστοιχος χρόνος. Η ταχύτητα των υπερήχων δίδεται από τον τύπο  $V=L/T$ , όπου V: η ταχύτητα των υπερήχων, L: το μήκος διάδοσης του κύματος( π.χ. το πάχος του δοκιμίου)και T: ο χρόνος που χρειάστηκε να διανύσει το υπερηχητικό κύμα.

Το πρώτο βήμα για να ξεκινήσει η διαδικασία είναι η βαθμονόμηση του οργάνου. Πριν από κάθε χρήση πρέπει να γίνεται η βαθμονόμηση ώστε να εξασφαλίζεται η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Το κάθε όργανο συνοδεύεται με μια ειδική μεταλλική ράβδο που χρησιμοποιείται για τη βαθμονόμηση του. Αν το όργανο δεν περιέχει ράβδο βαθμονομήσεως τότε ενώνουμε το πομπό με το δέκτη και το αποτέλεσμα του πρέπει να

είναι μηδέν, αν υπάρχει διαφορά θα πρέπει να ρυθμισθεί το όργανο, ανάλογα με τις οδηγίες που ορίζει ο κατασκευαστής. Αφού ολοκληρωθεί ο έλεγχος του οργάνου, αποθηκεύουμε στη μνήμη του τα στοιχεία που ήδη είναι γνωστά, δηλαδή το μήκος του εξεταζόμενου στοιχείου και ξεκινά η εφαρμογή. Για την αποφυγή σφαλμάτων χρησιμοποιούμε λιπαντική ουσία (π.χ. γράσο) ώστε να καλυφθούν οι ατέλειες του δομικού στοιχείου που εξετάζεται. Όταν οι κρύσταλλοι έρθουν σε επαφή με το δομικό στοιχείο, αυτό πρέπει να είναι λείο για να ασκείται μεγάλη πίεση από τους κρυστάλλους χωρίς να υπάρχουν φθορές στο όργανο. Σε περίπτωση που οι εξεταζόμενες επιφάνειες είναι αρκετά ανομοιόμορφες θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί τριβείο για τη λείανση τους και να μην τοποθετηθεί μεγάλη ποσότητα λιπαντικής ουσίας γιατί υπάρχει κίνδυνος να προκληθούν διαφοροποιήσεις στην μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων. Οι μετρήσεις των υπερήχων μπορούν να γίνουν με τρεις τρόπους, όπως παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <p><b>Τοποθετώντας αντικριστά τους κρυστάλλους</b></p> | <p>είναι η πιο ακριβής μέθοδος αφού δίνει τη δυνατότητα να υπολογισθεί ακριβώς η απόσταση των δυο κρυστάλλων</p>          |    |
| <p><b>Τοποθετώντας στις δυο κάθετες πλευρές,</b></p>   | <p>δεν προτείνεται γιατί υπάρχει δυσκολία για να προσδιορίσει το μήκος του στοιχείου</p>                                  |  |
| <p><b>Τοποθετώντας στη ίδια πλευρά,</b></p>            | <p>αυτή η περίπτωση χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχει άλλη επιλογή ή αν υπάρχει υποψία διαφοροποίησης του σκυροδέματος</p> |  |

Πίνακας 3. Τρόποι εφαρμογής της μεθόδου υπερήχων.

Μόλις τοποθετηθούν κατάλληλα οι κρύσταλλοι στο εξεταζόμενο στοιχείο τίθεται σε λειτουργία το όργανο πατώντας το κουμπί της εκκίνησης, στη συνέχεια περιμένουμε μέχρι να ακουστεί ότι το υπερηχητικό κύμα έχει φτάσει στο δέκτη και αυτόματα το όργανο, μας εμφανίζει το χρόνο T αλλά και τις ενδείξεις V και L, εφόσον έχουμε δώσει αρχικά το μήκος L.

|         |   |
|---------|---|
| Υγρασία | Εάν υπάρχει υψηλό ποσοστό υγρασίας στο υπό εξέταση στοιχείο |
|---------|---|

|                               |  |
|-------------------------------|--|
|                               | τότε παρατηρείται αύξηση της μετρούμενης ταχύτητας των υπερήχων. Για να μειώσουμε τα σφάλματα των αποτελεσμάτων επιβάλλεται η χρήση διορθωτικών συντελεστών.   |
| Θερμοκρασία του σκυροδέματος  | Η θερμοκρασία είναι ένας παράγοντας όπου επηρεάζει τη μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων. Όταν κυμαίνεται από +5°C έως +30°C δεν υπάρχει διαφορά των αποτελεσμάτων, όταν όμως είναι μικρότερη από +5°C αυξάνεται η ταχύτητα των υπερήχων επειδή το νερό παγώνει. Αντίστοιχα όταν η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από +30°C παρατηρείται μείωση της ταχύτητας των υπερήχων. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων υπάρχουν διορθωτικοί συντελεστές ώστε να μετατρέπεται η ταχύτητα των υπερήχων όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη από +5°C ή μεγαλύτερη από +30°C. |
| Μήκος διαδρομής               | Το ελάχιστο μήκος διαδρομής θα πρέπει να είναι πενταπλάσιο του μέγιστου κόκκου αδρανών και σε καμία περίπτωση μικρότερο από 150mm. Όταν η δοκιμή γίνεται σε στοιχεία με μεγάλο μήκος τότε η συχνότητα πρέπει να είναι 20kHz, αντίθετα για μικρά μήκη η συχνότητα μπορεί να φτάσει έως 200kHz.  |
| Σχήμα και διαστάσεις δοκιμίου | Το σχήμα και η διάσταση κάθε δομικού στοιχείου δεν επηρεάζει την ταχύτητα, σε περίπτωση όμως που η διάσταση είναι μικρότερη από την επιτρεπόμενη τότε παρατηρείται μείωση στην ταχύτητα των υπερήχων.  |
| Εκτίμηση βαθμού ρωγμής        | Η συσκευή των υπερήχων έχει τη δυνατότητα να εντοπίσει και να προσδιορίσει την ύπαρξη ρωγμών, καθώς και το μέγεθος τους. Ο εντοπισμός των ρωγμών γίνεται φανερός μόνο αν το μήκος του είναι μεγαλύτερο από το πλάτος των κρυστάλλων (πομπό - δέκτη) ή μεγαλύτερος από το μήκος κύματος υπερήχου που χρησιμοποιείται. Η ύπαρξη των ρωγμών γίνεται αντιληπτή όταν ο χρόνος διαδόσεως του υπερηχητικού κύματος παρουσιάζεται αυξημένος σε σχέση με το χρόνο που παρουσιάστηκε σε προηγούμενες κοντινές θέσεις που ήδη εξετάστηκαν και δεν υπήρχαν ρωγμές.               |
| Ράβδοι οπλισμού               | Στο χάλυβα παρατηρείται ότι η ταχύτητα των υπερήχων είναι μεγαλύτερη από 1,2 έως 2 φορές σε σχέση με το σκυρόδεμα. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων θα πρέπει να αποφεύγονται τα τμήματα που έχουν οπλισμό αν αυτό είναι εφικτό.   |

Πίνακας 4. Παράγοντες επιρροής αποτελεσμάτων μετρήσεων της μεθόδου υπερήχων

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 3.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Τα στοιχεία που εξετάσθηκαν στην παρούσα πτυχιακή εργασία είναι σαράντα (40) κυβικά συμβατικά δοκίμια που προέκυψαν από δειγματοληπτικό έλεγχο που έγινε σε



εργοστάσιο παραγωγής σκυροδέματος. Οι παρτίδες σκυροδέματος που θα ελεγχθούν με τα αντίστοιχα δοκίμια αφορούν σκυρόδεμα που ρίχτηκε σε τοίχιο(4/2/2019 – C30/37) και σε πλάκα οικοδομής(5/2/2019 – C20/25).

