



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ :

«ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ
ΛΕΙΦΟΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

*«ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ
ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗ
ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ»*



ΒΙΤΣΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΚΑΛΚΑΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΑΘΗΝΑ, 2020

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπονεγραμμένος/η Βίτσας Παναγιώτης του

Νικόλαου μεταπτυχιακός φοιτητής του Π.Μ.Σ.: «Αντισεισμική και Ενεργειακή Αναβάθμιση Κατασκευών και Αειφόρος Ανάπτυξη»,

του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία (Μ.Δ.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Μ.Δ.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Μεταπτυχιακό Δίπλωμα, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης Ειδικής Σύθεσης του Τμήματος. Η Συνέλευση Ειδικής Σύθεσης του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Μ.Δ.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Μ.Δ.Ε. πρέπει να ολοκληρώσει εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού βμήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18. παρ.5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Ο Δηλών



Βίτσας Παναγιώτης

| Ημερομηνία

13/07/2020

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής δοκιμίων σκυροδέματος που έχουν συντηρηθεί σε διαφορετικά περιβάλλοντα με τη μέθοδο μη καταστροφικού ελέγχου των υπερήχων και επαλήθευση των μετρήσεων με τη συσκευή μονοαξονικής θλίψης δοκιμίων. Οι δοκιμές προσδιορισμού της αντοχής πραγματοποιήθηκαν σε 28, 56 και 84 ημέρες αντίστοιχα, από την ημέρα παρασκευής των δοκιμίων.

Η παρούσα εργασία αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται εισαγωγικά στοιχεία και η ανάλυση της έννοιας του σκυροδέματος καθώς και η σύσταση, οι βασικές ιδιότητές του, οι διάφορες κατηγορίες και τα υλικά παρασκευής του. Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά τη σύνθεση του σκυροδέματος καθώς και έννοιες που είναι άρρηκτα συνυφασμένες με το σκυρόδεμα όπως η ανάμιξη, η μεταφορά και η συντήρηση του. Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύονται σε θεωρητικό πλαίσιο τα είδη των μη καταστροφικών ελέγχων καθώς και τα χαρακτηριστικά τους. Στο τέταρτο κεφάλαιο ακολουθεί το εργαστηριακό μέρος όπου καθίσταται σαφής η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε για την παρασκευή των δοκιμίων καθώς και η διαδικασία μετρήσεων ενώ καταλήγοντας φαίνονται και τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από τις μετρήσεις.

ABSTRACT

The subject of study in this dissertation is to determine the compressive strength of concrete specimens that have been preserved in different environments, by the method of non-destructive ultrasound testing and to verify the measurements with the single-axis test specimen compression device. Endurance tests were performed in 28, 56 and 84 days respectively, from the day of preparation of the tests.

This scientific effort consists of four chapters. The first chapter presents introductory data and the analysis of the concept of concrete as well as its composition, basic properties, various categories and materials of manufacture. The second chapter deals with the composition of concrete as well as concepts that are inextricably linked to concrete such as mixing, transport and maintenance. In the next chapter, the types of non-destructive methods as well as their characteristics are analyzed in a theoretical context. The fourth chapter, refers to the laboratory part, where the process that was followed for the preparation of the reports as well as the measurement process becomes apparent, while concluding, the results that emerged from the measurements are also presented.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Δρ. Κωνσταντίνο Καλκάνη, Καθηγητή του τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, για την αμέριστη συμβολή και καθοδήγηση του καθ' όλη την περίοδο της συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα, ακόμα, να ευχαριστήσω τον Δρ. Κωνσταντίνο Δημάκο, καθώς και το προσωπικό του Εργαστηρίου Οπλισμένου Σκυροδέματος του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, για την αρωγή που μου παρείχαν κατά τη διενέργεια των εργαστηριακών μετρήσεων.

Επίσης θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην φίλη, συνάδελφο και συμφοιτήτρια Μαρία Νομικού, Προϊσταμένη του ελληνικού κέντρου τεχνολογίας σκυροδέματος – κεντρικό εργαστήριο έρευνας και ανάπτυξης του ομίλου εταιρειών ΑΓΕΤ Ηρακλής, η οποία συνέβαλε ουσιαστικά στη διεκπεραίωση της διπλωματικής μου εργασίας καθώς τα υλικά με τα οποία έγινε η παρασκευή των δοκιμίων ήταν δωρεά του εργαστηρίου της εταιρείας στην οποία εργάζεται.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στήριξε καθ' όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος καθώς και για την αγάπη και την υπομονή που έδειξαν.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ABSTRACT	1
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	6
1.1 Εισαγωγή	6
1.2 Το σκυρόδεμα	6
1.2.1 Σύσταση και βασικές ιδιότητες	6
1.2.2 Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος.....	7
1.2.3 Κατηγορίες σκυροδέματος:	8
1.3 Υλικά παρασκευής σκυροδέματος	8
1.3.1 Το τσιμέντο.....	8
1.3.2 Παραγωγή.....	9
1.3.3 Κατάταξη με βάση τις ιδιότητες του.....	10
1.3.4 Τύποι τσιμέντου	10
1.3.5 Κατηγορίες αντοχής τσιμέντων.....	11
1.3.6 Ενυδάτωση του τσιμέντου	14
1.3.7 Πρόσμικτα υλικά του τσιμέντου	15
1.3.7.1 Ποζολάνες	15
1.3.7.2 Ιπτάμενη τέφρα	16
1.3.7.3 Ερυθρά ιλύς	16
1.3.7.4 Χρησιμοποίηση σκωρίας	17
1.4 Το νερό	18
1.4.1 Γενικά	18
1.4.2 Λόγος τσιμέντου-νερού.....	18
1.5 Κατηγορίες πρόσθετων υλικών.....	19
1.6 Αδρανή.....	19
1.6.1 Προέλευση και κατηγορίες αδρανών.....	20
1.6.2 Φυσικές απαιτήσεις των αδρανών	22
1.6.3 Αποθήκευση των αδρανών.....	23
1.7. Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών	23
1.7.1 Γενικά.....	23
1.7.2 Κόσκινα και κοκκομετρική διαβάθμιση	23

1.7.3 Χημικές απαιτήσεις αδρανών.....	29
1.8 Ινοπλισμένο σκυρόδεμα	29
1.8.1 Επίδραση των ινών στο σκυρόδεμα	30
1.8.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τις ιδιότητες του ινοπλισμένου σκυροδέματος	31
1.8.3 Διαφορετικοί τύποι ινοπλισμένου σκυροδέματος	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	33
2.1 Γενικά.....	33
2.2 Απαιτούμενη αντοχή σχεδιασμού	34
2.3 Στοιχεία μελέτης σύνθεσης	35
2.4 Συνεκτικότητα	37
2.5 Ελάχιστες απαιτήσεις	38
2.6 Ανάμιξη σκυροδέματος.....	41
2.7 Μεταφορά σκυροδέματος	43
2.8 Διάστρωση σκυροδέματος.....	43
2.9 Συμπύκνωση σκυροδέματος	44
2.10 Συντήρηση σκυροδέματος	44
2.11 Μηχανική συμπεριφορά του σκυροδέματος - Προδιαγραφές	45
2.11.1 Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη	45
2.11.2 Συμβατική αντοχή σκυροδέματος.	46
2.12 Κανόνες για τη σύνθεση σκυροδεμάτων με ειδικές απαιτήσεις	50
2.12.1 Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε επιφανειακή φθορά.....	50
2.12.2 Σκυρόδεμα μικρής υδατοπερατότητας	50
2.12.3 Σκυρόδεμα για θαλάσσιες κατασκευές.....	50
2.12.4 Σκυρόδεμα που διαστρώνεται μέσα στο νερό:.....	51
2.13 Οι ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος	51
2.13.1 Εξίδρωση	51
2.13.2 Απόμιξη.....	52
2.13.3 Εργάσιμο.....	53
2.14 Εργαστηριακές δοκιμές μετρήσεως της εργασιμότητας.....	54
2.14.1 Δοκιμή κάθισης.....	54
2.14.2 Δοκιμή εξάπλωσης	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ	55
3.1 Γενικά	55
3.2 Τα είδη των Μ.Κ.Ε.....	57

3.2.1 Οπτική Επιθεώρηση	58
3.2.2 Ακτινογραφικός Έλεγχος	59
3.2.3 Μέθοδος σκληρότητας επιφάνειας (κρουσίμετρο)	60
3.2.4 Ολογραφία	61
3.2.5 Δινορεύματα	61
3.2.6 Θερμογραφία.....	65
3.2.7 Δεισδυτικά Υγρά	66
3.2.8 Μέθοδος των υπερήχων.....	68
3.2.8.1 Θεμελιώδης αρχή της μεθόδου.....	68
4.ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	74
4.1 Γενικά.....	74
4.2 Διαδικασία παρασκευής δοκιμίων.....	75
4.3 Διαδικασία μετρήσεων	81
4.4 Αποτελέσματα μετρήσεων	83
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	106
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΦΥΛΛΑΔΙΑ.....	109

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

1.1 Εισαγωγή

Η διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής στο Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος.

Ο σκοπός της εργασίας είναι η πειραματική διερεύνηση της θλιπτικής αντοχής κυβικών δοκιμίων από σκυρόδεμα με τη βοήθεια ενός μη καταστροφικού ελέγχου και συγκεκριμένα των υπερήχων.

Η εν λόγω ερευνητική διαδικασία περιελάμβανε την παρασκευή δοκιμίων από σκυρόδεμα διαστάσεων 15 cm × 15 cm × 15 cm σύμφωνα με όλους τους κανονισμούς και τα πρότυπα που ορίζει ο Κ.Τ.Σ. Επίσης πραγματοποιήθηκαν όλες οι εργαστηριακές δοκιμές που αφορούν το σκυρόδεμα καθώς και ο έλεγχος των δοκιμίων με τη χρήση της μεθόδου των υπερήχων και επαλήθευση των αποτελεσμάτων με τη συσκευή θλίψης δοκιμίων.

1.2 Το σκυρόδεμα

1.2.1 Σύσταση και βασικές ιδιότητες

Η ανάγκη του ανθρώπου να προστατευθεί από τις καιρικές συνθήκες τον ανάγκασαν να δημιουργήσει ένα υλικό που θα του εξασφάλιζε μια τέτοια προστασία. Από τα αρχαία χρόνια στην Αίγυπτο χρησιμοποίησαν λάσπη αναμεμιγμένη με άχυρο για να δέσουν αποξηραμένα τούβλα. Χρησιμοποίησαν επίσης κονιάματα γύψου και κονίαμα ασβέστη στις πυραμίδες. Αργότερα τη σκυτάλη πήραν Ρωμαίοι και Έλληνες. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ασβέστης και ηφαιστειακή τέφρα που αντέδρασαν αργά μαζί με την παρουσία νερού για να σχηματίσουν μια σκληρή μάζα. Αυτό αποτέλεσε το υλικό τσιμέντου των ρωμαϊκών κονιαμάτων και σκυροδέματος πριν από 2.000 χρόνια και των επακόλουθων κατασκευαστικών εργασιών στη Δυτική Ευρώπη μέχρι να πάρει και τη μορφή που όλοι σήμερα γνωρίζουμε.

Το σκυρόδεμα είναι λοιπόν ένα τεχνητό υλικό που αποτελείται από αδρανή (χαλίκι, γαρμπίλι και άμμο), συγκολλημένα μέσω του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού σε μονολιθική μάζα (ACI Committee, 2002). Τα αδρανή είναι ένα φθινό υλικό, χαρακτηρίζονται από πολύ ικανοποιητικές βασικές ιδιότητες όπως η μηχανική αντοχή. Επίσης χαρακτηρίζονται για την σταθερότητα όγκου και υδατοστεγανότητα τους όπως και την ανθεκτικότητά τους σε διαρκείς περιβαλλοντικές επιδράσεις (υγρασία, ακραία καιρικά φαινόμενα, χημικές ουσίες). Ο τσιμεντοπολτός αποτελείται

από τσιμέντο, νερό και (χημικά) πρόσμεικτα ή πρόσθετα. Ενώ κοστολογικά είναι ακριβότερο από τα αδρανή, όταν σκληρυνθεί δεν έχει αντίστοιχα καλές βασικές ιδιότητες. Η χρησιμότητά είναι να καλύπτει τα κενά μεταξύ των αδρανών και να τους προσδίδει μονολιθικότητα, μετατρέποντας τα, σε ένα τεχνητό πέτρωμα. Επίσης σε νωπή κατάσταση προσδίδει μια ρευστή αλλά συνεκτική μάζα στο μείγμα φροντίζοντας έτσι στην αποφυγή της απόμειξης του (Neville, 1996).

Θεωρείται το οικονομικότερο και ασφαλέστερο οικοδομικό υλικό, με εξαιρετική σχέση κόστους - παρεχόμενων ιδιοτήτων και για το λόγο αυτό είναι αναντικατάστατο. Είναι εξαιρετικά εύπλαστο υλικό, αφού, όταν είναι νωπό, μπορεί να λάβει οποιαδήποτε μορφή (Οικονόμου, 1997). Χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερες ιδιότητες που προσφέρουν ανθεκτικότητα και προστασία από διάφορα επιθετικά περιβάλλοντα στα οποία μπορεί να εκτεθεί. Όταν είναι νωπό, εξαιτίας της μεγάλης ευελιξίας του είναι από τα πιο εύχρηστα δομικά υλικά, αλλά ταυτόχρονα με τη μικρότερη διάρκεια ζωής καθώς πρέπει να χρησιμοποιηθεί το αργότερο μέσα σε μία ώρα και πενήντα λεπτά από τη παραγωγή του.

1.2.2 Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος

Η αντοχή σε θλίψη οποιουδήποτε υλικού ορίζεται ως η αντίσταση στην αστοχία υπό τη δράση των δυνάμεων συμπίεσης (Βουθούνης, 1993). Ειδικά για το σκυροδέμα, η αντοχή σε θλίψη είναι μια σημαντική παράμετρος για τον προσδιορισμό της αντοχής του υλικού κατά τις συνθήκες συντήρησης. Το μείγμα σκυροδέματος μπορεί να σχεδιαστεί ή να αναλογεί για να αποκτήσει τις απαιτούμενες ιδιότητες μηχανικής και αντοχής όπως απαιτείται από τον μηχανικό σχεδιασμού (Robertson, 2002). Το σκυροδέμα σαν υλικό χαρακτηρίζεται ανομοιογενές. Αυτό οφείλεται σε διαφορές στην ποιότητα κυρίως των αδρανών υλικών, την αναλογία τους στο μίγμα και σε διαφορές που μπορεί να προκύψουν στα στάδια της σκυροδέτησης όπως στη διάστρωση, συμπύκνωση και συντήρηση του σκυροδέματος από θέση σε θέση μιας κατασκευής. Εξαιτίας αυτής της ανομοιομορφίας η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε ένα σημείο της κατασκευής, f_c , μπορεί να θεωρηθεί σαν μια τυχαία μεταβλητή, με μέσο όρο, f_{cm} , και μια τυπική απόκλιση s . Εξαιτίας αυτού του γεγονότος ο σχεδιασμός δεν βασίζεται στη μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, f_{cm} αλλά σε μία τιμή μικρότερη που ονομάζεται χαρακτηριστική αντοχή, f_{ck} . Η χαρακτηριστική ισχύς ορίζεται ως το επίπεδο αντοχής κάτω από το οποίο αναμένεται να αποτύχει ένα καθορισμένο ποσοστό όλων των έγκυρων αποτελεσμάτων της δοκιμής. Το ποσοστό αυτό θεωρείται ότι είναι 5% εκτός εάν δηλώνεται διαφορετικά. Έτσι αν η αντοχή του σκυροδέματος ακολουθεί την κανονική κατανομή πιθανοτήτων, με μια μέση τιμή f_{cm}

και μια τυπική απόκλιση s , είναι : $f_{ck} = f_{cm} - 1,645 \times s$ όπου ο συντελεστής $-1,645$ αντιστοιχεί σε μια τιμή της συνάρτησης κατανομής κατά Gauss ίση με 5%. Έτσι εάν δύο τύποι σκυροδέματος έχουν διαφορετικό έλεγχο ποιότητας και επομένως διαφορετικές τιμές της τυπικής απόκλισης, s , θεωρούνται ισοδύναμα ,εάν έχουν την ίδια χαρακτηριστική αντοχή, f_{ck} . Επομένως σαν ορισμό μπορούμε να πούμε ότι χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος είναι η αντοχή των δοκιμών σκυροδέματος που κατασκευάζονται, συντηρούνται για μια περίοδο 28 ημερών και ελέγχονται. Από τον έλεγχο αυτό το 95% των δοκιμασμένων δοκιμών δεν πρέπει να έχει τιμή μικρότερη από αυτήν την τιμή.

1.2.3 Κατηγορίες σκυροδέματος:

Σύμφωνα με τον νέο Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-16) οι κατηγορίες σκυροδέματος είναι οι ακόλουθες με βάση την χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή, f_{ck}

Κατηγορία Σκυροδέματος	$f_{ck,κυλ.}$ (MPa)	$f_{ck,κύβου}$ (MPa)
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
C50/60	50	60

Πίνακας 1.1 Κατηγορίες σκυροδέματος με βάση την f_{ck}

Ο πρώτος αριθμός κάθε κατηγορίας αναφέρει την χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου ($f_{ck,κυλ.}$), ενώ ο δεύτερος την χαρακτηριστική αντοχή κυβικού ($f_{ck,cube}$) σε MPa, στις 28 ημέρες.

1.3 Υλικά παρασκευής σκυροδέματος

1.3.1 Το τσιμέντο

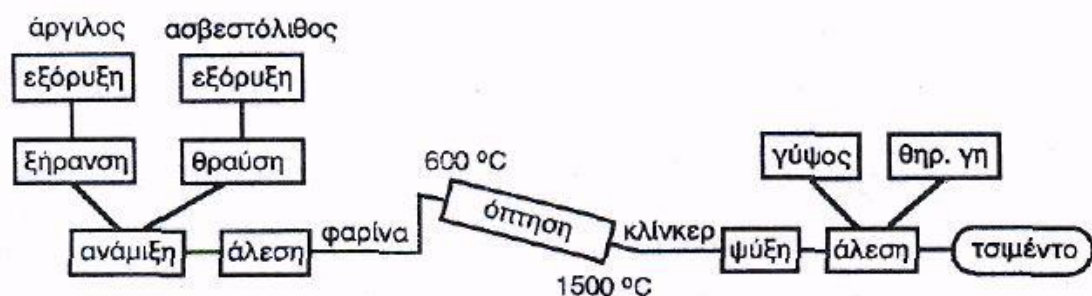
Είναι γνωστό ότι το τσιμέντο αποτελεί από αρχαιοτάτων χρόνων εξαιρετη κονία με εξαιρετικές ιδιότητες (Τριανταφύλλου, 2013). Το τσιμέντο που, χρησιμοποιείται για την παρασκευή του σκυροδέματος, είναι βιομηχανικό κοκκώδες υλικό με υδραυλικές ιδιότητες και σήμερα αποτελεί το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο υλικό στη δομική βιομηχανία. Ανήκει στην κατηγορία των υδραυλικών υλικών, τα οποία σε λεπτόκοκκο

διαμερισμό είναι ικανά να πήζουν και να σκληραίνουν, μετά από ανάμειξη με νερό, δίνοντας ένα στερεό προϊόν. Η ανάμειξη του τσιμέντου με το νερό δίνει αρχικά ένα πολτό (πάστα), πλαστικό και κατεργάσιμο, ο οποίος διατηρεί αυτά τα χαρακτηριστικά για μια χρονική περίοδο. Στο τέλος αυτής της περιόδου, ο πολτός παρόλο που είναι ακόμα μαλακός δεν είναι πια κατεργάσιμος (αρχικό πήξιμο). Ακολουθεί μια περίοδος που ο πολτός πήζει και εμφανίζεται σαν ένα δύσκαμπτο στερεό (τελικό πήξιμο), που είναι γνωστό σαν σκληρυνόμενος τσιμεντοπολτός, ο οποίος με την πάροδο του χρόνου συνεχίζει να σκληραίνει και να αναπτύσσει αντοχές (σκλήρυνση). Χρησιμοποιείται ευρύτατα σήμερα σε πολλές πρακτικές εφαρμογές, εκτός από την βιομηχανοποιημένη διαδικασία παραγωγής σκυροδέματος, καθώς εκτός από υψηλή υδραυλικότητα συνδυάζει και υψηλές αντοχές (Παπαμίχος & Χαραλαμπάκης, 2006).

1.3.2 Παραγωγή

Το τσιμέντο είναι βιομηχανικό προϊόν που παρασκευάζεται από τη επεξεργασία ασβεστόλιθου και αργίλου. Η σειρά των εργασιών από την εξόρυξη των πρώτων υλών ως το τελικό προϊόν είναι ορίζεται στο σχήμα που ακολουθεί (σχήμα 1.1):

- i. Εξόρυξη ασβεστολιθικών πετρωμάτων και αργιλικών εδαφών. Επεξεργασία των πετρωμάτων από σπαστήρες, ώστε να γίνει τεμαχισμός σε μικρότερης διαμέτρου υλικών τα οποία είναι μόλις μερικών εκατοστών.
- ii. Ακολουθεί η ανάμειξη των δύο υλικών.
- iii. Άλεση σε τριβεία, για να αποκτήσουν διάμετρο λίγων χιλιοστών. Το προϊόν που παράγεται είναι λεπτόκοκκο μείγμα ασβεστολιθικής και αργιλικής άμμου και αποθηκεύεται σε σιλό.
- iv. Στη συνέχεια γίνεται εισαγωγή στο επάνω άκρο της κυλινδρικής καμίνου, η οποία περιστρέφεται αργά αξονικά. Παράγεται θερμότητα από καυστήρα πετρελαίου στο κάτω άκρο της. Η θερμοκρασία μέσα στην κάμινο στο επάνω άκρο είναι περίπου 600 °C και φτάνει τους 1500 °C στο κάτω άκρο, από όπου εξάγονται και τα προϊόντα. Τα προϊόντα της όπτησης ονομάζονται εκβολάδες ή διεθνώς klinker. Η διάμετρος τους είναι λίγων εκατοστών, έχουν χρώμα μαυροπράσινο και αποτελούντα πετρώματα του τσιμέντου.
- v. Τα προϊόντα αυτά επεξεργάζονται και αποκτούν τη μορφή του τσιμέντου που όλοι γνωρίζουμε. Το υλικό αυτό, όπως προκύπτει από την άλεση των klinker, χωρίς καμιά προσθήκη ονομάζεται “τσιμέντο Πόρτλαντ”.



Σχήμα 1.1 Σχηματικό διάγραμμα παρασκευής του τσιμέντου Portland.

1.3.3 Κατάταξη με βάση τις ιδιότητες του

Το τσιμέντο κατατάσσεται σε κατηγορίες ανάλογα με τις ιδιότητες του. Η αντοχή σε θλίψη και η ταχύτητα πήξης αποτελούν δύο βασικά κριτήρια για την κατάταξη των τσιμέντων (Τρέζος et al, 1994).

Με βάση την ταχύτητα πήξης διακρίνονται:

- Τσιμέντα ταχείας πήξης ή αργιλικά. Είναι πλουσιότερα σε οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3) και η πήξη συμπληρώνεται σε διάστημα μικρότερο της μισής ώρας
- Συνήθη τσιμέντα, ο χρόνο πήξης κυμαίνεται μεταξύ 6-8 ωρών.
- Τσιμέντα βραδείας πήξης ή πυριτικά, η πήξη αρχίζει μετά τις 8 ώρες. Είναι πλουσιότερα σε οξείδιο του πυριτίου (SiO_2).

Με βάση την αντοχή σε θλίψη τα τσιμέντα κατατάσσονται:

- Κοινό τσιμέντο. Η αντοχή σε θλίψη του δοκιμίου είναι τουλάχιστον 275 kg/cm^2
- Τσιμέντο υψηλής αντοχής. Η αντοχή σε θλίψη του δοκιμίου είναι τουλάχιστον 400 kg/cm^2
- Τσιμέντο ειδικής παραγγελίας υψηλής αντοχής. Η αντοχή των τσιμέντων αυτών καθορίζεται με ειδική παραγγελία.

1.3.4 Τύποι τσιμέντου

Κάθε χώρα παρασκευάζει τσιμέντο, χρησιμοποιώντας τις διαθέσιμες πηγές πρώτων υλών της. Με βάση τη διαθεσιμότητα των υλικών αλλά και τις απαιτήσεις των εφαρμογών, δημιουργήθηκαν οι διάφοροι τύποι τσιμέντων που παράγονται παγκοσμίως, όπως καθαρό τσιμέντο, τσιμέντο με ποζολάνη, ιπτάμενη τέφρα, σκωρία υψικαμίνου, ασβεστόλιθο, πυριτική παιπάλη κλπ. Προβλέπονται συνολικά 27 τύποι τσιμέντων τα οποία όμως δεν παράγονται ή δεν κυκλοφορούν κατ' ανάγκη σε κάθε χώρα μέλος, λόγω των ιδιαιτεροτήτων που προαναφέρθηκαν. Δεν είχαν περιληφθεί μέχρι σήμερα τσιμέντα ανθεκτικά στα θειικά (για τα οποία παρέμενε σε ισχύ το ΠΔ 244/80), τα οποία όμως προστέθηκαν στην τελευταία αναθεώρηση του Προτύπου

του 2011 σε 7 συνολικά τύπους. Το πρότυπο EN 197-1 προδιαγράφει σε γενική μορφή τους εξής τύπους τσιμέντου:

ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
CEM I	Τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM II	Σύνθετο Τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM III	Σκωριοτσιμέντο
CEM IV	Ποζολανικό Τσιμέντο
CEM V	Σύνθετο Τσιμέντο

Πίνακας 1.2 Βασικοί τύποι τσιμέντου.

- i. Τσιμέντο Τύπου I (CEM I), Πόρτλαντ :
Ονομάζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από την ανάμιξη γύψου και Κλίνκερ.
- ii. Τσιμέντο Τύπου II (CEM II), Σύνθετα τσιμέντα Πόρτλαντ:
Ονομάζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από την ανάμιξη γύψου Κλίνκερ – Πόρτλαντ και ποζολάνης, φυσικής ή τεχνητής προέλευσης σε ποσοστό από 6-35%.
- iii. Τσιμέντο Τύπου III (CEM III), Σκωριοτσιμέντα:
Ονομάζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από την ανάμιξη γύψου, Κλίνκερ και σκωρίας σε ποσοστό από 36-95% κατά μέγιστο.
- iv. Τσιμέντο Τύπου IV (CEM IV), Ποζολανικά τσιμέντα:
Ονομάζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από τη ανάμιξη γύψου, Κλίνκερ - Πόρτλαντ, ποζολάνης, ιπτάμενη τέφρα ασβεστούχα ή πυριτική και πυριτική παιπάλη και δεν περιέχει σκωρία.
- v. Τσιμέντο Τύπου V (CEM V), Σύνθετα τσιμέντα:
Ονομάζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από την ανάμιξη γύψου, Κλίνκερ, σκωρίας και σε ίσο ποσοστό ποζολάνης ή πυριτική ιπτάμενη τέφρα σε ποσοστά από 36-50% κατά μέγιστο και δεν περιέχει πυριτική παιπάλη.

1.3.5 Κατηγορίες αντοχής τσιμέντων

Η ανάπτυξη αντοχής ενός τσιμέντου δεν καθορίζεται μόνο από τη σύνθεση αλλά και από την λεπτότητα λείανσης , χωρισμένη σε κατηγορίες (32,5 - 42,5 - 52,5). Αυτή η ταξινόμηση πραγματοποιείται βάσει δοκιμής μετά από 28 ημέρες. Οι αριθμοί

παραστώνουν την αντοχή των τσιμέντων σε MPa όπως προσδιορίζεται συμβατικά σύμφωνα με τον κανονισμό. Έτσι, ένα τσιμέντο: I /32,5 σημαίνει ότι είναι τύπου I και συμβατικής αντοχής 32,5 MPa. Ένα λεπτόκοκκο τσιμέντο έχει γρηγορότερο ρυθμό αύξησης της αντοχής από ένα χονδροαλεσμένο τσιμέντο. Θεωρητικά οι τύποι των τσιμέντων θα ήταν 9. Οι παραγόμενοι όμως τύποι είναι λιγότεροι γιατί είτε δεν είναι όλοι οι συνδυασμοί πρακτικά εφικτοί, είτε δεν είναι απαραίτητοι στην πράξη. Το είδος και το ποσοστό των συστατικών του τσιμέντου, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή, σύμφωνα με το πρότυπο, καθορίζουν τους τύπους και τα 27 προϊόντα τσιμέντου που αναλυτικά αναφέρονται στον Πίνακα 1.3 που ακολουθεί. Επίσης προδιαγράφονται και 6 κατηγορίες αντοχών, στις οποίες κατατάσσονται τα τσιμέντα, ανάλογα με την αντοχή σε θλίψη τσιμεντοκονιάματος, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 196-1. Κάθε κατηγορία ορίζεται από ένα κατώτερο και ένα ανώτερο όριο αντοχής. Το κατώτερο όριο αντοχής των 28 ημερών χαρακτηρίζει την συγκεκριμένη κατηγορία. Κάθε μία από τις παραπάνω περιλαμβάνει δύο υποκατηγορίες ανάλογα με τον χρόνο ανάπτυξης της αντοχής : Κανονική (N) ή Ταχεία (R). Η κλάση 32.5 ενδείκνυται για εφαρμογές όπου δεν απαιτείται υψηλή αρχική αντοχή, σε μέσες θερμοκρασίες περιβάλλοντος (10 - 15 ° C) και με κατασκευές τυπικού πάχους (<50 cm). Τα τσιμέντα με τάση αντοχής 42,5 χρησιμοποιούνται κυρίως σε περίπτωση που η απαιτούμενη αντοχή σε θλίψη από σκυρόδεμα στις 28 ημέρες πρέπει να υπερβαίνει τα 30 N / mm² (δηλαδή υψηλότερη από την κλάση C25 / 30 σύμφωνα με το NBN B 15-001). Αυτά τα τσιμέντα είναι επίσης κατάλληλα για χρήση σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η κλάση 52.5 χρησιμοποιείται για εφαρμογές όπου απαιτείται ακόμη υψηλότερη αρχική αντοχή από την κλάση 42.5. Π.χ. για την ταχεία απογύμνωση προκατασκευασμένων στοιχείων.

Κύριοι τύποι	Ονομασία των 27 προϊόντων (τύποι κοινών τσιμεντών)		Σύνθεση (επι της % κατά μάζα) ^{α)}										Δευτερεύοντα συστατικά			
			Κόρια συστατικά													
			Κλίνκερ Κ	Σκωρία υψικα- μίνου S	Πυριτική παιπάλη β) D	Ποζολάνη		Ιπτάμενες τέφρες		Ψημένος σχιστόλιθος T	Ασβεστό- λιθος					
Φυσική P	Φυσική ψημένη Q	Πυρι- κή V				Ασβε- στούγος W	L	LL								
CEM I	Τσιμέντο Πόρτλαντ	CEM I	95-100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
CEM II	Τσιμέντο Πόρτλαντ με Σκωρία Υψικαμίνων	CEM II/A-S	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
		CEM II/B-S	65-79	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
	Τσιμέντο Πόρτλαντ με πυριτική παιπάλη	CEM II/A-D	90-94	—	6-10	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
		Τσιμέντο Πόρτλαντ με ποζολάνη	CEM II/A-P	80-94	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	0-5	
	CEM II/B-P		65-79	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
	CEM II/A-Q		80-94	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	0-5		
	CEM II/B-Q		65-79	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	0-5		
	Τσιμέντο Πόρτλαντ με ιπτάμενη τέφρα	CEM II/A-V	80-94	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	0-5		
		CEM II/B-V	65-79	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	0-5		
		CEM II/A-W	80-94	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	0-5		
		CEM II/B-W	65-79	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	0-5		
	Τσιμέντο Πόρτλαντ με ψημένο σχιστόλιθο	CEM II/A-T	80-94	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	0-5		
		CEM II/B-T	65-79	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	0-5		
	Τσιμέντο Πόρτλαντ με ασβεστόλιθο	CEM II/A-L	80-94	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	0-5		
		CEM II/B-L	65-79	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	0-5		
		CEM II/A-LL	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	0-5		
		CEM II/B-LL	65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	0-5		
	Τσιμέντο Πόρτλαντ- σύνθετο ^{γ)}	CEM II/A-M	80-94	<-----6-20----->										0-5		
CEM II/B-M		65-79	<-----21-35----->										0-5			
CEM III	Σκωριοτσιμέντο	CEM III/A	35-64	36-65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
		CEM III/B	20-34	66-80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
		CEM III/C	5-19	81-95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
CEM IV	Ποζολανικό τσιμέντο ^{γ)}	CEM IV/A	65-89	-	<-----11-35----->										0-5	
		CEM IV/B	45-64	-	<-----36-55----->										0-5	
CEM V	Σύνθετο τσιμέντο ^{γ)}	CEM V/A	40-64	18-30	—	<-----18-30----->										0-5
		CEM V/B	20-39	31-50	—	<-----31-50----->										0-5

α) Οι τιμές του πίνακα αναφέρονται στο σύνολο των κυρίων και δευτερευόντων συστατικών
β) Το ποσοστό της πυριτικής παιπάλης περιορίζεται στο 10%
γ) Στα τσιμέντα Πόρτλαντ-σύνθετα CEM II/A-M και CEM II/B-M, στα ποζολανικά τσιμέντα CEM IV/A και CEM IV/B και στα σύνθετα τσιμέντα CEM V/A και CEM V/B τα κόρια συστατικά δέξι του κλίνκερ πρέπει να δηλώνονται στην ονομασία του τσιμέντου (για παράδειγμα βλ. κεφάλαιο 8).

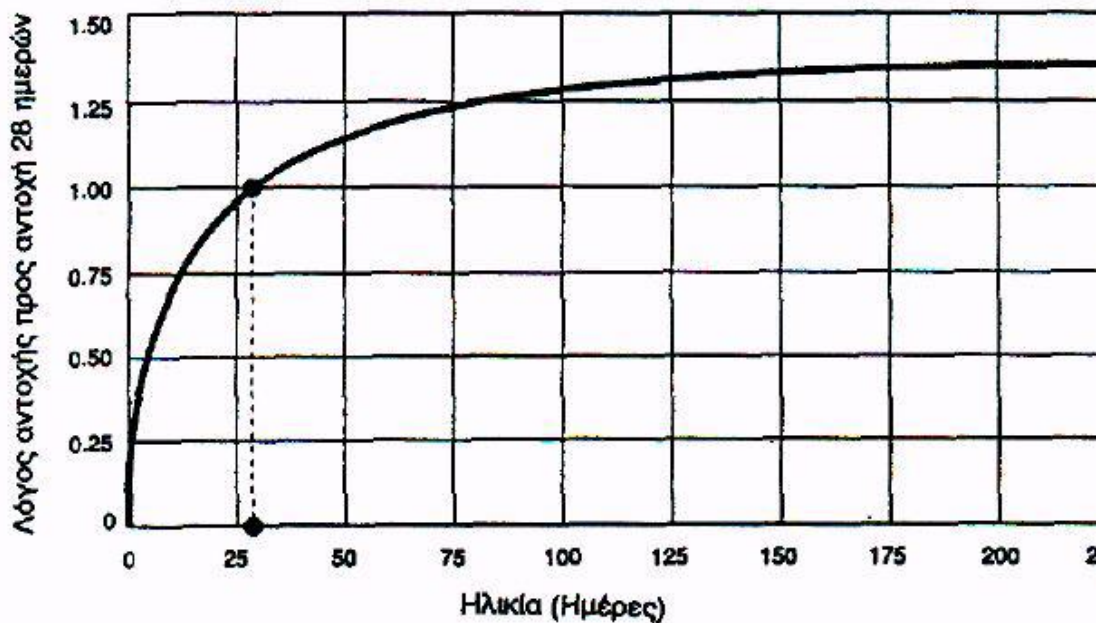
Πίνακας 1.3 Αναλυτικός πίνακας των τύπων τσιμέντου

Κατηγορία	Αντοχή στη θλίψη			Αρχικός χρόνος	Διόγκωση
Αντοχής	MPa			πήξης	(Διαστολή)
	Αρχική Αντοχή		Τυπική αντοχή	Min	Mm
	2 ημέρες	7 ημέρες	28 ημέρες		
32,5 N	-	≥ 16.0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75
32,5 R	≥ 10.0	-			
42,5 N	≥ 10.0	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≤ 10
42,5 R	≥ 20.0	-			
52,5 N	≥ 20.0	-	≥ 52,5	-	
52,5 R	≥ 30.0	-			

Πίνακας 1.4 Απαιτήσεις μηχανικές και φυσικές οριζόμενες ως χαρακτηριστικές τιμές

1.3.6 Ενυδάτωση του τσιμέντου

Κατά το αρχικό στάδιο της ενυδάτωσης, οι μητρικές ενώσεις διαλύονται και η διάλυση των χημικών τους δεσμών δημιουργεί σημαντική ποσότητα θερμότητας. Η πήξη και η σκλήρυνση του σκυροδέματος οφείλονται στη χημική δράση μεταξύ νερού και τσιμέντου. Τα συστατικά του τσιμέντου ενσωματώνονται με το νερό ακολουθώντας μια σειρά χημικών αντιδράσεων. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ενυδάτωση του τσιμέντου (Τσίμας & Τσιβιλής, 2010). Κατά την ανάμειξη του τσιμέντου με το νερό δημιουργείται η τσιμεντοκονία. Το μείγμα δεν φαίνεται να παρουσιάζει κάποια μεταβολή για ένα αρχικό χρονικό διάστημα. Αυτή η ήρεμη ή αδρανής περίοδος είναι εξαιρετικά σημαντική για την τοποθέτηση σκυροδέματος. Μετά την αδρανή περίοδο το τσιμέντο αρχίζει να σκληραίνει μέχρι να στερεοποιηθεί τελείως. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται πήξη της τσιμεντοκονίας και οι στιγμές αλλαγής της φυσικής κατάστασης του μείγματος ονομάζονται αρχή και τέλος της πήξης. Το χρονικό διάστημα μέχρι την αρχή της πήξης, ο τσιμεντοπολτός είναι εύπλαστος και μπορεί να υποβληθεί σε οποιαδήποτε μορφή κατεργασίας και μεταφοράς. Γι αυτό και βάσει κανονισμού ορίζεται ότι η αρχή της πήξης δεν πρέπει να εμφανίζεται σε λιγότερο από μία ώρα από τη στιγμή ανάμειξης δύο υλικών και το τέλος πήξης πιο γρήγορα από 8 ώρες. Όσον αφορά την περίπτωση του σκυροδέματος, ο χρόνος ως την αρχή της πήξης γίνεται δύο έως τέσσερις φορές μεγαλύτερος.



Διάγραμμα 1.1 Ανάπτυξη της αντοχής του τσιμεντοπολτού με το χρόνο.

1.3.7 Πρόσμικτα υλικά του τσιμέντου

1.3.7.1 Ποζολάνες

Η ονομασία προήλθε από περιοχή της Ιταλίας (Pozzuoli), όπου το έδαφος της περιοχής παρουσίαζε υδραυλικές ιδιότητες. Οι Ρωμαίοι της περιοχής χρησιμοποιούσαν γαίες στα κονιάματα τους. Σήμερα ποζολάνες ονομάζουμε υλικά με βάση το πυριτικό άλας που αντιδρούν με το υδροξείδιο του ασβεστίου που παράγεται από το ενυδατικό τσιμέντο για να σχηματίσουν τσιμεντοειδή υλικά. Έχουν την ικανότητα να ενώνονται με την υδράσβεστο $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και να σχηματίζουν ένυδρες ασβεστοπυριτικές ενώσεις που κατά την διάρκεια της ένωσης σκληρύνονται και αποκτούν μικρές ή μεγαλύτερες αντοχές. Η δράση αυτή οφείλεται στο άμορφο πυριτικό υλικό των ποζολανών. Το υδροξείδιο του ασβεστίου (ασβέστης) αντιπροσωπεύει έως και 25% του ενυδατωμένου τσιμέντου Portland και ο ασβέστης δεν συμβάλλει στην αντοχή του σκυροδέματος. Οι ποζολάνες συνδυάζονται με τον ασβέστη για να παράγουν επιπλέον ένυδρο πυριτικό ασβέστιο, το υλικό που είναι υπεύθυνο για τη συγκράτηση του σκυροδέματος. Με την κατανάλωση του υπερβολικού ασβέστη η αντοχή του σκυροδέματος και η πυκνότητα του αυξάνεται. Συνήθως οι ποζολάνες χρησιμοποιούνται ως αντικαταστάσεις τσιμέντου και όχι ως προσθήκες τσιμέντου. Η προσθήκη ποζολάνων σε ένα υπάρχον μείγμα σκυροδέματος χωρίς αφαίρεση ισοδύναμης ποσότητας τσιμέντου αυξάνει την περιεκτικότητα σε πάστα και μειώνει την αναλογία νερού / τσιμέντου. Με άλλα λόγια, η προσθήκη περισσότερων ποζολάνων σε ένα μείγμα αλλάζει τις αναλογίες του

μείγματος. Η αντικατάσταση μέρους του τσιμέντου με ποζολάνες διατηρεί τις αναλογίες του μίγματος. Ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων, τη χημική σύνθεση και τη δοσολογία, διαφορετικές ποζολάνες θα επηρεάσουν την αντοχή του σκυροδέματος διαφορετικά και σε διαφορετικούς χρόνους κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης.

Μια ποζολάνη για να χρησιμοποιηθεί στην παρασκευή τσιμέντων τύπου II ή III πρέπει να ικανοποιεί τις δοκιμές που προβλέπει ο Κανονισμός και να παρουσιάζει συμβατική αντοχή τουλάχιστον 5 MPa. Στην Ελλάδα υπάρχουν ηφαιστιογενείς γαίες με ποζολανικές ιδιότητες σε πολλές περιοχές.

1.3.7.2 Ιπτάμενη τέφρα

Η ιπτάμενη τέφρα γνωστή και ως κονιοποιημένη τέφρα καυσίμου, είναι το προϊόν που λαμβάνεται με ηλεκτροστατικά και μηχανικά μέσα από καυσαέρια καμίνων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής που καίγονται με κονιοποιημένο άνθρακα. Η ομοιότητα της ιπτάμενης τέφρας με τις φυσικές ποζολάνες ηφαιστειακής προέλευσης έχει ενθαρρύνει τη χρήση της σε συνδυασμό με το τσιμέντο Portland στην κατασκευή του σκυροδέματος. Αποτελείται από ετερογενείς συνδυασμούς υαλώδους και κρυσταλλικής φάσης. Ωστόσο, υπάρχουν μεγάλες περιοχές στις ποσότητες των τριών κύριων συστατικών. Η δραστηριότητα των τεφρών λοιπών οφείλεται στη μεγάλη περιεκτικότητα σε SiO_2 , Al_2O_3 και CaO . Οι δύο πρώτες ενώσεις προσδίδουν στην τέφρα ποζολανικές ιδιότητες ενώ το οξείδιο του Ca υδραυλικές ιδιότητες. Το άθροισμα των τριών συστατικών που μόλις αναφέρθηκε απαιτείται μόνο να είναι μεγαλύτερο από 50%. Είναι γενικά αποδεκτό ότι, στην ποζολανική αντίδραση της ιπτάμενης τέφρας, το CaO που παράγεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου αντιδρά με τις φάσεις πυριτικού και αργιλικού άλατος για την παραγωγή ένυδρου πυριτικού ασβεστίου και αργιλίου. Η ποζολανική του δράση αποδίδεται στην παρουσία SiO_2 και Al_2O_3 σε άμορφη μορφή. Λόγω της ποζολανικής αντίδρασης, η ιπτάμενη τέφρα μπορεί να επηρεάσει επωφελώς διάφορες ιδιότητες του σκυροδέματος. Στην Ελλάδα ιπτάμενη τέφρα παράγεται στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς της Δ.Ε.Η. στην Πτολεμαΐδα και στη Μεγαλόπολη.