Συγκεκριμένα στις 4/2/2019 ελήφθησαν 20 κυβικά δοκίμια ποιότητας C30/37( οι ποσότητες των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στην επισυναπτόμενη μελέτη σύνθεσης) και στις 5/2/2019 ελήφθησαν 20 κυβικά δοκίμια ποιότητας C20/25( οι ποσότητες των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στην επισυναπτόμενη μελέτη σύνθεσης στο Παράρτημα).

Σημειώνεται ότι η λήψη και η συντήρηση των δοκιμών έγινε όπως σαφώς ορίζει ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ 2016) και οι ΣΚ 303 και ΣΚ 304.

Επίσης μετρήσαμε και καταγράψαμε( βλ. πίνακας 8 αποτελέσματα σελ. 32) τις καθίσεις (cm), τις θερμοκρασίες του ελεγχθέντος σκυροδέματος και τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος στις 4&5/2/2019.

Για διευκόλυνση στην καταγραφή στον ΠΙΝΑΚΑ 8 αριθμήσαμε τα δοκίμια με αύξοντες αριθμούς και συγκεκριμένα 1,2,..20 τα δοκίμια που ελήφθησαν στις 4/2/2019(C30/37) και 21,22,..40 τα δοκίμια που ελήφθησαν στις 5/2/2019(C20/25).

Μετά το πέρας της συντήρησης των δοκιμών για 28 ημέρες σε δεξαμενή με νερό σταθερής θερμοκρασίας (18 έως 20°C) τα δοκίμια μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Σκυροδέματος του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. στην Πάτρα και πραγματοποιήθηκαν οι μη καταστροφικές δοκιμές υπολογισμού της αντοχής σε θλίψη (κρουσιμέτρηση και με χρήση υπερήχων) και τα αποτελέσματα καταγράφηκαν στον ΠΙΝΑΚΑ 5(βλ. αποτελέσματα σελ 25).

Επειδή όμως σκοπός της παρούσας εργασίας δεν είναι μόνο η μέτρηση της θλιπτικής αντοχής με το κρουσίμετρο και με τη βοήθεια των υπερήχων αλλά και η σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με τη μέση συμβατική αντοχή (δηλαδή, ο μέσος όρος των αντοχών σε θλίψη ορισμένου αριθμού δειγμάτων τα οποία ελέγχονται σε ηλικία 28 ημερών) των δειγμάτων (δοκιμών) που πήραμε, πραγματοποιήθηκε και θραύση των δοκιμών για να μετρήσουμε την συμβατική αντοχή του σκυροδέματος. Η θραύση των δοκιμών γίνεται με την «πρέσα θραύσης δοκιμών σκυροδέματος» του Εργαστηρίου Σκυροδέματος.

### *3.2. ΧΡΗΣΙΜΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ*

#### **Συμβατικό δοκίμιο**

Συμβατικό δοκίμιο σκυροδέματος είναι το α) κυλινδρικό, διαμέτρου 15 cm και ύψους 30 cm β) Το κυβικό δοκίμιο ακμής 15 cm. Αντίθετα το κυβικό δοκίμιο ακμής 20 cm δεν χρησιμοποιείται στους ελέγχους συμμόρφωσης, αλλά σε άλλους ελέγχους. Η λήψη των δοκιμών γίνεται σύμφωνα με κανονισμούς. Σε ηλικία δοκιμίου 28 ημερών γίνεται ο έλεγχος σύμφωνα με τον κανονισμό για να βρεθεί η αντοχή του σε θλίψη.

#### **Κάθιση**

Είναι ένα μέτρο εργασιμότητας που εκφράζεται με την απώλεια ύψους, σε cm που παρουσιάζει μια κωνική στήλη νωπού σκυροδέματος, όταν ανασυρθεί η κωνική μήτρα (κώνος καθίσεως) με την οποία μορφώθηκε.

### **Κώνος καθίσεως**

Ο κώνος καθίσεως (κώνος Abrams) διαβρέχεται εσωτερικά και αφού τοποθετηθεί σε λεία και επίπεδη επιφάνεια, γεμίζεται έως το  $\frac{1}{3}$  του ύψους του με σκυρόδεμα που λαμβάνεται με σέσουλα από διάφορες τυχαίες θέσεις εντός του αναμικτήρα. Ακολουθεί συμπύκνωση του σκυροδέματος με 25 χτυπήματα με πρότυπη ράβδο διαμέτρου Φ16. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τις άλλες 2 στρώσεις, ενώ προσοχή πρέπει να επιδεικνύεται κατά τη συμπύκνωση των 2 στρώσεων καθώς η πρότυπη ράβδος δεν πρέπει να εισέρχεται εντός της προηγούμενης στρώσης.

Αφού ολοκληρωθεί η συμπύκνωση της 3ης στρώσης, μορφώνεται και επιπεδώνεται η επιφάνεια της κορυφής του κώνου και ο κώνος αφαιρείται αργά και σταθερά εντός χρόνου 5 s μέγιστο. Ο κώνος αναστρέφεται και τοποθετείται δίπλα από το νωπό σωρό σκυροδέματος. Στην επιφάνεια της κορυφής του κώνου καθίσεως τοποθετείται η πρότυπη ράβδος Φ16 και μετράται η ελεύθερη απόσταση ανάμεσα σε αυτή και το υψηλότερο σημείο του νωπού σκυροδέματος με ακρίβεια cm. Προσδιορίζεται από τον Κ.Τ.Σ. 2016 η κατηγορία καθίσεως του σκυροδέματος (Ευάγγελος Φουντουκίδης).



Εικόνα 6. Κώνος καθίσεως

### **Μήτρα Χυτοσιδήρου**

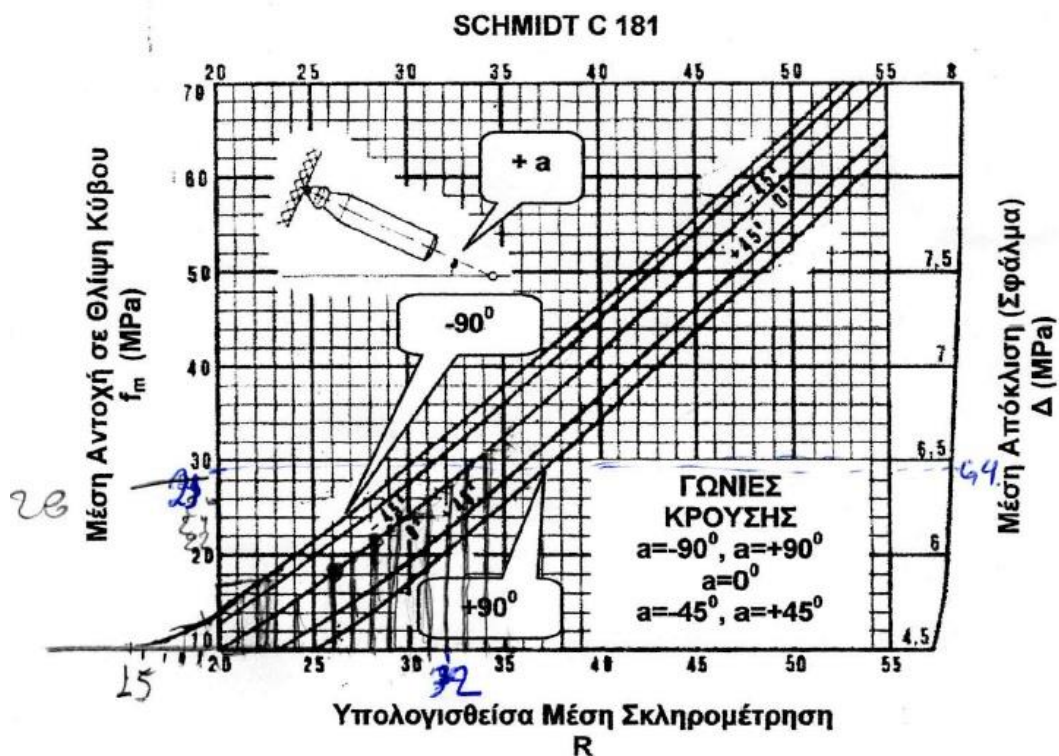
Η μήτρα λήψεως των κυβικών δοκιμών (που χρησιμοποιούνται στην πράξη σχεδόν κατ' αποκλειστικότητα) πρέπει να είναι από χυτοσίδηρο (μαντέμι) ικανού πάχους, ώστε οι επιφάνειες των εδρών της να παραμένουν επίπεδες και απαραμόρφωτες υπό την πίεση του συμπυκνουμένου σκυροδέματος και την επενέργεια των κακώσεων και του χρόνου.

Ακόμα και οι χυτοσιδηρές μήτρες θέλουν αντικατάσταση ή τουλάχιστον επεξεργασία, ύστερα από κάποιο χρόνο, ενδεικτικά ανά τετραετία χρήσεως (Αθ. Ρούτουλας)



*Εικόνα 7. Μήτρα Χυτοσιδήρου*

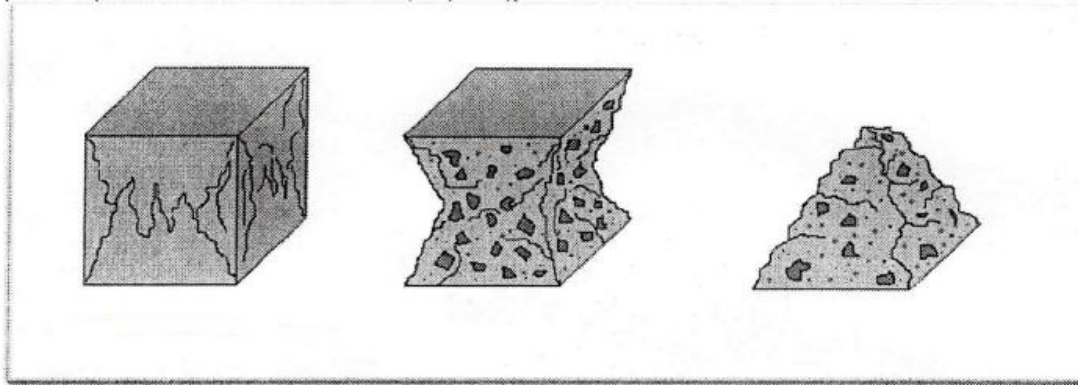
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ



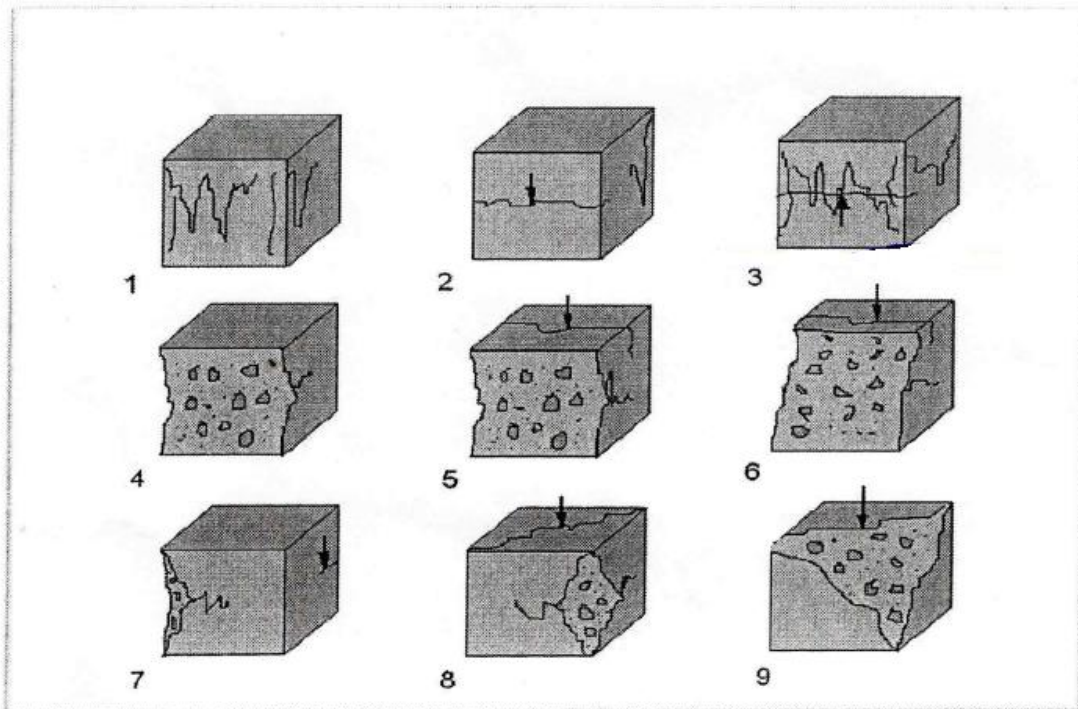
Πίνακας 5. Υπολογισμός θλιπτικής αντοχής σε Μρα

Το συγκεκριμένο διάγραμμα υπολογίζει την θλιπτική αντοχή ενός κ.δ. σύμφωνα με τις ενδείξεις που έχει αποδώσει το κρουσίμετρο. Ανάλογα με τη γωνία που δημιουργείται μεταξύ στοιχείου που μετράτε και κρουσιμέτρου διαλέγω τη καμπύλη. Στον άξονα ψ έχουμε την ένδειξη R που δίδεται από το κρουσίμετρο. Μέσω των δυο αυτών τιμών υπολογίζω την μέση αντοχή σε θλίψη(σε Μρα) του κ.δ. η οποία βρίσκεται σαφώς στον άξονα χ (έναντι του άξονος χ βρίσκεται η μέση απόκλιση σε Μρα).

Κυβικό δοκίμιο ΕΛΟΤ ΕΝ 12390.03 ικανοποιητική αστοχία

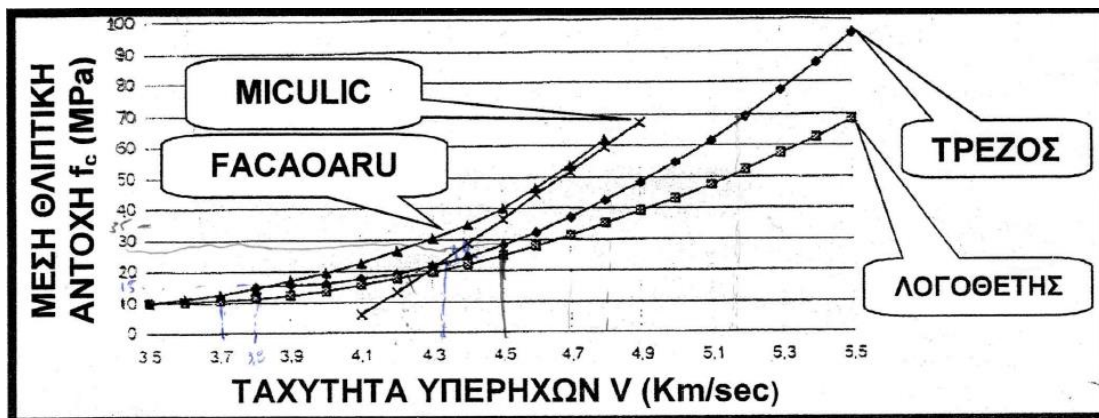


Κυβικό δοκίμιο ΕΛΟΤ ΕΝ 12390.03 μη ικανοποιητική αστοχία



Εικόνα 8. Είδη αστοχίας κυβικών δοκιμών ύστερα από επιβολή σε κάθετη αξονική φόρτιση





Πίνακας 6. Έυρεση θλιπτικής αντοχής σε Μρα

Στο διάγραμμα αυτό λαμβάνουμε την μέση θλιπτική αντοχή δοκιμίου σκυροδέματος αφού πρώτα έχει πραγματοποιηθεί η μέτρηση με τη συσκευή των υπερήχων στο εξεταζόμενο στοιχείο. Στον άξονα ψ υφίσταται η ταχύτητα διάδοσης του κύματος στο στοιχείο η οποία δίδεται από τη συσκευή. Έπειτα τέμνω τη καμπύλη Τρέζου και στον άξονα χ προβολικά βρίσκεται η αντοχή του εξεταζόμενου στοιχείου (σε Μρα).