1.3.7.3 Ερυθρά ιλύς

Η ερυθρά ιλύς είναι επικίνδυνα απόβλητα που παράγονται στη μεταλλευτική βιομηχανία και αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα απόρριψης καθώς είναι εξαιρετικά αλκαλική αποτελούμενη κυρίως από οξείδιο του σιδήρου. Υπάρχουν κάποιες απόπειρες παραγωγής τούβλου, κεραμικών προϊόντων όπως πλακιδίων, υαλοπινάκων, πάνελ από πολυμερή ερυθρά ιλύς ως υποκατάστατο ξύλου, τσιμέντου

πλούσιου σε σίδηρο κ.λπ., για μερικό υποκατάστατο, αλλά κανένα από αυτά δεν αποδείχθηκε οικονομικά ικανοποιητικό. Με τη χρήση ερυθράς ιλύς ως μερική αντικατάσταση του τσιμέντου, το σκυρόδεμα επιτυγχάνει μεγαλύτερη αντοχή από το συνηθισμένο. Λόγω της περιεκτικότητας σε οξειδίου του αργιλίου και του οξειδίου του σιδήρου στην ερυθρά ιλύ προκαλεί ισχυρότερη συγκόλληση στο σκυρόδεμα ενώ προσθέτει σε ορισμένα ποσοστά. Έχουν πραγματοποιηθεί πολλά πειράματα για την εύρεση της βέλτιστης χρήσης της ερυθράς ιλύς ως μερική αντικατάσταση του τσιμέντου στην παραγωγή σκυροδέματος. Αυτό συμβαίνει καθώς είναι ένα υλικό μη φιλικό προς το περιβάλλον το οποίο είναι πολύ δύσκολο να αποθηκευθεί ή να απορριφθεί αλλά και για προστασία από τη μόλυνση των υπόγειων υδάτων. Η χρησιμοποίηση της ερυθράς ιλύς στην παραγωγή σκυροδέματος έχει θετικά αποτελέσματα καθώς :

- I. η χρήση αυτού του μη φιλικού προς το περιβάλλον υλικού σε σκυρόδεμα όχι μόνο προσθέτει αντοχή στο σκυρόδεμα αλλά και μειώνει τη συσσώρευση αυτού του επικίνδυνου υλικού όταν καταναλώνεται
- II. η αντικατάσταση τσιμέντου μειώνεται και ως εκ τούτου το κόστος μειώνεται τελικά από το ποσοστό αντικατάστασης
- III. η προσθήκη ενυδατωμένου ασβέστη θα δημιουργήσει περισσότερη αντοχή από το συνηθισμένο που μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένα επίπεδα αντικατάστασης χωρίς να χάσει την αρχική του αντοχή
- IV. η πρόσφατη διαδικασία διαχωρισμού αλουμινίου μειώνει τη χρήση καυστικής σόδας και ως εκ τούτου το πλύσιμο της κόκκινης λάσπης για τη μείωση του επιπέδου pH είναι ευκολότερο

1.3.7.4 Χρησιμοποίηση σκωρίας

Το τσιμέντο σκωρίας είναι ένα υδραυλικό τσιμέντο που σχηματίζεται όταν η κοκκοποιημένη σκωρία υψικαμίνου αλέθεται σε κατάλληλη λεπτότητα και χρησιμοποιείται για την αντικατάσταση ενός τμήματος τσιμέντου Πόρτλαντ. Είναι ένα ανακτημένο βιομηχανικό υποπροϊόν ενός υψικαμίνου σιδήρου. Η λιωμένη σκωρία που εκτρέπεται από την υψικάμινο ψύχεται γρήγορα, παράγοντας υαλώδεις κόκκους που αποδίδουν τα επιθυμητά αντιδραστικά τσιμεντοειδή χαρακτηριστικά όταν αλέθονται σε λεπτότητα τσιμέντου. Μόλις η σκωρία κρυώσει και αλεστεί σε ωφέλιμη λεπτότητα, αποθηκεύεται και αποστέλλεται σε προμηθευτές. Το τσιμέντο σκωρίας χρησιμοποιείται συνήθως σε έτοιμο σκυρόδεμα, προκατασκευασμένο σκυρόδεμα, τοιχοποιία, τσιμέντο εδάφους και σε δομικά προϊόντα ανθεκτικά σε υψηλή θερμοκρασία.

Ο συγκεκριμένος τύπος τσιμέντου έχει ενσωματωθεί σε έργα σκυροδέματος για πάνω από έναν αιώνα για τη βελτίωση της αντοχής και τη μείωση του κόστους κύκλου ζωής. Μεταξύ των μετρήσιμων πλεονεκτημάτων του στο σκυρόδεμα είναι η καλύτερη εργασιμότητα και τελειότητα, υψηλότερες αντοχές σε θλίψη και κάμψη και βελτιωμένη αντοχή σε επιθετικές χημικές ουσίες. Για παράδειγμα, η προσθήκη σκωρίας τσιμέντου συνήθως οδηγεί σε μειωμένη ανάγκη για νερό, γρηγορότερο χρόνο ρύθμισης, βελτιωμένη ικανότητα αντλήσεως και φινιρίσματος, υψηλότερη αντοχή 28 ημερών, χαμηλότερη διαπερατότητα, αντίσταση σε προσβολή θεικών

1.4 Το νερό

1.4.1 Γενικά

Το νερό είναι ένα από τα κυριότερα συστατικά του σκυροδέματος. Το νερό ανάμιξης που χρησιμοποιείται στην παραγωγή σκυροδέματος πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN 1008. Πρέπει να είναι πόσιμο, καθαρό και να μην περιέχει βλαπτικές ουσίες (οργανικά ή ανόργανα στερεά, θειικά άλατα, οξέα) σε μεγάλο ποσοστό καθώς μπορούν να βλάψουν τόσο την ποιότητα του παραγόμενου σκυροδέματος όσο και να προκαλέσουν σημαντική διάβρωση του οπλισμού (Γεωργόπουλος,2000). Ο Κ.Τ.Σ.2016 προβλέπει την χρήση θαλασσινού νερού για την παραγωγή εργοταξιακού άοπλου σκυροδέματος, με τις προϋποθέσεις ότι αυτό δεν έρχεται σε επαφή με οπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς διαχωριστική μεμβράνη ή άλλα μέσα διαχωρισμού και ότι η περιεκτικότητα των χλωριόντων στο σκυρόδεμα δεν υπερβαίνει τη μέγιστη τιμή για την κατηγορία περιεκτικότητας σε χλωριόντα, που καθορίζεται στην προδιαγραφή του σκυροδέματος.

1.4.2 Λόγος τσιμέντου-νερού

Η ποσότητα νερού στο σκυρόδεμα ελέγχει τις νωπές και σκληρυμένες ιδιότητες στο σκυρόδεμα, συμπεριλαμβανομένης της εργασιμότητας, των αντοχών σε θλίψη, της διαπερατότητας, της στεγανότητας, της αντοχής λόγω καιρικών φαινομένων και της πιθανότητας ρωγμών. Για αυτούς τους λόγους, ο περιορισμός και ο έλεγχος της ποσότητας νερού σε σκυρόδεμα είναι σημαντικός τόσο για την κατασκευή όσο και για τη διάρκεια ζωής. Ο λόγος της ποσότητας νερού, μείον την ποσότητα νερού που απορροφάται από τα αδρανή, προς την ποσότητα τσιμεντοειδών υλικών κατά βάρος στο παραγόμενο σκυρόδεμα ονομάζεται λόγος νερού προς τσιμέντο και συνήθως αναφέρεται ως λόγος n/t. Ο λόγος n/t χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει την ποσότητα νερού, εξαιρουμένης της απορρόφησης από τα αδρανή, στην ποσότητα του τσιμέντου portland κατά βάρος σε σκυρόδεμα. Επειδή τα περισσότερα σκυροδέματα σήμερα περιέχουν συμπληρωματικά τσιμεντοειδή υλικά όπως ιπτάμενη

τέφρα, σκωρία σκυροδέματος, κλπ. Κατά τη σκλήρυνση, η πάστα ή η κόλλα που αποτελείται από τσιμεντοειδή υλικά και νερό συνδέει τα αδρανή μαζί. Η σκλήρυνση συμβαίνει λόγω της χημικής αντίδρασης, που ονομάζεται ενυδάτωση, μεταξύ των τσιμεντοειδών υλικών και του νερού. Προφανώς, η αύξηση της αναλογίας της ποσότητας νερού στην πάστα αραιώνει ή εξασθενεί την σκληρυμένη πάστα και μειώνει την αντοχή του σκυροδέματος. Η αντοχή του σκυροδέματος αυξάνεται καθώς μειώνεται η αναλογία n/t μειώνεται. Η μείωση της αναλογίας n/t βελτιώνει επίσης άλλες ιδιότητες σκληρυμένου σκυροδέματος αυξάνοντας την πυκνότητα της πάστας που μειώνει τη διαπερατότητα και αυξάνει τη στεγανότητα, βελτιώνει την ανθεκτικότητα και την αντοχή σε κύκλους ψύξης-απόψυξης, χειμερινή κλιμάκωση και χημική επίθεση.

1.5 Κατηγορίες πρόσθετων υλικών

Στο μείγμα μπορούν να προστεθούν ορισμένες χημικές ουσίες που λέγονται “πρόσθετα”, με σκοπό να βελτιώσουν, μέσω χημικών αντιδράσεων, ορισμένες ιδιότητες του σκυροδέματος.

Οι κατηγορίες των πρόσθετων αυτών υλικών, είναι:

- Αερακτικά, που αναπτύσσουν στη μάζα του σκληρυμένου σκυροδέματος μικροσκοπικές φυσαλίδες που έχουν ως στόχο την αύξηση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος σε συνεχόμενες θερμοκρασιακές μεταβολές.
- Επιταχυντικά πήξης, που από το όνομα τους βοηθούν το σκυροδέμα να πάρει την τελική του μορφή πιο γρήγορα και χρησιμοποιείται για σκυροδέτηση πχ σε χαμηλές θερμοκρασίες.
- Επιβραδυντικά πήξης, όπου η χρησιμότητά τους είναι η ακριβώς αντίθετη από την προηγούμενη κατηγορία δηλαδή η καθυστέρηση απόκτησης της τελικής μορφής του μείγματος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκυροδέτηση σε πολύ ζεστό καιρό για την αποφυγή εμφάνισης ριγματώσεων.
- Ρευστοποιητικά ή υπερρευστοποιητικά πρόσθετα, για την αύξηση της ρευστότητας του νωπού σκυροδέματος και κατ επέκταση της εργασιμότητας. Είναι απαραίτητη η χρήση τους σε σκυροδέματα υψηλής ποιότητας, καθώς λόγω του μειωμένου συντελεστή n/t περιέχουν λιγότερο νερό.

1.6 Αδρανή

Αδρανή υλικά ονομάζονται τα λίθινα, φυσικά ή βιομηχανικά υλικά που χρησιμοποιούνται στα τεχνικά έργα είτε με άλλο συγκολλητικό υλικό ή αυτούσια. Ανάλογα με την προέλευση τους χωρίζονται σε φυσικά, συλλεκτικά, τεχνητά ή

ανακυκλωμένα. Η κατανόηση του ρόλου των αδρανών στο σκυρόδεμα είναι θεμελιώδης για την παραγωγή καλού σκυροδέματος καθώς τα αδρανή έχουν τη μεγαλύτερη επιρροή τους στην απόδοση του νωπού σκυροδέματος (Τριανταφύλλου, 1997). Τα αδρανή σχηματίζουν 60 έως 80 τοις εκατό του όγκου του σκυροδέματος. Παρά την ποσότητα των αδρανών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή σκυροδέματος, η επιρροή τους μερικές φορές παραβλέπεται και τα αδρανή θεωρούνται μόνο ως πληρωτικά. Ωστόσο, είναι σημαντικό να εξετάσουμε και να μελετήσουμε όλα τα συστατικά σε συγκεκριμένα μείγματα, συμπεριλαμβανομένων των αδρανών, προκειμένου να αποκτήσουμε μια ολοκληρωμένη κατανόηση της συμπεριφοράς του τελικού προϊόντος. Ως αποτέλεσμα αυτών των εκτιμήσεων, είναι σαφές ότι ο ρόλος των αδρανών είναι ζωτικής σημασίας για την εξασφάλιση ικανοποιητικής απόδοσης μιγμάτων, καθώς διέπουν την ογκομετρική σταθερότητα του σκυροδέματος. Μπορούν επίσης να επηρεάσουν τις παραμορφώσεις που σχετίζονται με την υγρασία. Επιπλέον, τα αδρανή έχουν σημαντική επίδραση στην αντοχή του σκυροδέματος παρέχοντας ακαμψία στο υλικό που διέπει την αντίσταση στα εφαρμοζόμενα φορτία και τις ανεπιθύμητες παραμορφώσεις.

1.6.1 Προέλευση και κατηγορίες αδρανών

Γενικά τα αδρανή (πήραν αυτή την ονομασία γιατί από χημική άποψη είναι αδρανή ως προς το τσιμέντο) προέρχονται από φυσικούς πόρους ή με συλλογή από ποτάμια, ρέματα κλπ (φυσικά ή συλλεκτά) ή από θραύση πετρωμάτων προερχόμενα από λατομεία (θραυστά). Οι περισσότερες από τις ιδιότητες ενός αδρανούς προέρχονται από τη χημική και μεταλλική σύνθεση του πετρώματος από τα οποία έχουν προέλθει που επηρεάζει την αντοχή, την ακαμψία, την πυκνότητα, τη δομή των πόρων και τη διαπερατότητα. Οι βράχοι βιώνουν γεωθερμικές και καιρικές διεργασίες που μπορούν να παράγουν κοκκώδη υλικά με τη μορφή φυσικών χαλικιών και άμμων, αυτοί οι τύποι αδρανών μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή σκυροδέματος χωρίς καμία τροποποίηση ή πρόσθετες διαδικασίες. Από την άλλη πλευρά, θραυστά αδρανή, που ορίζονται ως κοκκώδη υλικά που παράγονται από ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η ανατίναξη, η σύνθλιψη και ούτω καθεξής, έχουν σκληρότερη επιφάνεια και πιο γωνιακά σχήματα σε σύγκριση με τη φυσική άμμο. Υπό αυτήν την έννοια, τα αδρανή μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες: φυσικά και θρυμματισμένα. Όσον αφορά την προέλευση, οι βράχοι ταξινομούνται γενικά ως πυριγενείς, ιζηματογενείς ή μεταμορφωμένοι με βάση το πώς σχηματίστηκαν οι βράχοι για μεγάλες χρονικές περιόδους γεωλογικού χρόνου. Όλοι οι βράχοι δημιουργούνται ως πυριγενείς πέτρες, οι οποίοι σχηματίζονται μέσω ψύξης και στερεοποίησης λειωμένων υλικών που βρίσκονται κάτω από τον φλοιό της

γης. Εάν η στερεοποίηση πραγματοποιηθεί αργά, οι βράχοι ονομάζονται ως δεισδυτικοί βράχοι (χονδροειδείς έως μεσαίοι κόκκοι) και σε περίπτωση που το λειωμένο υλικό έχει την τάση να ανεβαίνει προς την επιφάνεια και να κρυσταλλώσει πιο γρήγορα θα σχηματιστούν εξωθητικά πετρώματα (λεπτόκοκκα). Τα ιζηματογενή πετρώματα σχηματίζονται με χημική και μηχανική διάσπαση των προϋπάρχοντων πετρωμάτων σε μια διαδικασία εναπόθεσης και κωνιοποίησης των υλικών. Η πολυεπίπεδη δομή του σχηματισμού σωματιδίων μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητα σχήματα και νιφάδες κόκκους στην περίπτωση συσσωματωμάτων που συνθλίβονται από τέτοιους βράχους. Τέλος, οι μεταμορφικοί βράχοι αποτελούνται από προϋπάρχοντα πυριγενή ή ιζηματογενή πετρώματα όταν ο αρχικός βράχος υπόκειται σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία συνήθως σε μεγάλο βάθος. Ο υδροθερμικός μεταμορφισμός μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την ανασύσταση των ορυκτών σε αυτά τα πετρώματα, γεγονός που τα καθιστά λιγότερο ανθεκτικά και λιγότερο σταθερά σε ορισμένες περιπτώσεις, για παράδειγμα το σχηματισμό αλκαλικών αντιδραστικών πυριτικών αλάτων. Μεταμορφικά πετρώματα όπως ο χαλαζίτης συμβάλλει σημαντικά στην παραγωγή σκυροδέματος. Για τα κοινά σκυροδέματα και τις ελληνικές συνθήκες, τα καλύτερα αδρανή προέρχονται από ασβεστολιθικά ή πυριτικά πετρώματα.

Τα αδρανή υλικά χωρίζονται με βάση:

i. Την προέλευση

Ανάλογα με την προέλευσή τους χωρίζονται σε φυσικά, συλλεκτά, τεχνητά ή ανακυκλωμένα.

- Φυσικής προέλευσης (συλλεκτά ή θραυστά υλικά)
Η εξόρυξή τους γίνεται από λατομεία με τη θραύση βράχων. Τα συνηθέστερα είναι η άμμος (άμμος σπαστός), η αμμοκωνία (άμμος θαλάσσης), το χαλίκι κτλ.
- Τεχνητά ή Βιομηχανικά
Είναι τα αδρανή υλικά που προέρχονται από ραδιενεργά απόβλητα. Τα ραδιενεργά απόβλητα από αντιδραστήρες επεξεργάζονται και το υλικό μετατρέπεται σε αδρανές.
- Ανακυκλωμένα
Ανακυκλωμένα είναι τα αδρανή που η προέλευσή τους βασίζεται κυρίως από κατεδαφίσεις κτιρίων ή άλλων κατασκευών.

ii. Την πηγή λήψης

- Φυσικά ή Συλλεκτικά αδρανή

Συλλεκτά ονομάζονται αυτά που η συλλογή τους γίνεται χωρίς να χρειαστεί η θραύση πετρωμάτων. Συνηθέστερος τόπος συλλογής τέτοιων τριμμάτων είναι τα ποτάμια.

- Αδρανή Λατομείων

Το πέτρωμα αποσπάται και υπόκειται σε επεξεργασία.

iii. Το μέγεθος των κόκκων

Οι κόκκοι μπορεί να ποικίλουν ανάλογα με τον τρόπο που έχουν προκύψει τα αδρανή. Οι στρογγυλοί ή κυβόμορφοι κόκκοι είναι καλύτεροι από πλευράς εργασιμότητας ενώ οι κόκκοι με ανώμαλη επιφάνεια από πλευράς μηχανικής αντοχής. Μπορούμε να χαρακτηρίσουμε καλύτερα τα θραυστά αδρανή με κόκκους που δεν είναι επιμήκεις και πλακοειδείς. Ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

Κατηγορία αδρανών	Μέγεθος κόκκων
α) Άμμος	0 - 4 mm
β) Γαρμπίλι - Χαλίκι	4-31,5mm

Πίνακας 1.5 Κατάταξη αδρανών με βάση το μέγεθος του κόκκου.

Ο διαχωρισμός τους γίνεται με κόσκινα.

- άμμος. Μέγεθος κόκκων από 0,00mm μέχρι 4,00mm.
- σκύρα. Μέγεθος κόκκων από 4,00mm μέχρι 31, mm.

1.6.2 Φυσικές απαιτήσεις των αδρανών

Τα χαρακτηριστικά των μητρικών πετρωμάτων από τα οποία προέκυψαν τα αδρανή είναι η μεγάλη μηχανική αντοχή, η ανθεκτικότητα στο χρόνο, η μικρή επιφανειακή φθορά σε κρούση, η χημική αδράνεια σε σχέση με το τσιμέντο και το νερό και η σταθερότητα όγκου (π.χ. να μην διογκώνεται λόγω απορρόφησης νερού) για την ικανοποιητική αντοχή του σκυροδέματος. Ωστόσο στο Κ.Τ.Σ 2016 βάσει του προτύπου ΕΛΟΤ EN 12620 δεν αναφέρεται συγκεκριμένη απαιτούμενη αντοχή του μητρικού πετρώματος (βλ. Πίνακα 1.6)

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΕΣ EN 12620	ΚΤΣ 2016
Αντοχή μητρικού πετρώματος MPa	Δεν απαιτείται	Δεν προβλέπεται
Los Angeles L.A. %	LA(15-50)	LA ≤ 40 ειδικότερα για ΧΜ1, ΧΜ2, ΧΜ3 ≤ 22
Υγεία MS %	MS ₍₁₈₋₃₅₎	MS ≤ 25% για την κατηγορία ΧF1 MS ≤ 18% για τις κατηγορίες ΧF2, ΧF3, ΧF4
Δείκτης πλακοειδούς FI %	FI ₍₁₅₋₅₀₎	FI ≤ 35
Παιπάλη (για θραυστή άμμο 0/4)	f ₍₃₋₂₂₎	f ₁₆
Παιπάλη (για φυσικά αδρανή 0/8)	f ₍₃₋₁₆₎	f ₃
Ισοδύναμο άμμου SE (0/4)	Δηλούμενη τιμή	SE ₄ ≥ 60 όταν πρόκειται για θραυστή άμμο SE ₄ > 70 όταν πρόκειται για συλλέκτη άμμο
Μπλε μεθυλενίου MB	Δηλούμενη τιμή	MB ≤ 1.0

Πίνακας 1.6 Όρια ιδιοτήτων αδρανών βάσει ΚΤΣ 2016

1.6.3 Αποθήκευση των αδρανών

Με βάση των ΚΤΣ 2016 η αποθήκευση των αδρανών πρέπει να γίνεται κατά τρόπο ώστε:

- α) να μην υπάρχει διαχωρισμός των κόκκων των αδρανών
- β) να αποφεύγεται η ανάμιξη διαφορετικών αδρανών
- γ) να αποφεύγεται η ρύπανσή τους από επιβλαβείς προσμίξεις (χώμα, λύματα κ.λπ.).

1.7. Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών

1.7.1 Γενικά

Τα αδρανή αποτελούνται από ένα μείγμα κόκκων διαφορετικού μεγέθους. Η αναλογία τους παίζει σημαντικό ρόλο στη μελέτη σύνθεσης του σκυροδέματος. Μια καλή διαβάθμιση στα αδρανή αφήνει λιγότερα κενά από μια διαβάθμιση που δεν είναι εξίσου καλή. Η μείωση του όγκου των κενών έχει ως αποτέλεσμα και τη μείωση του απαιτούμενου τσιμεντοπολτού, με ότι αποτέλεσμα μπορεί να έχει αυτό και στην μείωση του κόστους του σκυροδέματος. Επιπλέον ιδιότητες όπως η εργασιμότητα και η συνοχή του μείγματος βελτιώνονται με την χρήση καλά διαβαθμισμένων αδρανών.

1.7.2 Κόσκινα και κοκκομετρική διαβάθμιση

Η κοκκομετρική διαβάθμιση καθορίζεται με σειρά πρότυπων κόσκινων. Ο Κ.Τ.Σ. 2016 ορίζει τα κόσκινα αυτά καθώς και τα διερχόμενα ποσοστά από αυτά. Η κοκκομετρική διαβάθμιση πληροί τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN 12620. Ο Κ.Τ.Σ.2016 περιγράφει τα αδρανή που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του σκυροδέματος με το χαρακτηρισμό d/D, που σχετίζεται με το μέγεθος των κόκκων

τους και τον συμβολισμό G_c ή G_F που δηλώνει την κατηγορία κοκκομετρικής διαβάθμισης, για τα χονδρόκοκκα υλικά ή την άμμο αντίστοιχα. Για να γίνει ο χαρακτηρισμός του μεγέθους των διαφόρων κλασμάτων αδρανών υλικών τα κόσκινα που χρησιμοποιούνται, είναι τετραγωνικής οπής, επιλέγονται από τον πίνακα του Κ.Τ.Σ. 2016, και προέρχονται είτε από τη βασική σειρά, είτε από τη βασική σειρά και σειρά 1, είτε από τη βασική σειρά και σειρά 2. Δεν επιτρέπεται συνδυασμός κοσκίνων από τη σειρά 1 και τη σειρά 2

Βασική Σειρά Άνοιγμα κόσκινου (mm)	Βασική Σειρά και Σειρά 1 Άνοιγμα κόσκινου (mm)	Βασική Σειρά και Σειρά 2 Άνοιγμα κόσκινου (mm)
0	0	0
1	1	1
2	2	2
4	4	4
-	5,6(5)	-
-	-	6,3(6)
8	8	8
-	-	10
-	11,2(11)	-
-	-	12,5(12)
-	-	14
16	16	16
-	-	20
-	22,4(22)	-
31,5(32)	31,5(32)	31,5(32)
-	-	40
-	45	-
63	63	63

Πίνακας 1.7 Κόσκινα για το χαρακτηρισμό του μεγέθους των αδρανών υλικών

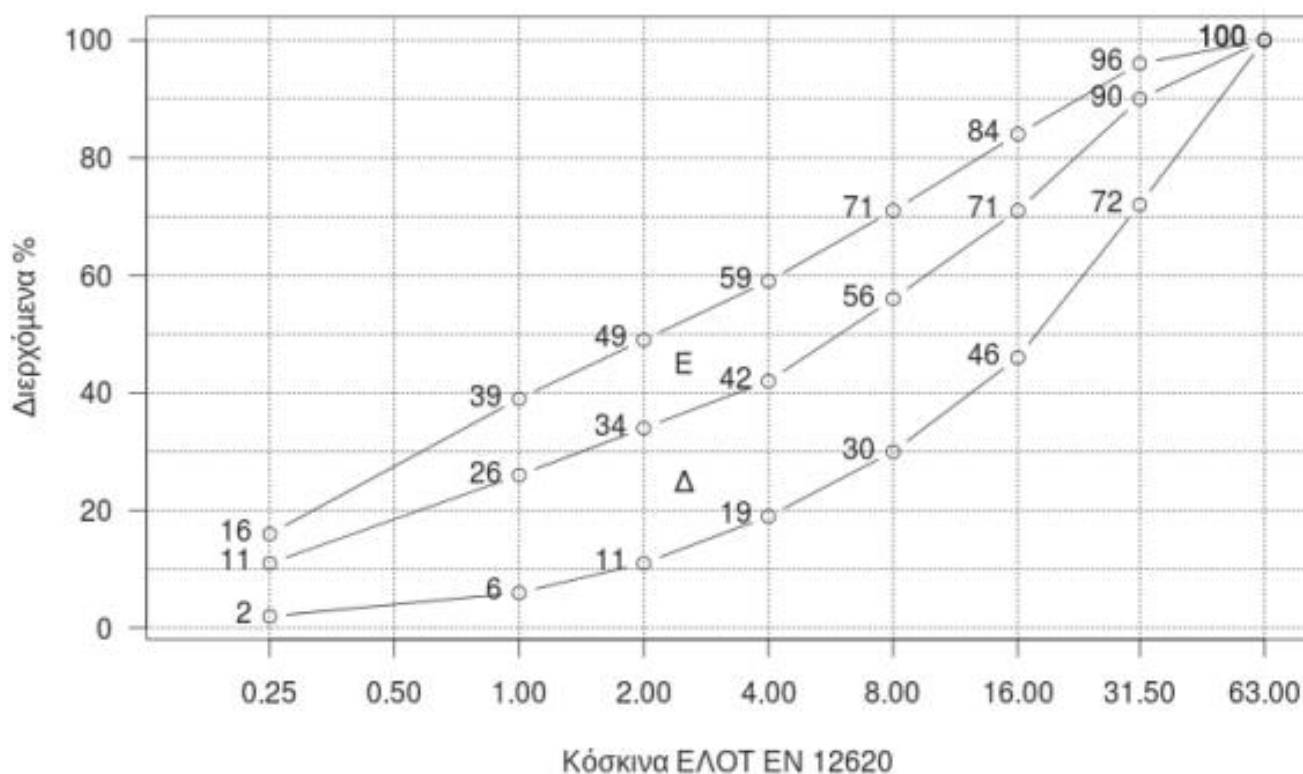
Οι γενικές απαιτήσεις της κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών παρουσιάζονται στον κάτωθι πίνακα:

Αδρανές υλικό	Μέγεθος	Διερχόμενο ποσοστό					Κατηγορία G
		2 D	1.4 D**	D*	D	d/2 **	
Χονδρόκοκκο	$D/d \leq 2$ ή $D \leq 11,2$ mm	100	98-100	85-99(ή100)	0-20	0-5	Gc85/20
	$D/d > 2$ και $D > 11,2$ mm	100	98-100	85-99(ή100)	0-15	0-5	Gc90/15
Λεπτόκοκκο (άμμος)	$D \leq 4$ mm και $d=0$	100	98-100	85-99(ή100)	-	-	GF85

* Όταν το διερχόμενο % ποσοστό από το κόσκινο D είναι μεγαλύτερο από 99% , ο παραγωγός αδρανών υλικών θα δηλώνει την τυπική διαβάθμιση του υλικού περιλαμβάνοντας τα κόσκινα D, d, d/2 και τα κόσκινα της βασικής σειράς και της σειράς 1 ή τα κόσκινα της βασικής σειράς και της σειράς 2, που βρίσκονται μεταξύ d και D. Κόσκινα με λόγο μικρότερο από 1,4 ως προς το επόμενο μικρότερο κόσκινο μπορεί να μη χρησιμοποιηθούν.

** Όπου τα κόσκινα που υπολογίζονται δεν είναι κόσκινα ακριβώς από τη σειρά R20 του προτύπου ISO 565:1990, τότε υιοθετείται το επόμενο πλησιέστερο μέγεθος κόσκινου

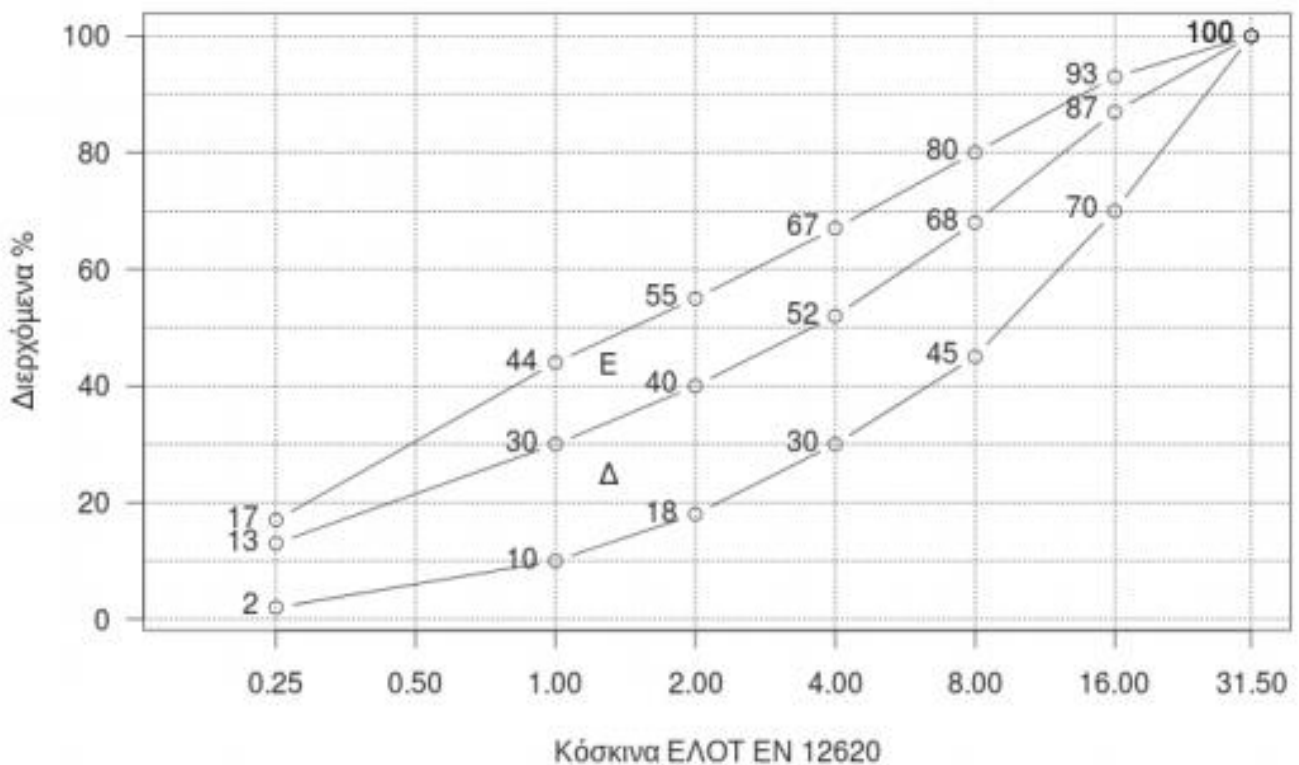
Πίνακας 1.8 Γενικές απαιτήσεις κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών υλικών



Διάγραμμα 1.2 Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 63mm

ΚΟΣΚΙΝΑ		ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΑ (%)	
Όνομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
0,25	250μm	2-11	11-16
1	1mm	6-26	26-39
2	2 mm	11-34	34-49
4	4 mm	19-42	42-59
8	8 mm	30-56	56-71
16	16 mm	46-71	71-84
31.5	31.5 mm	72-90	90-96
63	63 mm	100	100

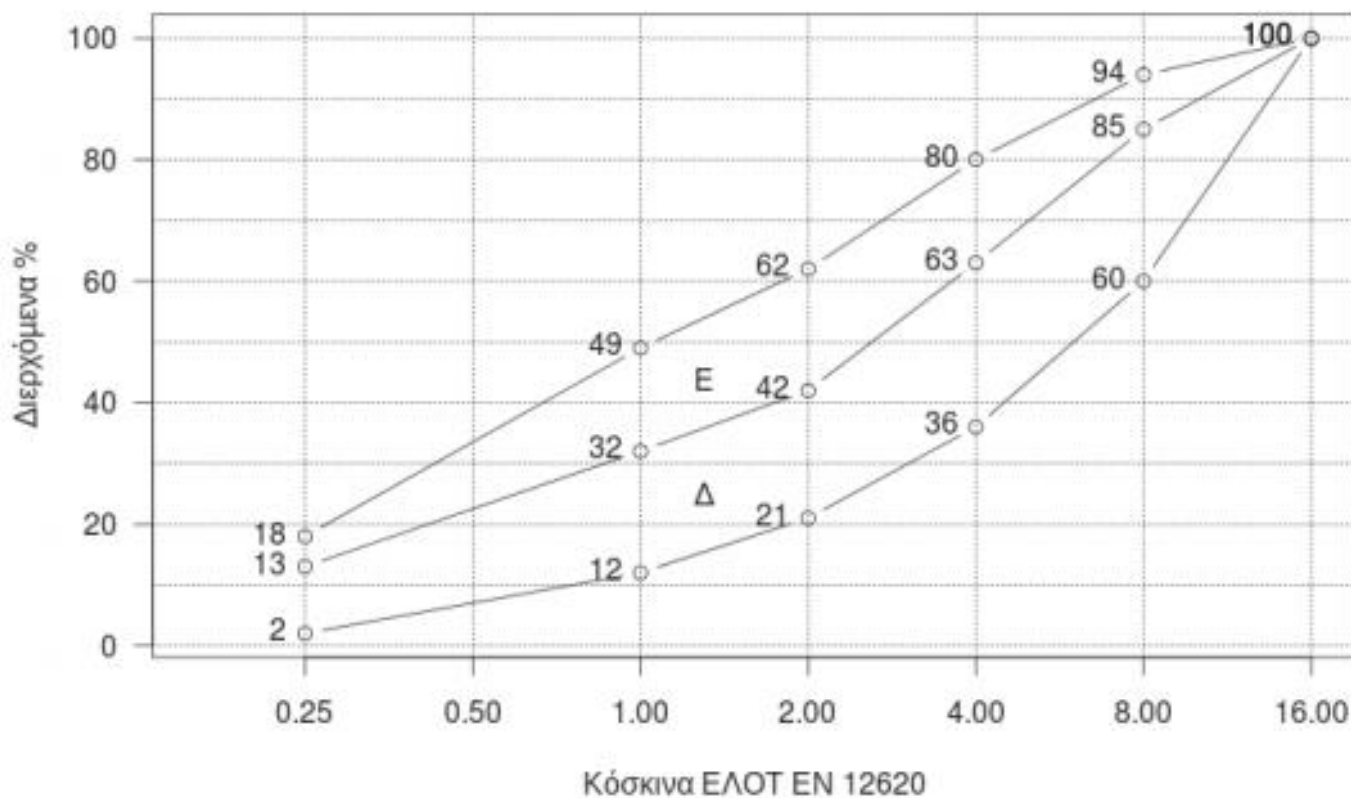
Πίνακας 1.9 Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 63mm



Διάγραμμα 1.3 Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 31,5mm

ΚΟΣΚΙΝΑ		ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΑ (%)	
Όνομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
0,25	250μm	2-13	13-17
1	1 mm	10-30	30-44
2	2 mm	18-40	40-56
4	4 mm	30-52	52-67
8	8 mm	46-68	68-80
16	16 mm	70-87	87-93
31.5	31.5 mm	100	100

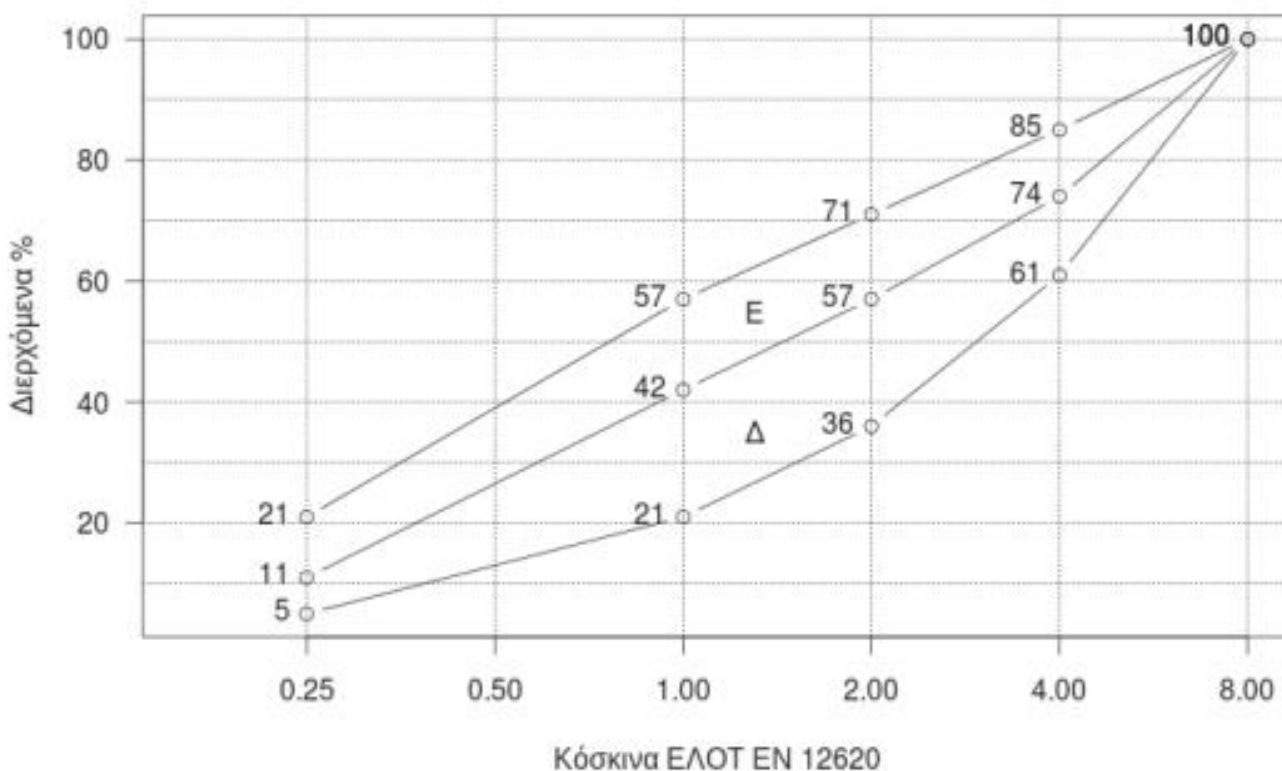
Πίνακας 1.10 Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 31,5mm



Διάγραμμα 1.4 Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 16 mm

ΚΟΣΚΙΝΑ		ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΑ (%)	
Όνομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
0,25	250μm	2-13	13-18
1	1 mm	12-32	32-49
2	2 mm	21-42	42-62
4	4 mm	36-63	63-80
8	8 mm	60-85	85-94
16	16 mm	100	100

Πίνακας 1.11 Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 16 mm



Διάγραμμα 1.5 Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 8 mm

ΚΟΣΚΙΝΑ		ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΑ (%)	
Όνομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
0,25	250μm	2-13	13-17
1	1 mm	10-30	30-44
2	2 mm	18-40	40-56
4	4 mm	30-52	52-67
8	8 mm	46-68	68-80

Πίνακας 1.12 Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 8 mm

1.7.3 Χημικές απαιτήσεις αδρανών

Ο Κ.Τ.Σ 2016 αναφέρει πως υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής οπλισμένου σκυροδέματος από συλλεκτά αδρανή που έχουν προέλευση από την θάλασσα και δεν έχουν πλυθεί, αν η περιεκτικότητά τους σε χλωριόντα δεν υπερβαίνει το 0,04% κατά βάρος και με την δεδομένο ότι η περιεκτικότητα των χλωριόντων στο παραγόμενο σκυρόδεμα δεν υπερβαίνει τη μέγιστη τιμή για την κατηγορία περιεκτικότητας σε χλωριόντα, που καθορίζεται στην προδιαγραφή του σκυροδέματος. Η περιεκτικότητά τους σε θειικά οξέα δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 0,8% όπως και σε ολικό θείο μεγαλύτερη από 1,0%. Υπάρχουν και άλλες απαιτήσεις όσον αφορά τον προσδιορισμό των χημικών και στον πίνακα 1.13 που ακολουθεί φαίνονται και οι μέθοδοι που απαιτούνται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1744-1 για τον προσδιορισμό αυτό όπως άλλωστε ορίζει και ο Κ.Τ.Σ. 2016:

Δοκιμή (% περιεκτικότητα)	Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1744-1
Χλωριόντα	Παράγραφος 7
Θειικά διαλυτά σε οξέα (AS)	Παράγραφος 12
Ολικό θείο (S)	Παράγραφος 11
Τεμαχίδια ελαφρών οργανικών προσμίξεων	Παράγραφος 14.2
Οργανικές ή άλλες προσμίξεις	Παράγραφος 15.1 Παράγραφος 15.2 (εάν απαιτείται) Παράγραφος 15.3 (εάν απαιτείται)
Σάκχαρα ή σακχαρώδη υλικά	Παράγραφος 15.3

Πίνακας 1.13 Μέθοδοι χημικών προσδιορισμών

1.8 Ινοπλισμένο σκυρόδεμα

Το ινοπλισμένο σκυρόδεμα μπορεί να οριστεί ως ένα σύνθετο υλικό που αποτελείται από σκυρόδεμα και ασυνεχείς, διακριτές, ομοιόμορφα ή ανομοιόμορφα καταναμημένες κατάλληλες ίνες. Το ινοπλισμένο σκυρόδεμα είναι διαφορετικών τύπων και ιδιοτήτων με πολλά πλεονεκτήματα καθώς οι ίνες είναι μικρά κομμάτια ενισχυτικού υλικού που έχουν συγκεκριμένες ιδιότητες και μπορούν να είναι κυκλικές ή επίπεδες. Το ινοπλισμένο σκυρόδεμα κατασκευάζεται προσθέτοντας ίνες χάλυβα

στα συστατικά του σκυροδέματος στο μίξερ κατά τη διαδικασία ανάμειξης και στη συνέχεια συμπιέζεται και σκληρύνεται με τις συμβατικές μεθόδους. Οι χαλύβδινες ίνες προστίθενται στο σκυρόδεμα για τη βελτίωση των δομικών ιδιοτήτων, ιδιαίτερα αντοχή σε εφελκυσμό και κάμψη (Θεοδώρου,2013). Η έκταση της βελτίωσης των μηχανικών ιδιοτήτων που επιτυγχάνεται με το ινοπλισμένο σε σχέση με αυτές του απλού σκυροδέματος εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το σχήμα, το μέγεθος, ο όγκος, το ποσοστό και η κατανομή των ινών. Απλές, ευθείες και στρογγυλές ίνες αναπτύσσουν πολύ ασθενή δεσμό και συνεπώς χαμηλή αντοχή σε κάμψη. Για ένα δεδομένο σχήμα ινών, η αντοχή σε κάμψη βρέθηκε να αυξάνεται με την αναλογία διαστάσεων. Παρόλο που υψηλότερες αναλογίες ινών δίνουν αυξημένη αντοχή σε κάμψη, η εργασιμότητα επηρεάζεται δυσμενώς με αυξανόμενες αναλογίες διαστάσεων. Ως εκ τούτου, ο λόγος διαστάσεων περιορίζεται γενικά σε μια βέλτιστη τιμή για την επίτευξη καλής εργασιμότητας και αντοχής.