### 3.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

- Πειραματικές μετρήσεις για νέο κρουσίμετρο (πραγματοποιήθηκαν 20 μετρήσεις σε κάθε δοκίμιο):

Πίνακας 7. Πειραματικές μετρήσεις για νέο κρουσίμετρο σε Μρα

| ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ | ΠΛΕΥΡΑ 1 | ΠΛΕΥΡΑ 2 | ΠΛΕΥΡΑ 3 | ΠΛΕΥΡΑ 4 |
|------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1                | 26       | 22       | 26       | 24       |
|                  | 22       | 22       | 23       | 24       |
|                  | 33       | 30       | 27       | 28       |
|                  | 25,9     | 22,7     | 21,7     | 21,4     |
|                  | 27,7     | 24,7     | 25       | 26       |
|                  | 26       | 22       | 26       | 24       |
| 2                | 27       | 22       | 25       | 26       |
|                  | 24       | 22       | 23       | 26       |
|                  | 31       | 29       | 27       | 32       |
|                  | 30,6     | 25,8     | 21,6     | 22,2     |
|                  | 27,8     | 26,8     | 25,2     | 28,2     |
| 3                | 26       | 27       | 28       | 28       |
|                  | 24       | 23       | 25       | 24       |
|                  | 30       | 28       | 33       | 30       |
|                  | 28,1     | 21,8     | 22       | 22,2     |
|                  | 26,3     | 25,7     | 27,8     | 27       |
| 4                | 25       | 24       | 26       | 28       |
|                  | 22       | 24       | 24       | 25       |
|                  | 30       | 36       | 31       | 31       |
|                  | 31       | 24,7     | 22       | 32,3     |
|                  | 24,8     | 26,8     | 26,3     | 28,5     |
| 5                | 25       | 25       | 27       | 26       |
|                  | 23       | 22       | 22       | 24       |
|                  | 27       | 31       | 28       | 26       |
|                  | 21,5     | 23,3     | 22       | 20,8     |
|                  | 28       | 25,5     | 24,5     | 25,2     |
| 6                | 35       | 25       | 29       | 28       |
|                  | 25       | 24       | 21       | 24       |
|                  | 35       | 31       | 29       | 32       |
|                  | 23,6     | 22,5     | 23,4     | 30       |
|                  | 28       | 26,3     | 25,5     | 28,5     |
| 7                | 28       | 26       | 26       | 29       |
|                  | 22       | 22       | 18       | 22       |
|                  | 29       | 26       | 31       | 29       |
|                  | 26       | 19       | 24,5     | 22       |
|                  | 26       | 23,7     | 24,8     | 25,3     |
| 8                | 24       | 24       | 24       | 28       |
|                  | 24       | 23       | 24       | 22       |

|    |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|
|    | 27   | 28   | 29   | 30   |
|    | 21,5 | 30   | 22,3 | 22,8 |
|    | 25,3 | 24,8 | 26,3 | 27   |
| 9  | 25   | 24   | 31   | 25   |
|    | 22   | 22   | 23   | 24   |
|    | 25   | 28   | 31   | 29   |
|    | 21   | 22   | 28   | 23   |
|    | 23,5 | 24,5 | 26,3 | 25,7 |
| 10 | 25   | 26   | 29   | 29   |
|    | 23   | 23   | 22   | 23   |
|    | 30   | 35   | 30   | 29   |
|    | 30   | 24,5 | 30   | 22   |
|    | 26,3 | 26,7 | 26,3 | 25,2 |
| 11 | 26   | 22   | 28   | 26   |
|    | 23   | 22   | 21   | 25   |
|    | 27   | 27   | 32   | 27   |
|    | 21,5 | 24   | 24,3 | 21,8 |
|    | 25,2 | 24,8 | 26   | 26,2 |
| 12 | 27   | 26   | 28   | 23   |
|    | 21   | 23   | 23   | 23   |
|    | 27   | 28   | 31   | 31   |
|    | 23   | 24   | 27   | 30   |
|    | 23,7 | 25,5 | 27,5 | 26,7 |
| 13 | 32   | 25   | 24   | 23   |
|    | 23   | 23   | 22   | 23   |
|    | 32   | 29   | 26   | 27   |
|    | 24   | 21   | 21,6 | 21,3 |
|    | 27,2 | 25   | 24,3 | 25,2 |
| 14 | 25   | 36   | 29   | 28   |
|    | 25   | 27   | 27   | 27   |
|    | 31   | 36   | 31   | 29   |
|    | 21   | 30   | 21,3 | 29   |
|    | 28,3 | 30,3 | 29   | 28   |
| 15 | 27   | 27   | 30   | 30   |
|    | 26   | 27   | 25   | 24   |
|    | 30   | 31   | 30   | 30   |
|    | 16   | 22   | 19   | 27   |
|    | 28,2 | 29,7 | 27,3 | 27,2 |
| 16 | 27   | 24   | 24   | 24   |
|    | 24   | 21   | 24   | 23   |
|    | 31   | 28   | 26   | 29   |
|    | 26   | 25   | 29   | 26   |
|    | 26,2 | 23,8 | 25   | 25,3 |
| 17 | 26   | 24   | 25   | 27   |
|    | 27   | 24   | 24   | 24   |
|    | 24   | 29   | 25   | 28   |
|    | 24   | 21   | 23   | 17   |
|    | 25,5 | 26   | 26   | 26,2 |
| 18 | 31   | 30   | 30   | 30   |
|    | 20   | 25   | 27   | 26   |
|    | 31   | 30   | 31   | 32   |



|    |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|
|    | 30   | 21   | 24   | 22   |
|    | 27,5 | 27,7 | 29,5 | 28,7 |
| 19 | 25   | 30   | 28   | 23   |
|    | 25   | 24   | 24   | 23   |
|    | 31   | 31   | 28   | 31   |
|    | 24   | 32   | 25   | 30   |
|    | 27   | 28,7 | 25,7 | 28,2 |
| 20 | 24   | 30   | 26   | 27   |
|    | 22   | 21   | 23   | 22   |
|    | 26   | 30   | 26   | 34   |
|    | 26   | 29   | 22   | 22   |
|    | 24,8 | 25,3 | 24,3 | 27   |
| 21 | 22   | 24   | 27   | 21   |
|    | 20   | 22   | 23   | 24   |
|    | 27   | 28   | 27   | 21   |
|    | 28   | 24   | 27   | 22   |
|    | 23,8 | 25,2 | 25,2 | 22,7 |
| 22 | 23   | 21   | 22   | 20   |
|    | 23   | 20   | 22   | 18   |
|    | 26   | 31   | 31   | 24   |
|    | 23   | 25   | 26   | 24   |
|    | 24,2 | 24,8 | 26,3 | 21,3 |
| 23 | 20   | 28   | 22   | 21   |
|    | 20   | 23   | 22   | 21   |
|    | 25   | 33   | 29   | 34   |
|    | 21   | 25   | 22,5 | 24   |
|    | 22,8 | 26   | 25,7 | 25,3 |
| 24 | 23   | 25   | 19   | 22   |
|    | 23   | 22   | 19   | 22   |
|    | 26   | 34   | 28   | 24   |
|    | 15   | 24,5 | 31   | 21   |
|    | 23,8 | 26,2 | 22,3 | 22,8 |
| 25 | 22   | 27   | 23   | 25   |
|    | 22   | 22   | 23   | 22   |
|    | 32   | 27   | 26   | 34   |
|    | 30   | 21   | 21,5 | 25,5 |
|    | 24,8 | 24,7 | 24   | 25,2 |
| 26 | 23   | 18   | 21   | 24   |
|    | 21   | 18   | 21   | 18   |
|    | 34   | 27   | 29   | 27   |
|    | 24,7 | 30   | 32   | 34   |
|    | 24,8 | 23,3 | 26   | 22,2 |
| 27 | 24   | 25   | 28   | 22   |
|    | 22   | 21   | 20   | 21   |
|    | 27   | 28   | 28   | 29   |
|    | 17   | 26   | 31   | 28   |
|    | 24,8 | 24,2 | 24,2 | 23,8 |
| 28 | 19   | 23   | 20   | 21   |
|    | 19   | 22   | 20   | 21   |
|    | 30   | 33   | 30   | 25   |
|    | 37   | 24   | 24,1 | 21,5 |