Επομένως, το ινοπλισμένο σκυρόδεμα είναι ένα ευέλικτο υλικό για την κατασκευή μεγάλων ποικιλιών προκατασκευασμένων προϊόντων όπως τα καλύμματα φρεατίων, στοιχεία πλακών για καταστρώματα γεφυρών, διαδρόμους και επενδύσεις σηράγγων, κλπ.

1.8.1 Επίδραση των ινών στο σκυρόδεμα

Οι ίνες χρησιμοποιούνται συνήθως σε σκυρόδεμα για τον έλεγχο των πλαστικών ρωγμών κατά τη διάρκεια ξήρανσης του μίγματος. Μειώνουν επίσης τη διαπερατότητα του σκυροδέματος και έτσι μειώνουν την εισροή του νερού ενώ ορισμένοι τύποι ινών παράγουν μεγαλύτερη αντοχή στη πρόσκρουση, τη τριβή και τη θραύση του σκυροδέματος. Γενικά, οι ίνες δεν αυξάνουν την αντοχή σε κάμψη του σκυροδέματος, επομένως δεν μπορούν να αντικαταστήσουν την αντοχή στη ροπή ή την κατασκευή από χάλυβα. Η ποσότητα των ινών που προστίθενται σε ένα μείγμα σκυροδέματος μετριέται ως ποσοστό του συνολικού όγκου του σύνθετου που ονομάζεται κλάσμα όγκου και κυμαίνεται συνήθως από 0,1 έως 3%. Ο λόγος διαστάσεων (l/d) υπολογίζεται διαιρώντας το μήκος των ινών (l) με τη διάμετρο του (d). Οι ίνες με μη κυκλική διατομή χρησιμοποιούν ισοδύναμη διάμετρο για τον υπολογισμό του λόγου διαστάσεων. Η επίδραση των ινών στο σκυρόδεμα επιφέρει τα πλεονεκτήματα που ακολουθούν :

- Αυξάνει την αντοχή εφελκυσμού του σκυροδέματος.
- Αυξάνει την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος.
- Οι ίνες όπως ο γραφίτης και το γυαλί έχουν εξαιρετική αντοχή στο ερπυσμό, ενώ το ίδιο δεν ισχύει για τις περισσότερες ρητίνες. Επομένως, ο

προσανατολισμός και ο όγκος των ινών έχουν σημαντική επίδραση στην ερπυστική απόδοση.

- Το ίδιο το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι ένα σύνθετο υλικό, επομένως είναι επιτακτική ανάγκη η συμπεριφορά υπό θερμικές καταπονήσεις για τα δύο υλικά να είναι παρόμοια έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι διαφορικές παραμορφώσεις του σκυροδέματος και των ινών.
- Η προσθήκη μικρών, στενών αποστάσεων και ομοιόμορφα διασκορπισμένων ινών στο σκυρόδεμα ελαχιστοποιεί τις ρωγμές και βελτιώνει ουσιαστικά τις στατικές και δυναμικές του ιδιότητες.

1.8.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τις ιδιότητες του ινοοπλισμένου σκυροδέματος

Το ινοοπλισμένο σκυρόδεμα είναι το σύνθετο υλικό που περιέχει ίνες κατά τρόπο ομαλό ή τυχαία κατανεμημένο και υπάρχουν πολλοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν σημαντικά τις ιδιότητές του (Al Shannag, 2007). Οι παράγοντες αναφέρονται παρακάτω:

- Σχετική ακαμψία σκυροδέματος

Το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος είναι πολύ χαμηλότερο από αυτό της ίνας με αποτέλεσμα την μεταφορά τάσης. Ο χαμηλός συντελεστής ινών όπως τα νάιλον και το πολυπροπυλένιο είναι, ως εκ τούτου, απίθανο να βελτιώσει την αντοχή, αλλά η βοήθεια στην απορρόφηση ενέργειας είναι μεγάλη και συνεπώς, προσδίδει μεγαλύτερο βαθμό ανθεκτικότητας και αντοχής. Οι ίνες υψηλού συντελεστή όπως ο χάλυβας, το γυαλί και ο άνθρακας προσδίδουν αντοχή και ακαμψία στο σύνθετο υλικό.

- Όγκος ινών

Η αντοχή του σύνθετου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποσότητα των ινών που χρησιμοποιούνται σε αυτό. Με την αύξηση του όγκου των ινών, αυξάνεται η αντοχή σε εφελκυσμό και η σκληρότητα του σύνθετου υλικού.

- Αναλογία διαστάσεων της ίνας

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά του σύνθετου είναι ο λόγος διαστάσεων της ίνας ο οποίος προκύπτει από το λόγο του μήκους προς τη διάμετρο. Έχει αναφερθεί ότι μέχρι την αναλογία διαστάσεων 75, η αύξηση στην αναλογία διαστάσεων αυξάνει γραμμικά το τελικό σκυρόδεμα. Πέρα από το 75, η σχετική αντοχή και αντοχή μειώνεται.

➤ Προσανατολισμός των ινών

Οι ίνες που ευθυγραμμίζονται παράλληλα με το εφαρμοζόμενο φορτίο προσφέρουν μεγαλύτερη αντοχή σε εφελκυσμό και αντοχή από τις τυχαία κατανεμημένες ή κάθετες ίνες.

➤ Εργασιμότητα και συμπύκνωση σκυροδέματος

Η ενσωμάτωση χαλύβδινων ινών μειώνει σημαντικά την εργασιμότητα. Αυτή η κατάσταση επηρεάζει αρνητικά την ενοποίηση του νωπού μείγματος ενώ ακόμη και η παρατεταμένη εξωτερική δόνηση δεν συμπιέζει το σκυρόδεμα. Το επίπεδο εργασιμότητας και συμπύκνωσης του μίγματος βελτιώνεται μέσω αυξημένης αναλογίας νερού / τσιμέντου που προβλέπεται από τη μελέτη σύνθεσης.

➤ Ανάμιξη

Η ανάμιξη του ινοπλισμένου σκυροδέματος απαιτεί προσεκτικές συνθήκες για να αποφευχθεί η διόγκωση ινών και ο διαχωρισμός (Στρατουρά,2015). Η περιεκτικότητα σε χαλύβδινες ίνες άνω του 2% κατ' όγκο και η αναλογία διαστάσεων άνω των 100 είναι δύσκολο να αναμειχθούν ενώ είναι σημαντικό οι ίνες να διασκορπίζονται ομοιόμορφα σε όλο το μείγμα.

1.8.3 Διαφορετικοί τύποι ινοπλισμένου σκυροδέματος

Ακολουθούν οι διαφορετικοί τύποι ινών που χρησιμοποιούνται γενικά στις κατασκευαστικές βιομηχανίες

- Ίνες χάλυβα
- Ίνες πολυπροπυλενίου
- Ίνες υάλου
- Ίνες αμιάντου
- Ίνες άνθρακα
- Οργανικές ίνες

Στη παρούσα εργασία (βλ. Κεφ. 4) χρησιμοποιήθηκαν χαλύβδινες ίνες για τον προσδιορισμό της επίδρασης τους στη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος καθώς η ικανότητα των χαλύβδινων ινών να αντιστέκονται στη διάσπαση των ρωγμών εξαρτάται κυρίως από το δεσμό μεταξύ σκυροδέματος και ινών. Το ινοπλισμένο σκυρόδεμα από χάλυβα έχει μεγαλύτερη αντοχή σε σύγκριση με το συμβατικό σκυρόδεμα χωρίς ίνες ακόμη και όταν η εργασιμότητα είναι η ίδια (Behbahani & Nematollahi, 2011).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.1 Γενικά

Για την σωστή και αποτελεσματική λειτουργία μιας κατασκευής σε όλη τη διάρκεια ζωής της καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει η σύνθεση του σκυροδέματος. Η θεωρητική δομή του σκυροδέματος, όπως περιγράφηκε παραπάνω, δεν είναι δυνατόν να συμπίπτει με τη πράξη, όσον αφορά τη δομή και την άριστη σύνθεση του. Αυτό συμβαίνει καθώς στην πράξη θα ήταν αδύνατη η κατανομή των κόκκων στα κενά των αμέσως μεγαλύτερων και η κάλυψη των κενών τους από τον τσιμεντοπολλτό καθώς το σκυρόδεμα θα ήταν δύσκολο να συμπυκνωθεί λόγω της μεγάλης του συνεκτικότητας (Mehta ,1986) . Για τους λόγους αυτούς υπάρχει διαφοροποίηση με τις θεωρητικές αυτές αναλογίες καθώς είναι σημαντικό να επιτευχθούν συγκεκριμένες ιδιότητες οι οποίες προκύπτουν από :

- Τις κατασκευαστικές απαιτήσεις.

Η στατική λειτουργία της κατασκευής καθορίζει την απαιτούμενη αντοχή του υλικού. Οι αποστάσεις μεταξύ των ράβδων οπλισμού σε ένα έργο καθώς και οι διαστάσεις του έργου ή των στοιχείων του έργου καθορίζουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κόκκων των αδρανών υλικών. Εκτός από τις προαναφερθείσες απαιτήσεις υπάρχουν έργα που η χρήση τους απαιτεί επιπρόσθετες όπως:

- Εμφανές σκυρόδεμα (ανεπίχριστο σκυρόδεμα).
- Υδατοστεγανότητα (περίπτωση δεξαμενών νερού).
- Αντοχή σε χημικές επιρροές (δεξαμενές λυμάτων βιολογικού καθαρισμού)

- Τα διαθέσιμα υλικά.

Η μορφή των κόκκων των διαθέσιμων αδρανών υλικών εφόσον παρέχονται σε ομάδες (άμμος, γαρμπίλι, χαλίκι), προσδιορίζουν τη βέλτιστη κοκκομετρική διαβάθμιση που μπορεί να επιτευχθεί από την ανάμειξή τους σε διάφορες αναλογίες. Το σχήμα των κόκκων επηρεάζει την πρόσφυση και το εργάσιμο του υλικού ενώ η υγρασία των αδρανών, το νερό ανάμειξης και η αντοχή των αδρανών, επηρεάζουν την τελική αντοχή του υλικού.

- Τα εργοταξιακά μέσα.

Τα διαθέσιμα μέσα στο εργοτάξιο παρασκευής καθώς και τα μέσα μεταφοράς αλλά και διάστρωσης καθορίζουν την συνεκτικότητα του μίγματος.

- Τις καιρικές ή άλλες συνθήκες.

ί. Οι καιρικές συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία) μπορούν να επηρεάσουν και να είναι αναγκαίες ορισμένες πρόσθετες απαιτήσεις για το νερό ανάμιξης ή για την χρησιμοποίηση πρόσθετων υλικών στο σκυρόδεμα. Οι ζητούμενες ιδιότητες του σκυροδέματος, προσδιορίζουν μια περιοχή διακυμάνσεως των ποσοτήτων των υλικών. Από το άλλο μέρος οι βασικές αρχές που καθοδηγούν την εκλογή της συνθέσεως συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Μικρότερη δυνατή ποσότητα τσιμέντου: οικονομία, μείωση συστολής
- Μεγαλύτερη δυνατή συνεκτικότητα: αύξηση αντοχής
- Μεγαλύτερος δυνατός κόκκος αδρανών: αύξηση αντοχής, ελάττωση κονιάματος.

Η διαφοροποίηση αυτή έχει ως σκοπό την επίτευξη συγκεκριμένων ιδιοτήτων για την πορεία μιας κατασκευής στο χρόνο. Η εργασία αυτή λέγεται μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος. Η εργασία της μελέτης σύνθεσης βασίζεται, όπως φαίνεται από τα παραπάνω, κάποια συγκεκριμένα βήματα :

- Προσδιορισμός δεδομένων
- Προσδιορισμός των απαιτήσεων των υφιστάμενων Κανονισμών
- Εκτίμηση της σύνθεσης
- Δοκιμή

Το σημαντικότερο από τα παραπάνω στάδια είναι η εκτίμηση της σύνθεσης. Μια σωστή εκτίμηση μειώνει κατά πάρα πολύ το χρόνο των δοκιμών αναζήτησης. Η εκτίμηση της κατάλληλης σύνθεσης εμπεριέχει στοιχεία που παρέχονται στους Κανονισμούς και την βιβλιογραφία, παρόλα αυτά η εμπειρία παίζει σημαντικό ρόλο στην εκτίμησή της. Η δοκιμή είναι το τελικό στάδιο το οποίο μπορεί να καθορίσει εάν η μελέτη σύνθεσης ανταποκρίνεται στις ζητούμενες απαιτήσεις.

2.2 Απαιτούμενη αντοχή σχεδιασμού

Η απαιτούμενη αντοχή $f_{ασ}$, όπως αναφέρει ο Κ.Τ.Σ. 2016 υπολογίζεται από στοιχεία τυπικής απόκλισης s που έχουν προκύψει από τουλάχιστον 35 διαδοχικά αποτελέσματα αντοχών σε θλίψη διαφορετικών αναμιγμάτων, που έγιναν σε διάστημα μεγαλύτερο των τριών μηνών με τα ίδια υλικά, τις ίδιες εγκαταστάσεις παραγωγής και για σκυρόδεμα του οποίου η χαρακτηριστική αντοχή δεν διαφέρει περισσότερο από 7 N/mm^2 από εκείνη της υπ' όψη κατηγορίας σκυροδέματος. Είτε πρόκειται για εργοστασιακό σκυρόδεμα είτε για εργοταξιακό σκυρόδεμα η απαιτούμενη αντοχή $f_{ασ}$ δίνεται από τον τύπο:

$$f_{ασ} = f_{ck} + \kappa s$$

όπου κοσυντελεστής που προσδιορίζει τα όρια αντοχής εκτός της απαιτούμενης f_{ck} , τα οποία εξαρτώνται από την πιθανότητα αποδοχής που έχει επιλέξει παραγωγός σύμφωνα με τα κριτήρια ελέγχου (εσωτερικού και εξωτερικού) και τις αντίστοιχες Καμπύλες Λειτουργίας αυτών που ισχύουν για το συγκεκριμένο σκυρόδεμα (εργοστασιακό με ή χωρίς πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής ή εργοταξιακό). Θα πρέπει $k \leq 2$ (καθώς η πιθανότητα να απορριφθεί το σκυρόδεμα θα είναι μεγάλη). Αν τα δοκίμια που χρειάστηκαν για να προκύψει η τιμή της τυπικής απόκλισης είναι μεταξύ 15 και 35 τότε η τιμή αυτή, πριν χρησιμοποιηθεί στον παραπάνω τύπο πρέπει να πολλαπλασιάζεται με τον αντίστοιχο συντελεστή του πίνακα 2.1 που ακολουθεί. Σε περίπτωση που η τιμή της τυπικής απόκλισης (μετά τον πολλαπλασιασμό της με τον αντίστοιχο συντελεστή του πίνακα) είναι μικρότερη από 3 N/mm^2 , τότε στο παραπάνω τύπο πρέπει να εισάγεται τιμή $s = 3 \text{ N/mm}^2$.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΜΟΥ
15	1,19
20	1,11
25	1,06
30	1,03
30 ή περισσότερα	1,00

Πίνακας 2.1 Συντελεστής διόρθωσης της τυπικής απόκλισης

2.3 Στοιχεία μελέτης σύνθεσης

Μια σωστή μελέτη σύνθεσης όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα απαιτεί και εμπειρία. Παρόλα αυτά οι απαιτήσεις του κανονισμού και οι προδιαγραφές των υλικών εξασφαλίζουν τις σωστές ποσότητες και αναλογίες που απαιτούνται για το μίγμα. Οι βασικές απαιτήσεις για το μίγμα είναι :

- η συνεκτικότητα που επιθυμεί ο μελετητής
- η απαιτούμενη αντοχή σχεδιασμού να είναι τουλάχιστον ίση με την μέση αντοχή
- την κατηγορία έκθεσης ανάλογα με τις περιβαλλοντικές δράσεις
- τη μέγιστη ονομαστική διάσταση κόκκου του χονδρότερου κλάσματος των αδρανών
- πιθανές πρόσθετες ιδιότητες που έχει θα προδιαγράψει ο μελετητής
- την κατηγορία περιεκτικότητας σε χλωριόντα σύμφωνα με τον πίνακα 2.2

Χρήση σκυροδέματος	Κατηγορία περιεκτικότητας σε χλωριόντα	Μέγιστη περιεκτικότητα Cl σε ποσοστό της μάζας του τσιμέντου
Σκυρόδεμα που δεν εμπεριέχει χάλυβα οπλισμού ή άλλα ενσωματωμένα μεταλλικά τεμάχια με εξαίρεση ανοξειδωτα συστήματα ανύψωσης	Cl 1,5	1,50%
Σκυρόδεμα που εμπεριέχει χάλυβα οπλισμού ή άλλα ενσωματωμένα μεταλλικά τεμάχια	Cl 0,40	0,40%
Σκυρόδεμα που εμπεριέχει χάλυβα προέντασης	Cl 0,10	0,10%

Πίνακας 2.2 Μέγιστη περιεκτικότητα σκυροδέματος σε χλωριόντα

2.4 Συνεκτικότητα

Η συνεκτικότητα του σκυροδέματος είναι ένα σημαντικό συστατικό της εργασιμότητας και αναφέρεται κατά κάποιο τρόπο στην υγρασία που εμπεριέχεται στο σκυρόδεμα. Ωστόσο, δεν πρέπει να υποτεθεί ότι όσο πιο υγρό είναι ένα μείγμα τόσο πιο λειτουργικό είναι. Εάν ένα μείγμα είναι πολύ υγρό, μπορεί να συμβεί απόμιξη μεταξύ των υλικών που το αποτελούν με αποτέλεσμα την αστοχία του από τη φάση της ανάμιξης. Επίσης και ένα πολύ σφιχτό μείγμα, όπου υπάρχει απουσία σημαντικής ποσότητας υγρασίας, δεν σημαίνει ότι έχει μεγαλύτερη συνεκτικότητα καθώς κατά την διάρκεια της σκυροδέτησης και της ύπαρξης πυκνού σπλισμού μπορεί να δημιουργηθούν φωλιές αφού ένα σφιχτό μείγμα είναι και δύσκολο να δονηθεί (Τάσιος & Αλιγιζάκη, 1993). Η εκτίμηση της συνεκτικότητας μπορεί να εκτιμηθεί έμμεσα από τα αποτελέσματα δοκιμών όπως αναφέρει ο Κ.Τ.Σ. 2016 οι οποίες είναι :

- η δοκιμή κάθισης (ΕΛΟΤ EN 12350.02)
- η δονητική τράπεζα Vebe (ΕΛΟΤ EN 12350.03)
- η συμπυκνωσιμότητας (ΕΛΟΤ EN 12350.04) και
- η εξάπλωση (ΕΛΟΤ EN 12350.05)

Η συνεκτικότητα προδιαγράφεται από τον μελετητή σύμφωνα με τις απαιτήσεις του έργου και δίνεται στη μελέτη σύνθεσης. Πρέπει να βρίσκεται εντός των ορίων των κατηγοριών σύμφωνα με τις κατηγορίες των πινάκων 2.3 έως 2.6 ή σε ειδικές περιπτώσεις ως επιδιωκόμενη τιμή.

Κατηγορία	Ονομασία	Κάθιση, mm
S1	Ελάχιστα Πλαστικό	10 – 40
S2	Μέτρια πλαστικό	50 – 90
S3	Πλαστικό	100 – 150
S4	Πλαστικό	160 – 210
S5	Ρευστό	> 220
Η μετρούμενη κάθιση θα στρογγυλεύεται στα πλησιέστερα 10 mm		

Πίνακας 2.3 Κατηγορίες κάθισης

Κατηγορία	Χρόνος Vebe, sec
V0	≥ 31
V1	30 έως 21
V2	20 έως 11
V3	10 έως 6
V4	5 έως 3

Πίνακας 2.4 Κατηγορίες χρόνου Vebe

Κατηγορία	Βαθμός συμπυκνωσιμότητας
C0	≥ 1,46
C1	1,45 έως 1,26
C2	1,25 έως 1,11
C3	1,10 έως 1,04

Πίνακας 2.5 Κατηγορίες χρόνου Vebe

Κατηγορία	Διάμετρος εξάπλωσης, mm
F1	≤ 340
F2	350 έως 410
F3	420 έως 480
F4	490 έως 550
F5	560 έως 620
F6	≥ 630

Πίνακας 2.6 Κατηγορίες χρόνου Vebe

2.5 Ελάχιστες απαιτήσεις

Η ταξινόμηση του σκυροδέματος γίνεται ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος που εκτίθεται. Ο Κ.Τ.Σ. 2016 με βάση αυτές τις συνθήκες (Πίνακας 2.9) κατατάσσει σε κατηγορίες το σκυρόδεμα με συγκεκριμένες απαιτήσεις ελάχιστης περιεκτικότητας σε τσιμέντο καθώς και το μέγιστο λόγο νερού προς τσιμέντον/τ αυτή φαίνεται στον πίνακα 2.7 παρακάτω όπως ορίζει και ο Κ.Τ.Σ. 2016:

Κατηγορίες έκθεσης

Κατηγορία έκθεσης	Χωρίς κίνδυνο διάβρωσης ή προσβολής	Διάβρωση λόγω ενανθράκωσης						Διάβρωση λόγω χλωριόντων									Προσβολή από ψύξη/απόψυξη				Χημική προσβολή ^δ			Τριβή / Απότριψη		
								Θαλασσινό νερό						Χλωριόντα που δεν προέρχονται από θαλασσινό νερό												
								Τσιμέντα II, III, IV (Εκτός CEM II/B-LL + CEM II/B-L)			Τσιμέντα I (+ CEM II/B-LL + CEM II/B-L)															
Χ0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XFβ	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3			
1	max NT	--	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	0,55	0,55	0,55	0,50	0,55	0,50	0,45	0,50	0,45	0,40	
2	μη κατηγορία αντοχής	C 12/15	C 20/25	C 25/30	C 25/30	C 30/37	C 25/30	C 25/30	C 30/37	C 30/37	C 30/37	C 35/45	C 30/37	C 35/45	C 35/45	C 30/37	C 25/30	C 25/30	C 30/37	C 30/37	C 30/37	C 35/45	C 35/45	C 40/50	C 50/60	
3	μη περιεκτικότητα σε τσιμέντο kg/m ³	--	280	300	300	320	330	330	350	330	330	350	330	330	350	320	300	300	320	320	340	360	320	340	360	
4	μη επικάλυψη για ανθεκτικότητα ^γ mm		25	25	35	35	45	45	50	40	40	50	35	40	50					35	35	35				
5	μη περιεκτικότητα σε αέρα (%)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	4,0 ^α	4,0 ^α	4,0 ^α	--	--	--					
6	Άλλες απαιτήσεις	Σημ.: Άοπλο σκυρόδεμα					Σημ.: Παραθαλασσιο 1,5 km	Σημ.: Μόνιμα μέσα στη θαλασσο	Σημ.: Διαβρεχόμενες ζώνες							Αδρανή σύμφωνα με ΕΛΟΤ EN12620 με ικανοποιητική αντοχή σε παγετό ^δ				Τσιμέντο ανθεκτικό σε θειικά ^δ			LA ≤ 27	LA ≤ 25	LA ≤ 22	

^α Όταν δεν προστίθεται αερακτικό πρόσθετο, η επιπελεστικότητα του σκυροδέματος ελέγχεται με κατάλληλη μέθοδο, σε σύγκριση με σκυρόδεμα του οποίου η αντοχή σε ψύξη/απόψυξη για την αντίστοιχη κατηγορία έκθεσης είναι αποδεδειγμένη..

^β Για αυτή την κατηγορία έκθεσης (XA) ισχύουν και οι παράγραφοι B7.7.5 και B7.7.6 του παρόντος ΚΤΣ. Όταν η ύπαρξη SO₄²⁻ οδηγεί σε κατηγορία XA2 και XA3, τότε είναι απαραίτητη η χρήση τσιμέντου ανθεκτικού σε θειικά σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1

^γ Οι τιμές της επικάλυψης αφορούν οπλισμένο σκυρόδεμα.

^δ Για τα αδρανή υλικά ισχύει και η παράγραφος B1.3.3.3 του παρόντος ΚΤΣ

Πίνακας 2.7 Απαιτήσεις για το σκυρόδεμα ανάλογα με την κατηγορία έκθεσης

Κατηγορία	Περιγραφή περιβάλλοντος	Παραδείγματα
1- Χωρίς κίνδυνο διάβρωσης ή προσβολής		
XO	Για άοπλο σκυρόδεμα χωρίς ενσωματωμένα μεταλλικά στοιχεία. Όλες οι εκθέσεις εκτός από: ψύξη/ απόψυξη, φθορά, χημική προσβολή. Οπλισμένο σκυρόδεμα ή σκυρόδεμα με ενσωματωμένα μεταλλικά στοιχεία. Πολύ ξηρό περιβάλλον	Σκυρόδεμα εσωτερικών χώρων κτιρίων με χαμηλή υγρασία
2- Διάβρωση λόγω ενανθράκωσης Οπλισμένο σκυρόδεμα (ή σκυρόδεμα με ενσωματωμένα μεταλλικά στοιχεία) εκτεθειμένο στον ατμοσφαιρικό αέρα και την υγρασία, κατηγοριοποιείται ως εξής:		
XC1	Ξηρό ή μονίμως υγρό	Σκυρόδεμα εσωτερικών χώρων με χαμηλή ατμοσφαιρική υγρασία. Σκυρόδεμα μονίμως βυθισμένο στο νερό.
XC2	Υγρό, σπάνια ξηρό	Επιφάνεια σκυροδέματος σε μακρόχρονη επαφή με νερό. Πολλές θεμελιώσεις
XC3	Μέτρια υγρασία	Σκυρόδεμα εσωτερικών χώρων με μέτρια ή υψηλή ατμοσφαιρική υγρασία. Εξωτερικό σκυρόδεμα προστατευμένο από τη βροχή.
XC4	Εναλλαγή ξηρού και υγρού	Επιφάνεια σκυροδέματος εκτεθειμένη σε μη συνεχή επαφή με νερό.
3- Διάβρωση από χλωριόντα (εκτός θαλασσινού νερού) Οπλισμένο σκυρόδεμα (ή σκυρόδεμα με ενσωματωμένα μεταλλικά στοιχεία) σε επαφή με νερό (εκτός θαλασσινού) το οποίο περιέχει χλωριόντα, συμπεριλαμβανομένων των αντιπαγετικών αλάτων, κατηγοριοποιείται ως εξής: ΣΗΜΕΙΩΣΗ. Σχετικά με την υγρασία δες την παράγραφο 2 του Πίνακα.		
XD1	Μέτρια υγρασία	Επιφάνειες σκυροδέματος εκτεθειμένες σε χλωριόντα ατμοσφαιρικού αέρα
XD2	Υγρό, σπάνια ξηρό	Πισίνες Σκυρόδεμα εκτεθειμένο σε νερά βιομηχανικής προέλευσης που περιέχουν χλωριόντα
XD3	Εναλλαγή ξηρού και υγρού	Τμήματα γεφυρών που ψεκάζονται με χλωριόντα. Πεζοδρόμια. Πλάκες σε χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων
4- Διάβρωση από χλωριόντα θαλασσινού νερού Οπλισμένο σκυρόδεμα (ή σκυρόδεμα με ενσωματωμένα μεταλλικά στοιχεία) σε επαφή με χλωριόντα θαλασσινού νερού ή με αέρα που μεταφέρει θαλάσσια άλατα.		
XS1	Έκθεση σε αερομεταφερόμενα άλατα αλλά όχι σε επαφή με θαλασσινό νερό	Παράκτιες κατασκευές
XS2	Σκυρόδεμα μονίμως βυθισμένο σε θαλασσινό νερό	Τμήματα λιμενικών έργων
XS3	Εκτεθειμένο σε παλίρροια και διαβροχή	Τμήματα λιμενικών έργων

Πίνακας 2.8 Κατηγορίες Έκθεσης

Κατηγορία	Περιγραφή περιβάλλοντος	Παραδείγματα
5- Προσβολή από ψύξη / απόψυξη με ή χωρίς παρουσία αντιπαγετικών υλικών Υγρό σκυρόδεμα εκτεθειμένο σε προσβολή από κύκλους ψύξης/απόψυξης κατηγοριοποιείται ως εξής:		
XF1	Μέτριος κορεσμός χωρίς παρουσία αντιπαγετικών υλικών	Κατακόρυφες επιφάνειες εκτεθειμένες σε βροχή και παγετό
XF2	Μέτριος κορεσμός με παρουσία αντιπαγετικών υλικών	Κατακόρυφες επιφάνειες έργων οδοποιίας εκτεθειμένες στον παγετό και σε αερομεταφερόμενα αντιπαγετικά υλικά
XF3	Υψηλός κορεσμός χωρίς παρουσία αντιπαγετικών υλικών	Οριζόντιες επιφάνειες εκτεθειμένες σε βροχή και παγετό
XF4	Υψηλός κορεσμός με παρουσία αντιπαγετικών υλικών ή θαλασσινό νερό	Δρόμοι και καταστρώματα γεφυρών εκτεθειμένα σε αντιπαγετικά υλικά Επιφάνειες εκτεθειμένες στον παγετό και σε άμεσο ψεκασμό με αντιπαγετικά υλικά Τμήματα λιμενικών έργων εκτεθειμένα σε διαβροχή και παγετό.
6- Χημική προσβολή Σκυρόδεμα εκτεθειμένο σε προσβολή χημικών ουσιών (Πίνακας 2.8 αυτού του Παραρτήματος) που περιέχονται στο έδαφος ή σε υπόγεια νερά. Το θαλασσινό νερό κατηγοριοποιείται τοπικά σύμφωνα με την γεωγραφική του θέση. ΣΗΜΕΙΩΣΗ. Ειδική μελέτη μπορεί να χρειαστεί για τις ακόλουθες περιπτώσεις προσβολής : – για τιμές εκτός των ορίων του Πίνακα 2.8 – για προσβολή από άλλα επιβλαβή χημικά – για χημικά μολυσμένο έδαφος ή νερό – για υψηλή ταχύτητα νερού σε συνδυασμό με τα χημικά του Πίνακα 2.8.		
XA1	Ελαφρά διαβρωτικό χημικό περιβάλλον, σύμφωνα με τον Πίνακα 2.8	
XA2	Μέτρια διαβρωτικό χημικό περιβάλλον, σύμφωνα με τον Πίνακα 2.8	
XA3	Έντονα διαβρωτικό χημικό περιβάλλον, σύμφωνα με τον Πίνακα 2.8	
7- Τριβή / Απότριψη		
XM1	Μέτρια επιφανειακή φθορά	
XM2	Έντονη επιφανειακή φθορά	
XM3	Ακραία επιφανειακή φθορά	

Πίνακας 2.8 Κατηγορίες Έκθεσης

2.6 Ανάμιξη σκυροδέματος

Για την ανάμιξη του σκυροδέματος ο Κ.Τ.Σ. 2016 αναφέρει τις προδιαγραφές που πρέπει να τηρούν τα αδρανή, το τσιμέντο, τα πρόσθετα, το νερό καθώς και ο αναμικτήρας που χρησιμοποιείται για την Παρασκευή του σκυροδέματος. Είναι απαραίτητο να ακολουθείται η μελέτη σύνθεσης όσον αφορά τις αναλογίες των υλικών. Επίσης απαγορεύεται η χρήση οποιουδήποτε υλικού ή πρόσθετου μετά την

απομάκρυνση του σκυροδέματος από τον αναμικτήρα. Το μόνο που επιτρέπεται είναι η προσθήκη υπερρρευστοποιητή το οποίο όμως έχει συμπεριληφθεί στη μελέτη σύνθεσης. Ορίζονται ακόμα η ακρίβεια της ζύγισης των υλικών και τα όρια τους όπως και η διαπίστευση των ζυγιστηρίων. Όλα τα παραπάνω εξασφαλίζουν την ομοιομορφία του μίγματος η οποία μπορεί να επιτευχθεί από τις απαιτήσεις του πίνακα 2.9. Οι απαιτήσεις αυτές συνήθως ικανοποιούνται από την τήρηση των προδιαγραφών του κατασκευαστή του αναμικτήρα, ως προς την προβλεπόμενη ταχύτητα ανάμιξης αλλά και τον προβλεπόμενο χρόνο ανάμιξης.

α/α	Δοκιμή	Επιτρεπόμενη μέγιστη διαφορά τιμών
1	Πυκνότητα σκυροδέματος	16 kg/m ³
2	Περιεκτικότητα αέρα	1 %
3	Κάθιση: Για μέση τιμή κάθισης 100-150 mm	30 ή 40 mm
4	Περιεκτικότητα χονδρόκοκκων υλικών (4mm)	6 %
5	Μέση αντοχή σκυροδέματος ηλικίας 7 ημερών1 Από κάθε δείγμα λαμβάνονται τουλάχιστον 3 δοκίμια και υπολογίζεται ο μέσος όρος αντοχής τους σε ηλικία 7 ημερών. Επιτρεπόμενη διαφορά από τη μέση τιμή των δύο μέσων όρων	7,5 %

Πίνακας 2.9 Απαιτήσεις ομοιομορφίας σκυροδέματος εντός του αυτού αναμίγματος

Ο προσδιορισμός των παραπάνω ιδιοτήτων θα γίνεται ως εξής:

- ε1) Πυκνότητα σκυροδέματος κατά ΕΛΟΤ EN 12350.06
- ε2) Περιεκτικότητα αέρα κατά ΕΛΟΤ EN 12350.07
- ε3) Κάθιση κατά ΕΛΟΤ EN 12350.02
- ε4) Περιεκτικότητα χονδρόκοκκων υλικών:

Η περιεκτικότητα χονδρόκοκκου αδρανούς x θα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$x = (X/B) \times 100$$

όπου: x = το ποσοστό του χονδρόκοκκου αδρανούς, κατά βάρος, που περιέχεται μέσα στο δείγμα του σκυροδέματος. X (kg) = το βάρος των αδρανών, που συγκρατείται στο κόσκινο 4mm, μετά την έκπλυση όλων των λεπτότερων υλικών του ληφθέντος δείγματος του νωπού σκυροδέματος, βάρους 20kg περίπου. Η ζύγιση εκτελείται όσο τα ως άνω συγκρατούμενα χονδρά αδρανή είναι ακόμη διαποτισμένα αλλά χωρίς επιφανειακό νερό. B (kg) = το βάρος του δείγματος του νωπού σκυροδέματος.

- ε5) Αντοχή σε θλίψη σκυροδέματος κατά EN 12390.03

2.7 Μεταφορά σκυροδέματος

Αφού το μίγμα είναι έτοιμο πρέπει να μεταφερθεί στη τοποθεσία του έργου. Κατά της διάρκεια της μεταφοράς μέχρι τη διάστρωση, το μίγμα πρέπει να προστατεύεται από τη βροχή ή την πρόσμιξή του με ξένα υλικά και δεν πρέπει να χάνει την ομοιογένειά του. Επιπλέον ο χρόνος μεταφοράς του σκυροδέματος δεν πρέπει να ξεπερνά την 1 ώρα και 30 λεπτά, εκτός αν έχει προβλεφθεί στη μελέτη σύνθεσης με κατάλληλη χρήση επιβραδυντικών χημικών προσθέτων, οπότε επιτρέπεται να αυξηθεί σε 2 ώρες. Κατά την παράδοση του σκυροδέματος στο έργο, ο επιβλέπων:

- ελέγχει και υπογράφει το δελτίο αποστολής
- ελέγχει τον χρόνο παράδοσης
- κάνει οπτικό έλεγχο του σκυροδέματος
- διενεργεί τους ελέγχους συνεκτικότητας
- λαμβάνει δοκίμια για τον έλεγχο αντοχής
- συντάσσει το έντυπο παραλαβής σκυροδέματος.

2.8 Διάστρωση σκυροδέματος

Η εκφόρτωση του μίγματος πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στη θέση τελικής διάστρωσης, ώστε να αποφεύγεται η μετακίνηση του σκυροδέματος με κάθε είδους εργαλείο όπως και με το δονητή. Αν η εκφόρτωση για οποιονδήποτε λόγο δεν είναι δυνατόν να γίνει στη θέση διαστρώσεως ή κοντά σε αυτή, θα χρησιμοποιούνται για την ενδιάμεση μεταφορά αντλίες ή άλλα μέσα που δεν προκαλούν απόμιξη. Πριν την έναρξη της διάστρωσης η θέση θα εγκρίνεται από τον επιβλέποντα. Απαγορεύεται η έγχυση του μίγματος από ύψος μεγαλύτερο των 2,5 μέτρων καθώς μπορεί να υπάρξει απόμιξη αυτού. Σ αυτή την περίπτωση είναι αναγκαία η χρησιμοποίηση κατάλληλων σωλήνων. Η διάστρωση θα υλοποιείται με βάση το πρόγραμμα εκτέλεσης του έργου της σκυροδέτησης, το οποίο θα υποβάλλεται στον επιβλέποντα για έγκριση πριν από τη διάστρωση. Η επαλήθευση της συνεκτικότητας του σκυροδέματος γίνεται σύμφωνα με την απαιτούμενη δοκιμή για την αντίστοιχη κατηγορία όπως καθορίζεται στην προδιαγραφή του σκυροδέματος.

Κάθιση			
Επιδιωκόμενη τιμή σε mm	≤ 40	50-90	≥ 100
Ανοχή σε mm	± 10	± 20	± 30
Χρόνος Vebe			
Επιδιωκόμενη τιμή σε sec	≥ 11	10 - 6	≤ 5
Ανοχή σε sec	± 3	± 2	± 1
Βαθμός συμπακνωσιμότητας			
Επιδιωκόμενη τιμή	≥ 1,26	1,25 - 1,11	≤ 1,10
Ανοχή	± 0,13	± 0,11	± 0,08
Διάμετρος εξάπλωσης			
Επιδιωκόμενη τιμή σε mm	όλες οι τιμές		
Ανοχή σε mm	± 40		

Πίνακας 2.10 Ανοχές επιδιωκόμενων τιμών συνεκτικότητας

2.9 Συμπύκνωση σκυροδέματος

Για την καλύτερη δυνατή συμπύκνωση του σκυροδέματος απαιτείται δονητής. Όταν η κάθιση του σκυροδέματος έχει κάθιση μεγαλύτερη από S4 και το πάχος του στοιχείου που διαστρώνεται είναι μικρότερο ή ίσο με 10 cm, τότε, μετά από έγκριση του επιβλέποντα η συμπύκνωση μπορεί να γίνεται με επιφανειακή δόνηση. Το είδος του δονητή και το πλήθος των δονητών που θα χρησιμοποιηθούν εξαρτάται από τη μορφή του στοιχείου που σκυροδετείται την κατηγορία εργασιμότητας του σκυροδέματος και τη διαδικασία διάστρωσης, προδιαγράφεται δε στο πρόγραμμα εκτέλεσης του έργου σκυροδέτησης. Κάθε στρώση πρέπει να διαστρώνεται όσο η προηγούμενη στρώση είναι ακόμα πλαστική, ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία αρμού εργασίας. Κατά τη δόνηση το άκρο του δονητή θα εισχωρεί στην προηγούμενη στρώση κατά 5 cm περίπου. Το μέγιστο βάθος στοιχείου που θα συμπυκνώνεται μόνο με επιφανειακή δόνηση δεν θα υπερβαίνει τα 10 cm. Η συμπύκνωση θεωρείται ικανοποιητική όταν τα αδρανή έχουν καλυφθεί από τη μάζα του σκυροδέματος και δεν είναι ορατά και όταν έχει σταματήσει η εμφάνιση φυσαλίδων. Επαναδόνηση του σκυροδέματος επιτρέπεται μόνο όταν το σκυροδέμα είναι αρκετά πλαστικό, ώστε το δονητικό στέλεχος, όταν ταλαντώνεται, να μπορεί να βυθίζεται στο σκυροδέμα με το δικό του βάρος, δηλαδή χωρίς να πιέζεται από το χειριστή.

2.10 Συντήρηση σκυροδέματος

Η συντήρηση του σκυροδέματος είναι από τις πιο βασικές διαδικασίες για την απόκτηση των υπολογιζόμενων αντοχών του σκυροδέματος και είναι υποχρεωτική για κάθε έργο. Αρχίζει μετά τη διάστρωση του μίγματος και πρέπει να διαρκεί για χρονικό διάστημα που εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν και απαιτήσεις του έργου. Αυτό το χρονικό διάστημα δεν μπορεί να είναι μικρότερο από επτά (7) ημέρες. Αφού γίνει η λήψη τουλάχιστον τριών δοκιμίων από τη σκυροδετούμενη παρτίδα, το χρονικό διάστημα για τη συντήρηση είναι αυτό που απαιτείται, ώστε η ελάχιστη θλιπτική αντοχή από τα τρία δοκίμια έργου να υπερβαίνει το 50% της χαρακτηριστικής αντοχής του σκυροδέματος της παρτίδας αυτής, το οποίο όμως δεν θα είναι μικρότερο από τρεις (3) ημέρες από την έναρξη της συντήρησης. Κατά τη φάση της συντήρησης πρέπει να δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας που θα επιτρέψουν στο σκυροδέμα την καλύτερη συντήρηση του και θα αποτρέψει την εμφάνιση ρηγματώσεων.

Η απαραίτητη υγρασία για τη συντήρηση εξασφαλίζεται με τις εξής μεθόδους:

- ψεκασμός με ειδικά υγρά που σχηματίζουν επιφανειακή μεμβράνη που εφαρμόζονται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή

- επικάλυψη με διαβρεχόμενες λινάτσες
- πλημμύρισμα με λάστιχο ή τεχνητή βροχή
- ψεκασμός, καταιονισμός και παροχή κορεσμένου ατμού σε επιφάνειες που έχουν καλυφθεί με ειδικά πλαστικά φύλλα, που εμποδίζουν την απώλεια ατμού.

Απαγορεύεται η χρήση θαλασσινού νερού για τη συντήρηση. Η χρήση του επιτρέπεται μόνο αν αφορά άοπλο σκυρόδεμα που δεν έρχεται σε επαφή με οπλισμένο και δεν υπάρχουν αισθητικές ή αρχιτεκτονικές απαιτήσεις.

2.11 Μηχανική συμπεριφορά του σκυροδέματος - Προδιαγραφές

2.11.1 Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη

Το ζητούμενο από μια κατασκευή είναι να διατηρεί τη σύνθεση της υπό την επίδραση των εξωτερικών φορτίων. Η απαίτηση αυτή ικανοποιείται όταν το υλικό της κατασκευής έχει ικανοποιητική αντοχή. Οι κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα όπου δεν έχει ρηγματωθεί λόγω εφελκυστικών δυνάμεων, ασκείται περίπου μονοαξονική θλίψη. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή είναι το βασικό χαρακτηριστικό μεγέθους του σκυροδέματος. Η αντοχή είναι ένα μέτρο της ποιότητας του υλικού, γιατί οι περισσότερες ιδιότητες του σκυροδέματος βελτιώνονται αν αυξηθεί η θλιπτική αντοχή, καθώς η μείωση του πορώδους και των κενών του σκυροδέματος βελτιώνονται, όπως ακριβώς και η αντοχή. Η διαδικασία της θραύσης σε μονοαξονική θλίψη είναι η εξής. Πριν τη διαδικασία φόρτισης του σκυροδέματος, υπάρχουν εσωτερικές μικρορωγμές στην επιφάνεια επαφής των αδρανών με τον τσιμεντοπολτό. Αυτές αναπτύσσονται αμέσως μετά την σκλήρυνση, λόγω συστολής ξήρανσης του τσιμεντοπολτού. Όταν ασκηθεί θλιπτική δύναμη στο σκυρόδεμα, οι μικρορωγμές αρχίζουν να μεγαλώνουν μεταξύ των αδρανών και του τσιμεντοπολτού και σε διεύθυνση παράλληλη με αυτή της θλιπτικής δύναμης. Όταν με αύξηση της τάσης μεγαλώσει και το μήκος των μικρορωγμών τότε το δοκίμιο καταρρέει. Η θλιπτική αυτή δύναμη προκαλεί λοιπόν τη θραύση με μορφή πολλαπλών ρωγμών παράλληλων στη διεύθυνση της θλίψης και παράλληλα εμφανίζεται διόγκωση του υλικού. Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα της δοκιμασίας αντοχής σε θλίψη είναι οι εξής:

- Το σχήμα του δοκιμίου
- το μέγεθος του δοκιμίου
- η υγρασία και η θερμοκρασία του δοκιμίου
- η ταχύτητα της φόρτισης
- η ηλικία του δοκιμίου

2.11.2 Συμβατική αντοχή σκυροδέματος.

Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος όπως αναφέρθηκε παραπάνω εξαρτάται από κάποιους παράγοντες. Για το λόγο αυτό οι κανονισμοί ορίζουν τη συμβατική αντοχή βάση σαν βάση για τον έλεγχο της ποιότητας του σκυροδέματος. Αυτή που εκτιμάται δηλαδή με δοκίμια συγκεκριμένης μορφής και διαστάσεων, τα οποία παρασκευάζονται λίγο πριν τη διάστρωση από το σκυρόδεμα που είναι έτοιμο προς διάστρωση, συντηρούνται με καθορισμένο τρόπο, και δοκιμάζονται σε μονοαξονική θλίψη σε συγκεκριμένη ηλικία με αυστηρά τυποποιημένο τρόπο. Σαν συμβατικά δοκίμια ορίζονται τα κυλινδρικά με διαστάσεις ύψους 300 mm και διαμέτρου 150 mm και τα κυβικά πλευράς 150 mm. Το κυλινδρικό δοκίμιο επιλέγεται για δοκιμή αντοχής σε εφελκυσμό και για την μέτρηση της καμπύλης τάσεων-παραμορφώσεων ή του μέτρου ελαστικότητας καθώς τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι πλησιέστερα στην πραγματική αξονική αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη. Τα μειονεκτήματα του συγκεκριμένου δοκιμίου είναι η μικρή επιφάνεια διατομής του, που συνήθως οδηγεί σε μεγάλη διασπορά αποτελεσμάτων και κυρίως η απαίτηση προσαρμογής της πάνω επιφάνειας για την κατανομή του φορτίου θλίψης. Αντίθετα στα κυβικά δοκίμια η θλίψη εφαρμόζεται στις δύο λείες απέναντι πλευρές που προκύπτουν από τη σκυροδέτηση καθώς είναι σε επαφή με τα τοιχώματα της μήτρας, είναι επίπεδες και παράλληλες και δεν χρειάζονται οποιαδήποτε προσαρμογή. Επιπρόσθετα ο κύβος διαστάσεων 150 mm έχει μικρότερο όγκο και βάρος, μετατρέποντας τον πιο εύχρηστο και οικονομικό. Για τους λόγους αυτούς η χρήση του είναι συνηθέστερη.

2.11.3 Κριτήρια συμμορφώσεως

Το σκυρόδεμα που διαστρώνεται σε μια ημέρα αποτελεί μία παρτίδα. Η θλιπτική αντοχή του καθορίζεται από τη θλιπτική αντοχή των δειγμάτων. Ο ελάχιστος αριθμός των δειγμάτων που πρέπει να ληφθούν από κάθε παρτίδα φαίνεται στον πίνακα 2.11 που ακολουθεί:

Μέγεθος παρτίδας	Ελάχιστο πλήθος δειγμάτων (n)
παρτίδα μέχρι 2 φορτία	2
παρτίδα μεταξύ 2 φορτίων και 50 m ³	3
Παρτίδα μεταξύ 50 m ³ και 300 m ³	6
>300 m ³ : η ποσότητα που υπερβαίνει τα 300 m ³ θα χωρίζεται σε παρτίδες των 50 m ³ περίπου	3

Πίνακας 2.11 Ελάχιστο πλήθος δειγμάτων που λαμβάνεται ανά παρτίδα

Όπως αναφέρεται στον Κ.Τ.Σ. 2016 από ένα τυχαίο φορτίο σκυροδέματος θα λαμβάνεται το πολύ ένα δείγμα για τον έλεγχο συμμόρφωσης. Τα στοιχεία του δείγματος θα αναγράφονται στο δελτίο αποστολής, το οποίο θα υπογράφεται από τον παραγωγό ή τον εκπρόσωπό του. Αν η σκυροδέτηση συμπληρώνεται με ένα (1) φορτίο, τότε επιτρέπεται η λήψη μέχρι και δύο δειγμάτων από το ίδιο φορτίο, αλλά κάθε δείγμα θα λαμβάνεται, αφού έχει εκφορτωθεί περίπου 1 m³ σκυροδέματος, μετά τη λήψη του προηγούμενου δείγματος. Το δείγμα, το φορτίο από το οποίο έγινε η δειγματοληψία και η περιοχή του έργου, στην οποία διαστρώθηκε το φορτίο του οχήματος, θα σημειώνονται στο έντυπο παραλαβής σκυροδέματος.

Οι θλιπτικές αντοχές 28 ημερών κάθε δειγματοληψίας “n” δειγμάτων θα πρέπει να ικανοποιούν και τα δύο κριτήρια 1 και 2 του Πίνακα 2.12.

Αν το κριτήριο 2 δεν ικανοποιείται από ένα μόνο δείγμα μιας δειγματοληψίας, τότε η αντοχή του σκυροδέματος του φορτίου από το οποίο έγινε η λήψη του δείγματος υπολογίζεται σαν τον μέσο όρο των αντοχών των τριών (3) πυρήνων διαιρεμένος με το 0,85, θα αντικαθιστά την αντοχή του δείγματος το οποίο προκάλεσε τον επανέλεγχο αυτής της παραγράφου.

Πλήθος δειγμάτων “n” από τον συγκεκριμένο όγκο σκυροδέματος	Κριτήριο 1	Κριτήριο 2
	Μέση τιμή αντοχής σε θλίψη “n” δειγμάτων (f _n) σε MPa	Αντοχή σε θλίψη κάθε δείγματος (f _i) σε MPa
2-3	$f_n \geq f_{ck} + 2$	$f_i \geq f_{ck} - 2,5$
6	$f_n \geq f_{ck} + 3,5$	$f_i \geq f_{ck} - 2,5$

Πίνακας 2.12 Κριτήρια συμμόρφωσης εξωτερικού ελέγχου (ταυτοποίησης) για θλιπτική αντοχή για το εργοστασιακό σκυρόδεμα με πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής

Το σκυρόδεμα που διαστρώνεται σε μια ημέρα αποτελεί μια παρτίδα και αντιπροσωπεύεται από μία δειγματοληψία έξι (6) δοκιμίων που έχουν ληφθεί από ισάριθμα δείγματα όπως ορίζει ο Κ.Τ.Σ. 2016. Αν η ποσότητα σκυροδέματος που διαστρώνεται σε μία ημέρα είναι μεγαλύτερη των 150 m³ τότε θα χωρίζεται σε περίπου ίσες παρτίδες, όχι μεγαλύτερες των 150 m³ και κάθε ξεχωριστή παρτίδα θα αντιπροσωπεύεται από ξεχωριστή δειγματοληψία έξι (6) δοκιμίων. Από ένα τυχαίο φορτίο σκυροδέματος θα λαμβάνεται το πολύ ένα δείγμα για τον έλεγχο συμμόρφωσης. Η λήψη του δείγματος και η ώρα λήψης θα αναγράφονται στο δελτίο αποστολής, το οποίο θα υπογράφεται από τον παραγωγό ή τον εκπρόσωπό του. Αν η σκυροδέτηση συμπληρώνεται με λιγότερα από έξι (6) φορτία, τότε επιτρέπεται η

λήψη περισσότερων δειγμάτων από το ίδιο φορτίο, ούτως ώστε να συμπληρωθεί ο συνολικός αριθμός των έξι (6) δειγμάτων, αλλά κάθε δείγμα θα λαμβάνεται, αφού έχει εκφορτωθεί περίπου 1 m³ σκυροδέματος, μετά τη λήψη του προηγούμενου δείγματος. Το δείγμα, το φορτίο από το οποίο έγινε η δειγματοληψία και η περιοχή του έργου, στην οποία διαστρώθηκε το φορτίο του οχήματος, θα σημειώνονται στο έντυπο παραλαβής σκυροδέματος. Οι αντοχές 28 ημερών κάθε δειγματοληψίας έξι (6) δειγμάτων πρέπει να ικανοποιούν και τα δύο κριτήρια 3 και 4 του Πίνακα 2.13.

Πλήθος δειγμάτων “n” από τον συγκεκριμένο όγκο σκυροδέματος	Κριτήριο 3	Κριτήριο 4
	Μέση τιμή αντοχής σε θλίψη 6 δειγμάτων (f ₆) σε MPa	Αντοχή σε θλίψη κάθε δείγματος (f _i) σε MPa
6	$f_6 \geq f_{ck} + 1,60s_6$	$f_i \geq f_{ck} - 2$

Πίνακας 2.13 Κριτήρια συμμόρφωσης εξωτερικού ελέγχου για θλιπτική αντοχή για το εργοστασιακό σκυρόδεμα χωρίς πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής όπου:

s = Η τυπική απόκλιση της δειγματοληψίας 6 δοκιμών που προκύπτει από τη σχέση:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (f_i - f_6)^2}{5}} \text{ και } s \geq 1,5 \text{ MPa}$$

Για το εργοταξιακό σκυρόδεμα ο Κ.Τ.Σ. 2016 αναφέρει πως οι δειγματοληψίες των τριών πρώτων ημερών διάστρωσης θα αποτελούνται από 12 δείγματα η κάθε μια, οι δε δειγματοληψίες των επόμενων ημερών από 3 δείγματα. Τα δοκίμια θα έχουν συνεχή αρίθμηση. Κάθε δοκίμιο θα παίρνεται από διαφορετικό ανάμιγμα. Εάν το σκυρόδεμα μεταφέρεται στη θέση διάστρωσης με αυτοκίνητα μεταφοράς, τότε κάθε δοκίμιο θα παίρνεται από διαφορετικό αυτοκίνητο. Τα αναμίγματα ή τα αυτοκίνητα από τα οποία θα γίνει δειγματοληψία πρέπει να είναι τυχαία. Στη Σύμβαση του έργου θα προβλέπεται ικανός αριθμός δοκιμών που θα ελέγχονται σε μικρές ηλικίες, ώστε να είναι δυνατόν να προβλέπεται με ικανοποιητική προσέγγιση η αντοχή 28 ημερών. Οι αντοχές των δειγματοληψιών 12 δοκιμών πρέπει να ικανοποιούν τα Κριτήρια συμμόρφωσης 5 και 6 του πίνακα 2.14, οι δε αντοχές των δειγματοληψιών 3 δοκιμών πρέπει να ικανοποιούν ένα τουλάχιστον από τα κριτήρια συμμόρφωσης 7 και 8 του πίνακα 2.15.

Πλήθος δειγμάτων “n” από τον συγκεκριμένο όγκο σκυροδέματος	Κριτήριο 5	Κριτήριο 6
	Μέση τιμή αντοχής σε θλίψη 12 δειγμάτων (f_{12}) σε MPa	Αντοχή σε θλίψη κάθε δείγματος (f_i) σε MPa
12	$f_{12} \geq f_{ck} + 1,57s_{12}$	$f_i \geq f_{ck} - 3$

Πίνακας 2.14 Κριτήρια συμμόρφωσης εξωτερικού ελέγχου για θλιπτική αντοχή για εργοταξιακό σκυρόδεμα τις τρεις πρώτες ημέρες διάστρωσης

όπου:

s_{12} = Η τυπική απόκλιση της δειγματοληψίας που προκύπτει από τη σχέση:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (f_i - f_{12})^2}{11}}$$

Πλήθος δειγμάτων “n” από τον συγκεκριμένο όγκο σκυροδέματος	Κριτήριο 7	Κριτήριο 8
	Μέση τιμή αντοχής σε θλίψη 36 δειγμάτων (f_{36}) σε MPa	Μέση τιμή αντοχής σε θλίψη 3 δειγμάτων f_3 σε MPa
3	$f_{12} \geq f_{ck} + 1,70s_{60}$	$f_3 \geq f_{ck} + 1,83s_{60}$

Πίνακας 2.14 Κριτήρια συμμόρφωσης εξωτερικού ελέγχου για θλιπτική αντοχή για εργοταξιακό σκυρόδεμα μετά την τρίτη ημέρα διάστρωσης

όπου:

f_3 = Μέσος όρος αντοχής 3 συμβατικών δοκιμών της δειγματοληψίας

f_{36} = Μέσος όρος αντοχής των 3 συμβατικών δοκιμών της δειγματοληψίας και των 33 αμέσως προηγούμενων συμβατικών δοκιμών.

S_{60} = Η τυπική απόκλιση της τελευταίας ομάδας 60 δοκιμών ή (αν ακόμη δεν έχει σχηματιστεί η πρώτη ομάδα 60 δοκιμών) η τυπική απόκλιση των δοκιμών που έχουν ήδη συγκεντρωθεί, συμπληρωμένων με τον απαιτούμενο αριθμό των δοκιμών των τελευταίων δοκιμαστικών αναμιγμάτων, ώστε να αποτελέσουν ένα σύνολο 60 δοκιμών. Αν τα δοκίμια των δοκιμαστικών αναμιγμάτων είναι λιγότερα από 24, τότε η τυπική απόκλιση θα υπολογίζεται από τα 36 δοκίμια που έχουν ήδη συγκεντρωθεί και τα δοκίμια όλων των δοκιμαστικών αναμιγμάτων, παρότι ο συνολικός αριθμός των δοκιμών είναι μικρότερος από 60.

2.12 Κανόνες για τη σύνθεση σκυροδεμάτων με ειδικές απαιτήσεις

2.12.1 Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε επιφανειακή φθορά

Σε οδοστρώματα μεγάλης και βαριάς κυκλοφορίας, σε επενδύσεις αγωγών, σηράγγων κλπ, όπου διέρχεται νερό με φερτά υλικά επιβάλλεται η επιφάνεια του σκυροδέματος να έχει αυξημένη αντοχή σε φθορά από κρούσεις και τριβές. Για να επιτευχθεί αυτό, ο Κ.Τ.Σ 2016 περιεκτικότητα σε τσιμέντο τουλάχιστον 320 kg/m^3 έως 360 kg/m^3 και μέγιστο λόγο νερού προς τσιμέντο n/t 0,40 έως 0,50. Η σύνθεση του μίγματος πρέπει να έχει μελετηθεί, έτσι ώστε αυτό να έχει τη μικρότερη εξίδρωση ώστε να ελαχιστοποιηθεί η εξίδρωση, και τέλος η συντήρηση του πρέπει αρχίζει αμέσως μετά τη διάστρωση και να διαρκεί για 14 ημέρες.

2.12.2 Σκυρόδεμα μικρής υδατοπερατότητας

Η διαπερατότητα του σκυροδέματος είναι συνυφασμένη με τον όγκο των τριχοειδών πόρων και των κενών του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού. Για να επιτευχθεί μειωμένη υδατοπερατότητα σε μια κατασκευή όπως υδατόπυργοι, δεξαμενές, τοίχοι και δάπεδα υπογείων που βρίσκονται κάτω από το νερό χρειάζεται καλή συμπίκνωση και ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου: 350 kg με μέγιστο συντελεστή νερού προς τσιμέντο n/t 0,50. Η συντήρηση του σκυροδέματος όπως αναφέρει και ο Κ.Τ.Σ. 2016 αρχίζει αμέσως μετά τη διάστρωση και για όσο χρονικό διάστημα χρειαστεί ώστε να μην εμφανιστούν ρηγματώσεις που οφείλονται σε συστολή ξήρανσης ή θερμοκρασιακές μεταβολές.

2.12.3 Σκυρόδεμα για θαλάσσιες κατασκευές

Το σκυρόδεμα που εκτίθεται σε θαλασσινό νερό διαβρέχεται από διάλυμα αλάτων κυρίως χλωριούχου νατρίου και θειικού μαγνησίου. Η ζημιά στο σκυρόδεμα, εάν συμβεί, συνήθως οφείλεται στη κακή χρήση πρακτικών στην κατασκευή σκυροδέματος και συχνά είναι αποτέλεσμα της διαβροχής και της ξήρανσης, που μπορούν να επηρεάσουν περισσότερο από ότι οι των επιπτώσεις του θαλασσινού νερού στο σκυρόδεμα (Oladapo & Ekanem, 2014). Το θειικό μαγνήσιο μπορεί να προσβάλει τα περισσότερα, αν όχι όλα, συστατικά της σκληρυμένης τσιμεντοκονίας, ειδικά το συστατικό του αργιλίου. Το χλώριο μπορεί να προάγει τη διάβρωση του χάλυβα και των αλκαλίων. Έτσι, το σκυρόδεμα που εκτίθεται στο θαλασσινό νερό θα πρέπει να κατασκευάζεται με τσιμέντο ελεγχόμενης περιεκτικότητας σε αργιλικά άλατα και με μη αντιδραστικά αδρανή υλικά. Ο ενσωματωμένος χάλυβας θα πρέπει

να καλύπτεται καλά από σκυρόδεμα χαμηλής υδατοπερατότητας και πρέπει να ακολουθούνται οι ορθές κατασκευαστικές πρακτικές. Το σκυρόδεμα που βυθίζεται πλήρως και συνεχώς στο νερό, ακόμη και αν το νερό περιέχει διαλυμένα άλατα όπως βρίσκονται στο θαλασσινό νερό, μπορεί γενικά να θεωρηθεί ότι βρίσκεται σε προστατευμένη έκθεση. Η συνεχής βύθιση παρέχει συνήθως ομοιομορφία περιβάλλοντος σε σχέση με τη θερμοκρασία και το περιεχόμενο υγρασίας που εμποδίζει το βυθισμένο σκυρόδεμα να υποστεί επιδείνωση επιδράσεων όπως παγετός, αλλαγή όγκου λόγω διαβροχής και ξήρανσης και διαφορική αλλαγή όγκου λόγω διαφορών περιεχομένου υγρασίας μεταξύ της επιφάνειας και του εσωτερικού. Η συνεχής βύθιση τείνει επίσης να μειώσει την πιθανότητα χημικής αντίδρασης αφαιρώντας τις αλλαγές στον βαθμό κορεσμού ως μηχανισμό για τη ροή μέσα και έξω από το σκυρόδεμα διαλυμάτων που περιέχουν ιόντα ικανά να προσβάλλουν συστατικά του σκυροδέματος και αφήνοντας μόνο κλίσεις συγκέντρωσης ως τα μέσα εισόδου τέτοιων ιόντων. Ο Κ.Τ.Σ. 2016 ορίζει για τη συγκεκριμένη κατηγορία το μέγιστο ποσοστό νερού προς τσιμέντο n/t καθώς και την ελάχιστη ποσότητα τσιμέντου που απαιτείται για την παραγωγή ενός σκυροδέματος που προσβάλλεται από θαλασσινό νερό. Τα παραπάνω ισχύουν τόσο για σπλισμένο όσο και για άοπλο σκυρόδεμα.

2.12.4 Σκυρόδεμα που διαστρώνεται μέσα στο νερό:

Πρόκειται για σκυρόδεμα που διαστρώνεται κάτω από την επιφάνεια του νερού. Το νερό δεν είναι θαλασσινό, ούτε είναι διαβρωτικό με την έννοια των χημικών προσβολών. Όπως αναφέρει ο Κ.Τ.Σ 2016 το σκυρόδεμα θα ικανοποιεί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- μέγιστος λόγος νερού προς τσιμέντο n/t : 0,55
- ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου: 350 kg
- κατηγορία κάθισης: S3 ή S4
- το σκυρόδεμα δεν θα δονείται και δεν θα μετακινείται από τη θέση που πήρε μετά την έξοδο του από τον κάδο ή το σωλήνα.

2.13 Οι ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος

2.13.1 Εξίδρωση

Εξίδρωση ονομάζεται η διαδικασία του διαχωρισμού των στερεών συστατικών του σκυροδέματος με το νερό, που παρουσιάζεται λίγο πριν από την πήξη. Τα στερεά υλικά λόγω της βαρύτητας κατακάθονται, ενώ το νερό έχει την τάση να κινείται προς

τα επάνω. Γι αυτό το λόγο εμφανίζεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος ένα λεπτό στρώμα νερού που μοιάζει με εξίδρωση. Τελικά το νερό αυτό όμως εξατμίζεται. Η μείωση του τελικού όγκου και η απομάκρυνση από το μείγμα μέρους νερού είναι αποτέλεσμα της εξίδρωσης. Η μείωση του νερού έχει ευνοϊκές συνέπειες στην αντοχή αλλά το φαινόμενο του διαχωρισμού μπορεί να δημιουργήσει ανομοιογένεια στη μάζα του σκυροδέματος, κάτι που είναι ανεπιθύμητο καθώς μπορεί να προκαλέσει τα εξής φαινόμενα:

- i. Κατά τη διάρκεια της κίνησης του νερού προς τα επάνω, συμπαρασύρεται το λεπτόκοκκο τμήμα του τσιμέντου. Έτσι το μείγμα «χάνει» ποσότητα τσιμέντου, καθώς στην επιφάνεια εμφανίζεται ένα λεπτό στρώμα τσιμεντοκονίας, που εύκολα ρηγματώνεται και αποκολλάται.
- ii. Με τη κίνηση του νερού ανάμεσα από τα αδρανή δημιουργούνται στον τσιμεντοπολλτό λεπτοί σωληνίσκοι.
- iii. Το νερό δεν συγκεντρώνεται μόνο στην επιφάνεια, αλλά και στις κοιλότητες μεταξύ των αδρανών, σχηματίζοντας έτσι συγκεντρώσεις νερού με αποτέλεσμα όταν εξατμιστεί το νερό να δημιουργηθούν κενά.
- iv. Αντίστοιχο φαινόμενο δημιουργείται και στις περιοχές όπου υπάρχει οπλισμός, αφού κάτω από τις ράβδους σχηματίζεται κενό με αποτέλεσμα να μειώνεται η συνεργαζόμενη επιφάνεια ανάμεσα στο σκυρόδεμα και τον οπλισμό με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο κίνδυνος διάβρωσής του.

Η αύξηση του νερού καθώς και η έλλειψη λεπτόκοκκων υλικών εμφανίζει πιο έντονα το φαινόμενο της εξίδρωσης καθώς έτσι διευκολύνεται η κίνηση του νερού προς την επιφάνεια. Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι σημαντικό ρόλο στο φαινόμενο της εξίδρωσης παίζει η λεπτότητα του τσιμέντου και οι προσμίξεις αφού κάθε είδος τσιμέντου έχει διαφορετική συμπεριφορά.

2.13.2 Απόμιξη

Η απόμιξη του σκυροδέματος επηρεάζει την αντοχή στις κατασκευές. Σε ένα καλό σκυρόδεμα, όλα τα αδρανή σκυροδέματος επικαλύπτονται ομοιόμορφα με άμμο και τσιμέντο και σχηματίζουν μια ομοιογενή μάζα. Κατά το χειρισμό, τη μεταφορά και την τοποθέτηση, λόγω κραδασμών και άλλων λόγων, η τσιμεντοκονία διαχωρίζεται από τα αδρανή. Εάν το σκυρόδεμα διαχωρίζεται κατά τη μεταφορά, πρέπει να αναμειγνύεται σωστά πριν από την σκυροδέτηση. Ωστόσο, δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σκυρόδεμα όπου έχει τελειώσει ο αρχικός χρόνος ανάμιξης. Τα υλικά του σκυροδέματος διαχωρίζονται από το νερό αλλά και μεταξύ τους, κατά την κίνηση τους προς τα κάτω. Λόγο βαρύτητας τα αδρανή ταξινομούνται σε στρώσεις ανάλογα

με το βάρος τους. Για τα αδρανή που έχουν το ίδιο ειδικό βάρος, ο διαχωρισμός γίνεται ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων. Το φαινόμενο της απόμιξης λειτουργεί καταστρεπτικά τόσο για την αντοχή όσο και για την ποιότητα του σκυροδέματος καθώς μεταβάλλεται η αναλογία του μίγματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία περιοχών με μειωμένη αντοχή καθώς επίσης και μειωμένη πρόσφυση μεταξύ οπλισμού και σκυροδέματος.

2.13.3 Εργάσιμο

Με τον όρο εργάσιμο ή εργασιμότητα χαρακτηρίζεται η ευκολία με την οποία μπορεί να διαστρωθεί το σκυρόδεμα. Γενικά για να έχουμε ένα σκυρόδεμα εύπλαστο, δηλαδή με καλό εργάσιμο, αρκεί να αυξήσουμε το ποσοστό σε νερό στο μίγμα. Αυτό θα είχε καταστρεπτικές συνέπειες για την αντοχή του σκυροδέματος καθώς μειώνεται με την αύξηση της αναλογίας τσιμέντου νερού. Η αύξηση της αναλογίας τσιμέντου νερού δείχνει αύξηση της εργασιμότητας του σκυροδέματος. Έτσι, η αντοχή του σκυροδέματος αντιστρόφως αντιστοιχεί στην εργασιμότητα του σκυροδέματος.

Ο λόγος για αυτήν τη σχέση είναι ότι όταν το νερό στεγνώσει από το σκυρόδεμα και αφήνει κενά όταν συμβεί η σκλήρυνση. Όσο περισσότερο είναι το νερό, τόσο περισσότερος θα είναι ο αριθμός των κενών. Έτσι, η αύξηση του αριθμού των κενών μειώνει την αντοχή του σκυροδέματος. Επομένως, είναι σημαντικό να εξισορροπηθεί η απαίτηση αντοχής και εργασιμότητας για συγκεκριμένες εργασίες. Η εργασιμότητα μπορεί να ενισχυθεί με τη χρήση στρογγυλεμένων αδρανών. Επιπλέον η χρήση πρόσμικτων υλικών βελτιώνει την εργασιμότητα. Τα υλικά αυτά μπορεί να είναι ρευστοποιητές ή υπερρευστοποιητές τα οποία αυξάνουν την εργασιμότητα χωρίς αύξηση του λόγου νερού-τσιμέντου. Η αναλογία αυτών των υλικών καθορίζεται από τη μελέτη σύνθεσης και πρέπει να ακολουθούνται όλες οι οδηγίες του μελετητή. Αυτό βοηθά στην επίτευξη της εργασιμότητας χωρίς να γίνεται κάποια έκπτωση στην τελική αντοχή του σκυροδέματος. Το εργάσιμο επηρεάζεται από του εξής παράγοντες:

- αναλογία νερού τσιμέντου
- έκταση του οπλισμού στο έργο
- καιρικές συνθήκες

- απόσταση μεταφοράς του υλικού από τον τόπο παρασκευής στον τόπο διάστρωσης.

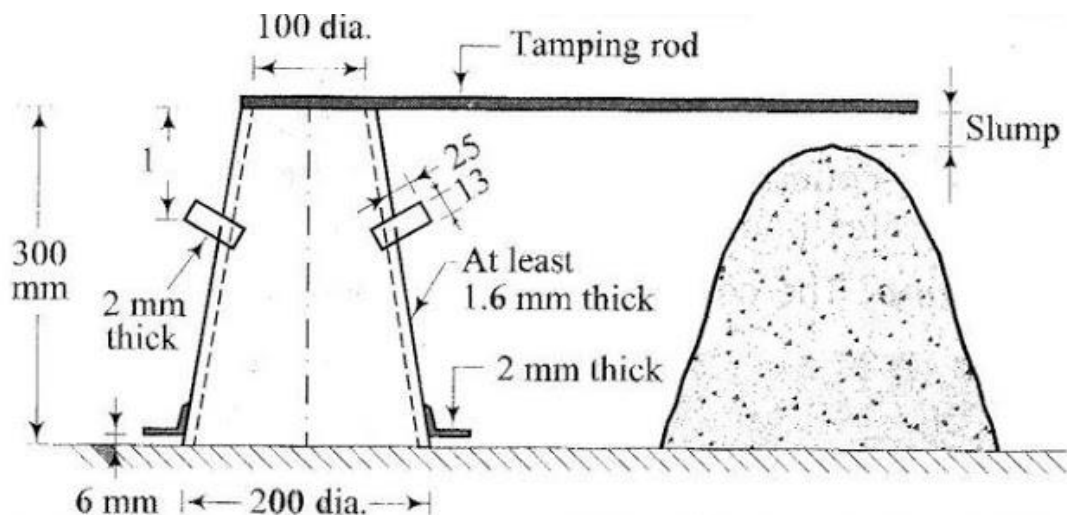
2.14 Εργαστηριακές δοκιμές μετρήσεως της εργασιμότητας

Για την μέτρηση της εργασιμότητας ενός μίγματος ο Κ.Τ.Σ. 2016 ορίζει δοκιμές που μπορούν να γίνουν με τα αντίστοιχα όρια σε κάθε περίπτωση. Με βάση αυτά τα όρια γίνεται και η ταξινόμηση σε κατηγορίες.

2.14.1 Δοκιμή κάθισης

Είναι ένα μέτρο εργασιμότητας που εκφράζεται με την απώλεια ύψους, σε mm, που παρουσιάζει μια κωνική στήλη νωπού σκυροδέματος, όταν ανασυρθεί η κωνική μήτρα (κώνος κάθισης) με την οποία μορφώθηκε (ΕΛΟΤ EN 12350.02). Η διαδικασία για τη διεξαγωγή δοκιμής είναι η εξής :

Η συσκευή που χρησιμοποιείται σε αυτή τη δοκιμή είναι μεταλλικό καλούπι με κωνικό σχήμα και μια ράβδο συμπίεσης. Η διάσταση του καλούπιού πρέπει να είναι όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Το μεταλλικό καλούπι πρέπει να ανοίγει και από τις δύο κατευθύνσεις. Ο κώνος θα γεμίσει με σκυρόδεμα σε τρεις στρώσεις. Κάθε στρώση θα δέχεται 25 χτυπήματα από τη ράβδο για να συμπυκνωθεί. Μόλις τελειώσει η διαδικασία και για την τελευταία στρώση τότε το καλούπι ανυψώνεται προσεκτικά και θα μετρηθεί η κάθιση.



Εικόνα 2.1 Δοκιμή κάθισης

2.14.2 Δοκιμή εξάπλωσης

Είναι ένα μέτρο εργασιμότητας που εκφράζεται με τη μέση διάμετρο σε cm, που αποκτά μια κωνική στήλη νωπού σκυροδέματος, η οποία μορφώθηκε επάνω στην

τράπεζα εξάπλωσης, έπειτα από ορισμένο αριθμό κύκλων ανύψωσης και ελεύθερης πτώσης του ενός άκρου της τράπεζας (ΕΛΟΤ EN 12350.05).

Η διαδικασία για τη διεξαγωγή δοκιμής είναι η εξής :

Χρησιμοποιείται ένας κώνος μεταλλικός του τύπου που χρησιμοποιείται στη δοκιμή κάθισης. Δηλαδή με ανοικτή την επάνω και κάτω βάση του, και δύο χερούλια. Η άνω βάση έχει διάμετρο 10 cm και η κάτω βάση 20 cm. Το χωνί αυτό τοποθετείται ακριβώς επάνω στον κύκλο της τράπεζας. Το χωνί γεμίζεται με το υπό δοκιμή σκυρόδεμα, με τρόπο που προδιαγράφει η μέθοδος, τμηματικά. Ισοπεδώνεται το σκυρόδεμα στην επάνω επιφάνεια του κώνου, και αμέσως ανασηκώνεται το χωνί αργά και κατακόρυφα. Το σκυρόδεμα εξαπλώνεται γύρω από τον κύκλο ανάλογα με την συνεκτικότητα του περισσότερο ή λιγότερο επάνω στην τράπεζα. Μετά από αυτό, η τράπεζα ανασηκώνεται από το χερούλι που έχει στο πλάι και αφήνεται να πέσει ελεύθερα 15 φορές οπότε πραγματοποιείται η κυρίως εξάπλωση του σκυροδέματος. Το μέτρο εξάπλωσης είναι ο μέσος όρος σε ακέραια εκατοστά, των αποστάσεων εξάπλωσης του σκυροδέματος όπως μετριοούνται επάνω στους άξονες. Δηλαδή η μία διάμετρος της επιφάνειας όπου απλώθηκε το σκυρόδεμα και είναι η κάθετη διάμετρος. Καθώς το σκυρόδεμα απλώνεται σε ένα σχήμα που προσεγγίζει τον κύκλο. Η συνολική δοκιμή εκτελείται 3 φορές από τρία χαρμάνια και σαν τελικό αποτέλεσμα θεωρείται ο μέσος όρος του αποτελέσματος των 3 δοκιμών. Μία πρώτη εκτίμηση της αξιολόγησης του αποτελέσματος είναι όταν το σκυρόδεμα σχηματίζει μετά την εξάπλωση του, ομοιόμορφο σχήμα επάνω στη τράπεζα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ

3.1 Γενικά

Σήμερα είναι επιτακτική ανάγκη όσο ποτέ η παρατήρηση της δομικής ακεραιότητας και συνοχής μιας κατασκευής για την εύρεση αστοχιών που μπορεί να έχουν προκύψει. Οι αστοχίες αυτές μπορεί να έχουν προκύψει είτε από εσφαλμένη μελέτη, είτε από κατασκευαστικές ατέλειες ή αμέλειες καθώς και από συνεχή άσκηση φορτίων πάνω σε μια κατασκευή. Οι τεχνικές ελέγχου ποιότητας στην σημερινή εποχή έχουν γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της βιομηχανίας προκειμένου να αξιολογηθεί η κατάσταση των διαφόρων υλικών και κατασκευών που χρησιμοποιούνται, χωρίς να επιβαρύνεται η κατάσταση του αντικειμένου που ελέγχεται. Με αυτό τον τρόπο εξοικονομείται ταυτόχρονα χρόνος και χρήμα από την

αντιμετώπιση προβλημάτων που ενδέχεται να προκύψουν και εξασφαλίζεται ότι η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων συμβαδίζει με τα ενδεδειγμένα πρότυπα.

Οι έλεγχοι που πραγματοποιούνται για την αξιολόγηση των υλικών διακρίνονται σε :

- καταστροφικούς (ΚΕ)
- μη καταστροφικούς (ΜΚΕ)

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι μέθοδοι εκείνες που καταστρέφουν το υλικό όταν εφαρμόζονται. Για παράδειγμα η δοκιμή ενός δοκιμίου σε θλίψη έχει σαν αποτέλεσμα την παραμόρφωσή του, τη ρηγμάτωσή του και τελικά τη θραύση του. Συνήθως όταν γίνεται έλεγχος των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών χρησιμοποιούνται καταστροφικές μέθοδοι.

Στη δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνονται οι μέθοδοι εκείνες που δεν καταστρέφουν το υλικό κατά την εφαρμογή τους. Οι ανάγκες για συνεχή έλεγχο και παρατήρηση των κατασκευών και των υλικών από τα οποία κατασκευάζονται έκαναν τη χρήση των μη καταστροφικών ελέγχους πιο απαραίτητους από ποτέ (Χριστόπουλος, 2012).

Οι μη καταστροφικές δοκιμές σκυροδέματος είναι μέθοδοι για την αποτίμηση της αντοχής σε θλίψη και άλλων ιδιοτήτων του σκυροδέματος από τις υπάρχουσες κατασκευές (Ματίκας & Αγγελής, 2015). Αυτή η δοκιμή παρέχει άμεσα αποτελέσματα και πραγματική αντοχή και ιδιότητες της κατασκευής σκυροδέματος τα οποία εξαρτώνται από το γεγονός ότι ορισμένες φυσικές ιδιότητες του σκυροδέματος μπορούν να σχετίζονται με την αντοχή και μπορούν να μετρηθούν με μη καταστροφικές μεθόδους. Τέτοιες ιδιότητες περιλαμβάνουν σκληρότητα, αντίσταση στη διείδυση από βλήματα, ικανότητα ανάκαμψης και ικανότητα μετάδοσης παλμών υπερήχων και ακτίνων Χ και Υ.

Αυτές οι μη καταστροφικές μέθοδοι μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως δοκιμές διείδυσης, δοκιμές ανάκαμψης, τεχνικές έλξης, δυναμικές δοκιμές, ραδιενεργές δοκιμές, έννοια ωριμότητας.

Με τους ΜΚΕ επιθεωρούμε ή ελέγχουμε ένα δοκίμιο χωρίς να επηρεάζεται, ώστε να καθοριστεί η παρουσία ή η απουσία ασυνεχειών που μπορεί να επηρεάσουν τη χρήση ή το ίδιο το δοκίμιο (Cartz, 1995). Τέτοιες ασυνέχειες μπορεί να είναι ρωγμές, ανομοιογένειες υλικού, πόροι ή εγκλωβισμένος αέρας κλπ. Οι ΜΚΕ εκτελούνται με μεγάλη επιτυχία στα περισσότερα στάδια της κατασκευής, λειτουργικής ζωής και συντήρησης δομών ούτως ώστε να:

- Παρακολουθήσουν και βελτιώσουν την κατασκευή
- Επιθεωρηθεί αστοχία κατά τη διάρκεια λειτουργίας
- Επαληθευτεί ο προγραμματισμός συντήρησης και επισκευών.

Οι δοκιμές δεν μπορούν να εγγυηθούν ότι δεν θα προκύψει αστοχία, αλλά παίζει καθοριστικό ρόλο στην ελαχιστοποίηση της εμφάνισης της αστοχίας. Βέβαια, άλλες συνθήκες, όπως η ανεπαρκής σχεδίαση και η ακατάλληλη χρήση του υπό – εξέταση δοκιμίου μπορεί να συμβάλλουν στην αστοχία ακόμη και όταν έχει εφαρμοστεί κατάλληλος έλεγχος ΜΚΕ (Hellier, 2012).

Οι κυριότεροι ΜΚΕ είναι οι ακόλουθοι :

- Οπτική Επιθεώρηση
- Ακτινογραφικός Έλεγχος
- Μέθοδος σκληρότητας επιφάνειας (κρουσίμετρο)
- Ολογραφία
- Δινορεύματα
- Θερμογραφία
- Διεισδυτικά Υγρά
- Μέτρηση με υπερήχους

Εφαρμογές των ΜΚΕ μπορούν να βρεθούν σε πολλά έργα πολιτικού μηχανικού αλλά όχι και μόνο εκεί. Ενδεικτικά αναφέρονται κάποιοι τομείς:

- στην αυτοκινητοβιομηχανία (μηχανή, πλαίσιο)
- στην αεροδιαστημική (πλαίσια αεροπλάνων και διαστημοπλοίων, κινητήρες τζετ, πυραύλους)
- στις κατασκευές (κτίρια, γέφυρες)
- στη βιομηχανία (μηχανικά εξαρτήματα, καλούπια, πρέσες)
- σε εγκαταστάσεις πετροχημικές, πυρηνικές, παραγωγής ρεύματος, ορυχεία (πιεστικά δοχεία, δεξαμενές, λέβητες, εναλλάκτες, τουρμπίνες, σωληνώσεις, συγκολλήσεις)
- στο σιδηρόδρομο (τραίνα, σιδηροτροχιές, τροχοί και άξονες)
- σε αγωγούς αερίου και πετρελαιοαγωγούς
- στην ιατρική (τομογραφίες υπέρηχοι ακτινογραφίες, καρδιογραφήματα, εγκεφαλογραφήματα, κλπ).

3.2 Τα είδη των Μ.Κ.Ε

Τα βήματα για την επιλογή μιας κατάλληλης μεθόδου Μ.Κ.Ε. είναι (Hellier, 2001) :

- η κατανόηση της φυσικής ιδιότητας του υλικού ή της ασυνέχειας που πρέπει να ελεγχθεί
- η κατανόηση των υποκείμενων φυσικών διεργασιών που διέπουν τους Μ.Κ.Ε

- η κατανόηση της φυσικής αλληλεπίδρασης του πεδίου διερεύνησης με το υλικό δοκιμής
- η κατανόηση των πιθανών περιορισμών της διαθέσιμης τεχνολογίας Μ.Κ.Ε. λαμβάνοντας υπόψη τους οικονομικούς, περιβαλλοντικούς, κανονιστικούς και άλλους παράγοντες.

3.2.1 Οπτική Επιθεώρηση

Η οπτική επιθεώρηση είναι μια από τις πιο ευέλικτες και ισχυρές από τις μεθόδους Μ.Κ.Ε. και είναι συνήθως ένα από τα πρώτα βήματα για την αξιολόγηση μιας συγκεκριμένης δομής. Η οπτική επιθεώρηση μπορεί να παρέχει πληθώρα πληροφοριών που μπορεί να οδηγήσουν σε θετική αναγνώριση της αιτίας της παρατηρούμενης αστοχίας. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητά του εξαρτάται από τη γνώση και την εμπειρία του ερευνητή. Απαιτούνται ευρείες γνώσεις στη δομική μηχανική, τα υλικά από σκυρόδεμα και τις μεθόδους κατασκευής για την εξαγωγή των περισσότερων πληροφοριών από την οπτική επιθεώρηση (Stanley, 1995).

Πριν από τη λεπτομερή οπτική επιθεώρηση, ο ερευνητής θα πρέπει να αναπτύξει και να ακολουθήσει ένα συγκεκριμένο σχέδιο για τη μεγιστοποίηση της ποιότητας των δεδομένων εγγραφής. Η οπτική επιθεώρηση έχει τον προφανή περιορισμό ότι μόνο η ορατή επιφάνεια μπορεί να ελεγχθεί. Τα εσωτερικά ελαττώματα παραμένουν απαρατήρητα και δεν λαμβάνονται ποσοτικές πληροφορίες σχετικά με τις ιδιότητες του σκυροδέματος. Για αυτούς τους λόγους, μια οπτική επιθεώρηση συνήθως συμπληρώνεται από μία ή περισσότερες από τις άλλες μεθόδους Μ.Κ.Ε, όπως με τους υπερήχους. Η οπτική μεγέθυνση επιτρέπει μια πιο λεπτομερή προβολή των τοπικών περιοχών κινδύνου. Τα διαθέσιμα όργανα κυμαίνονται από απλά μεγεθυντικά γυαλιά έως πιο ακριβά μικροσκόπιο χειρός. Ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την επιθεώρηση ρωγμών είναι ένας μικρός μεγεθυντικός φακός χειρός με ενσωματωμένη κλίμακα μέτρησης. Με έναν τέτοιο συγκριτή ρωγμών το πλάτος των ρωγμών ανοίγματος της επιφάνειας μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια. Η οπτική επιθεώρηση είναι συνήθως μια πτυχή του συνολικού σχεδίου αξιολόγησης, το οποίο συχνά θα συμπληρώνεται από μια σειρά άλλων μεθόδων Μ.Κ.Ε ή επεμβατικών διαδικασιών. Τα οπτικά χαρακτηριστικά μπορεί να σχετίζονται με την κατασκευή, τη συντήρηση της δομής και την υποβάθμιση του υλικού, και είναι ιδιαίτερα σημαντικό ο μηχανικός να μπορεί να κάνει διάκριση μεταξύ των διαφόρων τύπων ρωγμών που μπορεί να αντιμετωπιστούν. Η οπτική επιθεώρηση θα παρέχει επίσης τη βάση της κρίσης σχετικά με τις απαιτήσεις πρόσβασης και ασφάλειας. Υπάρχουν ήδη τρομακτικά παραδείγματα όπου η δημόσια ασφάλεια έχει τεθεί σε κίνδυνο λόγω έλλειψης απλής τακτικής οπτικής επιθεώρησης.