|    |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|
|    | 23,3 | 25   | 23,8 | 22,7 |
| 29 | 18   | 22   | 22   | 22   |
|    | 18   | 21   | 22   | 18   |
|    | 27   | 25   | 26   | 28   |
|    | 31   | 26   | 27   | 22   |
|    | 22,3 | 22,5 | 24   | 23,5 |
| 30 | 25   | 22   | 22   | 28   |
|    | 24   | 21   | 21   | 19   |
|    | 36   | 25   | 29   | 28   |
|    | 24,5 | 21,5 | 26,8 | 23,1 |
|    | 27,5 | 22,5 | 25,7 | 24,7 |
| 31 | 23   | 24   | 26   | 24   |
|    | 20   | 23   | 21   | 21   |
|    | 25   | 28   | 26   | 27   |
|    | 18   | 20   | 23   | 19   |
|    | 23   | 25,3 | 23,5 | 23,8 |
| 32 | 25   | 21   | 24   | 23   |
|    | 23   | 21   | 22   | 20   |
|    | 29   | 36   | 29   | 25   |
|    | 22   | 25,5 | 26   | 18   |
|    | 25,5 | 26,2 | 25,2 | 23,2 |
| 33 | 24   | 20   | 23   | 24   |
|    | 21   | 20   | 23   | 20   |
|    | 34   | 27   | 27   | 25   |
|    | 34   | 23   | 26   | 29   |
|    | 24,7 | 23,7 | 24,2 | 22,5 |
| 34 | 23   | 22   | 24   | 24   |
|    | 22   | 20   | 20   | 21   |
|    | 27   | 33   | 27   | 26   |
|    | 20   | 25,3 | 22,3 | 21,8 |
|    | 23,7 | 25   | 23,5 | 24,2 |
| 35 | 21   | 25   | 28   | 22   |
|    | 21   | 21   | 22   | 22   |
|    | 29   | 27   | 29   | 26   |
|    | 29   | 22   | 25   | 33   |
|    | 25,2 | 24   | 26,5 | 27   |
| 36 | 22   | 24   | 26   | 25   |
|    | 21   | 20   | 20   | 20   |
|    | 26   | 25   | 30   | 25   |
|    | 1,7  | 2    | 4,1  | 1,6  |
|    | 22,8 | 23   | 25,2 | 22,3 |
| 37 | 27   | 19   | 22   | 22   |
|    | 23   | 19   | 18   | 22   |
|    | 30   | 26   | 23   | 27   |
|    | 23   | 28   | 20   | 18   |
|    | 26,5 | 23   | 21,3 | 24,7 |
| 38 | 24   | 22   | 21   | 20   |
|    | 20   | 20   | 20   | 20   |
|    | 26   | 23   | 26   | 24   |
|    | 24   | 21,1 | 25   | 21,6 |
|    | 23   | 22   | 22,2 | 21,7 |

|    |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|
| 39 | 22   | 28   | 28   | 19   |
|    | 21   | 20   | 20   | 19   |
|    | 25   | 28   | 28   | 25   |
|    | 15   | 30   | 21   | 23   |
|    | 22   | 22,8 | 23,2 | 21,3 |
| 40 | 23   | 23   | 22   | 22   |
|    | 19   | 20   | 16   | 21   |
|    | 24   | 30   | 28   | 26   |
|    | 19   | 25   | 22   | 21   |
|    | 21,5 | 23   | 23,5 | 23,5 |

Από τον παραπάνω πίνακα επιλέχθηκαν τα δοκίμια 3,6,14,18 και 20 της κατηγορίας C30/37 και τα 23,29,31,35 και 37 της κατηγορίας C20/25, διότι οι ενδείξεις που ελήφθησαν ήταν κοντά μεταξύ τους σε σχέση με τα υπόλοιπα. Λαμβάνοντας την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή που μας έδωσε το νέο κρουσίμετρο για κάθε πλευρά, καθώς και την τιμή της διασποράς  $S$ , και της μέσης τιμής,  $\bar{x}$ , των μετρήσεων για κάθε πλευρά, πρόεκυψε ο πίνακας που ακολουθεί.

Πίνακας 8. Πειραματικές μετρήσεις για νέο κρουσίμετρο σε Μρα.

| Α/Δ | ΠΛΕΥΡΑ 1   |            |          |           | ΠΛΕΥΡΑ 2   |            |          |           | ΠΛΕΥΡΑ 3   |            |          |           | ΠΛΕΥΡΑ 4   |            |          |           |
|-----|------------|------------|----------|-----------|------------|------------|----------|-----------|------------|------------|----------|-----------|------------|------------|----------|-----------|
|     | <i>min</i> | <i>max</i> | <i>S</i> | $\bar{x}$ | <i>min</i> | <i>max</i> | <i>S</i> | $\bar{x}$ | <i>min</i> | <i>max</i> | <i>S</i> | $\bar{x}$ | <i>min</i> | <i>max</i> | <i>S</i> | $\bar{x}$ |
| 3   | 24         | 30         | 3,8      | 27        | 21,8       | 28         | 4,5      | 24,5      | 22         | 33         | 3,3      | 27,5      | 24         | 30         | 1,9      | 27        |
| 6   | 23,6       | 35         | 2,6      | 29,3      | 22,5       | 31         | 2,4      | 26,7      | 21         | 29         | 2,7      | 25        | 24         | 32         | 3,3      | 28        |
| 14  | 21         | 28,3       | 1,9      | 24,5      | 27         | 36         | 3,5      | 31,5      | 21,3       | 29         | 3,3      | 25,1      | 27         | 29         | 2,4      | 28        |
| 18  | 20         | 31         | 1        | 25,5      | 21         | 30         | 2        | 25,5      | 24         | 30         | 1,5      | 27        | 22         | 32         | 3,8      | 27        |
| 20  | 22         | 31         | 2,7      | 26,5      | 21         | 30         | 7,7      | 25,5      | 22         | 26         | 3        | 24        | 22         | 34         | 1,2      | 28        |
| 23  | 20         | 25         | 5        | 22,5      | 23         | 33         | 2,1      | 28        | 22         | 29         | 4,6      | 25,5      | 21         | 34         | 2,3      | 27,5      |
| 29  | 18         | 31         | 1,9      | 24,5      | 21         | 26         | 2,5      | 23,5      | 22         | 27         | 4,2      | 24,5      | 18         | 28         | 5,9      | 24        |
| 31  | 20         | 25         | 1,6      | 22,5      | 20         | 28         | 1,3      | 24        | 21         | 26         | 3,6      | 23,5      | 19         | 27         | 2,3      | 23        |
| 35  | 21         | 29         | 2,8      | 20        | 21         | 27         | 2        | 24        | 22         | 29         | 3        | 25,5      | 22         | 33         | 2,4      | 27,5      |
| 37  | 22         | 30         | 1,8      | 26        | 19         | 28         | 2,5      | 23,5      | 18         | 23         | 1,5      | 20,5      | 18         | 27         | 3,5      | 22,5      |

Πίνακας 9. Πραγματική αντοχή δοκιμίων σε Μρα

| Α/Δ | Εμβαδόν Διατομής (mm <sup>2</sup> ) | Βάρος (kg) | Θραύση (kN) | Αντοχή (MPa) |
|-----|-------------------------------------|------------|-------------|--------------|
| 3   | 22440                               | 7,999      | 1330        | 59,27        |
| 6   | 22477                               | 8,054      | 1320        | 58,72        |
| 14  | 22425                               | 8,139      | 1220        | 54,4         |
| 18  | 22342                               | 8,125      | 1220        | 54,6         |
| 20  | 22290                               | 7,948      | 1230        | 55,18        |
| 23  | 22201                               | 7,98       | 1250        | 56,3         |
| 29  | 22193                               | 7,902      | 1220        | 54,97        |
| 31  | 22230                               | 7,971      | 1300        | 58,47        |

|    |       |       |      |       |
|----|-------|-------|------|-------|
| 35 | 22327 | 7,958 | 1240 | 55,54 |
| 37 | 22126 | 7,889 | 1270 | 57,4  |

▪ Πειραματικές μετρήσεις για παλιό κρουσίμετρο μέσω :

Πίνακας 10. Πειραματικές μετρήσεις για παλιό κρουσίμετρο σε Μρα.