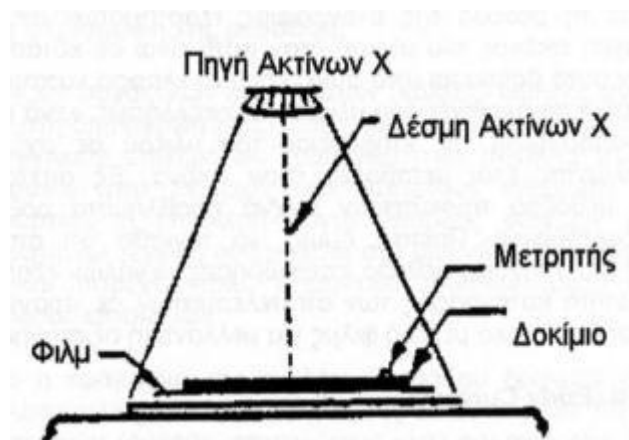


Εικόνα 3.1 Οπτικός Έλεγχος Βαθμίδος Μειωτήρα Στροφών (Καλκάνης & Καντεράκης, 2015)

3.2.2 Ακτινογραφικός Έλεγχος

Η δοκιμή ακτινογραφίας έχει τις ρίζες της στον ιατρικό τομέα. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί μια πηγή ακτινοβολίας γάμμα ή ακτίνων Χ για τον εντοπισμό ατελειών. Οι πηγές ακτινοβολίας χρησιμοποιούν υψηλότερο επίπεδο ενέργειας, δηλαδή μικρότερο μήκος κύματος. Λόγω της ραδιενέργειας που εμπλέκεται στις δοκιμές ακτινογραφίας, είναι υψίστης σημασίας να διασφαλιστεί ότι οι κανόνες τηρούνται αυστηρά κατά τη λειτουργία. Ένα τμήμα της ενέργειας της ακτινοβολίας απορροφάται από το αντικείμενο ενώ η υπόλοιπη ακτινοβολία κατευθύνεται μέσω του αντικειμένου δοκιμής σε έναν ειδικό υμένα (φιλμ) και με αυτόν τον τρόπο, οποιοδήποτε ελάττωμα που μειώνει την απορρόφησή της ακτινοβολίας αποτυπώνεται σαν μια ελαφρύτερη περιοχή. Οι ρωγμές θεωρούνται ως παραλλαγή πάχους και όσο μεγαλύτερη είναι η παραλλαγή, τόσο ευκολότερη είναι η ανίχνευση της ρωγμής. Υπό αυτήν την έννοια, όταν η διαδρομή των ακτίνων Χ δεν είναι παράλληλη με μια ρωγμή, η διακύμανση του πάχους είναι μικρότερη και η ρωγμή μπορεί να μην είναι ορατή. Στη βιομηχανική ακτινογραφία υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες μέθοδοι απεικόνισης, τεχνικές για την εμφάνιση της τελικής εικόνας, όπως ακτινογραφία ταινιών, ακτινογραφία πραγματικού χρόνου (RTR), υπολογιστική τομογραφία (CT), ψηφιακή ακτινογραφία (DR) και υπολογιστική ακτινογραφία (CR). Η υπολογιστική τομογραφία (CT) είναι μία από τις προηγμένες μεθόδους Μ.Κ.Ε και βασίζεται σε ακτινογραφίες και παρέχει εικόνες όγκου τόσο σε διατομή όσο και σε τρισδιάστατο όγκο του υπό εξέταση αντικειμένου. Αυτές οι εικόνες επιτρέπουν την επιθεώρηση της εσωτερικής δομής του δοκιμαστικού αντικειμένου χωρίς την εγγενή

υπέρθωση που σχετίζεται με τη 2D ακτινογραφία. Αυτό το χαρακτηριστικό επιτρέπει τη λεπτομερή ανάλυση της εσωτερικής δομής ενός μεγάλου εύρους στοιχείων.



Εικόνα 3.2 Διάταξη Εφαρμογής (Καλκάνης & Καντεράκης, 2015)

3.2.3 Μέθοδος σκληρότητας επιφάνειας (κρουσίμετρο)

Οι μη καταστρεπτικές μέθοδοι σκληρότητας επιφάνειας είναι μη επεμβατικές διαδικασίες που διερευνούν τα χαρακτηριστικά αντοχής του υλικού. Οι δύο κατηγορίες που ορίζουν τεχνικές σκληρότητας επιφάνειας από σκυρόδεμα είναι μέθοδοι εσοχής και μέθοδοι ανάκαμψης. Αυτές οι μέθοδοι προσπαθούν να εκμεταλλευτούν εμπειρικούς συσχετισμούς μεταξύ των ιδιοτήτων αντοχής του σκυροδέματος και της επιφανειακής σκληρότητας, όπως μετρώνται με εσοχή ή ανάκαμψη (Τρέζος, 1999). Ξεκινώντας από το 1930, οι μέθοδοι εσοχών δεν είναι πλέον κοινές στη βιομηχανία πολιτικών μηχανικών, ενώ οι μέθοδοι ανάκαμψης εφαρμόζονται συχνά για τη διερεύνηση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών αντοχής με αναφορά σε τυπικές οδηγίες για τις δοκιμές και την ερμηνεία. Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη διαδικασία επιφανειακής σκληρότητας είναι η τυπική δοκιμή σφυρί ανάκαμψης (κρουσίμετρο). Το τεστ αναπτύχθηκε το 1948 από τον Ελβετό μηχανικό Ernst Schmidt και αναφέρεται συνήθως ως Schmidt Rebound Hammer. Κατά την πρόσκρουση με την επιφάνεια του σκυροδέματος, το κρουσίμετρο καταγράφει έναν αριθμό ριμπάουντ που παρουσιάζει μια ένδειξη των ιδιοτήτων αντοχής με αναφορά σε καθιερωμένες συσχετίσεις μεταξύ των ιδιοτήτων αντοχής του σκυροδέματος και του αριθμού αναπήδησης. Η θεμελιώδης κατανόηση του αντίκτυπου και της επανασύνδεσης σχετίζεται με τη θεωρία της διάδοσης των κυμάτων. Ένα κύμα συμπίεσης διαδίδεται όταν η επιφάνεια του σκυροδέματος διαταράσσεται από το έμβολο. Η δύναμη αντίδρασης διαδίδει ένα ανακλώμενο κύμα συμπίεσης μέσω του εμβόλου). Η λειτουργία του κρουσίμετρου απαιτεί λιγότερο μηχανικές δεξιότητες σε σύγκριση με άλλες μεθόδους του M.K.E. Πριν από τη δοκιμή θα πρέπει να

πραγματοποιηθεί οπτική εξέταση της επιφάνειας του σκυροδέματος προκειμένου να εντοπιστεί μια λεία επιφάνεια κατάλληλη για δοκιμή. Η δοκιμή μπορεί να διεξαχθεί σε οποιαδήποτε κατευθυντική γωνιά όπου χρησιμοποιούνται διαγράμματα βαθμονόμησης για τον μετρισμό των διαφορετικών επιδράσεων της βαρύτητας. Το σφυρί πιέζεται πάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος έως ότου απελευθερωθεί μια μάζα με ελατήριο που προκαλεί το έμβολο να προσκολληθεί στην επιφάνεια και να ανακάμψει μια απόσταση που μετράται από μια ένδειξη ολίσθησης. Η μετρηθείσα απόσταση αναφέρεται ως ο αριθμός ανάκαμψης.



Εικόνα 3.3 Δοκιμή με κρουσίμετρο

3.2.4 Ολογραφία

Οι οπτικές ολογραφικές τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μη καταστροφικές δοκιμές υλικών. Οι μη οπτικές τεχνικές ολογραφίας περιλαμβάνουν ακουστική, μικροκύματα, ακτίνες Χ και ολογραφία δέσμης ηλεκτρονίων. Η μέθοδος της ολογραφίας μετρά ουσιαστικά παραμορφώσεις στην επιφάνεια του αντικειμένου. Ωστόσο, υπάρχει επαρκής ευαισθησία για την ανίχνευση ελαττωμάτων της επιφάνειας και του εσωτερικού σε μεταλλικά και σύνθετα δείγματα. Ένα ελάττωμα μπορεί να ανιχνευθεί εάν το αντικείμενο δημιουργεί μια ανώμαλη παραμόρφωση της επιφάνειας γύρω από αυτό.

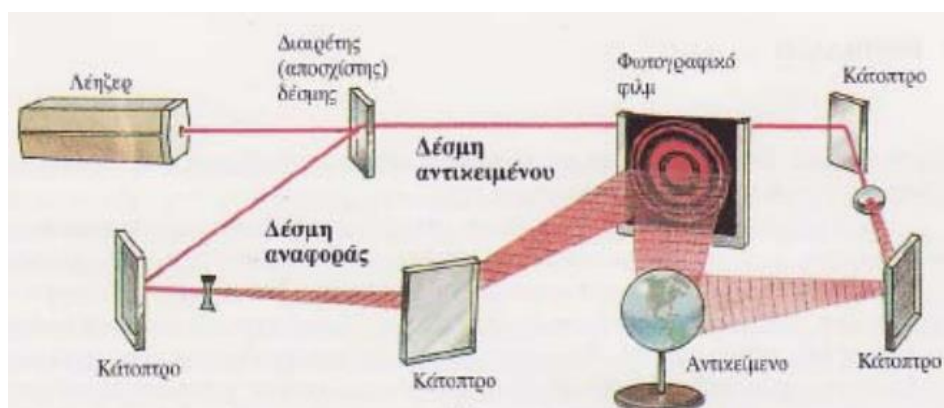
Η οπτική ολογραφία είναι μια μέθοδος απεικόνισης, η οποία καταγράφει το πλάτος και τη φάση του φωτός που αντανακλάται από ένα αντικείμενο ως ένα συμβολομετρικό σχέδιο στο φιλμ. Επιτρέπει έτσι την ανακατασκευή της πλήρους τρισδιάστατης εικόνας του αντικειμένου. Το δείγμα δοκιμής συγκρίνεται ενδομετρικά σε δύο διαφορετικές καταστάσεις τάσης. Η ένταση μπορεί να είναι μηχανική, θερμική, δονήσεις κλπ. Το προκύπτον μοτίβο παρεμβολών περιβάλλει την παραμόρφωση που υπέστη το δείγμα μεταξύ των δύο ηχογραφήσεων. Ελαττώματα επιφάνειας καθώς και υποεπιφάνειας δείχνουν παραμορφώσεις στο κατά τα άλλα ομοιόμορφο σχέδιο. Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά του εξαρτήματος, όπως τρόποι δόνησης,

μηχανικές ιδιότητες, υπολειμματική τάση κ.λπ. μπορούν να αναγνωριστούν μέσω ολογραφικής επιθεώρησης.

Το φως που χρησιμοποιείται για να φωτίζει την επιφάνεια του δείγματος πρέπει να είναι συνεκτικό, πράγμα που σημαίνει ότι πρέπει επίσης να είναι μονοχρωματικό και η μόνη πρακτική πηγή είναι το λέιζερ. Κάθε τύπος λέιζερ εκπέμπει ένα χαρακτηριστικό μήκος κύματος. Οι δίοδοι λέιζερ είναι σήμερα μια συναρπαστική και συμπαγής εναλλακτική λύση. Οι ταινίες υψηλής ανάλυσης είναι μια άλλη ανάγκη για ολογραφία. Με την έλευση της ψηφιακής εικόνας, η ψηφιακή ολογραφική ενδομετρία προσφέρει τεράστια ευελιξία και οπτικοποίηση σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, τα σχήματα επεξεργασίας εικόνας μπορούν να παρέχουν ηλεκτρονική ανάλυση μοτίβων για αυτοματοποιημένη ανίχνευση και ανάλυση ελαττωμάτων. Τέλος, δεδομένου ότι πρέπει να καταγραφούν περίπλοκα ενδομετρικά σχήματα, απαιτείται επίσης απομόνωση δονήσεων. Έχουν προταθεί νέα σχέδια, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης παλμικών λέιζερ για την καταγραφή ολογραμμάτων σε εργοστασιακά περιβάλλοντα.

Οι εξελίξεις σε λέιζερ, υπολογιστές και υλικό εγγραφής εισάγουν νέες τεχνικές όπως ηλεκτρονική (ή τηλεοπτική) ολογραφία, εγγραφή πολλαπλού μήκους κύματος, θερμοπλαστικό μέσο, χρονογραφία κατά μέσο όρο, δυναμική ολογραφική ενδομετρία, κιννογραφία και ψηφιακή ολογραφία με κάθε νέα ανάπτυξη. Οι μέθοδοι που κάποτε είχαν μόνο ακαδημαϊκό ενδιαφέρον καθίστανται πρακτικά βιώσιμες με αυτές τις εξελίξεις σε υλικό και λογισμικό.

Η ολογραφία εφαρμόζεται ευρέως στην αεροδιαστημική βιομηχανία για να εντοπίσει ζημιές από κρούση, διάβρωση, αποκόλληση και ρωγμές σε σύνθετα εξαρτήματα αεροσκαφών υψηλής απόδοσης, καθώς και πτερύγια στροβίλου, περιβλήματα κινητήρων πυραύλου στερεού προωθητικού, ελαστικά και φύλλα αέρα ενώ βρίσκει νέες εφαρμογές σε εμπορικούς και αμυντικούς κλάδους.



Εικόνα 3.4 Ολογραφική Καταγραφή (Young, 2000) 62

3.2.5 Δινορεύματα

Τα δινορεύματα είναι μια μη καταστρεπτική τεχνολογία δοκιμών που παρέχει τη δυνατότητα ηλεκτρονικής οδήγησης πολλαπλών πηνίων ρεύματος eddy, τα οποία τοποθετούνται δίπλα-δίπλα στην ίδια διάταξη ανιχνευτή. Κάθε μεμονωμένο πηνίο ρεύματος στον ανιχνευτή παράγει σήμα σχετικό με τη φάση και το πλάτος της δομής κάτω από αυτό. Αυτά τα δεδομένα αναφέρονται σε κωδικοποιημένη θέση και ώρα και αντιπροσωπεύονται γραφικά ως εικόνα C-scan. Οι περισσότερες συμβατικές τεχνικές ανίχνευσης ελαττωμάτων ρεύματος μπορεί να αναπαραχθούν με επιθεωρήσεις δινορευμάτων. Ωστόσο, τα αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου επιτρέπουν βελτιωμένες δυνατότητες επιθεώρησης και σημαντική εξοικονόμηση χρόνου. Η δοκιμή Eddy current (EC) είναι μέθοδος μη επαφής για την επιθεώρηση μεταλλικών εξαρτημάτων. Τα ρεύματα Eddy είναι πεδία εναλλασσόμενου μαγνητικού ρεύματος που δημιουργούνται όταν ένα εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται από ένα ή περισσότερα πηνία σε ένα συγκρότημα καθετήρα. Όταν ο ανιχνευτής συνδέεται με το υπό εξέταση μέρος, το εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο προκαλεί ρεύματα στο εξεταζόμενο σημείο. Οι ασυνέπειες ή οι παραλλαγές ιδιοτήτων στο δοκιμαστικό μέρος αλλάζουν τη ροή του ρεύματος Eddy και εντοπίζονται από τον ανιχνευτή προκειμένου να πραγματοποιηθούν μετρήσεις πάχους υλικού ή να εντοπιστούν ελαττώματα όπως ρωγμές και διάβρωση.

Με την πάροδο των ετών, η τεχνολογία ανιχνευτών και η επεξεργασία δεδομένων έχουν προχωρήσει στο σημείο όπου η δοκιμή Eddy current αναγνωρίζεται ως γρήγορη, απλή και ακριβής. Η τεχνολογία χρησιμοποιείται πλέον ευρέως στους κλάδους της αεροδιαστημικής, της αυτοκινητοβιομηχανίας, της πετροχημικής και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την ανίχνευση ελαττωμάτων επιφανείας ή πλησίον επιφάνειας σε υλικά όπως αλουμίνιο και ανοξείδωτο χάλυβα. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του eddy current ως εργαλείου M.K.E είναι η ποικιλία επιθεωρήσεων και μετρήσεων που μπορούν να εκτελεστούν. Υπό τις κατάλληλες συνθήκες, τα ρεύματα Eddy μπορούν να χρησιμοποιηθούν για:

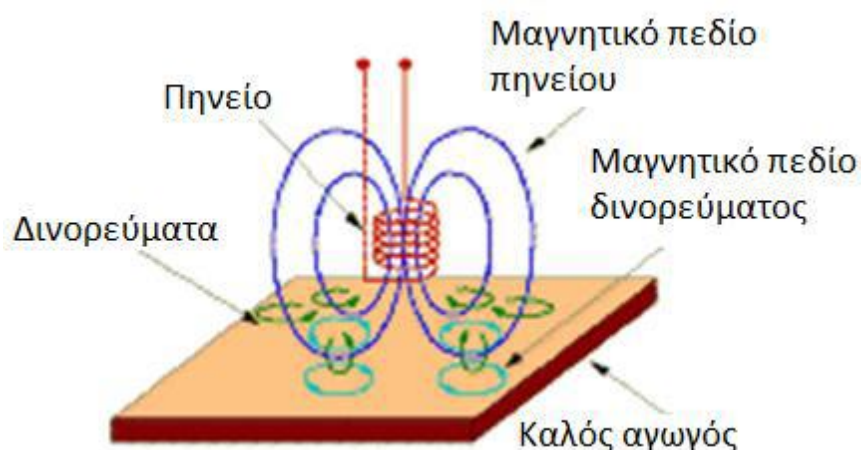
- Ανίχνευση ρωγμών
- Μετρήσεις πάχους υλικού
- Μετρήσεις πάχους επιστρώματος
- Μετρήσεις αγωγιμότητας για:
 - Αναγνώριση υλικού
 - Ανίχνευση θερμικής βλάβης
 - Προσδιορισμός βάθους θήκης
 - Παρακολούθηση θερμικής επεξεργασίας

Μερικά από τα πλεονεκτήματα της επιθεώρησης των δινορευμάτων περιλαμβάνουν:

- εύκολη ανίχνευση μικρών ρωγμών και άλλων ελαττωμάτων
- εντοπισμός ελαττωμάτων επιφάνειας
- επιθεώρηση που δίνει άμεσα αποτελέσματα
- εξοπλισμός εύκολα διαχειρίσιμος
- ο ανιχνευτής δοκιμής δεν χρειάζεται να εφάπτεται με το εξάρτημα
- επιθεώρηση πολύπλοκων σχημάτων και μεγεθών αγωγίμων υλικών

Μερικοί από τους περιορισμούς της επιθεώρησης των δινορευμάτων περιλαμβάνουν:

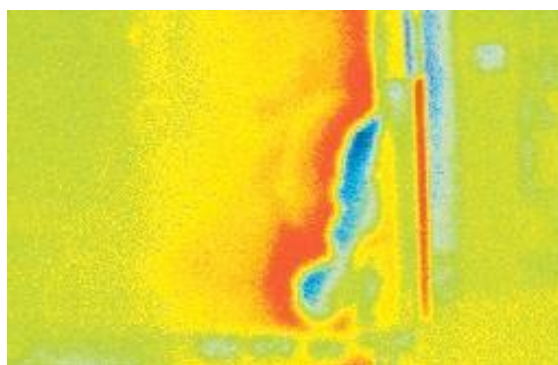
- μόνο αγωγίμα υλικά μπορούν να ελεγχθούν
- η επιφάνεια πρέπει να είναι προσβάσιμη στον αισθητήρα
- η απαιτούμενη ικανότητα και εκπαίδευση του προσωπικού είναι πιο εκτεταμένη σε σχέση με άλλες τεχνικές
- το φινίρισμα και η τραχύτητα της επιφάνειας ενδέχεται να επηρεάσουν
- απαιτούνται πρότυπα αναφοράς για τη ρύθμιση
- το βάθος της διείσδυσης είναι περιορισμένο
- ελαττώματα όπως οι αποκολλήσεις που βρίσκονται παράλληλα με την περιέλιξη του πηνίου ανιχνευτή και την κατεύθυνση σάρωσης ανιχνευτή δεν είναι ανιχνεύσιμα



Εικόνα 3.5 Αρχή λειτουργίας δινορευμάτων (Καλκάνης & Καντεράκης, 2015)

3.2.6 Θερμογραφία

Η θερμογραφία είναι μια μη καταστρεπτική μέθοδος δοκιμής που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση και τη μέτρηση μικρών διαφορών θερμοκρασίας για την εύρεση αστοχιών σε κατασκευές και υλικά. Η θερμογραφία μπορεί να υποστηρίξει τη συντήρηση βιομηχανικών εγκαταστάσεων και εξοπλισμού με τη γρήγορη και οικονομική της εφαρμογή. Αυτή η τεχνική χωρίς επαφή χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς όπως οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, οι πετροχημικές εγκαταστάσεις, τα διυλιστήρια και η χαλυβουργία, και η εφαρμογή κυμαίνεται από την επιθεώρηση των λεβήτων, των μετασχηματιστών σε ηλεκτρικούς χώρους, των δεξαμενών αποθήκευσης και αλλού. Η έγκαιρη ανίχνευση προβλημάτων με τη χρήση θερμογραφίας μπορεί να βοηθήσει στην πρόληψη μη προγραμματισμένων διακοπών, βελτίωση της παραγωγικότητας του εξοπλισμού και των στοιχείων του ενεργητικού, αύξηση της ασφάλειας και καθοδήγηση διορθωτικών ενεργειών. Τα αντικείμενα απελευθερώνουν θερμική ενέργεια που δεν είναι ορατή στο ανθρώπινο μάτι. Μια υπέρυθη κάμερα μπορεί να μετρήσει τη θερμική ενέργεια και να χαρτογραφήσει τις διαφορές θερμοκρασίας του αντικειμένου. Η ληφθείσα εικόνα δείχνει τη ροή θερμότητας προς, από και μέσα από ένα αντικείμενο. Οι διαφορές θερμοκρασίας μπορούν να επισημάνουν μια σειρά προβλημάτων όπως η διάβρωση, η κακή μόνωση, καθώς και οι ατέλειες σε υλικά ή κατασκευές, όπως αποσυνδέσεις, κενά ή εγκλείσματα. Καθώς σχεδόν όλα ζεσταίνονται πριν αποτύχουν, η θερμογραφία είναι ένα σημαντικό διαγνωστικό εργαλείο για την εύρεση αλλοίωσης. Αντικείμενα ή περιοχές που παρουσιάζουν εξαιρετικά χαμηλή θερμική ενέργεια ενδέχεται να υποδηλώνουν απώλεια ισχύος και σφάλματα ενέργειας.



Εικόνα 3.6 Υπέρυθη PalmIR εικόνα τμήματος πτερυγίου αεροσκάφους. Το νερό είναι το δροσερό μπλε χρώμα, ενώ το κόκκινο παρουσιάζει τη θερμότητα που εφαρμόστηκε και είναι παγιδευμένη επειδή η επιφάνεια του σύνθετου δεν συνδέεται με τον κυψελωτό πυρήνα σωστά. Στα μεγάλα υψόμετρα το νερό γίνεται πάγος, επεκτείνεται, και σπάζει τους δεσμούς. (Καλκάνης & Καντεράκης, 2015)

Τα οφέλη της θερμογραφίας περιλαμβάνουν:

- ανίχνευση ελαττωμάτων σε σωλήνες, μέταλλα και πλαστικά μέρη με διακυμάνσεις θερμοκρασίας
- ανίχνευση κρυμμένων ελαττωμάτων και υλική φθορά σε πρώιμο στάδιο
- ανίχνευση ζημιών από διάβρωση
- μέτρηση και παρατήρηση περιοχών που δεν είναι προσβάσιμες για άλλες μη καταστροφικές μεθόδους
- δυνατότητα επιθεώρησης μεγάλων περιοχών
- δεν επηρεάζει τη διαδικασία παραγωγής
- εντοπισμός προβλημάτων σε πραγματικό χρόνο

3.2.7 Διεισδυτικά Υγρά

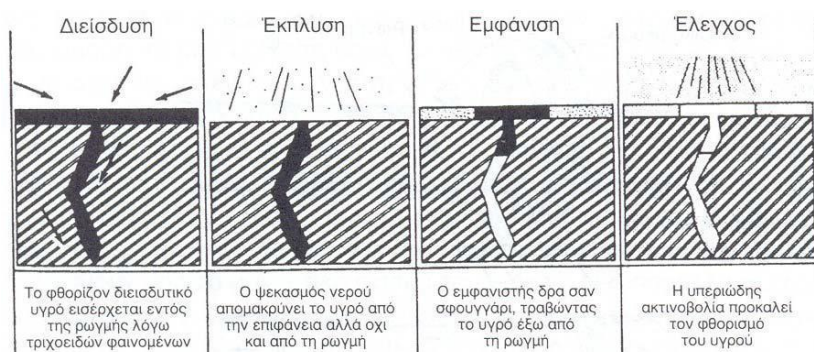
Η επιθεώρηση με διεισδυτικά υγρά (FPI) είναι ένας τύπος επιθεώρησης δοκιμής διεισδυτικής βαφής στον οποίο μια φθορίζουσα βαφή εφαρμόζεται στην επιφάνεια ενός μη πορώδους υλικού για την ανίχνευση ελαττωμάτων που μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο την ακεραιότητα ή την ποιότητα του εν λόγω εξαρτήματος. Με την απλή διαδικασία, η μέθοδος FPI χρησιμοποιείται ευρέως σε μια ποικιλία βιομηχανιών.

Υπάρχουν πολλοί τύποι βαφής που χρησιμοποιούνται στις επιθεωρήσεις. Λόγω της ευαισθησίας της μεθόδου σε μικρά ελαττώματα είναι ιδανική για τα περισσότερα μέταλλα που τείνουν να έχουν μικρούς, στενούς πόρους και λείες επιφάνειες. Τα ελαττώματα μπορεί να ποικίλλουν, αλλά είναι συνήθως μικροσκοπικές ρωγμές που προκαλούνται από διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση του μετάλλου. Επίσης δεν είναι ασυνήθιστο ένα μέρος να επιθεωρείται αρκετές φορές πριν τελειώσει, ενώ η επιλογή του τύπου επιθεώρησης βασίζεται, φυσικά, σε μεγάλο βαθμό στο τύπο του υλικού.

Όσον αφορά τις κατασκευές από σκυρόδεμα η μέθοδος των διεισδυτικών υγρών χρησιμοποιείται όταν η οπτική επιθεώρηση δεν είναι αρκετή για την ανίχνευση ρωγμών στο σκυρόδεμα, ειδικά στην περίπτωση της δομής συγκράτησης υγρών. Συγκεκριμένα ένα υγρό με χαρακτηριστικά διαβροχής υψηλής επιφάνειας εφαρμόζεται στην επιφάνεια όπου εμφανίζονται ρωγμές. Στη συνέχεια αφαιρείται η περίσσεια υγρού από τις ρωγμές. Αυτό γίνεται εφαρμόζοντας έναν προγραμματιστή (σκόνη) για να βγάλει το παγιδευμένο διεισδυτικό υγρό από τις ρωγμές. Αυτή η σκόνη απλώνεται στην επιφάνεια για να φαίνεται ο πολλαπλασιασμός ρωγμών. Οι ρωγμές στο σκυρόδεμα ανιχνεύονται με οπτική διαδικασία επιθεώρησης. Το διεισδυτικό που χρησιμοποιείται συχνά φορτώνεται με χρωστική φθορισμού και η

επιθεώρηση των ρωγμών γίνεται υπό υπεριώδες φως για να αυξηθεί η ευαισθησία της δοκιμής. Η μέθοδος επιθεώρησης υγρού δεισδυσσης χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό ελαττωμάτων θραύσης επιφάνειας σε μη πορώδη υλικά. Με βάση τη δράση της τριχοειδούς, το υγρό χαμηλής επιφανειακής τάσης διεισδύει στις ασυνέχειες στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Η δοκιμή των διεισδυτικών υγρών στις κατασκευές από σκυρόδεμα γίνεται ως εξής :

Η επιφάνεια του σκυροδέματος καθαρίζεται για να απομακρυνθεί κάθε βρωμιά χρησιμοποιώντας διαλύτες, βήματα αλκαλικά καθαριστικά κλπ και στη συνέχεια τα διεισδυτικά υγρά εφαρμόζονται στην επιφάνεια του σκυροδέματος του δομικού στοιχείου που πρόκειται να επιθεωρηθούν. Έπειτα αφήνεται χρόνος ώστε το διεισδυτικό υγρό να μουλιάσει σε τυχόν ρωγμές 10 έως 30 λεπτά. Η περίσσεια ποσότητα διεισδυτικού υγρού αφαιρείται στη συνέχεια από την επιφάνεια του σκυροδέματος. Η μέθοδος αφαίρεσης του διεισδυτικού υγρού βασίζεται στον τύπο του διεισδυτικού υγρού που χρησιμοποιείται καθόλη τη διαδικασία. Κατά τη διάρκεια της αφαίρεσης του διεισδυτικού υγρού χρησιμοποιείται διαλύτης και πανί χωρίς χνούδι, ενώ ο διαλύτης δεν πρέπει να ψεκάζεται απευθείας στην εξεταζόμενη επιφάνεια, καθώς μπορεί να αφαιρέσει το διεισδυτικό υγρό από τις ρωγμές. Στη συνέχεια μετά την απομάκρυνση της περίσσειας διεισδυτικών ουσιών από τις ρωγμές στο σκυρόδεμα, εφαρμόζεται ένας λευκός κατασκευαστής στην επιφάνεια. Αυτός ο κατασκευαστής αντλεί τα διεισδυτικά υγρά από τα ελαττώματα ή τις ρωγμές και σχηματίζει μια ορατή ένδειξη για την ανίχνευση διάδοσης. Οποιοσδήποτε χρωματικός λεκές δείχνει τις θέσεις και τους τύπους ελαττωμάτων στην επιφάνεια, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν προγραμματιστές όπως ο μη υδατικός υγρός κατασκευαστής. Ορατό φως ή υπεριώδη φώτα επαρκούς έντασης χρησιμοποιούνται για την επιθεώρηση ρωγμών σε σκυρόδεμα και ο έλεγχος των ελαττωμάτων γίνεται μετά από 10 λεπτά εφαρμογής της σκόνης. Οποιαδήποτε καθυστέρηση μετά την εφαρμογή του κατασκευαστή για την επιθεώρηση ρωγμών, μπορεί να εξαφανίσει τα διεισδυτικά υγρά από ρωγμές και μπορεί να παρεμποδιστεί η σωστή διαδικασία. Τέλος η επιφάνεια του σκυροδέματος καθαρίζεται μετά από επιθεώρηση και καταγραφή ελαττωμάτων, εάν υπάρχουν.



Εικόνα 3.7. Μέθοδος διεισδυτικών υγρών
<https://docplayer.gr/80310559-Mi-katastrofikos-elegchos.html>

3.2.8 Μέθοδος των υπερήχων

Η χρήση της μεθόδου των υπερήχων πραγματοποιήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία όπως φαίνεται και στο κεφάλαιο 3 (βλ. υποενότητα 3.3) για τον προσδιορισμό της ταχύτητας μετάδοσης των υπερήχων σε δοκίμια σκυροδέματος.

Ο Έλεγχος με Υπερήχους είναι μία μέθοδος Μη Καταστροφικού Ελέγχου κατά την οποία, υψηλής συχνότητας ηχητικά κύματα εισέρχονται στο δοκίμιο για να ανιχνεύσουν επιφανειακές και υποεπιφανειακές ασυνέχειες (Qasrawi,2000). Τα ηχητικά κύματα διαδίδονται στο δοκίμιο με μερική εξασθένηση της ενέργειάς τους και ανακλώνται από τις επιφάνειες και τις εσωτερικές ασυνέχειες του. Η ανακλώμενη δέσμη ανιχνεύεται και αναλύεται για να προσδιοριστεί η ύπαρξη και η θέση των ασυνεχειών. Έτσι, τα ρήγματα, οι διαστρωματώσεις, οι συρρικνώσεις, οι κοιλότητες, οι πόροι, τα εγκλείσματα όπως και άλλες ασυνέχειες μπορούν εύκολα να ανιχνευθούν. Εφαρμόζεται για τον έλεγχο της ποιότητας σε δοκιμές υλικών σε όλο το φάσμα των βιομηχανικών, ναυτιλιακών και κατασκευαστικών δραστηριοτήτων. Συγκολλήσεις, χυτά, σφυρήλατα, ελατά προϊόντα από χάλυβα, αλουμίνιο, τιτάνιο και άλλα υλικά μεταλλικά ή μη, όπως σκυρόδεμα, πολυεστέρας κ.α, μπορούν να ελεγχθούν με την μέθοδο των υπερήχων. Σημειώνεται ότι, ο έλεγχος με υπερήχους περιλαμβάνει και τις παχυμετρήσεις των υλικών και τον έλεγχο τους για τον εντοπισμό πιθανών διαστρωματώσεων (Naik et al, 2004).

3.2.8.1 Θεμελιώδης αρχή της μεθόδου

Είναι σημαντικό να διακριθούν και να μελετηθούν οι ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται σε μια δομή για να παραταθεί η διάρκεια ζωής του. Οι δοκιμές Μ.Κ.Ε μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως στρατηγική που θα μπορούσε να ακολουθηθεί για την αξιολόγηση των συνθηκών, την εκτίμηση της ποιότητας και προσδιορισμό της αντοχής του σκυροδέματος (Κουτσούκος). Σημαντικό ρόλο στη δοκιμή των υπερήχων διαδραματίζουν τόσο υπερηχητικός παλμός όσο και το κύμα. Η μέθοδος ταχύτητας χρησιμοποιείται στη δομική μηχανική για τον προσδιορισμό ιδιοτήτων υλικού όπως την αντοχή σκυροδέματος. Η μέθοδος μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της ομοιομορφίας του σκυροδέματος, την ανίχνευση ρωγμών και κενών στο σκυρόδεμα, τον έλεγχο της ποιότητας του σκυροδέματος και των προϊόντων του, την ανίχνευση φθοράς και κατάστασης του σκυροδέματος, και για τον εντοπισμό βάθους επιφανειακής ρωγμής (Πρασιανάκης, 1993). Τα χαρακτηριστικά της διάδοσης κυμάτων που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό αυτών είναι η ταχύτητα, εξασθένηση, συχνότητα και ενέργεια. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής υπερήχων το δείγμα σκυροδέματος που δοκιμάζεται θα είναι σε επαφή ένας

ηλεκτροακουστικός μετατροπέας από τη μία πλευρά, ο οποίος θα παράγει έναν παλμό τριών διαφορετικών τύπων της διάδοσης ελαστικών κυμάτων. Το γρηγορότερο από αυτά τα κύματα είναι γνωστό ως η διαμήκης συμπίεση ή P-wave και αναφέρεται στις μετακινήσεις σωματιδίων που ταξιδεύουν προς την ίδια κατεύθυνση με τη διατάραξη. Δεύτερον είναι τα επιφανειακά κύματα, τα οποία είναι γνωστό ότι είναι τα πιο αργά και έχουν ελλειπτική μετατόπιση σωματιδίων και τέλος η διάτμηση ή τα εγκάρσια κύματα που έχουν σωματίδια μετατόπισης σε ορθή γωνία προς την κατεύθυνση κίνησης και είναι ταχύτερη από τα επιφανειακά κύματα. Η ταχύτητα εξαρτάται από τη μάζα και τις ελαστικές ιδιότητες του υλικού. Ο προσδιορισμός των ελαστικών ιδιοτήτων του υλικού γίνεται εύκολα όταν η μάζα και η ταχύτητα της διάδοσης των κυμάτων είναι γνωστές.

3.2.8.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη δοκιμή

Παρά το γεγονός ότι η δοκιμή υπερήχων είναι μια σημαντική μέθοδος που βοηθά στον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του σκυροδέματος, τα αποτελέσματα θα μπορούσαν να επηρεαστούν από διάφορους παράγοντες (Applied Test Systems). Αυτοί οι παράγοντες δύνανται να κατηγοριοποιούνται σε δύο διαφορετικούς τύπους, αυτούς που προκαλούνται από τη συγκεκριμένη συμπεριφορά ή αυτούς που σχετίζονται με τα τεχνικά λάθη, όπως τα ανθρώπινα λάθη. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την δοκιμή είναι οι εξής :

Μέγεθος και τύπος αδρανών

Πολλές έρευνες διαπίστωσαν ότι υπάρχει μια σημαντική σχέση μεταξύ του μεγέθους και του τύπου αδρανών με τα αποτελέσματα της μεθόδου, τα οποία θα επηρεάσουν τις συγκεκριμένες ιδιότητες. Συνεπώς το σκυρόδεμα που έχει υψηλότερο άθροισμα αδρανών στο περιεχόμενο του θα είχε υψηλότερη ταχύτητα παλμού όταν είναι σταθερή η αντοχή του σκυροδέματος. Η συγκεκριμένη περιεκτικότητα μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την ταχύτητα του ήχου. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι είναι σωστό να προκύπτει η αντοχή του σκυροδέματος και της μεθόδου των υπερήχων από συγκεκριμένο περιεχόμενο (Porovic,1991). Τα αποτελέσματα των υπερήχων επηρεάζονται περισσότερο από τις δονήσεις του συνολικού μεγέθους και του τύπου από την αντοχή. Όταν συγκρίνονται τρία δείγματα που έχουν τις ίδιες αναλογίες και αντοχή σε θλίψη, η υψηλότερη ταχύτητα παλμού θα προέκυπτε από το σκυρόδεμα με θρυμματισμένο ασβεστόλιθο , ο θρυμματισμένος γρανίτης θα έχει μια ενδιάμεση ταχύτητα, και τελικά το στρογγυλεμένο χαλίκι θα έδινε τη χαμηλότερη.

Αναλογία νερού προς τσιμέντο (w / c)

Η επίδραση της περιεκτικότητας σε υγρασία στο σκυρόδεμα είναι σημαντική για τον προσδιορισμό της αντοχής σκυροδέματος. Αν χρησιμοποιήσουμε τρία δείγματα σκυροδέματος με διαφορετικές αναλογίες νερού προς τσιμέντο, τότε θα δούμε ότι καθώς ο λόγος n/t μειώνεται, οι τιμές της ταχύτητας των υπερήχων αυξάνονται.

Πρόσμικτα μίγματος

Ο πυριτικός καπνός (SF) και η ιπτάμενη τέφρα (FA) είναι μερικά από τα αποτελεσματικά μείγματα που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε σκυρόδεμα. Η πυκνότητα του σκυροδέματος θα μπορούσε να βελτιωθεί λόγω της ποζολανικής αντίδρασης που προκαλείται από αναθυμιάσεις πυριτίας. Είναι αποτελεσματικά καθώς θα μπορούσαν να μειώσουν τη διαπερατότητα ως αποτέλεσμα της ικανότητάς τους να γεμίζουν κενά. Τα μίγματα ιπτάμενης τέφρας θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την πλήρωση μικρών κενών μεταξύ σωματιδίων τσιμέντου σε αυτοσυμπικνόμενο σκυρόδεμα. Το αποτέλεσμα της χρήσης αναθυμιάσεων πυριτίου και ιπτάμενης τέφρας αντί για τσιμέντο Portland (PC) δείχνουν ότι μπορεί να αυξηθεί η ταχύτητα διάδοσης των υπερήχων.

Όγκος χαλύβδινων ινών

Η πυκνότητα του σκυροδέματος θα αυξανόταν με την προσθήκη χαλύβδινων ινών. Με βάση τη θεωρία διάδοσης των κυμάτων, η αύξηση του υλικού σε πυκνότητα θα οδηγούσε σε μείωση της ταχύτητας κύματος σε αυτήν, η οποία θα οδηγούσε σε μείωση των τιμών της ταχύτητας των υπερήχων, που επηρεάζονται από τις χρησιμοποιούμενες ίνες χάλυβα υψηλής πυκνότητας. Παρόλα αυτά η ταχύτητα διάδοσης ενός κύματος είναι μεγαλύτερη στο χάλυβα απ' ό,τι στο σκυρόδεμα έτσι όσο αυξάνεται η ποσότητα των ινών στο σκυρόδεμα ή η παρουσία οπλισμού, αυξάνεται και η ταχύτητα διάδοσης.

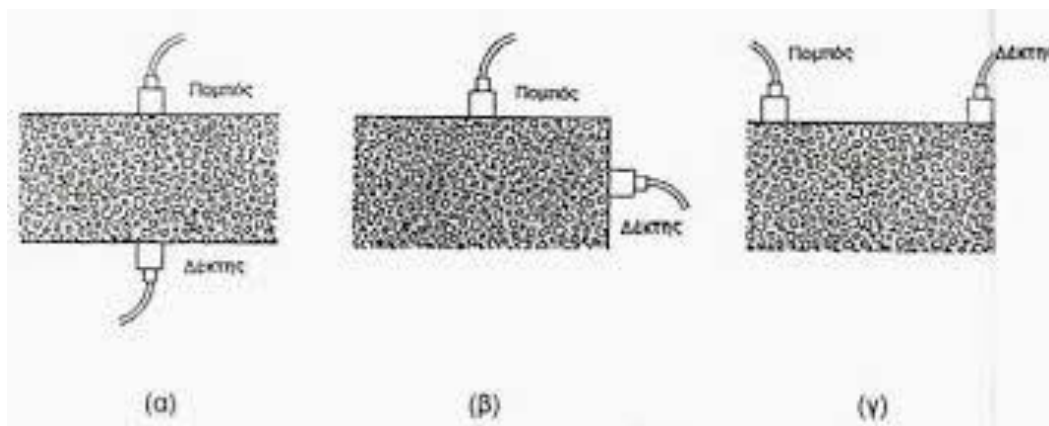
Άλλοι παράγοντες

Υπάρχουν πολλοί άλλοι παράγοντες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα των δοκιμών με υπερήχους και πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως : η θερμοκρασία, η κατάσταση υγρασίας, η τραχύτητα επιφάνειας, η πίεση στους μορφοτροπέες και το πορώδες. Η τραχύτητα της επιφάνειας και το πορώδες είναι γνωστό ότι προκαλούν τα πιο σημαντικά αποτελέσματα . Επίσης μεγάλες διαφορές στη θερμοκρασία (≥ 30 °) επηρεάζουν τις τιμές της δοκιμής. Η ταχύτητα των υπερήχων μπορεί να αυξηθεί με την παρουσία υγρασίας και να μειωθεί με την

αύξηση του πορώδους, της θερμοκρασίας και την εμφάνιση θυλάκων αέρα μεταξύ των κεφαλών και του εξεταζόμενου στοιχείου (Olympus & Panametrics).