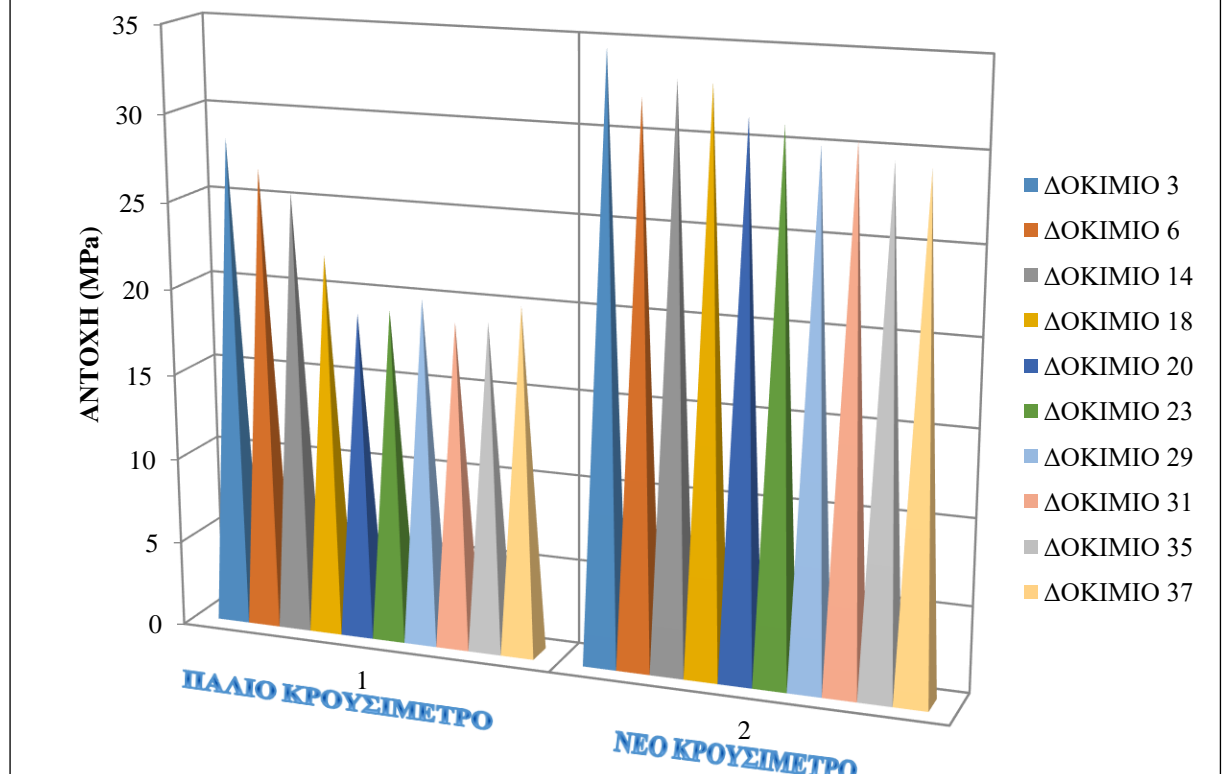
| A/Δ | ΠΛΕΥΡΑ 1 |    |      | ΠΛΕΥΡΑ 2 |    |    | ΠΛΕΥΡΑ 3 |      |      | ΠΛΕΥΡΑ 4 |    |    | M.O.  |
|-----|----------|----|------|----------|----|----|----------|------|------|----------|----|----|-------|
| 3   | 28       | 31 | 28   | 27       | 27 | 31 | 30       | 32   | 32   | 23,5     | 26 | 25 | 26,62 |
| 6   | 28       | 29 | 25   | 23,5     | 25 | 28 | 25       | 28   | 23,5 | 28       | 28 | 30 | 27,20 |
| 14  | 25       | 28 | 23,5 | 25       | 25 | 28 | 23,5     | 23,5 | 28   | 26       | 26 | 25 | 25,5  |
| 18  | 25       | 22 | 22   | 18       | 18 | 17 | 27       | 21   | 22   | 22       | 22 | 27 | 21,91 |
| 20  | 18       | 18 | 22   | 20       | 20 | 18 | 17       | 22   | 22   | 17       | 17 | 16 | 18,90 |
| 23  | 16       | 17 | 18   | 20       | 22 | 22 | 20       | 20   | 20   | 18       | 18 | 20 | 19,16 |
| 29  | 22       | 20 | 22   | 16       | 22 | 20 | 16       | 22   | 20   | 20       | 20 | 21 | 20,07 |
| 31  | 18       | 18 | 17   | 20       | 22 | 22 | 17       | 17   | 16   | 22       | 22 | 18 | 19,07 |
| 35  | 18       | 22 | 23   | 18       | 18 | 16 | 17       | 20   | 17   | 17       | 17 | 26 | 18,99 |
| 37  | 22       | 18 | 18   | 16       | 18 | 18 | 20       | 20   | 22   | 22       | 24 | 24 | 20,49 |

▪ Πειραματικές μετρήσεις για υπέρηχο μέσω τρέζου:

Πίνακας 11. Πειραματικές μετρήσεις για υπέρηχο μέσω καμπύλης Τρέζου :

| A/Δ | MPa         |
|-----|-------------|
| 3   | 37          |
| 6   | 42          |
| 14  | 24          |
| 18  | 20          |
| 20  | εκτός ορίων |
| 23  | 76          |
| 29  | 20          |
| 31  | εκτός ορίων |
| 35  | εκτός ορίων |
| 37  | εκτός ορίων |

## ΣΥΚΡΙΣΗ ΑΝΤΟΧΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΠΑΛΙΟΥ ΚΑΙ ΝΕΟΥ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΟΥ



Παρατηρούμε ότι με τη χρήση του νέου κρουσίμετρου οι αντοχές των επιλεχθέντων δοκιμών αυξήθηκαν.

| ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΥΞΗΣΗΣ<br>ΑΝΤΟΧΗΣ ΜΕ ΝΕΟ<br>ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΟ (%) |
|--|
| 22,22418   |
| 20,119671  |
| 29,992169  |
| 49,864253  |
| 66,402116  |
| 61,818182  |
| 50,249004  |
| 61,469345  |
| 55,24109   |
| 45,337302  |

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ιωάννης Ν. ΠΡΑΣΙΑΝΑΚΗΣ. Έλεγχος του Σκυροδέματος με Καταστροφικές και Μη Καταστροφικές Μεθόδους, 18ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ-ΕΜΠ-ΕΤΕΚ, 29-31/3/2018, *Concrete Testing by Destructive and Non Destructive Testing Methods*.
2. Βορκά Χρυστάλλα, Λακκοτρύπης Κώστας. ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΤΕΣΤΡΑΜΜΕΝΟΥ ΔΟΜΙΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ, ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.
3. Καθ. Α. Μοροπούλου ΕΔΙΠ Κ. Λαμπρόπουλος. «Δομικά Υλικά» 9<sup>ο</sup> εξαμ. Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ Τσιμέντο & Σκυρόδεμα.
4. Ευάγγελος Φουντουκίδης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα, Έλεγχος Ποιότητας και Τεχνολογία Δομικών Υλικών Εργαστηριακό Μέρος, Ενότητα 8: Εργαστηριακός Έλεγχος Σκυροδέματος.
5. Δρ Αθ. Ρούτουλας, Καθηγητής. ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΔΟΜΗΣΙΜΩΝ ΥΛΙΚΩΝ, ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΔΟΜΗΣΙΜΩΝ ΥΛΙΚΩΝ, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ, ΕΝΟΤΗΤΑ 3η – ΤΣΙΜΕΝΤΑ - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ, ΑΣΚΗΣΗ 10η : ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ).
6. ΚΑΝ.ΕΠΕ.(Κανονισμός Επεμβάσεων)



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 12. Χαρακτηριστικά μεγέθη για τα συμβατικά δοκίμια του πειράματος

| Ημ/νία Δειγμ/ψίας | A/A Δοκιμίων | Κατηγορία Σκυρ/τος | Κάθιστη (cm) | Θ°C Περ/ντος | Θ°C Σκυρ/τος | Ημ/νία Έλεγχου (28d) | Αντοχή Παλιού Κρουσίμετρου (MPa) | Αντοχή Νέου Κρουσίμετρου (MPa) | Αντοχή Υπερήχου (MPa) | Αντοχή ή θραύσης δοκιμίων (MPa) |
|-------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| <b>4/2/19</b>     | 3            | C30/37             | 6            | 11           | 16           | 4/3/19               | 26,62                            | 34,6                           | 37                    | 59,27                           |
| <b>5/2/19</b>     | 6            | C30/37             | 6            | 11           | 16           | 4/3/19               | 27,20                            | 32,12                          | 42                    | 58,72                           |
|                   | 14           | C30/37             | 6            | 11           | 16           | 4/3/19               | 25,5                             | 33,20                          | 24                    | 54,40                           |
|                   | 18           | C30/37             | 6            | 11           | 16           | 4/3/19               | 21,91                            | 33,12                          | 20                    | 54,60                           |
|                   | 20           | C30/37             | 6            | 11           | 16           | 4/3/19               | 18,90                            | 31,45                          | εκτός ορίων           | 55,18                           |
|                   | 23           | C20/25             | 6            | 10           | 15           | 5/3/19               | 19,16                            | 31,15                          | 76                    | 56,30                           |
|                   | 29           | C20/25             | 6            | 10           | 15           | 5/3/19               | 20,07                            | 30,17                          | 20                    | 54,97                           |
|                   | 31           | C20/25             | 6            | 10           | 15           | 5/3/19               | 19,07                            | 30,55                          | εκτός ορίων           | 58,47                           |
|                   | 35           | C20/25             | 6            | 10           | 15           | 5/3/19               | 18,99                            | 29,62                          | εκτός ορίων           | 55,54                           |
|                   | 37           | C20/25             | 6            | 10           | 15           | 5/3/19               | 20,49                            | 29,30                          | εκτός ορίων           | 57,40                           |

### ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ C30/37

#### 1. Υλικά

Τα υλικά που προσκομίσθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη είναι:

- A) Άμμος πλυμένη ποταμού.
- B) Ψηφίδα ποταμού.
- Γ) Χαλίκι θραυστό ποταμού.
- Δ) Τσιμέντο CEM II/B-M(P-W-LL) 42.5N



### Αποτελέσματα ελέγχων αδρανών υλικών:

|                                       |               |                        |
|---------------------------------------|---------------|------------------------|
| Πυκνότητα (ξηρή) $\rho_{rd}$ :        | Άμμος πλυμένη | 2620 kg/m <sup>3</sup> |
|                                       | Ψηφίδα        | 2600 kg/m <sup>3</sup> |
|                                       | Χαλίκι        | 2590 kg/m <sup>3</sup> |
| Υγρασία Απορροφήσεως WA <sub>24</sub> | Άμμος πλυμένη | 0.91 %                 |
|                                       | Ψηφίδα        | 0.39 %                 |
|                                       | Χαλίκι        | 0.43 %                 |
| Ισοδύναμο Άμμου SE :                  | Άμμος πλυμένη | 81                     |
| Μπλε του Μεθυλενίου MB :              | Άμμος πλυμένη | 0.6 gr/kg              |
| Δείκτης Πλακοειδούς FI :              | Ψηφίδα        | 14                     |
|                                       | Χαλίκι        | 13                     |
| Los Angeles LA :                      | Χαλίκι        | 26                     |

### **2. Σύθεση Σκυροδέματος**

#### **Αναλογίες υλικών για 1 m<sup>3</sup> σκυροδέματος (ξηρά αδρανή)**

|               |          |
|---------------|----------|
| Άμμος πλυμένη | 816 kgr  |
| Ψηφίδα        | 450 kgr  |
| Χαλίκι        | 538 kgr  |
| Τσιμέντο      | 350 kgr  |
| Νερό (ενεργό) | 180 kgr  |
| Φ.Ε.Β.        | 2334 kgr |

#### **Αναλογίες υλικών για 1 m<sup>3</sup> σκυροδέματος (κορεσμένα-επιφανειακά ξηρά αδρανή)**

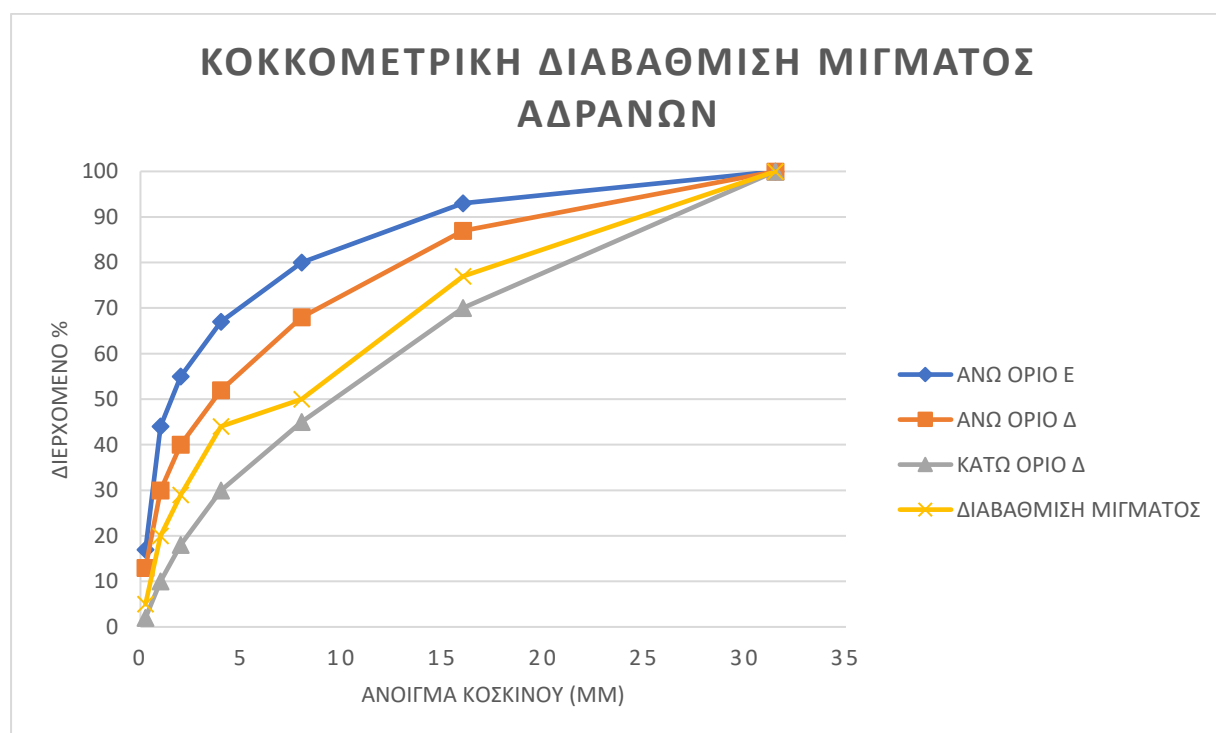
|               |          |
|---------------|----------|
| Άμμος πλυμένη | 824 kgr  |
| Ψηφίδα        | 452 kgr  |
| Χαλίκι        | 540 kgr  |
| Τσιμέντο      | 350 kgr  |
| Νερό (ενεργό) | 168 kgr  |
| Φ.Ε.Β.        | 2334 kgr |