3.8.2.3 Μέθοδοι δοκιμής UPV

Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι με τους οποίους μπορούν να διευθετηθούν οι μορφοτροπείς, και αυτοί θα το κάνουν προσδιορίζοντας μια διαφορετική μέθοδο δοκιμής. Η πρώτη μέθοδος ονομάζεται άμεση μετάδοση όπου οι μορφοτροπείς θα τοποθετηθούν το ένα απέναντι στο άλλο στις όψεις του δείγματος σκυροδέματος. Η δεύτερη μέθοδος ονομάζεται ημι-άμεση μετάδοση όπου οι μορφοτροπείς τοποθετούνται γειτονικά στις όψεις του δείγματος σκυροδέματος. Η τελευταία μέθοδος ονομάζεται έμμεση μετάδοση όπου οι μορφοτροπείς τοποθετούνται στην ίδια όψη του δείγματος σκυροδέματος. Η μέθοδος άμεσης μετάδοσης θεωρείται η πιο ακριβής και αξιόπιστη, αυτό συμβαίνει επειδή η μετάδοση της μέγιστης ενέργειας παλμού μετράται σε ορθή γωνία προς το πρόσωπο του πομπού. Όσον αφορά τον προσδιορισμό της ποιότητας του σκυροδέματος, χρησιμοποιώντας την άμεση μέθοδο θα ήταν η καλύτερη επιλογή δεδομένου ότι παρέχει μια καλά καθορισμένη διαδρομή που θα μπορούσε να μετρηθεί εύκολα. Όσον αφορά την ημι-άμεση μέθοδο, τα αποτελέσματα μερικές φορές θα ήταν ικανοποιητικά μόνο όταν η γωνία μεταξύ των δύο μορφοτροπέων δεν είναι πολύ μεγάλη και το μήκος της διαδρομής δεν είναι πολύ μεγάλο. Κατά την εκτέλεση αυτής της μεθόδου, είναι σημαντικό να πληρούνται οι προηγούμενες προϋποθέσεις για να ληφθούν τα καλύτερα αποτελέσματα. Διαφορετικά θα υπήρχε μεγάλη πιθανότητα τα σήματα να μην είναι καθαρά λόγω της εξασθένησης του μεταδιδόμενου παλμού. Το μήκος της διαδρομής σε αυτήν τη μέθοδο δεν είναι ξεκάθαρα ορισμένο ως η μέθοδος άμεσης μετάδοσης, διότι το μέγεθος του μορφοτροπέα είναι περιορισμένο. Από τις τρεις μεθόδους δοκιμών, η έμμεση μέθοδος είναι γνωστό ότι έχει τα λιγότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα και αυτό συμβαίνει επειδή το πλάτος του λαμβανόμενου σήματος θα μπορούσε να είναι μικρότερο από 3% σε σύγκριση με ένα ληφθέν σήμα άμεσης μετάδοσης. Το σήμα λήψης είναι πολύ εκτεθειμένο σε σφάλματα δεδομένου ότι εξαρτάται κυρίως από τη διάδοση του παλμού. Οι μέθοδοι που αναλύθηκαν παραπάνω φαίνονται στο σχήμα 3.1



Εικόνα 3.1 Μέθοδοι εφαρμογής των υπερήχων

3.8.2.4 Συσχέτιση αντοχής σκυροδέματος και ταχύτητας υπερήχων

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία για τη συσχέτιση της ταχύτητας των υπερήχων με τη μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος υπάρχει πληθώρα αποτελεσμάτων (McCann & Forde, 2001) όπως εμφανίζονται σε καμπύλες παρουσιάζοντας έντονη και εμφανή διασπορά. Τα αποτελέσματα όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 3.1, παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά καθώς το διάστημα εμπιστοσύνης 90% μπορεί να εκτείνεται μέχρι και $\pm 0.25 f_{cm}$ εκατέρωθεν των μέσων καμπυλών και δε συνιστάται η άμεση εφαρμογή τους χωρίς να προηγηθεί βαθμονόμηση. Η βαθμονόμηση γίνεται με την παρασκευή διαφορετικών δοκιμίων από άποψη θλιπτικής αντοχής για τον έλεγχο σκυροδέματος. Τα δοκίμια που χρησιμοποιούνται προκειμένου να μην επηρεάζει το μέγεθος τα αποτελέσματα, πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερα. Για τις μετρήσεις είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται κυβικά δοκίμια τα οποία πρέπει να είναι ίσα ή μεγαλύτερα των 15 cm με ξηρές επιφάνειες. Σε περίπτωση συντήρησης υπό υγρές συνθήκες θα πρέπει να μεταφέρονται για 2 ημέρες τουλάχιστον πριν τη δοκιμή σε εργαστηριακές συνθήκες. Σε κάθε κυβικό δοκίμιο πρέπει να γίνονται δύο μετρήσεις σε δύο κάθετες διευθύνσεις και να λαμβάνεται ο μέσος όρος. Σε περίπτωση που δεν είναι δυνατή η κατασκευή ειδικών τότε η βαθμονόμηση μπορεί να γίνει με πυρήνες που λαμβάνονται από την κατασκευή που πρόκειται να ελεγχθεί. Τα αποτελέσματα προσαρμόζονται με παλινδρόμηση παραβολική, εκθετική σχέση ή της μορφής δυνάμεως, σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις

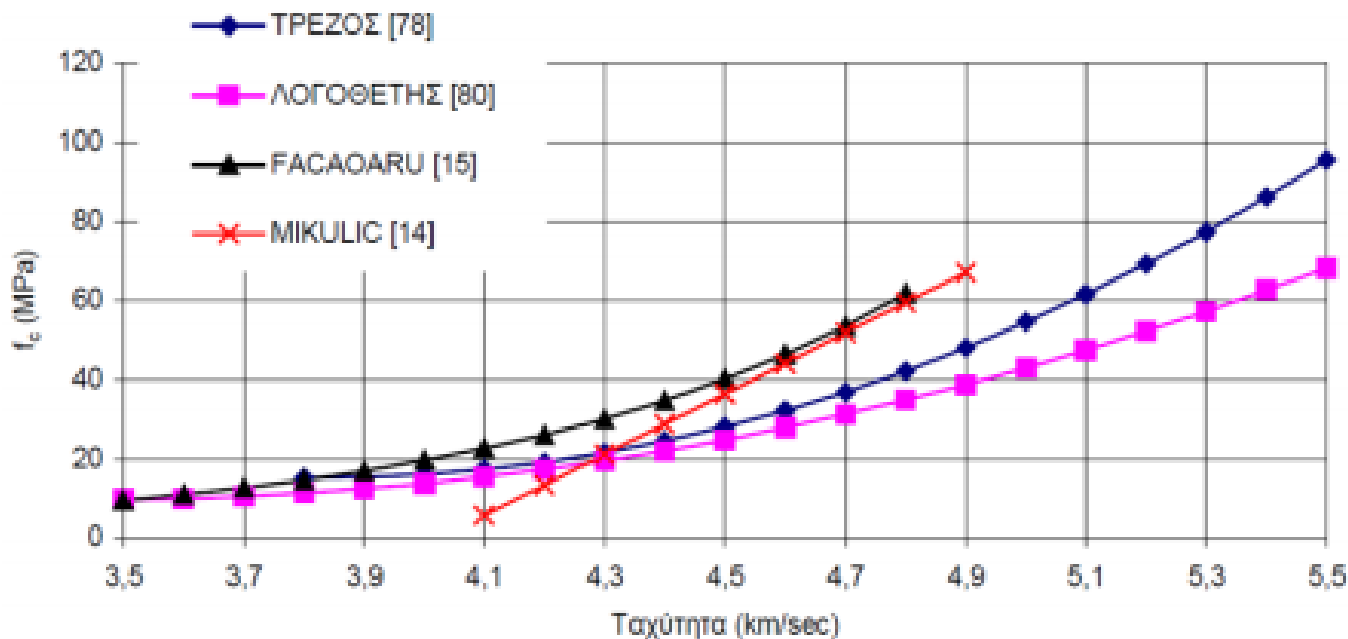
$$f_c = a \cdot v^2 + b \cdot v + c$$

$$f_c = a \cdot e^{b \cdot v}$$

$$f_c = a \cdot v^b,$$

όπου: v = ταχύτητα υπερήχων

a, b, c = συντελεστές



Διάγραμμα 3.1 Μέση θλιπτική αντοχή σκυροδέματος συναρτήσει ταχύτητας υπερήχων

3.8.2.5 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί

Η δοκιμή ταχύτητας παλμού υπερήχων είναι μία από τις πιο σημαντικές μη καταστροφικές μεθόδους και χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ομοιομορφίας του σκυροδέματος (Akkaya et al, 2002). Η διαδικασία δοκιμής είναι απλή και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι διαθέσιμος στην αγορά και εύκολος στη χρήση. Η δοκιμή ταχύτητας παλμού υπερήχων μπορεί να εφαρμοστεί και στα δύο μικρά δείγματα στο εργαστήριο ή στις μεγάλες κατασκευές σκυροδέματος στο αρχαιοθετημένο. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται σε αυτό το τεστ έχουν υψηλή διεισδυτική ισχύ, η οποία παρέχει βαθιά ανίχνευση ελαττωμάτων σε δοκιμασμένα δείγματα. Είναι επίσης πολύ ευαίσθητα με τρόπο που επιτρέπει την ανίχνευση εξαιρετικά μικρών ελαττωμάτων. Η δοκιμή δεν απαιτεί περισσότερες από δύο επιφάνειες που πρέπει να είναι προσβάσιμες για να είναι ολοκληρωμένη. Η μέθοδος ταχύτητας παλμού υπερήχων έχει μεγαλύτερη ακρίβεια στον προσδιορισμό του βαθμού εσωτερικών ελαττωμάτων σε σύγκριση με τις άλλες μη καταστρεπτικές μεθόδους. Το τεστ UPV είναι περισσότερο ικανό να προσδιορίσει το μέγεθος, το σχήμα και τη φύση των ελαττωμάτων. Ορισμένες διαδικασίες επιθεώρησης απαιτούνται για αυτήν τη μη καταστρεπτική μέθοδο δοκιμών. Πριν εκτελεστεί η δοκιμή, οι χρήστες πρέπει να βεβαιωθούν ότι και οι δύο μορφοτροπίες είναι συνδεδεμένοι με τη συσκευή. Είναι δύσκολο να δοκιμαστούν δείγματα που έχουν τραχύ, ακανόνιστο σχήμα, πολύ λεπτά ή όχι ομοιογενή. Πάνω από αυτό, η επιφάνεια του δείγματος πρέπει να είναι καθαρή πριν από την εκτέλεση της δοκιμής αλλιώς οτιδήποτε είναι στην επιφάνεια θα επηρεάσει τα αποτελέσματα.

4.ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

4.1 Γενικά

Στο Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε του Α.Τ.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ σύμφωνα με τα ισχύοντα πρότυπα, έγιναν όλοι οι απαραίτητοι εκείνοι έλεγχοι που απαιτούνται για την μέτρηση των δοκιμίων με την μέθοδο των υπερήχων, τη συντήρηση των δοκιμίων καθώς και τη θραύση αυτών. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρω πως τόσο τα αδρανή υλικά και το τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε όσο και η μελέτη σύνθεσης ήταν δωρεά της συναδέλφου Νομικού Μαρίας και του εργαστηρίου της εταιρείας στην οποία εργάζεται, την οποία και ευχαριστώ για ακόμη μια φορά για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε. Οι μήτρες που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των δοκιμίων είναι διαπιστευμένες σύμφωνα με τα πρότυπα που ορίζει ο Κ.Τ.Σ και είναι ιδιοκτησία του εργαστηρίου Οπλισμένου σκυροδέματος του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Α.Τ.Ε.Ι. Πειραιώς Τ.Τ. Πραγματοποιήθηκαν δυο σκυροδετήσεις οι οποίες περιελάμβαναν 18 δοκίμια η καθεμία. Τα πρώτα 18 συντηρήθηκαν σε νερό ΕΥΔΑΠ και τα εννέα από αυτά περιείχαν ίνες μεταλλικές. Για τα υπόλοιπα 18 δοκίμια έγινε προσομοίωση του θαλασσινού περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας καθαρό νερό και χλωριούχο νάτριο, καθότι το χλωριούχο νάτριο αποτελεί κατά βάση το δεύτερο βασικό συστατικό του θαλασσινού νερού. Επίσης τα 9 δοκίμια περιείχαν ίνες μεταλλικές. Οι μετρήσεις των δοκιμίων πραγματοποιήθηκαν σε 28, 56 και 84 ημέρες. Επιπλέον είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα δοκίμια ελέγχθηκαν με την ηλεκτρονική μηχανή λήψεως δοκιμίων σκυροδέματος για τον έλεγχο και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Ο τρόπος με τον οποίον ονομάστηκαν τα δοκίμια για να διαχωριστούν και στη συνέχεια να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις φαίνεται στο κάτωθι πίνακα:

ΔΟΚΙΜΙΑ ΧΩΡΙΣ ΙΝΕΣ		ΔΟΚΙΜΙΑ ΜΕ ΙΝΕΣ		ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ
ΝΕΡΟ ΕΥΔΑΠ	ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ	ΝΕΡΟ ΕΥΔΑΠ	ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ	
R1	R'1	F1	F'1	23 d
R2	R'2	F2	F'2	
R3	R'3	F3	F'3	
R4	R'4	F4	F'4	56 d
R5	R'5	F5	F'5	
R6	R'6	F6	F'6	
R7	R'7	F7	F'7	84 d
R8	R'8	F8	F'8	
R9	R'9	F9	F'9	

4.2 Διαδικασία παρασκευής δοκιμών

Αρχικά λόγω του γεγονότος ότι έγινε προσομοίωση του θαλασσινού περιβάλλοντος για να συντηρηθούν τα μισά δοκίμια, βάσει του Κ.Τ.Σ. 2016 η κατηγορία έκθεσης του σκυροδέματος είναι η XS2, καθώς και τα τσιμέντα που μας προμήθευσε η συνάδελφος Νομικού Μαρία τηρούσαν τις συγκεκριμένες προδιαγραφές όποτε η μελέτη σύνθεσης που ακολουθήθηκε αναγράφεται στο κάτωθι πίνακα. Οι ποσότητες των αδρανών υλικών αφορούν ένα κυβικό σκυροδέματος. Λόγω του γεγονότος ότι έγιναν δύο σκυροδετήσεις των 18 δοκιμών έγινε μετατροπή των ποσοτήτων των υλικών για 70lt σκυροδέματος.

ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ C30/37		
ΥΛΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΣΕ ΚG ΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 1 Μ3	ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΣΕ ΚG ΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 70 lt
ΤΣΙΜΕΝΤΟ Cem II 42,5R	340	23,80
ΝΕΡΟ	180	11,90
ΧΑΛΙΚΙ	633	44,31
ΓΑΡΜΠΙΛΙ	205	14,35
ΑΜΜΟΣ	1047	73,29
ΠΡΟΣΘΕΤΟ =1,0 -1,2% κ.β τσιμέντου (άνω των 3,4 kg)	4,08	0,29
ΙΝΕΣ ΧΑΛΥΒΑ	30	2,10
N/T	0,53	

Για να ξεκινήσει η παρασκευή του σκυροδέματος έπρεπε πρώτα οι μήτρες να καθαριστούν, να λαδωθούν και να τοποθετηθούν στο χώρο όπου θα γινόταν η σκυροδέτηση και η συντήρηση των πρώτων 24 ωρών.



Εικόνα 4.1. Καθαρισμός και λάδωμα μητρών



Εικόνα 4.2. Τοποθέτηση στο χώρο σκυροδέτησης και συντήρησης

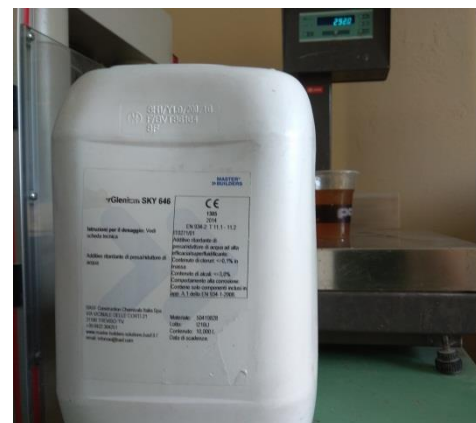
Στη συνέχεια ζυγίστηκαν τα υλικά για την παρασκευή του σκυροδέματος, καθαρίστηκε και τοποθετήθηκε η μπετονιέρα στο χώρο παρασκευής, καθαρίστηκε και τοποθετήθηκε μια επιφάνεια και ο κώνος κάθισης καθώς και η συσκευή εξάπλωσης και τηρήθηκαν οι οδηγίες του προτύπου ΕΛΟΤ EN 12350-1, ΕΛΟΤ EN12350.02 όπως και του ΕΛΟΤ EN 12350.05 και για τη διενέργεια των δοκιμών. Για τη μέτρηση της κάθισης χρησιμοποιήθηκε ο κώνος κάθισης, με διάμετρο κάτω βάσεως 200 ± 2 mm, διάμετρο άνω βάσεως 100 ± 2 mm, ύψος 300 ± 2 mm και μια χαλύβδινη ράβδο συμπυκνώσεως, ευθύγραμμη, μήκους 60 cm, κυκλικής διατομής $\Phi 16$ mm, με στρογγυλεμένα άκρα. Όταν τελείωσε η διαδικασία μετρήθηκε η κάθιση αναποδογυρίζοντας τον κώνο και μετρώντας την υψομετρική διαφορά όπως φαίνεται στην εικόνα 4.5. Εξάπλωση είναι ένα μέτρο εργασιμότητας που εκφράζεται με τη μέση διάμετρο σε cm που αποκτά μια κωνική στήλη νωπού σκυροδέματος, η οποία μορφώθηκε επάνω στην τράπεζα εξαπλώσεως, έπειτα από ορισμένο αριθμό αναπηδήσεων της τράπεζας. Η εξάπλωση του σκυροδέματος μετριέται παράλληλα προς τις πλευρές της βάσης διαμέσου του κέντρου της.



Εικόνα 4.3. Τοποθέτηση μπετονιέρας και συσκευών για δοκιμές



Εικόνα 4.4. Ζύγιση υλικών



Εικόνα 4.5. Ζύγιση ρευστοποιητή

Τοποθετήθηκαν τα αδρανή στον κάδο ανάμειξης με πρώτο το χαλίκι μετά το γαρμπίλι και τέλος η άμμος. Όλα μαζί αναδεύτηκαν για 30 δευτερόλεπτα. προστέθηκε το 1/3 του νερού και συνεχίστηκε η ανάδευση για άλλα 30 δευτερόλεπτα. Έγινε μια παύση 5

λεπτών και με το πέρας προστέθηκε το τσιμέντο και έγινε ανάδευση για 30 δευτερόλεπτα. Στη συνέχεια αναμίχθηκε ο ρευστοποιητής με το υπολειπόμενο νερό και προστέθηκαν στο αρχικό μείγμα όπου και αναδεύτηκαν για 5 λεπτά. Όλη η διαδικασία διήρκησε 11 λεπτά και 30 δευτερόλεπτα. Οι ίνες προστέθηκαν στο μείγμα πριν την πρόσθεση του νερού με το ρευστοποιητή έτσι ώστε να αναδευτούν 5 λεπτά τουλάχιστον με το μείγμα.



Εικόνα 4.6. Τοποθέτηση αδρανών στον κάδο ανάμειξης



Εικόνα 4.7. Τοποθέτηση 1/3 νερό στον κάδο ανάμειξης



Εικόνα 4.8. Τοποθέτηση τσιμέντου στον κάδο ανάμειξης



Εικόνα 4.9. Ομογενοποίηση αδρανών υλικών και τσιμέντου



Εικόνα 4.10. Ανάμειξη ρευστοποιητή με νερό



Εικόνα 4.11. Τοποθέτηση νερού και ρευστοποιητή στο μείγμα



Εικόνα 4.15. Ίνες χαλύβδινες

Τα αποτελέσματα των δοκιμών νωπού σκυροδέματος ήταν για κάθιση 22 cm οπότε η κατηγορία είναι η S5 και η εξάπλωση 60 cm οπότε η κατηγορία είναι η F5 βάσει του ΚΤΣ 2016. Οι τιμές για το ινοπλισμένο είναι κάθιση 20 cm και κατηγορία S4 και εξάπλωση 56 cm και κατηγορία F5.



Εικόνα 4.12. Διαδικασία δοκιμής κάθισης



Εικόνα 4.13. Δοκιμή κάθισης



Εικόνα 4.14. Δοκιμή εξάπλωσης

Τις δοκιμές νωπού σκυροδέματος ακολούθησε η διαδικασία λήψης των δοκιμίων όπου και εδώ ακολουθήθηκε βάσει ΚΤΣ 2016 το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12390.01. Για τη συμπύκνωση των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε μεταλλική ράβδος συμπύκνωσης κυκλικής διατομής με στρογγυλεμένα άκρα, διαμέτρου 16 mm και μήκους περίπου 600 mm. Το σκυρόδεμα διαστρώθηκε μέσα στις μήτρες σε στρώσεις ίσου ύψους και εφαρμόστηκαν 25 κτύποι με προσοχή χωρίς να εισέρχεται η ράβδος στην προηγούμενη στρώση, ώστε να επιτευχθεί πλήρης συμπύκνωση του σκυροδέματος. Τυπικά για κλάσεις κάθισης S1 & S2 25 κτύποι αφαιρούνε τον εγκλωβισμένο αέρα (entrapped air) και όχι τον αέρα μέσα στη μάζα του σκυροδέματος (entrained air). Μετά την ολοκλήρωση της συμπυκνώσεως η επιφάνεια του σκυροδέματος επιπεδώνεται. Στη συνέχεια με μια ματσόλα χτυπάμε τα πλαϊνά της μήτρας και με την

βοήθεια ενός μυστρίου αφαιρούμε το πλεονάζον σκυρόδεμα και επιπεδώνουμε τα δοκίμια του νωπού σκυροδέματος.



Εικόνα 4.16. Συμπύκνωση πρώτης στρώσης



Εικόνα 4.17. Γέμισμα με τη δεύτερη στρώση



Εικόνα 4.18. Συμπύκνωση δεύτερης στρώσης



Εικόνα 4.19. Επιπέδωση επιφάνειας και αφαίρεση πλεονάζοντος υλικού

Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε για όλα τα δοκίμια και στη συνέχεια έγινε η συντήρηση τους για τις πρώτες 24 ώρες όπου καλύφθηκαν με βρεγμένη λινάτσα.



Εικόνα 4.20. Συντήρηση δοκιμών με βρεγμένη λινάτσα

Επόμενο βήμα ήταν το ξεκαλούπωμα των δοκιμίων με προσοχή, ο χαρακτηρισμός των δοκιμίων, λαμβάνοντας υπόψη το περιβάλλον συντήρησης και την περιεκτικότητά τους σε ίνες, καθώς και το καθάρισμα των μητρών για μελλοντική χρήση.

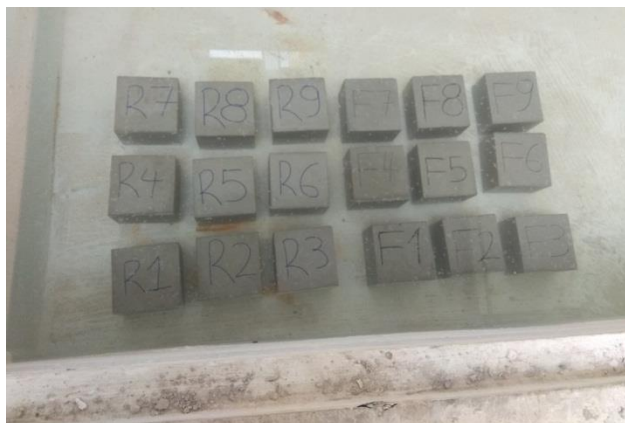


Εικόνα 4.21. Ξεκαλούπωμα δοκιμίων



Εικόνα 4.22. Χαρακτηρισμός δοκιμίων

Στη συνέχεια και αφού προσομοιάστηκε το θαλασσινό περιβάλλον έγινε εμβάπτιση των δοκιμίων. Τα μισά συντηρήθηκαν στην δεξαμενή συντήρησης σε νερό ΕΥΔΑΠ και τα υπόλοιπα σε δύο δοχεία με το προσομοιωμένο θαλασσινό νερό. Τα δοκίμια που συντηρήθηκαν σε νερό ΕΥΔΑΠ παρέμειναν στην δεξαμενή για 24 μέρες. Τα υπόλοιπα παρέμειναν εμβαπτισμένα στο προσομοιωμένο θαλασσινό καθώς θέλαμε να δούμε τη επίδραση που θα έχει πάνω τους το θαλασσινό νερό.



Εικόνα 4.23 Συντήρηση σε νερό ΕΥΔΑΠ



Εικόνα 4.24 Συντήρηση σε προσομοιωμένο θαλασσινό νερό

4.3 Διαδικασία μετρήσεων

Αφού τα δοκίμια είχαν τοποθετηθεί για τέσσερις μέρες εκτός από το περιβάλλον συντήρησής τους για να στεγνώσουν έτσι ώστε να μην υπάρχουν παρεμβολές στις μετρήσεις από ενδεχόμενη υγρασία, καθαρίστηκαν πολύ σχολαστικά και λειάνθηκαν, εφόσον χρειαζόταν οι πλευρές περιμετρικά των δοκιμίων. Για την εγκυρότητα των μετρήσεων η πρώτη εργασία που επιβάλλεται να γίνει είναι η βαθμονόμηση του οργάνου. Κάποια όργανα όπως αυτό που χρησιμοποιήθηκε περιέχουν μια μεταλλική ράβδο βαθμονόμησης. Εάν δεν περιλαμβάνεται η μεταλλική ράβδος, για να βαθμονομηθεί η συσκευή, θα πρέπει να έρθουν σε επαφή ο πομπός και ο δέκτης και το αποτέλεσμα που θα δείξει το όργανο να είναι μηδέν. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση πρέπει να γίνει ρύθμιση του οργάνου σύμφωνα με όσα προβλέπει ο κατασκευαστής. Αφού βαθμονομήθηκε η συσκευή σειρά είχαν οι μετρήσεις οι οποίες εφαρμόστηκαν στις πλευρές των δοκιμίων. Για κάθε πλευρά υπήρχαν πέντε (5) μετρήσεις ταχύτητας για μεγαλύτερη ασφάλεια των αποτελεσμάτων. Σύνολο για κάθε δοκίμιο δηλαδή είχαμε δέκα (10) μετρήσεις. Κάθε πλευρά των δοκιμίων μετρήθηκε με παχύμετρο και ενημερώθηκε αντίστοιχα η συσκευή. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών οι ακροδέκτες πρέπει να εφάπτονται στην πλευρά του δοκιμίου. Διαφορετικά, μπορεί να δημιουργηθεί θύλακας αέρα μεταξύ των ακροδεκτών και του σκυροδέματος και να οδηγήσει σε σφάλμα μέτρησης (π.χ. ανακριβής μέτρηση του χρόνου διέλευσης). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί σύνδεσμοι για την εξάλειψη των θυλάκων αέρα και για την εξασφάλιση καλής επαφής (π.χ. βαζελίνη, γράσο, υγρό σαπουνι). Το στρώμα ζεύξης της λιπαντικής ουσίας πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο λεπτό επειδή ένα παχύ στρώμα θα οδηγήσει σε σφάλμα μέτρησης. Επίσης η δύναμη που θα ασκηθεί στους ακροδέκτες δεν πρέπει να είναι υπερβολική καθώς υπάρχει κίνδυνος πρόκλησης ζημιάς. Για το στρώμα ζεύξης χρησιμοποιήθηκε βαζελίνη και ο πομπός με το δέκτη χρησιμοποιήθηκαν αντικριστά καθώς βάσει βιβλιογραφίας είναι η πιο ακριβής μέθοδος. Με την τοποθέτηση πομπού και δέκτη στο δοκίμιο ενεργοποιήθηκε η συσκευή και καταγράφηκαν οι ενδείξεις της ταχύτητας διάδοσης του κύματος (V) στο δοκίμιο και οι χρόνοι (t) που χρειάζονται για να φτάσει από τον πομπό στο δέκτη. Στη συνέχεια καθαρίστηκαν με ένα πανί οι πλευρές που θα εδράζονταν τα δοκίμια στη μηχανή μονοαξονικής θλίψης για τον υπολογισμό της θλιπτικής αντοχής καθώς με την ύπαρξη βαζελίνης μπορεί να προκύψει σφάλμα στη μέτρηση. Πριν την τοποθέτηση των δοκιμίων στη μηχανή μονοαξονικής θλίψης ελέγχθηκαν σε επιπεδότητα και καθετότητα τα δοκίμια και ζυγίστηκαν. Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν στο κέντρο της μηχανής με προσοχή και χωρίς οποιαδήποτε κρούση που θα μπορούσε να επιφέρει ανομοιομορφία σε κάποια πλευρά των δοκιμίων. Με προσοχή προσαρμόζεται η άνω πλάκα φόρτισης και ξεκινά η δοκιμή. Η διαδικασία

επαναλήφθηκε για όλα τα δοκίμια. Η διαδικασία ακολούθησε τα προβλεπόμενα σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 12390-8.



Εικόνα 4.25 Διαδικασία μετρήσεων με υπερήχους



Εικόνα 4.26 Τοποθέτηση δοκιμίου στη συσκευή μονοαξονικής θλίψης



Εικόνα 4.27 Δοκίμιο με το πέρας της δοκιμής



Εικόνα 4.28 Αποτελέσματα με το πέρας της δοκιμής

4.4 Αποτελέσματα μετρήσεων

Οι διαθέσιμες σχέσεις που συνδέουν τη θλιπτική αντοχή με την ταχύτητα των διαμηκών κυμάτων όπως προκύπτει από την διεθνή βιβλιογραφία φαίνεται στον πίνακα παρακάτω:

Εξίσωση	Αρ Εξ.	Παραπομπή
$f_c(V_p) = 1.146 \exp(0.77V_p)$	(E.1)	Turgut 2004
$f_c(V_p) = 1.119 \exp(0.715V_p)$	(E.2)	Nash't et al. 2005
$f_c(V_p) = 0.0854 \exp(1.288V_p)$	(E.3)	Trtnik et al. 2009
$f_c(V_p) = 176.9 - 96.467V_p + 13.906(V_p)^2$	(E.4)	Λογοθέτης 1973
$f_c(V_p) = 1.2 \times 10^{-5} (1000V_p)^{1.7447}$	(E.5)	Kheder 1999
$f_c(V_p) = 36.72V_p - 129.077$	(E.6)	Qasrawi 2000
$f_c(V_p) = 0,00422 \times V_p^{5,88}$	(E.7)	Τρέζος

Πίνακας 4.1 Εμπειρικές σχέσεις για την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος συναρτήσει της ταχύτητας των υπερήχων

Όπου V_p = η ταχύτητα των υπερήχων σε km/sec

και f_c = η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε MPa

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ					
R1	15,2		15,2		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	30,1	5050	28,5	5330	5148
2	29,4	5170	28,8	5280	
3	29,5	5150	30,4	5000	
4	29,3	5190	31	4900	
5	29,4	5170	29	5240	
R2	15,1		15,1		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	29,1	5190	29,9	5090	5130
2	29,5	5120	29,5	5120	
3	29,4	5140	29,2	5170	
4	29,3	5150	30,0	5030	
5	29,2	5170	29,5	5120	

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ					
R3	15,0		15,0		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	29,3	5120	29,4	5100	5129
2	29,2	5140	29,0	5170	
3	29,3	5120	29,1	5150	
4	29,2	5140	29,4	5100	
5	29,4	5100	29,1	5150	
R4	15,1		15,1		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	29,2	5170	29,1	5190	5200
2	28,8	5240	29,1	5190	
3	28,9	5220	29,1	5190	
4	29,2	5170	29,2	5170	
5	28,8	5240	28,9	5220	
R5	15,1		15,1		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	29,4	5140	29,2	5170	5192
2	28,9	5220	29,1	5190	
3	29,3	5150	28,7	5260	
4	29,4	5140	29,1	5190	
5	28,8	5240	28,9	5220	
R6	15,2		15,2		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	29,1	5220	29,2	5210	5206
2	29,2	5210	29,5	5150	
3	28,9	5260	28,9	5260	
4	29,5	5150	29,1	5220	
5	29,0	5240	29,6	5140	
R7	15,2		15,2		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	28,8	5300	28,8	5280	5268
2	28,5	5330	28,0	5430	
3	30,1	5050	28,7	5300	
4	29,1	5240	29,0	5240	
5	29,2	5210	28,7	5300	
R8	15,1		15,1		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	29,1	5190	28,6	5280	5224
2	29,0	5210	29,1	5190	
3	29,2	5170	28,7	5260	
4	28,9	5220	28,9	5220	
5	28,7	5260	28,8	5240	

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ					
R9	15,1		15,1		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	
1	29,1	5190	28,9	5220	5222
2	29,3	5150	28,7	5260	
3	28,9	5220	29,1	5190	
4	28,8	5240	28,6	5280	
5	28,7	5260	29	5210	

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ					
R'1	15,2		15,2		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	
1	29,7	5120	29,6	5140	5123
2	29,8	5100	29,5	5150	
3	29,7	5120	29,8	5100	
4	29,8	5100	29,7	5120	
5	29,6	5140	29,6	5140	
R'2	15,1		15,1		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	
1	29,3	5150	29,5	5120	5132
2	29,5	5120	29,3	5150	
3	29,6	5080	29,2	5170	
4	29,5	5120	29,6	5100	
5	29,2	5170	29,4	5140	
R'3	15,1		15,1		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	
1	29,6	5100	29,8	5070	5112
2	29,3	5150	29,0	5210	
3	29,6	5100	29,9	5050	
4	29,7	5050	29,4	5140	
5	29,2	5170	29,7	5080	
R'4	15,1		15,1		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	
1	29,4	5140	29,2	5170	5172
2	29,6	5100	29,0	5210	
3	29,7	5080	28,9	5220	
4	29,3	5150	29,2	5170	
5	28,9	5220	28,7	5260	

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ					
R'5	15,1		15,1		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	29,0	5210	29,4	5140	5190
2	28,9	5220	29,2	5170	
3	29,4	5140	28,9	5220	
4	28,9	5220	29,3	5150	
5	29,1	5190	28,8	5240	
R'6	15,2		15,2		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	29,4	5170	29,4	5170	5207
2	29,3	5190	29,2	5190	
3	29,0	5240	29,1	5240	
4	29,1	5220	28,9	5220	
5	28,9	5260	29,4	5170	
R'7	14,9		14,9		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	28,6	5210	28,7	5190	5212
2	28,8	5170	28,4	5250	
3	28,6	5210	28,5	5230	
4	28,4	5250	28,6	5210	
5	28,5	5230	28,8	5170	
R'8	15,0		15,0		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	28,6	5240	28,8	5210	5248
2	28,7	5230	28,6	5240	
3	28,5	5260	28,4	5280	
4	28,6	5240	28,6	5240	
5	28,4	5280	28,5	5260	
R'9	15,0		15,0		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	28,4	5280	28,4	5280	5257
2	28,8	5210	28,6	5240	
3	28,4	5280	28,5	5260	
4	28,5	5260	28,6	5240	
5	28,6	5240	28,4	5280	

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ					
F1	15		15		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	29,3	5120	29,4	5100	5164
2	29,2	5140	28,9	5190	
3	28,9	5190	28,8	5210	
4	28,7	5230	29,1	5150	
5	28,8	5210	29,4	5100	
F2	15,2		15,2		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	29,0	5240	29,5	5120	5190
2	29,1	5220	29,3	5150	
3	28,8	5280	29,2	5170	
4	29,1	5220	29,6	5100	
5	28,9	5260	29,4	5140	
F3	15,0		15,0		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	28,9	5190	29,1	5150	5168
2	29,1	5150	28,9	5190	
3	29,2	5140	28,8	5210	
4	28,8	5210	29,2	5140	
5	29,1	5150	29,1	5150	
F4	15,0		15,0		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	28,9	5190	28,8	5210	5203
2	28,5	5260	29,1	5150	
3	29,1	5150	28,7	5230	
4	28,9	5190	29,0	5170	
5	28,6	5240	28,6	5240	
F5	15,1		15,1		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	28,8	5240	29,1	5190	5189
2	29,1	5190	29,4	5140	
3	29,3	5150	29,5	5120	
4	29,0	5210	28,9	5220	
5	29,2	5170	28,7	5260	
F6	15,0		15,0		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	28,9	5190	28,8	5210	5200
2	29,1	5150	28,6	5240	
3	28,9	5190	28,9	5190	
4	29,1	5150	28,7	5230	
5	28,8	5210	28,6	5240	

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ					
F7	15,1		15,1		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	28,9	5220	28,5	5300	5280
2	28,6	5280	28,3	5340	
3	28,7	5260	28,6	5280	
4	28,9	5220	28,4	5320	
5	28,8	5240	28,3	5340	
F8	15,1		15,1		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	28,5	5300	29,0	5210	5267
2	28,7	5260	28,9	5220	
3	28,8	5240	28,7	5260	
4	28,7	5260	28,6	5280	
5	28,3	5340	28,5	5300	
F9	15,0		15,0		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	28,4	5280	28,6	5240	5270
2	28,6	5240	28,4	5300	
3	28,5	5260	28,3	5300	
4	28,3	5300	28,5	5260	
5	28,4	5280	28,6	5240	

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ					
F'1	15		15		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	28,7	5230	29,2	5140	5175
2	29,1	5150	28,7	5230	
3	29,2	5140	28,9	5190	
4	28,8	5210	28,6	5240	
5	29,6	5070	29,1	5150	
F'2	15,0		15,0		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	28,7	5230	28,8	5210	5181
2	28,9	5190	29,3	5120	
3	29,1	5150	28,9	5190	
4	29,4	5100	29,1	5150	
5	28,6	5240	28,7	5230	

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ					
F'3	15,1		15,1		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	28,9	5220	29,1	5190	5185
2	28,7	5260	29,5	5120	
3	29,2	5170	29,6	5100	
4	29,4	5140	28,9	5220	
5	28,8	5240	29,1	5190	
F'4	15,0		15,0		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	28,6	5240	28,5	5260	5228
2	28,8	5210	28,4	5280	
3	28,6	5240	28,6	5240	
4	29,1	5150	28,8	5210	
5	28,5	5260	28,9	5190	
F'5	15,2		15,2		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	28,5	5330	29,4	5170	5251
2	28,7	5300	29,1	5220	
3	28,9	5260	28,9	5260	
4	28,6	5310	29,2	5210	
5	29,0	5240	29,2	5210	
F'6	15,1		15,1		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	28,8	5240	29,1	5190	5220
2	29,2	5170	28,8	5240	
3	28,7	5260	28,7	5260	
4	28,8	5240	29,2	5170	
5	29,2	5170	28,7	5260	
F'7	15,0		15,0		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	28,7	5230	28,8	5210	5282
2	28,5	5260	28,3	5300	
3	28,4	5280	28,4	5280	
4	28,2	5320	28,0	5360	
5	28,6	5240	28,1	5340	
F'8	15,0		15,0		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	28,4	5280	28,2	5320	5300
2	28,1	5340	28,1	5340	
3	28,2	5320	28,5	5260	
4	28,5	5260	28,3	5300	
5	28,3	5300	28,4	5280	

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ					
F'9	15,1		15,1		
	T(μs)	V(m/s)	T(μs)	V(m/s)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	28,8	5240	28,7	5260	5296
2	28,7	5260	28,5	5300	
3	28,6	5280	28,2	5350	
4	28,5	5300	28,3	5340	
5	28,6	5280	28,2	5350	

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗΝ ΣΥΣΚΕΥΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ	
ΔΟΚΙΜΙΑ	ΤΑΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ (KN)
R1	1450
R2	1423
R3	1386
R4	1513
R5	1485
R6	1535
R7	1668
R8	1582
R9	1562

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗΝ ΣΥΣΚΕΥΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ	
ΔΟΚΙΜΙΑ	ΤΑΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ (KN)
R'1	1422
R'2	1411
R'3	1386
R'4	1489
R'5	1503
R'6	1528
R'7	1520
R'8	1593
R'9	1603

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗΝ ΣΥΣΚΕΥΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ	
ΔΟΚΙΜΙΑ	ΤΑΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ (KN)
F1	1452
F2	1503
F3	1461
F4	1490
F5	1503
F6	1488
F7	1632
F8	1615
F9	1621

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗΝ ΣΥΣΚΕΥΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ	
ΔΟΚΙΜΙΑ	ΤΑΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ (KN)
F'1	1459
F'2	1468
F'3	1489
F'4	1543
F'5	1615
F'6	1560
F'7	1658
F'8	1687
F'9	1706

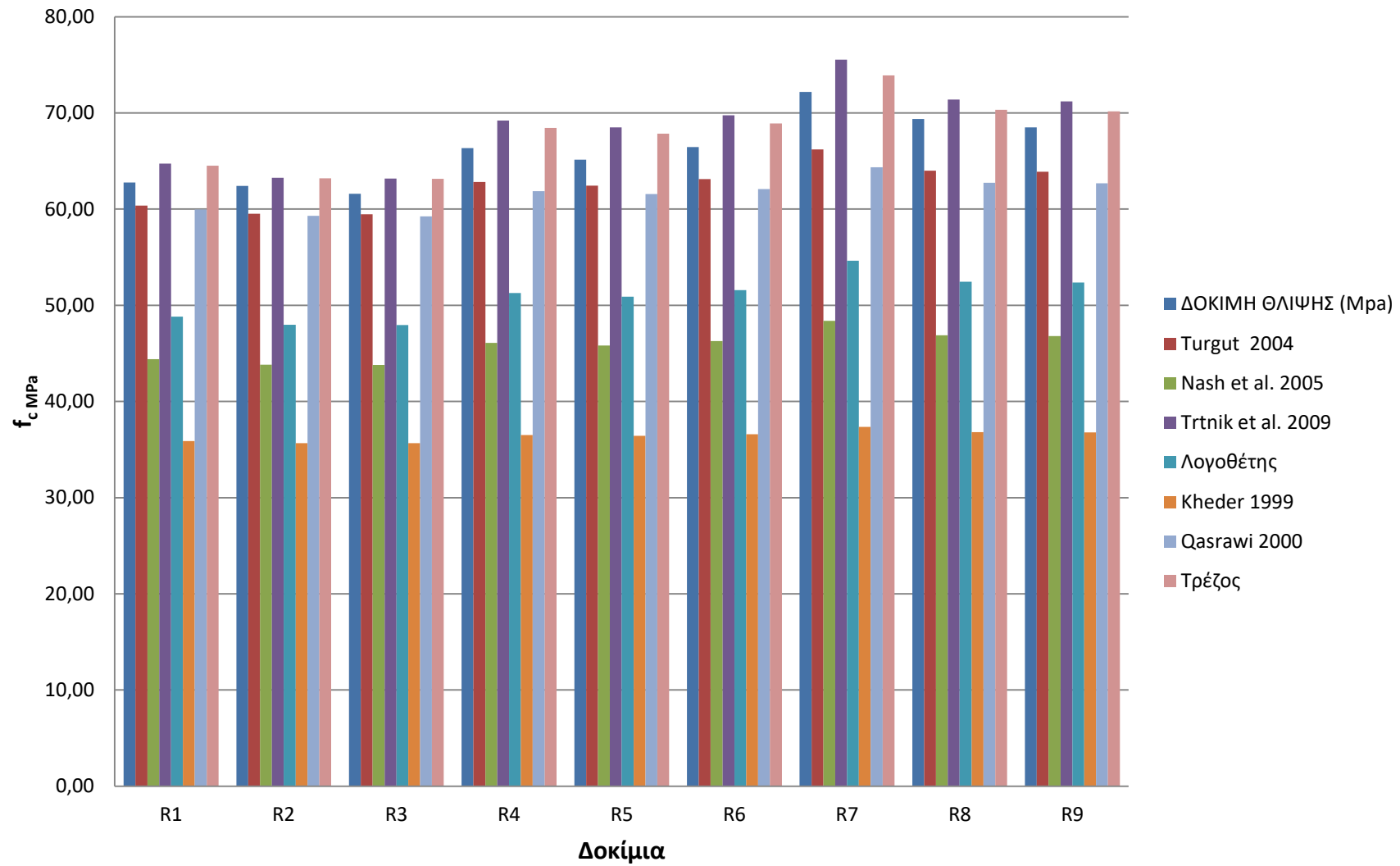
ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ									
ΔΟΚΙΜΙΑ	ΔΟΚΙΜΗ ΘΛΙΨΗΣ (MPa)	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ							
		ΤΑΧΥΤΗΤΑ (m/sec)	Turgut 2004	Nash et al. 2005	Trtnik et al. 2009	Λογοθέτης	Kheder 1999	Qasrawi 2000	Τρέζος
R1	62,76	5148	60,35	44,40	64,73	48,82	35,88	59,96	64,53
R2	62,41	5130	59,52	43,83	63,25	47,99	35,66	59,30	63,21
R3	61,60	5129	59,48	43,80	63,16	47,94	35,65	59,26	63,14
R4	66,36	5200	62,82	46,08	69,21	51,29	36,52	61,87	68,46
R5	65,13	5192	62,43	45,82	68,50	50,91	36,42	61,57	67,84
R6	66,44	5206	63,11	46,28	69,75	51,58	36,59	62,09	68,92
R7	72,20	5268	66,20	48,38	75,55	54,63	37,35	64,36	73,89
R8	69,38	5224	63,99	46,88	71,39	52,45	36,81	62,75	70,33
R9	68,51	5222	63,89	46,81	71,20	52,36	36,79	62,67	70,18

ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ									
ΔΟΚΙΜΙΑ	ΔΟΚΙΜΗ ΘΛΙΨΗΣ (MPa)	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ							
		ΤΑΧΥΤΗΤΑ (m/sec)	Turgut 2004	Nash et al. 2005	Trtnik et al. 2009	Λογοθέτης	Kheder 1999	Qasrawi 2000	Τρέζος
R'1	61,55	5123	59,20	43,61	62,68	47,66	35,58	59,04	62,71
R'2	61,88	5132	59,62	43,90	63,41	48,08	35,69	59,37	63,36
R'3	60,79	5112	58,70	43,27	61,80	47,16	35,45	58,64	61,92
R'4	65,30	5172	61,48	45,17	66,76	49,95	36,17	60,84	66,32
R'5	65,92	5190	62,34	45,75	68,33	50,81	36,39	61,50	67,69
R'6	66,14	5207	63,16	46,31	69,84	51,63	36,60	62,12	69,00
R'7	68,47	5212	63,40	46,48	70,29	51,87	36,66	62,31	69,39
R'8	70,80	5248	65,19	47,69	73,63	53,63	37,11	63,63	72,26
R'9	71,24	5257	65,64	48,00	74,49	54,08	37,22	63,96	72,99

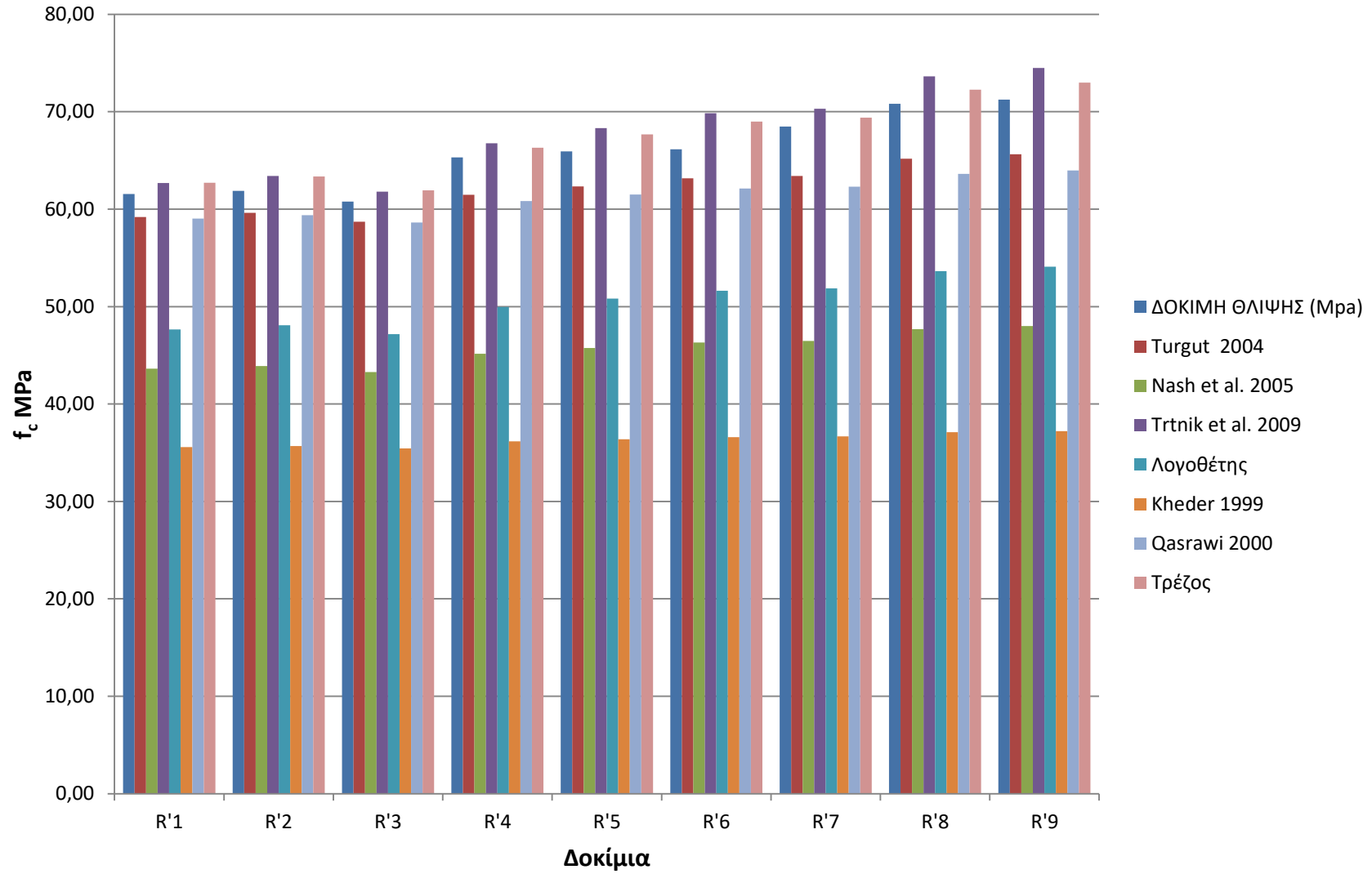
ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ									
ΔΟΚΙΜΙΑ	ΔΟΚΙΜΗ ΘΛΙΨΗΣ (MPa)	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ							
		ΤΑΧΥΤΗΤΑ (m/sec)	Turgut 2004	Nash et al. 2005	Trtnik et al. 2009	Λογοθέτης	Kheder 1999	Qasrawi 2000	Τρέζος
F1	64,53	5164	61,10	44,91	66,08	49,57	36,08	60,55	65,72
F2	65,05	5190	62,34	45,75	68,33	50,81	36,39	61,50	67,69
F3	64,93	5168	61,29	45,04	66,42	49,76	36,13	60,69	66,02
F4	66,22	5203	62,97	46,18	69,48	51,43	36,55	61,98	68,69
F5	65,92	5189	62,29	45,72	68,24	50,76	36,38	61,46	67,61
F6	66,13	5200	62,82	46,08	69,21	51,29	36,52	61,87	68,46
F7	71,58	5280	66,81	48,80	76,73	55,23	37,50	64,80	74,89
F8	70,83	5267	66,15	48,34	75,45	54,58	37,34	64,33	73,81
F9	72,04	5270	66,30	48,45	75,74	54,73	37,38	64,44	74,06

ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ									
ΔΟΚΙΜΙΑ	ΔΟΚΙΜΗ ΘΛΙΨΗΣ (MPa)	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ							
		ΤΑΧΥΤΗΤΑ (m/sec)	Turgut 2004	Nash et al. 2005	Trtnik et al. 2009	Λογοθέτης	Kheder 1999	Qasrawi 2000	Τρέζος
F'1	64,84	5175	61,62	45,27	67,02	50,09	36,21	60,95	66,54
F'2	65,24	5181	61,91	45,46	67,54	50,38	36,28	61,17	67,00
F'3	65,30	5185	62,10	45,59	67,89	50,57	36,33	61,32	67,30
F'4	68,58	5228	64,19	47,01	71,75	52,65	36,86	62,90	70,65
F'5	69,90	5251	65,34	47,79	73,91	53,78	37,14	63,74	72,50
F'6	68,42	5220	63,80	46,75	71,02	52,26	36,76	62,60	70,02
F'7	73,69	5282	66,91	48,87	76,92	55,33	37,53	64,88	75,05
F'8	74,98	5300	67,85	49,50	78,73	56,24	37,75	65,54	76,57
F'9	74,82	5296	67,64	49,36	78,32	56,04	37,70	65,39	76,23

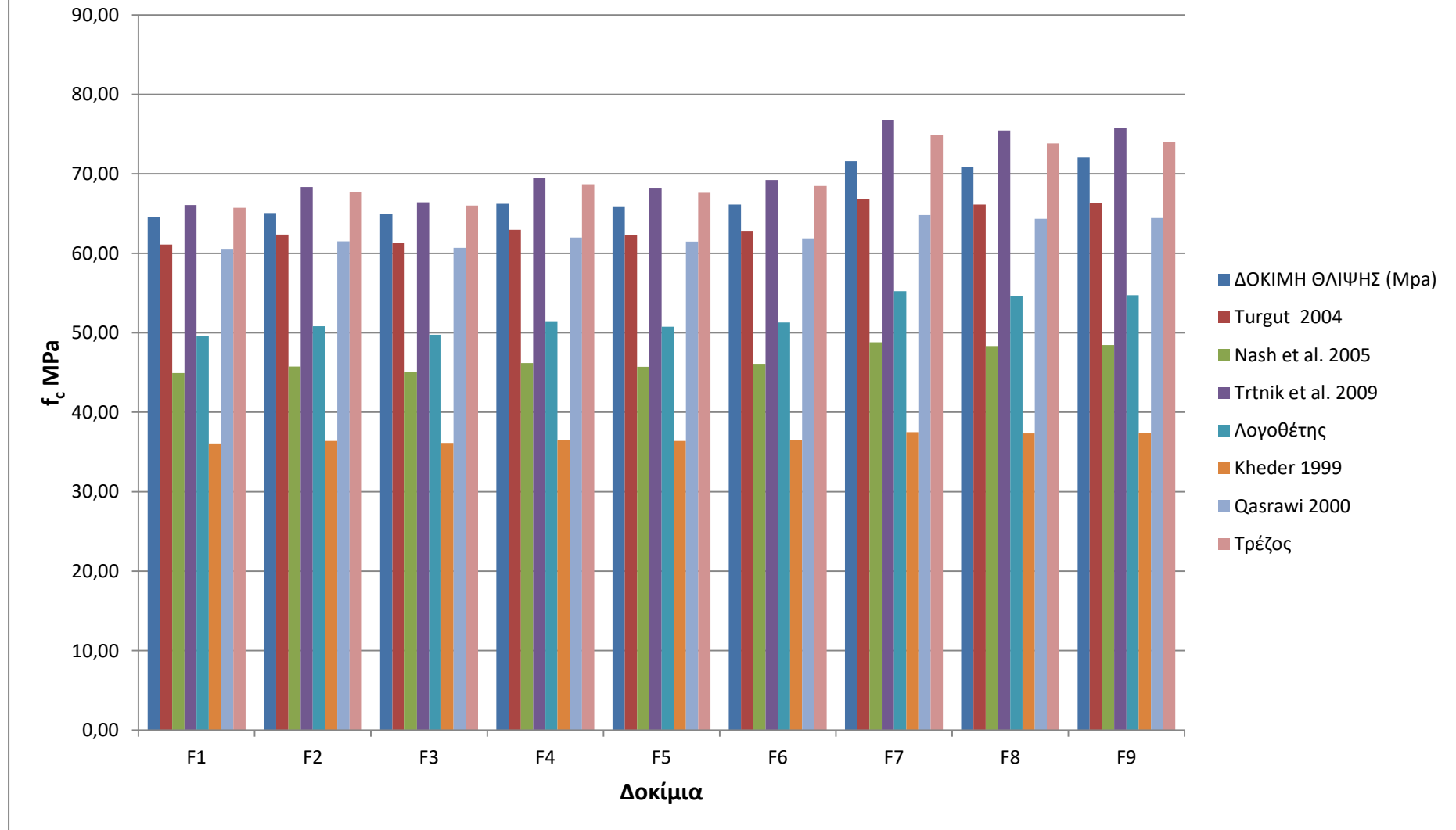
Σύγκριση αποτελεσμάτων



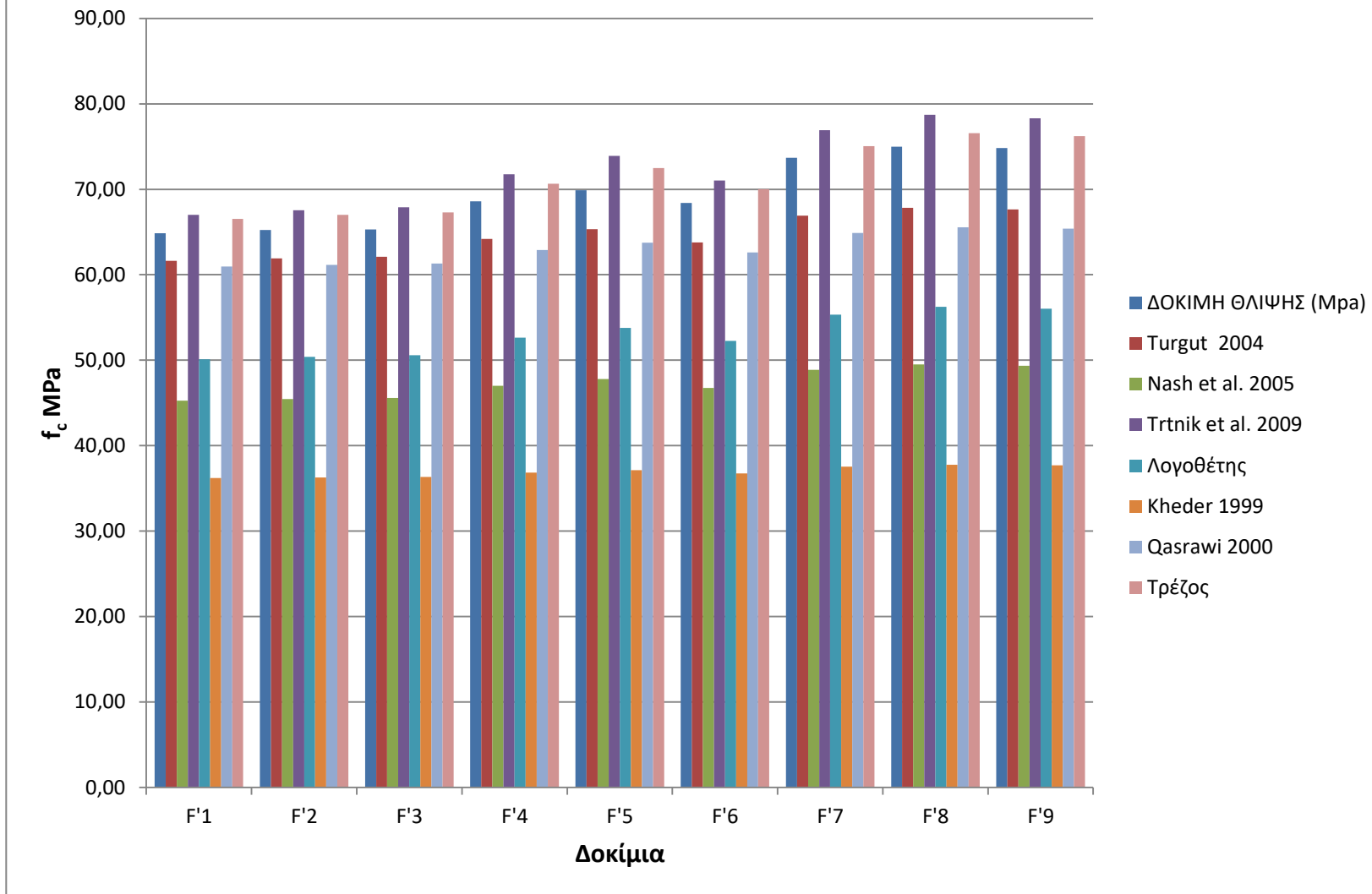
Σύγκριση αποτελεσμάτων



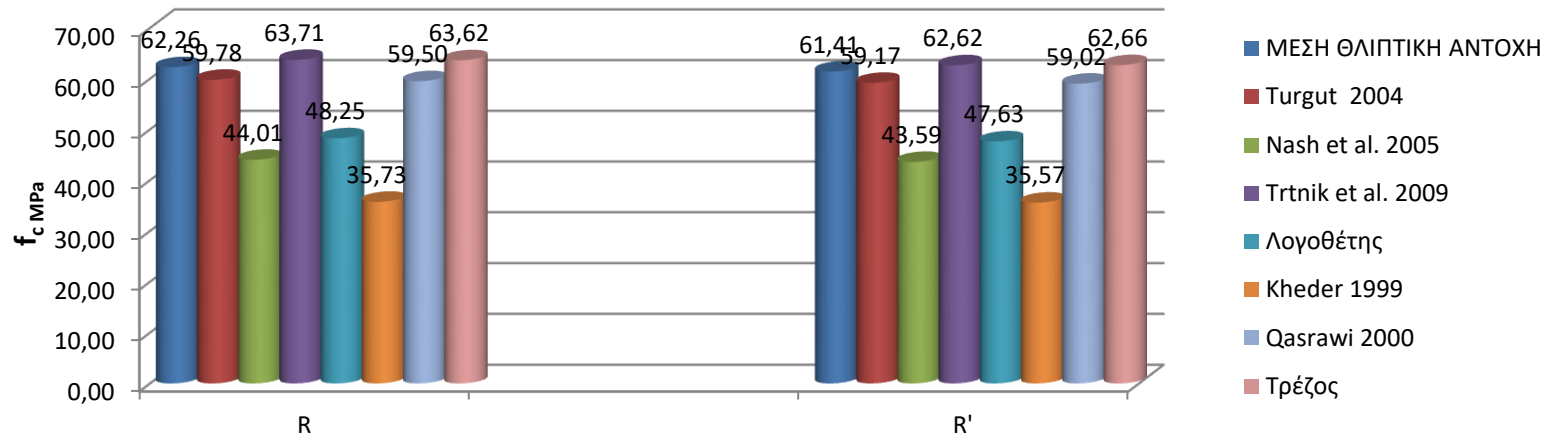
Σύγκριση αποτελεσμάτων



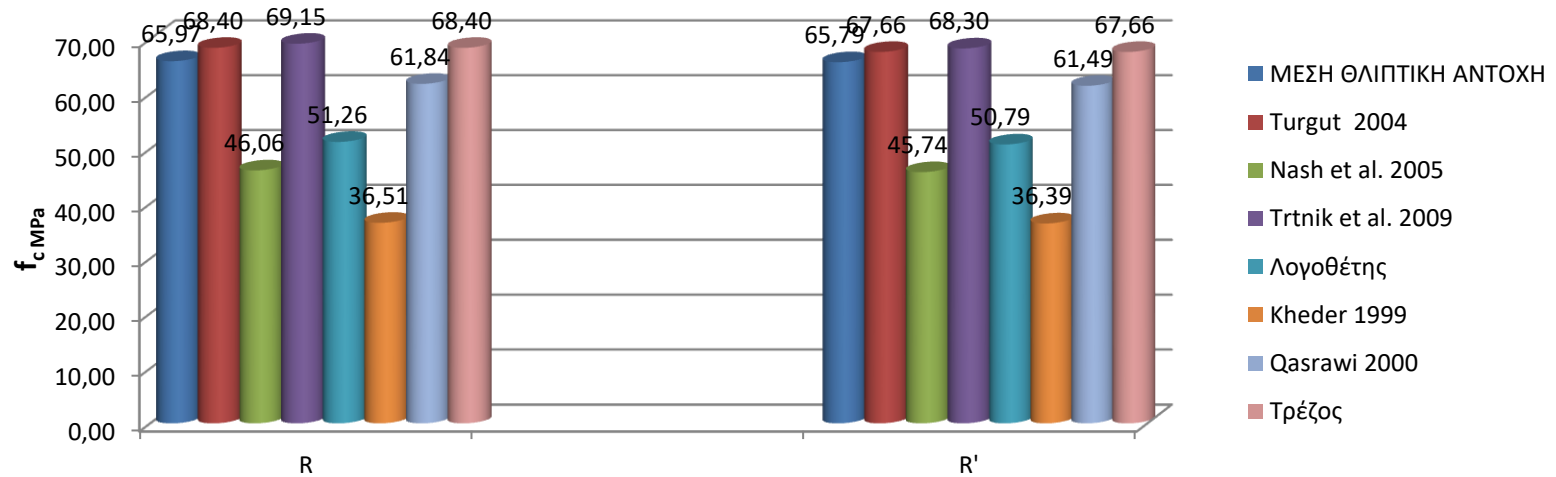
Σύγκριση αποτελεσμάτων



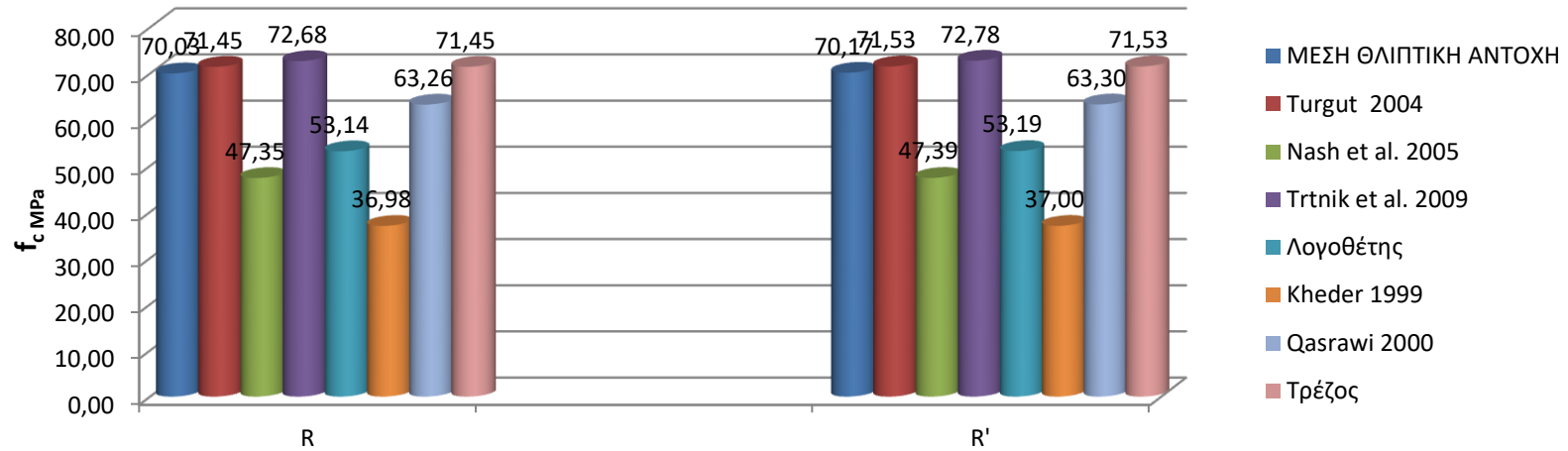
Σύγκριση μετρήσεων αντοχών σε 28 μέρες



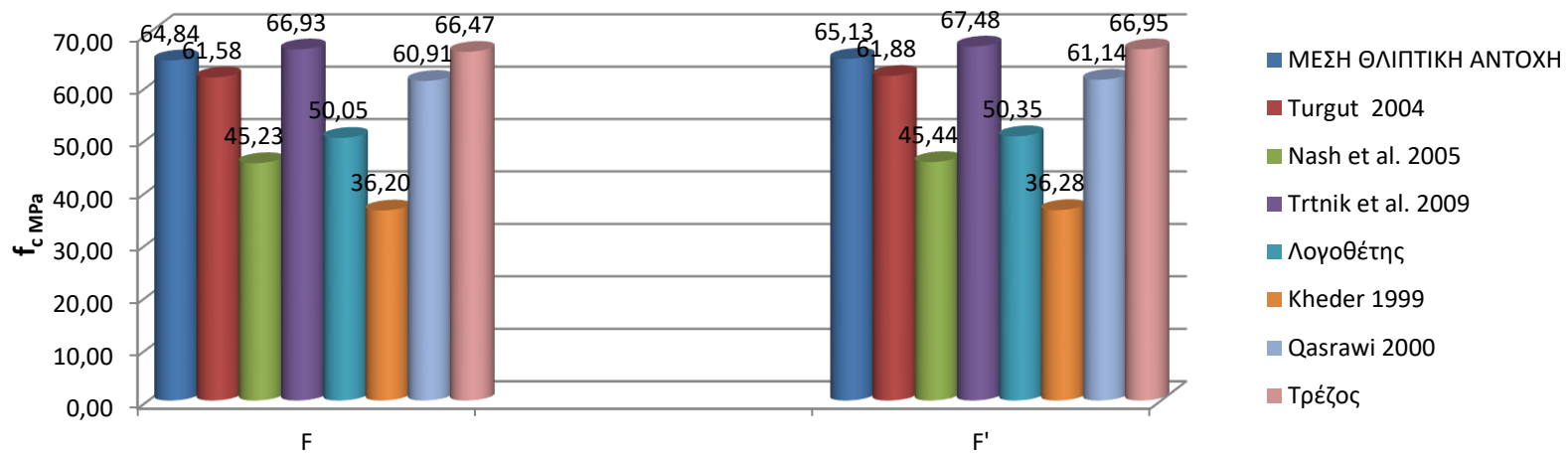
Σύγκριση μετρήσεων αντοχών σε 56 μέρες



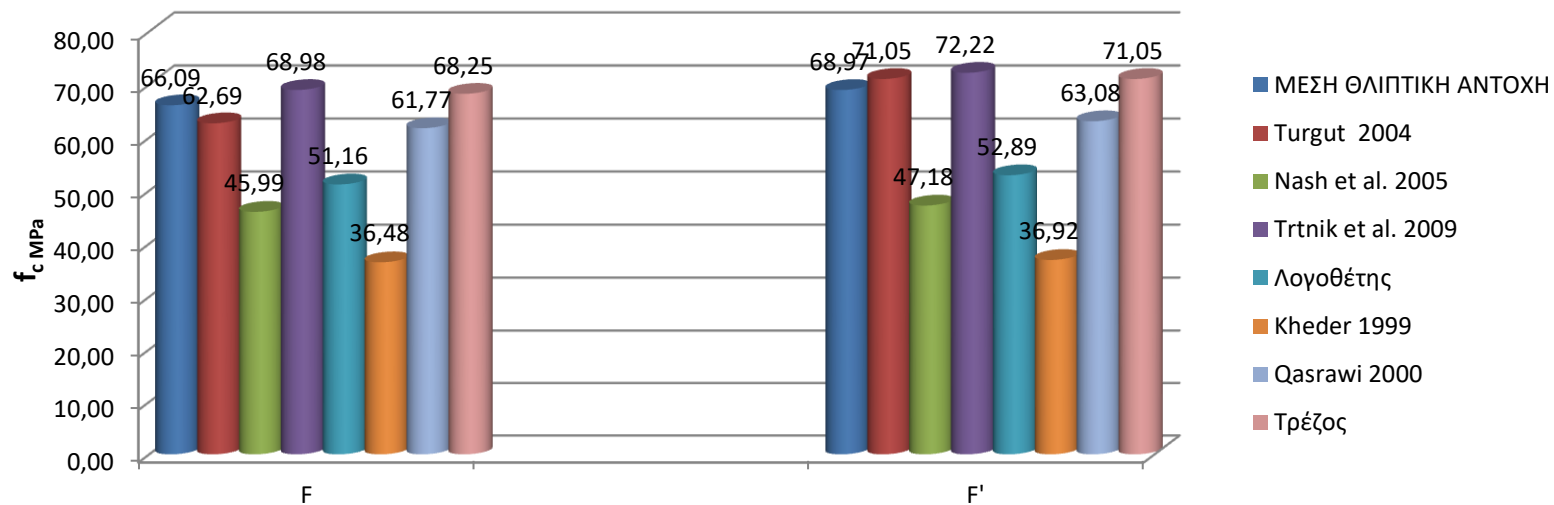
Σύγκριση μετρήσεων αντοχών σε 84 μέρες



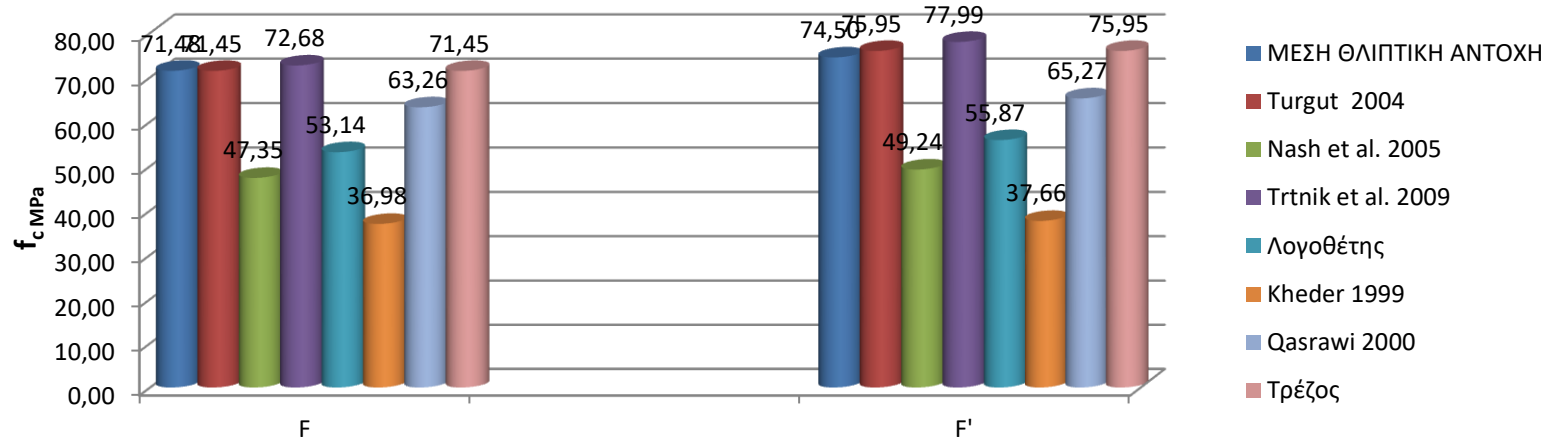
Σύγκριση μετρήσεων αντοχών σε 28 μέρες



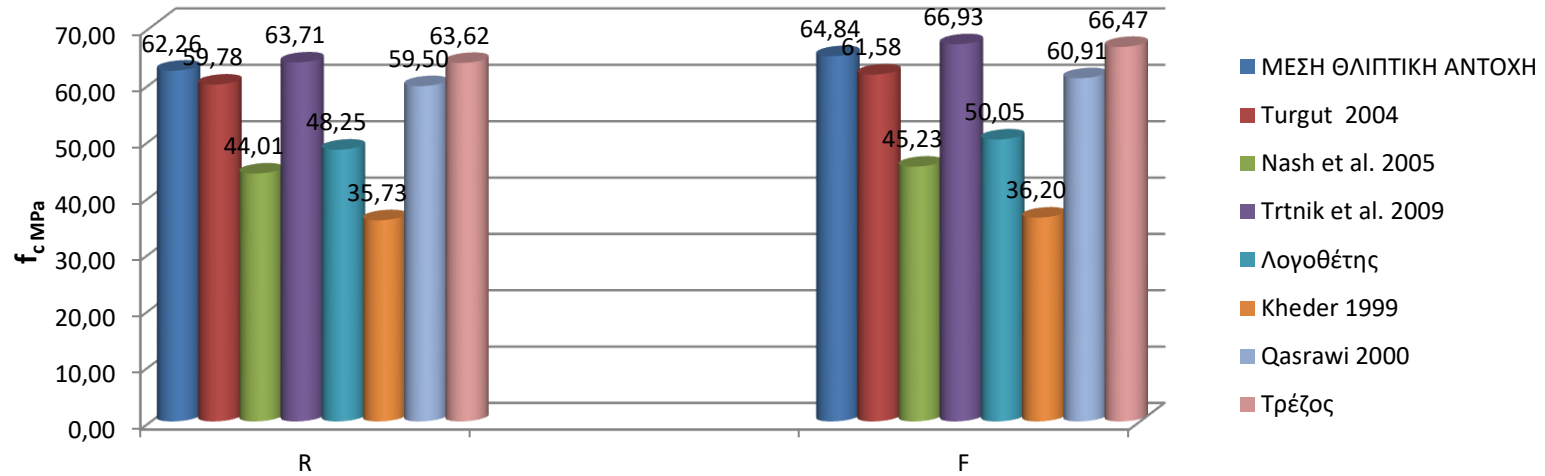
Σύγκριση μετρήσεων αντοχών σε 56 μέρες



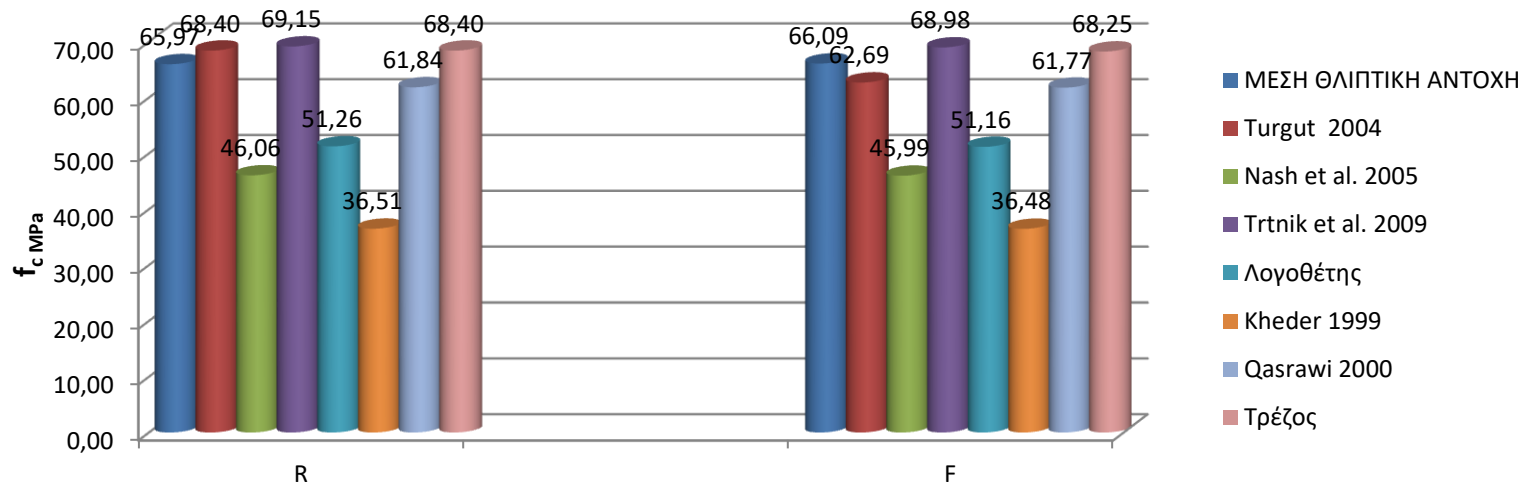
Σύγκριση μετρήσεων αντοχών σε 84 μέρες



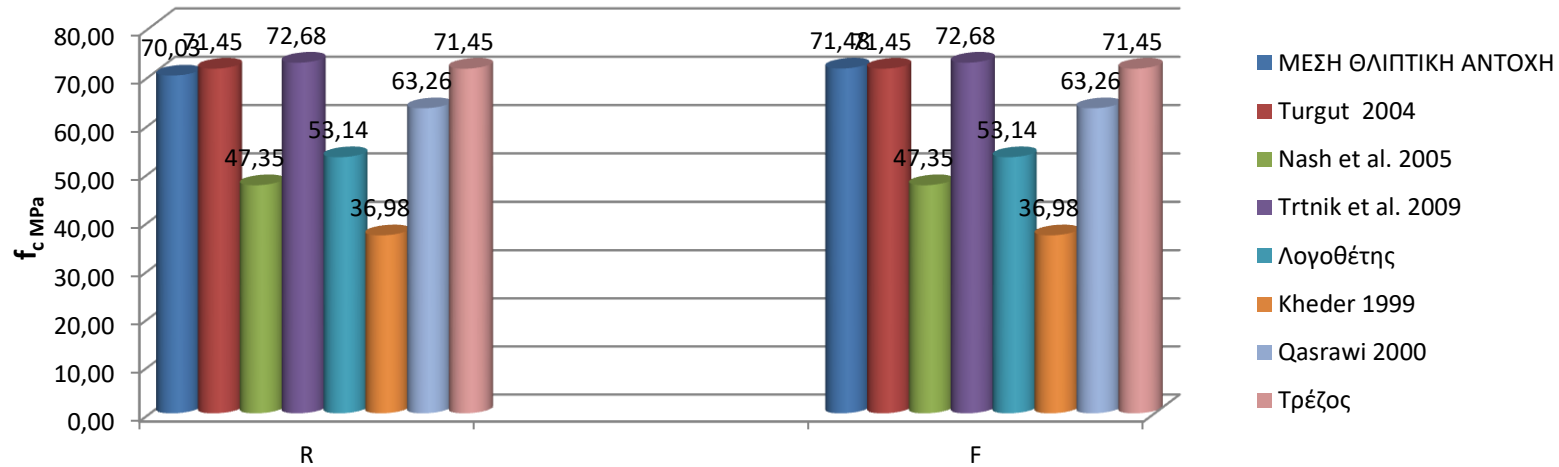
Σύγκριση μετρήσεων αντοχών σε 28 μέρες



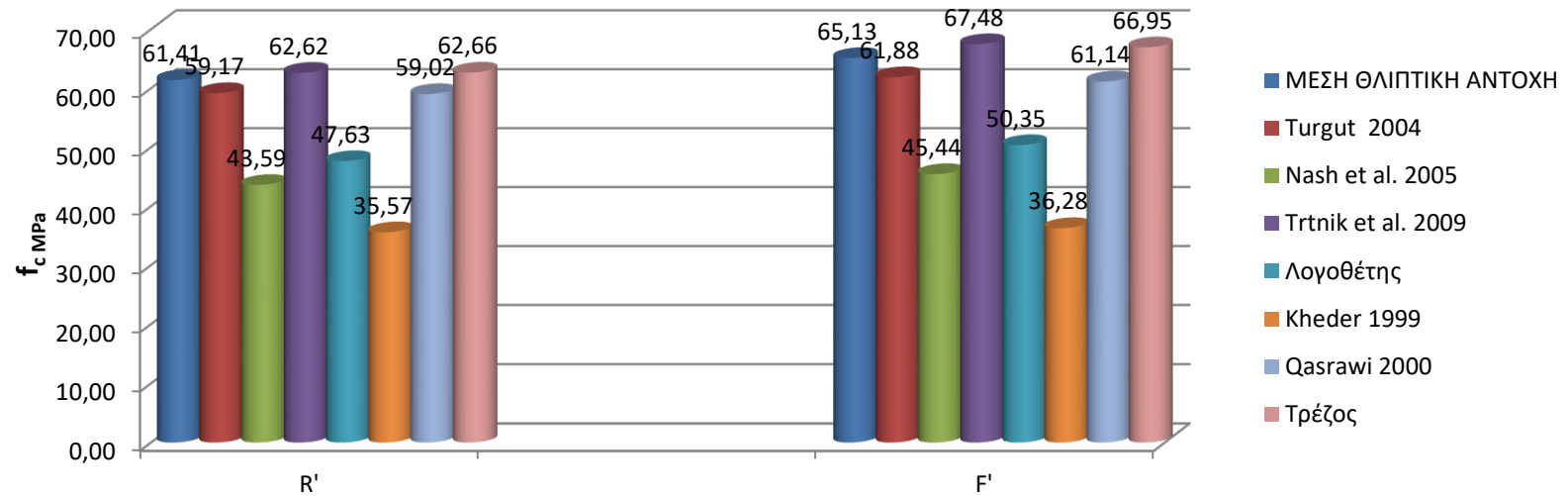
Σύγκριση μετρήσεων αντοχών σε 56 μέρες



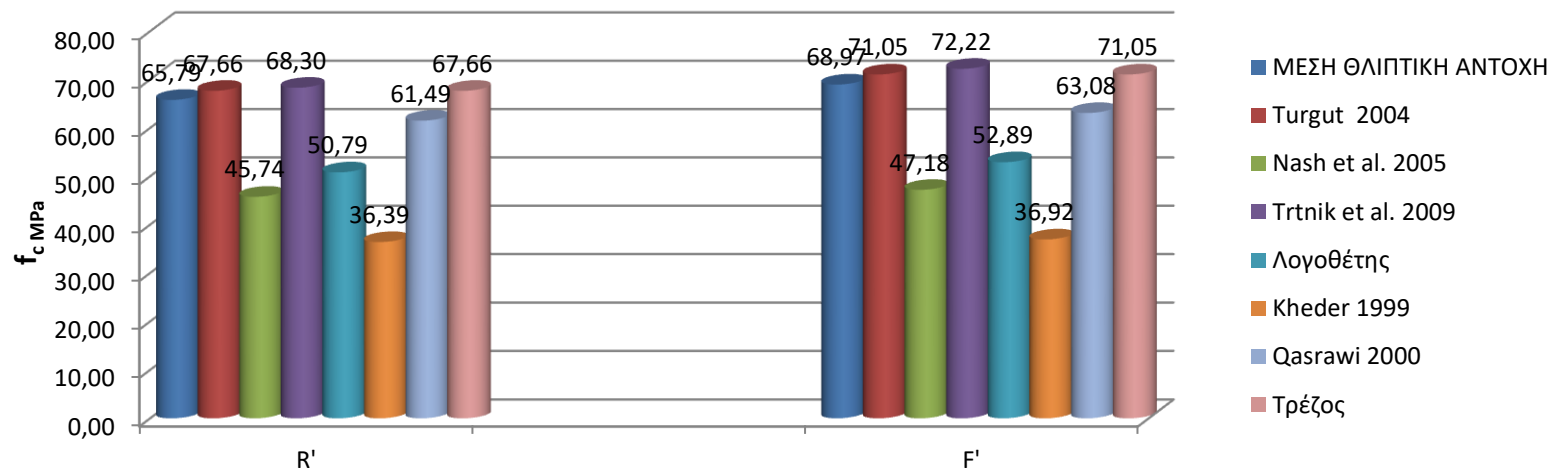
Σύγκριση μετρήσεων αντοχών σε 84 μέρες



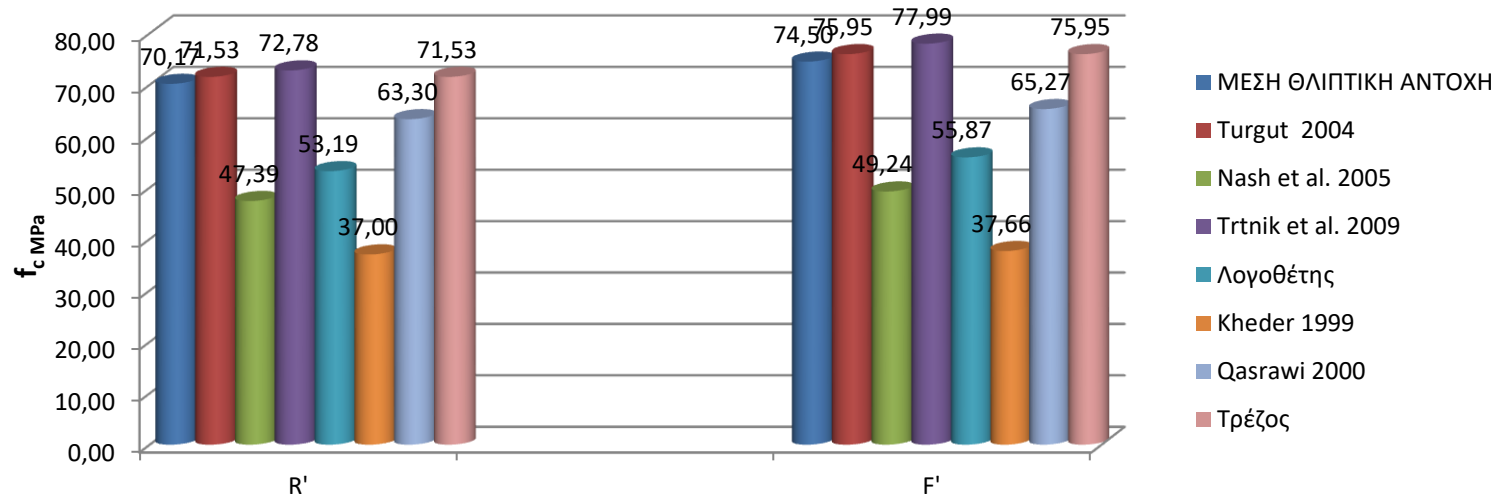
Σύγκριση μετρήσεων αντοχών σε 28 μέρες



Σύγκριση μετρήσεων αντοχών σε 56 μέρες



Σύγκριση μετρήσεων αντοχών σε 84 μέρες



4.5 Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται στα διαγράμματα και στους συγκριτικούς πίνακες ο μη καταστροφικός έλεγχος της δοκιμής των υπερήχων ενώ δίνει αρκετά καλή εκτίμηση της αντοχής των δοκιμίων σκυροδέματος, έχει την τάση να δίνει αποτελέσματα μεγαλύτερα από την πραγματική αντοχή τους. Αυτό συμβαίνει σε οποιαδήποτε ηλικία των δοκιμίων και για οποιαδήποτε περιβάλλον συντήρησης. Βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας και των εμπειρικών σχέσεων που υπάρχουν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις δοκιμές μονοαξονικής θλίψης παρουσιάζουν μεγαλύτερου βαθμού σύγκλιση με τις σχέσεις του Τρέζου και των Trtnik et al 2009.