### **Άλλα στοιχεία**

|  |                    |
|--|--------------------|
| Κατηγορία Κάθισης                                | S2 (7cm)           |
| Κατηγορία Έκθεσης                                | XC1                |
| Κατηγορία Περιεκτικότητας σε Χλωριόντα           | Cl 0.40            |
| Μέγιστη ονομαστική διάσταση κόκκου               | 31.5 mm            |
| Απαιτούμενη αντοχή σχεδιασμού παραγωγής $f_{ασ}$ | 31 MPa             |
| Μέση αντοχή 28 ημέρων                            | 34.56 MPa          |
| Ενεργός λόγος N/T                                | 0.59               |
| Είδος Δοκιμίων                                   | Κυβικά 15*15*15 cm |

### Κοκκομετρική Διαβάθμιση :

|                       | ΧΑΛΙΚΙ       | ΨΗΦΙΔΑ | ΑΜΜΟΣ |                          |             |            |            |            |
|-----------------------|--------------|--------|-------|--------------------------|-------------|------------|------------|------------|
| ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ | 0.30         | 0.25   | 0.45  | ΔΙΑΒ/ΣΗ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ | ΚΑΤΩ ΟΡΙΟ Δ | ΑΝΩ ΟΡΙΟ Δ | ΑΝΩ ΟΡΙΟ Δ | ΑΝΩ ΟΡΙΟ Ε |
| ΑΝΟΙΓΜΑ ΚΟΣΚΙΝΟΥ (mm) | ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ % |        |       |                          |             |            |            |            |
| 31.5                  | 100          | 100    | 100   |                          | 100         | 100        | 100        | 100        |
| 16                    | 24           | 100    | 100   |                          | 77          | 70         | 87         | 93         |
| 8                     | 0.5          | 20     | 100   |                          | 50          | 45         | 68         | 80         |
| 4                     | 0.5          | 0.7    | 98    |                          | 44          | 30         | 52         | 67         |
| 2                     | 0.5          | 0.7    | 63    |                          | 29          | 18         | 40         | 55         |
| 1                     | 0.5          | 0.7    | 44    |                          | 20          | 10         | 30         | 44         |
| 0.25                  | 0.5          | 0.3    | 11    |                          | 5           | 2          | 13         | 17         |
| 0.063                 | 0.1          | 0.1    | 2.0   |                          | 1.0         |            |            |            |



### ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ C20/25

#### 3. Υλικά

Τα υλικά που προσκομίσθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη είναι:

- Α) Άμμος πλυμένη ποταμού.
- Β) Ψηφίδα ποταμού.
- Γ) Χαλίκι θραυστό ποταμού.

Δ) Τσιμέντο CEM II/B-M(P-W-LL) 42.5N

**Αποτελέσματα ελέγχων αδρανών υλικών:**

|                                       |               |                        |
|---------------------------------------|---------------|------------------------|
| Πυκνότητα (ξηρή) $\rho_{rd}$ :        | Άμμος πλυμένη | 2620 kg/m <sup>3</sup> |
|                                       | Ψηφίδα        | 2600 kg/m <sup>3</sup> |
|                                       | Χαλίκι        | 2590 kg/m <sup>3</sup> |
| Υγρασία Απορροφήσεως WA <sub>24</sub> | Άμμος πλυμένη | 0.92 %                 |
|                                       | Ψηφίδα        | 0.40 %                 |
|                                       | Χαλίκι        | 0.44 %                 |
| Ισοδύναμο Άμμου SE :                  | Άμμος πλυμένη | 82                     |
| Μπλε του Μεθυλενίου MB :              | Άμμος πλυμένη | 0.6 gr/kg              |
| Δείκτης Πλακοειδούς FI :              | Ψηφίδα        | 15                     |
|                                       | Χαλίκι        | 15                     |
| Los Angeles LA :                      | Χαλίκι        | 26                     |

**Αναλογίες υλικών για 1 m<sup>3</sup> σκυροδέματος (ξηρά αδρανή)**

|               |          |
|---------------|----------|
| Άμμος πλυμένη | 848 kgr  |
| Ψηφίδα        | 468 kgr  |
| Χαλίκι        | 559 kgr  |
| Τσιμέντο      | 280 kgr  |
| Νερό (ενεργό) | 175 kgr  |
| Φ.Ε.Β.        | 2330 kgr |

**Αναλογίες υλικών για 1 m<sup>3</sup> σκυροδέματος (κορεσμένα-επιφανειακά ξηρά αδρανή)**

|               |          |
|---------------|----------|
| Άμμος πλυμένη | 856 kgr  |
| Ψηφίδα        | 470 kgr  |
| Χαλίκι        | 561 kgr  |
| Τσιμέντο      | 280 kgr  |
| Νερό (ενεργό) | 163 kgr  |
| Φ.Ε.Β.        | 2330 kgr |

**Άλλα στοιχεία**

|  |                    |
|--|--------------------|
| Κατηγορία Κάθισης                                | S2 (6cm)           |
| Κατηγορία Έκθεσης                                | XC1                |
| Κατηγορία Περιεκτικότητας σε Χλωριόντα           | Cl 0.40            |
| Μέγιστη ονομαστική διάσταση κόκκου               | 31.5 mm            |
| Απαιτούμενη αντοχή σχεδιασμού παραγωγής $f_{ασ}$ | 31 MPa             |
| Μέση αντοχή 28 ημέρων                            | 34.56 MPa          |
| Ενεργός λόγος N/T                                | 0.59               |
| Είδος Δοκιμίων                                   | Κυβικά 15*15*15 cm |

**Κοκκομετρική Διαβάθμιση :**

|                       | ΧΑΛΙΚΙ       | ΨΗΦΙΔΑ | ΑΜΜΟΣ |                          |             |            |            |            |
|-----------------------|--------------|--------|-------|--------------------------|-------------|------------|------------|------------|
| ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΣΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ | 0.30         | 0.25   | 0.45  | ΔΙΑΒ/ΣΗ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ | ΚΑΤΩ ΟΡΙΟ Δ | ΑΝΩ ΟΡΙΟ Δ | ΑΝΩ ΟΡΙΟ Δ | ΑΝΩ ΟΡΙΟ Ε |
| ΑΝΟΙΓΜΑ ΚΟΣΚΙΝΟΥ (mm) | ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ % |        |       |                          |             |            |            |            |
| 31.5                  | 100          | 100    | 100   |                          | 100         | 100        | 100        | 100        |
| 16                    | 27           | 100    | 100   |                          | 78          | 70         | 87         | 93         |
| 8                     | 0.8          | 22     | 100   |                          | 51          | 45         | 68         | 80         |
| 4                     | 0.8          | 0.3    | 99    |                          | 45          | 30         | 52         | 67         |
| 2                     | 0.8          | 0.3    | 65    |                          | 30          | 18         | 40         | 55         |
| 1                     | 0.8          | 0.3    | 42    |                          | 19          | 10         | 30         | 44         |
| 0.25                  | 0.8          | 0.3    | 11    |                          | 5           | 2          | 13         | 17         |
| 0.063                 | 0.1          | 0.1    | 2.2   |                          | 1.0         |            |            |            |