Επιπρόσθετα όσον αφορά τα δοκίμια χωρίς ίνες, όπως φαίνεται και στα συγκριτικά διαγράμματα υπάρχει μία μικρή εως αμελητέα μείωση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, για τα δοκίμια που έχουν συντηρηθεί σε περιβάλλον θαλασσινού νερού. Αυτό είναι λογικό να συμβαίνει καθώς η μελέτη σύνθεσης επιλέχτηκε βάσει Κ.Τ.Σ 2016, ο οποίος ορίζει συγκεκριμένες απαιτήσεις για σκυροδέματα που είναι εκτεθειμένα σε θαλασσινό νερό. Για τα ινοπλισμένα δοκίμια όπως φαίνεται και στα αντίστοιχα διαγράμματα παρατηρείται μια αύξηση της θλιπτικής αντοχής για τα δοκίμια που είναι εκτεθειμένα στο θαλασσινό περιβάλλον. Η αύξηση αυτή γίνεται μεγαλύτερη όσο αυξάνεται η ηλικία των δοκιμίων, διαπίστωση η οποία εξηγείται από το γεγονός ότι οι ίνες προσδίδουν στο σκυρόδεμα μεγαλύτερα κενά κάνοντας πιο εύκολη την εισροή νερού μεταξύ τσιμεντοπολτού και αδρανών. Έτσι τα χλωρίδια και τα θειικά άλατα που εμπεριέχονται στο θαλασσινό νερό αντιδρούν με τον τσιμεντοπολτό και μέσα από χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν προκαλούνται προϊόντα όπως εντριγκίτης και μονοθειικό άλας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την διόγκωση του σκυροδέματος και για αυτό υπάρχει η αύξηση στις τιμές της θλιπτικής αντοχής.

Καταλήγοντας όπως φαίνεται και στα διαγράμματα μεταξύ των δοκιμίων που δεν περιέχουν ίνες και σε αυτά που περιέχουν, γίνεται αντιληπτό ότι τα δοκίμια με ίνες για όλες τις ηλικίες και για τα διαφορετικά περιβάλλοντα συντήρησης, έχουν μεγαλύτερη θλιπτική αντοχή γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη των ινών.

Ο Μ.Κ.Ε της δοκιμής των υπερήχων κερδίζουν έδαφος σε σχέση με άλλες μεθόδους ως προς την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής των υφιστάμενων κατασκευών από σκυρόδεμα. Καθώς η παρούσα εργασία εξετάζει την θλιπτική αντοχή δοκιμίων σκυροδέματος για τους πρώτους τρεις μήνες συντήρησης τους θα ήταν σημαντική μια μελλοντική έρευνα που να εξετάζει την συμπεριφορά των δοκιμίων για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα πέραν των τριών μηνών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βουθούνης Π. (1993) 'Αντοχή των Υλικών, Αθήνα
2. Γεωργόπουλος Θ., (2000) «Οπλισμένο Σκυρόδεμα –Τόμος Α», Πάτρα
3. Θεοδώρου Χ., Φεβρουάριος (2013), «Ινοπλισμένο εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα, συγκρίσεις του και μηχανικές του ιδιότητες , 19ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών , Πάτρα
4. Καλκάνης Κ., & Καντεράκης Γ., (2015), *Παρακολούθηση Δομικής Ακεραιότητας - Συντήρηση, Αποτίμηση Αξιοπιστίας Υφισταμένων και Επισκευασμένων Κατασκευών*, Σημειώσεις Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε
5. Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος - ΚΤΣ-2016
6. Κουτσούκος Ε., «Μη Καταστρεπτικές Δοκιμές – Επιθεώρηση με τη μέθοδο των υπερήχων», Μετάφραση σημειώσεων της Ruane & T. P. O'Neill
7. Ματίκας, Θ. & Αγγελής Δ., (2015), Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
8. Οικονόμου Χ.,(1997) «Τεχνολογία του σκυροδέματος», Ξάνθη
9. Παπαμίχος Ε. & Χαραλαμπίκης Ν.(2006), «Αντοχή των υλικών», Θεσσαλονίκη.
10. Πρασιανάκης Ι. Ν., (1993) «Μη καταστροφικός έλεγχος των υλικών η μέθοδος των υπερήχων», Αθήνα
11. Στρατουρά Χ.Μ. (2015): Ανθεκτικότητα ινοπλισμένου σκυροδέματος. Μεταπτυχιακή Εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
12. Τάσιος Θ. & Αλιγιζάκη Κ., (1993): Ανθεκτικότητα οπλισμένου σκυροδέματος. Αθήνα: Εκδόσεις Φοίβος
13. Τρέζος Γ. Κωνσταντίνος,(1999) αναπληρωτής Καθηγητής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Εργαστήριο οπλισμένου Σκυροδέματος ΕΜΠ, «Εκτίμηση της επιτόπου αντοχής του σκυροδέματος (Πυρηνοληψία, υπέρηχοι, κρουσίμετρο) , Ημερίδα ΤΕΕ
14. Τρέζος Κ., Τάσιος Θ, Μαραβέλιας Χρ. (1994)«Ανάπτυξη μεθόδου για την αξιοπιστία των εμμέσων μεθόδων επιτόπου προσδιορισμού της αντοχής του σκυροδέματος σε δομήματα Ω.Σ.», Εκθεση προόδου, Εργ. Ω.Σ., ΕΜΠ, Αθήνα,
15. Τριανταφύλλου Α., (2013),“Δομικά Υλικά”
16. Τριανταφύλλου, Θ. Χ.,(1997) «Δομικά Υλικά» Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών
17. Τσίμας Σ.& Τσιβιλής Σ.,(2010) Επιστήμη και Τεχνολογία Τσιμέντου, Παν. Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
18. Χριστόπουλος, Α.,(2012) Έλεγχος της δομικής ακεραιότητας με καινοτόμες μεθόδους μη καταστροφικού έλεγχου σε κατασκευές και σύνθετα υλικά, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Akkaya Y., T. Voigt, K. V. Subramaniam and S. P. Shah (2002) , “Non-destructive measurement of concrete strength gain by an ultrasonic wave reflection method”, Research, Center for Advanced Cement-Based Materials and the Infrastructure Technology Institute, Northwestern University.
2. Al – Shannag M.J., (2007) “Durability of Steel Fiber Reinforced Concrete in Sulfate Environment , King Saud University, College of engineering, Research center, Final Research Report No. 38/426, Riyadh, Saudi Arabia
3. Popovic S., (1991), “Effect of stresses on the Ultrason pulse velocity in concrete , Science Magazine “Mater + Struct 24 , pages 15 – 23
4. Applied Test Systems-Inc, «Ultrasonic reference blocks», Brochure, Butler U.S.A
5. Olympus-NDT & Panametrics-NDT, «Ultrasonic transducers for nondestructive testing», Brochure, Envirocoustics Athens Greece.
6. McCann M, & Forde M., (2001) “Review of NDT methods in the assessment of concrete and masonry structures” NDT & E International, Vol. 34
7. Olympus panametrics Ultrasonic Transducers for Nondestructive Testing
8. Hellier, C., (2012) Handbook of Nondestructive Evaluation, 2nd Edition: McGraw-Hill.
9. Neville A.M., (1996) Properties of concrete, Longman, 4th Ed., London.
10. ACI Committee 211, (2002), Evaluation of Strength Test Results of Concrete. ACI 214. Farmington Hills, American Concrete Institute (ACI).
11. EN 12350-1, (2009), Testing Fresh Concrete, European Standard
12. EN 12390-8, (2008), Testing Hardened concrete, European Standard
13. EN 12350.02, (2009), Testing Fresh Concrete part 2 :Slump test, European Standard
14. Mehta , P. K., (1986). Concrete, Structure, Properties and Materials. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
15. Qasrawi H.Y., (2000), Concrete strength by combined nondestructive methods simply and reliably predicted, Cement and Concrete Research.
16. Cartz, L. (1995). Nondestructive Testing. ASM Int1, Metals Park, OH.
17. Hellier, C. J. (2001). Handbook of Nondestructive Evaluation. McGraw-Hill.
18. Robertson S., (2002), Concrete Hard Facts of Durable Structures.
19. Oladapo S. A. & Ekanem E. B., (2014), Effect of Sodium Chloride (NaCl) on Concrete Compressive Strength , International Journal of Engineering Research & Technology
20. Concrete Institute of Australia, (2008), Nondestructive Testing of Concrete. Sydney: Concrete Institute of Australia

21. Stanley J., (1995), Nondestructive Testing Handbook 9: Special Nondestructive Testing Methods. Columbus: American Society of Nondestructive Testing.
22. Naik, T., Malhotra, V., & Popovics, J. (2004). The Ultrasonic Pulse Velocity Method. In V. Malhotra, & N. Carino, Handbook on Nondestructive Testing of Concrete. New York.
23. Behbahani H. & Nematollahi B., (2011), Steel Fiber Reinforced Concrete: A Review, Volume: Proceedings of the International Conference on Structural Engineering Construction and Management

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

1. ΕΛΟΤ-ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ, Πληροφορίες στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://www.elot.gr/>
2. Μ.Κ.Ε <https://www.twi-global.com/what-we-do/services-and-support/asset-management/non-destructive-testing/ndt-techniques/manual-ultrasonic-testing>
3. Μέθοδος υπερήχων <https://www.fprimec.com/ultrasonic-testing-of-concrete/>
4. Μεταλλικές ίνες <https://www.concreteconstruction.net/how-to/materials/how-to-use-steel-fibers-in-concrete>
5. NDT resource center : http://www.nde-ed.org/index_flash.htm
6. Τσιμέντο <https://www.lafarge.gr/tsimento>
7. Μη καταστροφικοί έλεγχοι <https://docplayer.gr/80310559-Mi-katastrofikos-elegchos.html>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΦΥΛΛΑΔΙΑ



Δήλωση Επίδοσης No. 1128-CPR-0788

1. Ταυτοποίηση του τύπου προϊόντος:
Τσιμέντο Πόρτλαντ – Σύνθετο EN 197-1 – CEM II / A-M (W-L) 42,5R
2. Προαριζόμενη χρήση ή χρήσεις του δομικού προϊόντος:
Για χρήση σε σκευόδεμα, κοπάσματα, ενίματα κλπ.
3. Παραγωγός:
ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ - Εργοστάσιο Βόλου, Αγριά – 381 00, Ν. Μαγνησίας, Ελλάδα
4. Όπου εφαρμόζεται, όνομα και διεύθυνση επικοινωνίας του εξουσιοδοτημένου αντιπροσώπου, η εντολή του οποίου καλύπτει τα καθήκοντα που προβλέπονται στο άρθρο 12 παράγραφος 2:
Δεν εφαρμόζεται
5. Σύστημα αξιολόγησης και επαλήθευσης της σταθερότητας της επίδοσης του δομικού:
Σύστημα 1+
6. Ο Φορέας Πιστοποίησης EUROCERT S.A, με No. 1128 δεινύργησε τον προσδιορισμό του τύπου του προϊόντος βάσει της δοκιμής τύπου (συμπεριλαμβανομένου της δειγματοληψίας), την αρχική επιθεώρηση του εργοστασίου παραγωγής και του ελέγχου παραγωγής στο εργοστάσιο, την συνεχή εποπτεία, την αξιολόγηση του ελέγχου παραγωγής του εργοστασίου και την δειγματοληπτική δοκιμή των δειγμάτων που λήφθηκαν πριν διατεθεί το προϊόν στην αγορά κάτω από το Σύστημα 1+ και εκδόθηκε το πιστοποιητικό σταθερότητας της επίδοσης του προϊόντος No 1128 – CPR – 0788, εγγεγραμμένο (για πρώτη φορά) στις 02 Δεκεμβρίου 2016.

7. Δηλωθείσα Επίδοση

Ουσιαστικά χαρακτηριστικά	Επίδοση	Εναρμονισμένη Τεχνική Προδιαγραφή
Κονά τσιμέντα, συστατικά και σύνθεση	CEM II / A-M (W-L)	EN 197-1
Αντοχή σε θλίψη (πρώιμη & κανονική)	42,5 R	
Χρόνος πήξης	Αποδεκτό	
Αδιάλυτο Υπόλειμμα	NPD ¹⁾	
Απόκλαση Πύρωσης	NPD ¹⁾	
Σταθερότητα Όγκου - Διόγκωση - Περικεκτικότητα σε SO ₂	Αποδεκτό	
Περικεκτικότητα σε χλώριο	Αποδεκτό	

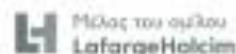
¹⁾ NPD: Δεν δηλώνεται επίδοση

8. Η επίδοση του προϊόντος που ταυτοποιείται στα σημεία 1 ανταποκρίνεται προς την δηλωθείσα επίδοση στο σημείο 7. Η παρούσα δήλωση επίδοσης εκδίδεται με αποκλειστική ευθύνη του παραγωγού που ταυτοποιείται στο σημείο 3.

Υπογραφή για λογαριασμό και εξ ονόματος παραγωγού από:
Τζουβαλάς Γιώργος | Διευτ. Τεχνικής Υποστήριξης Πωλήσεων

Αθήνα – 14.01.2020

ΗΡΑΚΛΗΣ Ανώνυμος Γενική Εταιρεία Τσιμέντων
Tel: (+30) 210 2898 111 | Fax: (+30) 210 2819 406
www.lafarge.gr





www.eurocerl.gr



ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ



ΑΡ. ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ: 1128-CFR-0788

Σε συμμόρφωση με τον Κανονισμό 305/2011/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 9ης Μαρτίου 2011 (Κανονισμός δομικών Προϊόντων), το παρόν πιστοποιητικό εφαρμόζεται για το δομικό προϊόν:

ΤΣΙΜΕΝΟ ΠΟΡΤΛΑΝΤ - ΣΥΝΘΕΤΟ CEM II/ A-M (W-L) 42,5R

που παράγονται από την:

ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ - μέλος του Ομίλου LafargeHolcim
19,3ημ Λευφόρος Μαρκαπούλου, 15002 Παιανία, Αττική
στο εργοστάσιο παράγωγής
"ΟΛΥΜΠΟΣ ΒΟΛΟΥ", ΑΓΡΙΑ – 38 100, ΒΟΛΟΣ, ΜΑΓΝΗΣΙΑ

Το παρόν πιστοποιητικό βεβαιώνει ότι όλες οι προβλεπόμενες ενέργειες για την εκτίμηση και επαλήθευση της σταθερότητας της επίδοσης, οι οποίες περιγράφονται στο Παράρτημα ZA του Προτύπου:

EN 197-1:2011

σύμφωνα με το σύστημα 1+ εφαρμόζονται και ότι το προϊόν πληρεί όλες τις προβλεπόμενες προϋποθέσεις που ορίζονται στο ανωτέρω πρότυπο.

Το παρόν πιστοποιητικό εκδόθηκε για πρώτη φορά στις **2016-12-02** και θα παραμένει εν ισχύ για όσο χρονικό διάστημα οι μέθοδοι δοκιμών και/ ή οι απαιτήσεις του ελέγχου παραγωγής εργοστασίου που περιλαμβάνονται στο εναρμονισμένο πρότυπο, που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της επίδοσης των δηλωθέντων χαρακτηριστικών, δεν αλλάζουν, και το προϊόν, και οι συνθήκες παραγωγής στο εργοστάσιο δεν τροποποιούνται σημαντικά.

Για τον Καταρτισμένο Οργανισμό

ΝΙΚΙΦΟΡΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
Διευθύνων Σύμβουλος

Ημερομηνία Έκδοσης: 2016-12-02
Μεταμόρφωση, Ελλάδα



Η χρήση του πιστοποιητικού επιβάλλει σε ειλικρινείς αναζητήσεις.
Ελέγξτε την ακεραιότητα του πιστοποιητικού σας στην ιστοσελίδα μας χρησιμοποιώντας τον κωδικό **ce0707w2c**.
Η μη ικανοποίηση των όρων της αίτησής σας, από 01/06/ 2015 καθιστά άκυρο το πιστοποιητικό.



Εταιρική Ένωση Προϊόντων
Αρ. Πιστοποιητικού 21-5

89, Οδός 6, Λιλιούκωνες κτρ., 16220, Μεταμόρφωση - Γραφείο
T +30 210 62.52.485, 30 210 62.52.527, F +30 210 62.50.078, es.yd@esyd.net.gr
ΑΠΟΔΕΛΤΙΑΣΗ 04/10-07-2013



MANUFACTURE OF PURE, SPECIAL AND
PHARMACEUTICAL CHEMICALS



Ing. Petr Švec - PENTA s.r.o., Reg.č.: 028 98 013

Radlová 1122/1, 102 00 Praha 10, Czech Republic, e-mail: info@pentachemicals.eu

Headquarter and Sales Department: 102 27 Praha 10, Radlová 1 tel: +420 226 060 697, fax: +420 226 060 699

Pharmaceutical Division: 102 27 Praha 10, Radlová 1 tel: +420 226 060 687

Chemical Division: 537 01 Chiodin, tel: +420 469 660 711, fax: +420 469 660 719



CERTIFICATE OF QUALITY

CERTIFICATE NO.	2879/2015
PRODUCT	SODIUM CHLORIDE
BATCH NO.	2011051115
RETEST DATE	11/2020
REG. No.	16610

Measured Properties	Unit	Found
Appearance		white crystals
Sulfate (SO_4^{2-})	%	<0.005
Iodide (I)	%	<0.008
Calcium (Ca)	%	<0.005
Iron	%	<0.0003
Heavy metals (Pb)	%	<0.0005
Free acid (as HCl)	%	<0.0025
Insoluble matter in water	%	<0.005
Magnesium	%	<0.002
Loss on drying	%	0.00
Bromide (Br)	%	<0.01
Free alkali (as NaOH)	%	<0.0025
Assay (calc. to the dried substance)	%	99.99

Result : The product meets analytical specification of analytical grade	QC Release date: 9.11.2015	Signature :  PENTA Ing. Petr Švec - PENTA s.r.o. Radlová 1122/1, 102 00 Praha 10 iČ: 020 98 013, CIČ: 030009013 Service Sustentis Head of QC Department
---	--------------------------------------	---



We create chemistry

MasterGlenium SKY 646

Πρώην GLENIUM® SKY 646

Νέας γενιάς υπερρρευστοποιητής με βάση τον πολυκαρβοξυλικό αιθέρα, για τη παραγωγή υψηλής ποιότητας έτοιμου σκυροδέματος, με τήρηση χαμηλού λόγου νερού προς τσιμέντο με εξαιρετική διατήρηση εργασιμότητας (Σύμφωνος με τα πρότυπα EN 934-2: 2001 Πίνακες 3.1 & 3.2)

ΠΡΟΦΥΛΑΞΕΙΣ

Το MasterGlenium SKY 646 δεν περιέχει επικίνδυνες ουσίες, οι οποίες πρέπει να αναγράφονται. Για περισσότερες πληροφορίες, μπορείτε να ανατρέξετε στο Έντυπο Ασφάλειας Υλικού.

Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Κατάσταση	Υγρό
Χρώμα	Καστανό
Σχετική πυκνότητα (g/ml at 20°C)	1,085 ± 0,020

MASTER®
» BUILDERS
SOLUTIONS

DECLARATION OF PERFORMANCE

n° IT0271/01

MasterGlenium Sky 646

1) Unique identification code of the product-type

EN 934-2 Table 11.1 – 11.2

2) Intended use or uses

Set retarding/high range water reducing/superplasticizing admixtures

3) Manufacturer

BASF Construction Chemicals Italia SpA

via Vicinale delle Corti 21

31100 Treviso

4) System or systems of assessment and verification of constancy of performance (AVCP)

System 2+

5) Harmonized standard:

EN 934-2: 2012

Notified body/ies

ICMQ SpA, identification number 1305

7) Declared performances

Essential characteristics	Performance	Harmonized technical specification
Chloride ion content	$\leq 0,1\%$ by mass	EN 934-2: 2012
Alkali content (Na ₂ O equivalent)	$\leq 3,0\%$	
Corrosion behaviour	Contains component only from EN 934-1: 2008 Annex A.1	
Compressive strength	Equal consistence: 7days $\geq 100\%$ 28 days $\geq 115\%$ Equal w/c ratio: 28 days $\geq 90\%$	
Air content	Equal consistence: $\leq 2,0\%$ Equal w/c ratio: $\leq 2,0\%$	
Air content (entrained air)	NPD	
Air void characteristic	NPD	
Water reduction	$\geq 12,0\%$	
Bleeding	NPD	
Setting Time	Initial: test mix \geq control mix + 90 min Final: test mix \leq control mix + 360 min	
Hardening time/ strength development	NPD	
Capillary absorption	NPD	
Consistency	Retention: comply 11.2 (1)	
Dangerous substances	See SDS	
Segregated portion (SR)	NPD	

The performance of the product identified above is in conformity with the set of declared performances. This declaration of performance is issued in accordance with Regulation (EU) No. 305/2011, under the sole responsibility of the manufacturer identified above.

Signed for and on behalf of the manufacturer by:

Dario Micheletto

Resp. Quality Control

Treviso, 07 November 2014





www.eurocert.gr



ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ

Η EUROCERT πιστοποιεί ότι η εταιρεία:

«ΧΑΛΥΨ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ Α.Ε.»

ΘΕΣΗ ΚΕΡΑΜΙΔΕΣΣΑ, Δ. ΜΑΝΔΡΑΣ, Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ

εφαρμόζει το Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας σύμφωνα με το πρότυπο:

ΕΛΟΤ EN ISO 9001:2015

Για το ακόλουθο πεδίο εφαρμογής:

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗ ΑΒΡΑΧΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Αριθμός Πιστοποιητικού: **1878/Δ**

Ημερομηνία Έκδοσης: **21/03/2016**

Ημερομηνία Τροποποίησης: **12/05/2017**

Το πιστοποιητικό ισχύει ως την: **20/03/2019**

Για τον Φορέα Πιστοποίησης

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΠΡΤΣΚΟΥΛΑΣ
Διευθύνων Σύμβουλος



Η χρήση των πιστοποιητικών υπόκειται σε επίσημες επιθετήσεις.
Ελέγξτε την εγκυρότητα των πιστοποιητικών σας στην ιστοσελίδα μας www.eurocert.gr
Η μη πιστοποίηση των όρων της σύμβασης Αρ. ΚΤΠ0178/2015 ισχύει ως προς τα πιστοποιητικά.



Πιστοποίηση SA
Αρ. 0021-3-4



GR: Οδός Δ. Ψακνίτσας στρ. 1462, Νέοι Μελισσηνοί - Greece
T +30 210 62.02.496, 30 210 62.02.702, F +30 210 62.02.078, info@eurocert.gr

ΔΕΛΤΑ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΕΩΝ



www.eurocert.gr



ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ



Η EUROCERT πιστοποιεί ότι η εταιρεία:



«ΧΑΛΥΨ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ Α.Ε.»

ΘΕΣΗ ΚΕΡΑΜΙΔΕΣΑ, Δ. ΜΑΝΔΡΑΣ, Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ
ΘΕΣΗ ΣΤΟ ΧΑΜ ΝΕΟΑΚ, Δ. ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ

εφαρμόζει το Σύστημα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης σύμφωνα με το πρότυπο:

ΕΛΟΤ EN ISO 14001:2015

Για το ακόλουθο πεδίο εφαρμογής:

**ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ (για το site στην Μάνδρα)
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΜΠΟΡΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ (για το site στον Ασπρόπυργο)**

Αριθμός Πιστοποιητικού: **337/Π**

Ημερομηνία Έκδοσης : **21/03/2016**

Ημερομηνία Τροποποίησης : **11/03/2018**

Το πιστοποιητικό ισχύει ως την : **20/03/2019**

Για τον Φορέα Πιστοποίησης

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΠΡΙΣΚΟΥΛΑΣ
Διευθύνων Σύμβουλος



Εκτός του πιστοποιητικού ισχύει και επίλεκτο επιτηρήσεις.
Περίστε τον εγκριμένο του πιστοποιητικού σας στην ιστοσελίδα μας χρησιμοποιώντας τον κωδικό **337/Π**
Η μη εκπροσώπηση των όρων της σύμβασης Αρ. ΚΩ/312/26/2015 κείθενό άμεσα να πιστοποιηθεί.



GR, Chénis & Lykonissos str., 1452, Metamorfosis - Greece
T +30 210 6252495, 30 210 6252 927, F +30 210 6205119, info@eurocert.gr

#131E621-00-04

ΔΗΛΩΣΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ
Νο. 1128 – CPR – 0091 / 1

- Μοναδικός ειδικός ταυτοποίησης του τύπου του προϊόντος:
Άμμος σκυροδέματος 04mm
- Προτεινόμενη χρήση ή χρήσεις του προϊόντος του τομέα των δομικών κατασκευών, σύμφωνα με την ισχύουσα εναρμονισμένη τεχνική προδιαγραφή, όπως προβλέπεται από τον παραγωγό:
Πρότυπο EN 12620:2002+A1:2008 αδρανή υλικά για σκυροδέματα
Πρότυπο EN 13139:2002+AC:2004 αδρανή για κονιάματα
Πρότυπο EN 13043:2002+AC:2004 Αδρανή ασφαλομημάτων και επφανειακών επιστρώσεων οδών, αεροδρομίων και άλλων περιοχών κυκλοφορίας
Πρότυπο EN 13242:2002+A1:2007 αδρανή υλικών σταθεροποιημένων με υδραυλικές κονίες ή μη σταθεροποιημένων για χρήση στα τεχνικά έργα και την οδοποιία
- Όνομα και διεύθυνση του παραγωγού:
ΧΑΛΥΨ Δομικά Υλικά Α.Ε., Μάνδρα Αττικής (Θέση Κεραμιδάς), Αττική, Ελλάδα.
Τηλέφωνο επικοινωνίας 210-5594221-4
- Εάν είναι εφαρμοστό, όνομα και διεύθυνση του εξουσιοδοτημένου αντιπροσώπου όπου η εξουσιοδότηση καλύπτει τα καθήκοντα που καθορίζονται στο άρθρο 12(2):
Μη εφαρμοστό
- Σύστημα αξιολόγησης και επαλήθευσης της σταθερότητας της επίδοσης του προϊόντος του τομέα των δομικών κατασκευών:
2*
- Βάσει 2
Ο κοινοποιημένος φορέας πιστοποίησης EUROCERT με αριθμό κοινοποίησης Νο. 1128 .
- Δηλωθείσα επίδοση

Ουσιώδη χαρακτηριστικά	Επίδοση εναρμονισμένη τεχνική προδιαγραφή ΤΟΥ EN 12620	Επίδοση εναρμονισμένη τεχνική προδιαγραφή ΤΟΥ EN 13139	Επίδοση εναρμονισμένη τεχνική προδιαγραφή ΤΟΥ EN 13043	Επίδοση εναρμονισμένη τεχνική προδιαγραφή ΤΟΥ EN 13242
Μέγεθος Αδρανούς	0/4	0/4	0/4	0/4
Κοκκομετρική διαβάθμιση	G ₀ 85		G ₀ 90	G ₀ 85
Πυκνότητα	2,64 Mg/m ³	2,64 Mg/m ³	2,64 Mg/m ³	2,64 Mg/m ³
Λοιπός Κοκκομετρίας			G ₁₀ 20	G _T 20
Καθαρότητα				
Περιεχόμενη Πατάλη	f ₁₀	Κατηγορία 4	f ₁₀	f ₁₀
Ποσοτικός Έλεγχος Πατάλης	MB <1.0 SE _d : 72	MB : <1.0 SE _d : 72	MB ₀ 10 SE _d : 72	MB 10.0 SE _d : 72
Μέτρο Λεπτότητας	CF	CF		
Σύνθεση/περιεχόμενο				
Προσδιορισμός Ευδιάλυτων Χλωριδίων	<0,01%	<0,01%		
Προσδιορισμός Ευδιάλυτων σε Οξεία SO ₃	AS _{0,3}	AS _{0,3}		AS _{0,3}

Προσδιορισμός Οργανικών Προσμίξεων	Χρώμα διαλύματος ανοιχτότερο του προτύπου	Χρώμα διαλύματος ανοιχτότερο του προτύπου	Χρώμα διαλύματος ανοιχτότερο του προτύπου	Χρώμα διαλύματος ανοιχτότερο του προτύπου
Υδατοπορροφηκότητα	0,4%	0,4%	1 WA ₂₄	1 WA ₂₄
Ανθεκτικότητα σε Αποσάρθρωση	MS ₁₈	MS ₁₈	MS ₁₈	MS ₁₈
Ελαφροβαρείς Οργανικές Προσμίξεις	<0.25%	<0.25%	<0.25%	<0.25%
Ολικό θείο	<0.01%	<0.01%	<0.01%	<0.01%
Πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια
Βαρέα μέταλλα	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια
Ραδιονουκλίδια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια

Μέγεθος κοσκίνου, mm	Διερχόμενο βάρος, %	ΟΡΙΑ EN 12620			ΟΡΙΑ EN 13043			ΟΡΙΑ EN 13242			ΟΡΙΑ EN 13139		
		Κάτω	Άνω	Ανοχής	Κάτω	Άνω	Ανοχής	Κάτω	Άνω	Ανοχής	Κάτω	Άνω	Ανοχής

ΑΜΜΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ 0/4mm													
8	100.0	100	100	-	100	100	-	100	100	-	100	100	-
5.6	100.0	86	100	-	88	100	-	88	100	-	86	100	-
4	99.6			87.6±6			87.6±6			87.6±6			87.6±6
2	76.7			77±17			77±20			77±20			77±17
1	50.8			63±20			63±20			63±20			63±20
0.5	33.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.25	23.8			24±20	-	-	-	-	-	-			24±20
0.125	17.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.063	13.1	10	16	±3	10	16	±3	8	16	±4	10	16	±3

8. Η επίδοση του προϊόντος που ταυτοποιείται ανωτέρω είναι σύμφωνη με τη δηλωθείσα επίδοση. Η δήλωση αυτή των επιδόσεων συντάσσεται, σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΕ) αριθ. 305/2011, με αποκλειστική ευθύνη του κατασκευαστή που ταυτοποιείται ανωτέρω.

Υπογραφή για λογαριασμό και εξ' ονόματος του κατασκευαστή από :

Δημήτρης Τσαματσόλης, Συντονιστής Ποιότητας



Αθήνα, 31/7/2018

ΔΗΛΩΣΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ
Νο. 1128 – GPR – 0881 / 4

1. Μοναδικός κωδικός ταυτοποίησης του τύπου του προϊόντος:
Γαρμπί/μ 4/16 mm

2. Προτεινόμενη χρήση ή χρήσεις του προϊόντος του τομέα των δομικών κατασκευών, σύμφωνα με την ισχύουσα εναρμονισμένη τεχνική προδιαγραφή, όπως προβλέπεται από τον παραγωγό:

 Πρότυπο EN 12620:2002+A1:2008 αδρανή υλικά για σκυρόδεμα
 Πρότυπο EN 13043:2002+AC:2004 Αδρανή ασφαλτομυγμάτων και επιφανειακών επιστρώσεων οδών, αεροδρομίων και άλλων περιοχών κυκλοφορίας
 Πρότυπο EN 13242:2002+A1:2007 αδρανή υλικών σταθεροποιημένων με υδραυλικές κονίες ή μη σταθεροποιημένων για χρήση στα τεχνικά έργα και την οδοποιία

3. Όνομα και διεύθυνση του παραγωγού:
ΧΑΛΥΨ Δομικά Υλικά Α.Ε., Μάνδρα Αττικής θάση Κεραμιδίτσα, Αττική, Ελλάδα.
Τηλέφωνο επικοινωνίας 210-6668221-4

4. Εάν είναι εφαρμόσιμο, όνομα και διεύθυνση του εξουσιοδοτημένου αντιπροσώπου όπου η εξουσιοδότηση καλύπτει τα καθήκοντα που καθορίζονται στο άρθρο 12(2):
Μη εφαρμόσιμο

5. Σύστημα αξιολόγησης και επαλήθευσης της σταθερότητας της επίδοσης του προϊόντος του τομέα των δομικών κατασκευών:
2+

- 6α. Βλέπε 2
Ο κοινοποιημένος φορέας πιστοποίησης EUROCERT με αριθμό κοινοποίησης Νο. 1128 .

7. Δηλωθείσα επίδοση

Ουσιώδη χαρακτηριστικά	Επίδοση εναρμονισμένη τεχνική προδιαγραφή του EN 12620	Επίδοση εναρμονισμένη τεχνική προδιαγραφή του EN 13043	Επίδοση εναρμονισμένη τεχνική προδιαγραφή του EN 13242
Σχήμα κόκκων	F _{1,20}	F _{1,20}	F _{1,20}
Μέγεθος Αδρανούς	4/16	4/16	4/16
Κοκκομετρική Διαβάθμιση	G _C 90/15	G _C 90/15	G _C 85-15
Πυκνότητα	2,64 Mg/m ³	2,64 Mg/m ³	2,64 Mg/m ³
Ανοχές Κοκκομετρίας	G _T 17.5	G20/17.5	GT _C 20/17.5
Περιεχόμενη Παιπάλη	F _{1,2}	F ₂	F ₂
Συνάφεια προς ασφαλτικά συνδετικά		6 ώρες: 80% 24 ώρες: 68%	
Ποσοστά θραυσμένων επιφανειών		C 100/0	C 90/3
Αντοχή σε θρυμματισμό LA	LA ₃₀	LA ₃₀	LA ₃₀
Προσδιορισμός Ευδιάλυτων σε Οξεία SO ₃	AS _{0,2}	AS _{0,2}	AS _{0,2}
Προσδιορισμός Οργανικών Προσμίξεων	Χρώμα διαλύματος ανοιχτότερο του προτύπου	Χρώμα διαλύματος ανοιχτότερο του προτύπου	Χρώμα διαλύματος ανοιχτότερο του προτύπου
Υδατοποροφητικότητα	1,1%	1,1% WA ₃₄	WA ₃₄ 1,1

Ανθεκτικότητα σε Αποσάρθρωση	MS ₁₀	MS ₁₀	MS ₁₀
Αντοχή σε σπλάβωση	PSV 34	PSV 34	
Ελαφροβαρείς Οργανικές Προσμίξεις	<0.01%		
Ολικό θείο	<0.01%	<0.01%	<0.01%
Πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια
Βαρέα μέταλλα	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια
Ραδιονουκλίδια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια

Μέγεθος κοσκίνου, mm	Διερχόμενο βάρος, %	ΟΡΙΑ EN 12620			ΟΡΙΑ EN 13043			ΟΡΙΑ EN 13242		
		Κάτω	Άνω	Ανοχής	Κάτω	Άνω	Ανοχής	Κάτω	Άνω	Ανοχής
ΓΑΡΜΠΙΑΙ										
31.5	100.0	100	100	-	100	100	-	100	100	-
22.4	100.0	88	100	-	88	100	-	88	100	-
16	99.5	85	100	-	85	100	-	85	100	-
11.2	70.5	85	85	-	85	85	-	85	85	-
8	36.4	62.6		±17.6	62.6		±17.6	62.6		±17.6
5.6	13.1	10	30	-	10	30	-	10	30	-
4	4.08	0	15	-	0	15	-	0	15	-
2	1.21	0	5	-	0	5	-	0	5	-
0.063	0.9	0	1.5	-	0	2	-	0	2	-

8. Η επίδοση του προϊόντος που ταυτοποιείται ανωτέρω είναι σύμφωνη με τη δηλωθείσα επίδοση. Η δήλωση αυτή των επιδόσεων συντάσσεται, σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΕ) αριθ. 305/2011, με αποκλειστική ευθύνη του κατασκευαστή που ταυτοποιείται ανωτέρω.

Υπογραφή για λογαριασμό και εξ' ονόματος του κατασκευαστή από :

Δημήτρης Τσαμασούλης, Συντονιστής Ποιότητας



Αθήνα, 31/7/2018

ΔΗΛΩΣΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ
Νο. 1128 – CPR – 0881 / 5

- Μοναδικός κωδικός ταυτοποίησης του τύπου του προϊόντος:
Χαλίκι 11/32 mm
- Προτεινόμενη χρήση ή χρήσεις του προϊόντος του τομέα των δομικών κατασκευών, σύμφωνα με την ισχύουσα εναρμονισμένη τεχνική προδιαγραφή, όπως προβλέπεται από τον παραγωγό:

Πρότυπο EN 12620:2002+A1:2008 αδρανή υλικά για σκυρόδεμα

Πρότυπο EN 13043:2002+AC:2004 Αδρανή ασφαλτομεγμάτων και επιφανειακών επιστρώσεων οδών, αεροδρομίων και άλλων περιοχών κυκλοφορίας

Πρότυπο EN 13242:2002+A1:2007 αδρανή υλικών σταθεροποιημένων με υδραυλικές κόνιες ή μη σταθεροποιημένων για χρήση στα τεχνικά έργα και την οδοποιία

- Όνομα και διεύθυνση του παραγωγού:
ΧΑΛΥΨ Δομικά Υλικά Α.Ε., Μάνδρα Αττικής θέση Κεραμιδέζα, Αττική, Ελλάδα.
Τηλέφωνο επικοινωνίας 210-6668221-4
- Εάν είναι εφαρμοσίμο, όνομα και διεύθυνση του εξουσιοδοτημένου αντιπροσώπου όπου η εξουσιοδότηση καλύπτει τα καθήκοντα που καθορίζονται στο άρθρο 12(2):
Μη εφαρμοσίμο
- Σύστημα αξιολόγησης και επαλήθευσης της σταθερότητας της επίδοσης του προϊόντος του τομέα των δομικών κατασκευών:
2+
- Είλεπς 2
Ο κοινοποιημένος φορέας πιστοποίησης EUROCERT με αριθμό κοινοποίησης Νο. 1128.
- Δηλωθείσα επίδοση

Ουσιώδη χαρακτηριστικά	Επίδοση εναρμονισμένη τεχνική προδιαγραφή του EN 12620	Επίδοση εναρμονισμένη η τεχνική προδιαγραφή του EN 13043	Επίδοση εναρμονισμένη τεχνική προδιαγραφή του EN 13242
Σχήμα κόκκων	$F_{1,5}$	$F_{1,5}$	$F_{1,5}$
Μέγεθος Αδραναούς	11/32	11/32	11/32
Κοκκομετρική Διαβάθμιση	$G_{c90/15}$	$G_{c90/15}$	G_{c85-15}
Πικνότητα	2,68 Mg/m ³	2,68 Mg/m ³	2,68 Mg/m ³
Ανοχές Κοκκομετρίας	$G_T 15$	$G_{25/15}$	$GT_{c25/15}$
Περιεχόμενη Παιπάλη	$F_{1,5}$	F_2	F_2
Συνάφεια προς ασφαλτικά συνδετικά		6 ώρες: 82% 24 ώρες: 68%	
Ποσοστό θραυσμένων επιφανειών		C 100/0	C 90/3
Αντοχή σε θρυμματισμό LA	LA_{30}	LA_{30}	LA_{30}
Προσδιορισμός Ευδιάλυτων σε Οξεία SO ₃	$AS_{0,2}$	$AS_{0,2}$	$AS_{0,2}$
Προσδιορισμός Οργανικών Προσμιξέων	Χρώμα διαλύματος ανοιχτότερο του προτύπου	Χρώμα διαλύματος ανοιχτότερο του προτύπου	Χρώμα διαλύματος ανοιχτότερο του προτύπου

Υδατοαπορροφητικότητα	0,6% WA ₂₄	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1
Ανθεκτικότητα σε Αποσάθρωση	MS ₁₈	MS ₁₈	MS ₁₈
Αντοχή σε σπλίβωση	PSV 34	PSV34	
Ελαφροβαρείς Οργανικές Προσμίξεις	<0.1%	<0.1%	<0.1%
Ολικό θείο	<0.01%	<0.01%	<0.01%
Πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια
Βαρέα μέταλλα	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια
Ραδιονουκλίδια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια	Κάτω από τα επιτρεπτά όρια

Μέγεθος κοσκίνου, mm	Διερχόμενο βάρος, %	ΟΡΙΑ EN 12620			ΟΡΙΑ EN 13043			ΟΡΙΑ EN 13242		
		Κάτω	Άνω	Ανοχές	Κάτω	Άνω	Ανοχές	Κάτω	Άνω	Ανοχές

ΧΑΛΙΚΙ										
63	100.0	100	100	-	100	100	-	100	100	-
45	100.0	88	100	-	88	100	-	88	100	-
31.5	98.27	80	100	-	80	100	-	80	100	-
22.4	59.5	65		±15	65		±15	65		±15
16	11.6	5	30	-	5	30	-	5	30	-
11.2	0.96	0	15	-	0	15	-	0	15	-
5.6	0.8	0	5	-	0	5	-	0	5	-
0.063	0.6	0	1.5	-	0	2	-	0	2	-

8. Η επίδοση του προϊόντος που ταυτοποιείται ανωτέρω είναι σύμφωνη με τη δηλωθείσα επίδοση. Η δήλωση αυτή των επιδόσεων συντάσσεται, σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΕ) αριθ. 305/2011, με αποκλειστική ευθύνη του κατασκευαστή που ταυτοποιείται ανωτέρω.

Υπογραφή για λογαριασμό και εξ' ονόματος του κατασκευαστή από :

Δημήτρης Τσαματσούλης, Συντονιστής Ποιότητας



Αθήνα, 31/7/2018