

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
(Τ.Ε.Ι) ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ Ε/Υ
ΠΑΤΡΑ 2003

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗ ΜΕΘΟΔΟΥΣ



ΣΟΥΣΑΝΗ ΜΑΡΙΝΑ

ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ:

ΘΕΟΦΑΝΗΣ Α. ΓΕΩΡΓΟΠΟΥΛΟΣ

DR. Πολιτικός Μηχανικός

ΔΗΜΗΤΡΗΣ Α. ΠΑΓΑΝΟΣ

Καθηγητής Εφαρμογών Τ.Ε.Ι

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ	7074
----------------------	------

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	σελίδα
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1...Αντικείμενο μελέτης.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2...Μη καταστροφικές μέθοδοι.....	4
2.1 Γενικά.....	4
2.2 Οι μη καταστροφικές μέθοδοι που εφαρμόστηκαν.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3...Καταστροφική μέθοδος.....	17
3.1 Μέθοδος αποκοπτόμενων πυρήνων (καρότα).....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4...Εργαστηριακή έρευνα.....	19
4.1 Περιγραφή διαδικασίας δοκιμών.....	19
4.2 Λήψη και επεξεργασία αποτελεσμάτων.....	20
4.3 Συμπεράσματα.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5...Επίδραση της θερμοκρασίας στο σκυρόδεμα.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6...Παράρτημα.....	35
6.1 Πίνακες.....	37
6.2 Διαγράμματα.....	59
6.3 Φωτογραφίες.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7... Βιβλιογραφία.....	74

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Όλοι γνωρίζουμε ότι το σκυρόδεμα είναι ένα τεχνητό, σύνθετο υλικό, που κατασκευάζεται από αδρανή υλικά, τσιμέντο και νερό, σε κατάλληλες αναλογίες. Με την κατάλληλη επεξεργασία των υλικών αυτών κατασκευάζονται δομικά στοιχεία η αντοχή των οποίων εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως είναι η απόμειξη, η συμπίκνωση, η συντήρηση, η ηλικία, το είδος του δομικού στοιχείου, οι περιβαντολλογικές δράσεις κ.λ.π, οι οποίες έχουν σαν συνέπεια την διαφορά της αντοχής του με τη συμβατική. Για το λόγο αυτό στο σκυρόδεμα εφαρμόζεται ένας σημαντικός αριθμός **μη καταστροφικών μεθόδων**, η πρακτική χρησιμότητα των οποίων είναι γνωστή όσο αναφορά τον προσδιορισμό της αντοχής του σκυροδέματος.

Με την βοήθεια των **μη καταστροφικών μεθόδων** ο έλεγχος των αντίστοιχων κατασκευών γίνεται **ευχερής, γρήγορος και κυρίως χωρίς φθορές στο έργο**. Ανώμαλες καιρικές συνθήκες μετά την σκυροδέτηση, εμφάνιση ρηγματώσεων επί της κατασκευής, αναζήτηση του κατάλληλου χρόνου προεντασεως, προβλήματα διάβρωσης, αμφιβολίες για την ποιότητα του χρησιμοποιηθέντος νερού αναμίξεως, είναι μερικές από τις περιπτώσεις όπου οι **μη καταστροφικές μέθοδοι** προσδιορισμού της αντοχής σκυροδέματος αποτελούν την καλύτερη λύση. Πολύ συχνά στην πράξη τίθεται το ερώτημα 'ποιά είναι η πραγματική αντοχή του σκυροδέματος επιτόπου του έργου. Οι περιπτώσεις αυτές εμφανίζονται πχ όταν:

α) Κατά την διάρκεια της κατασκευής:

- 1) είναι επιθυμητή η γνώση της εξελίξεως της αντοχής του σκυροδέματος ή
- 2) υπάρχουν αμφιβολίες σχετικά με την ποιότητα του σκυροδέματος.

β) Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής:

- 1) υπάρχουν αμφιβολίες ως προς την συμβατική αντοχή του σκυροδέματος.
- 2) η κατασκευή έχει υποστεί την δράση σεισμού ή πυρκαγιάς

γ) Ο σχεδιασμός βασίζεται στην επιτόπου αντοχή του σκυροδέματος. Έτσι πολλές φορές αναζητείται η επιτόπου του έργου αντοχή του σκυροδέματος. Η εκτίμηση της επιτόπου αντοχής του σκυροδέματος γίνεται είτε με **μη καταστροφικές μεθόδους** (έμμεσες), είτε με **καταστροφικές μεθόδους** (πυρηνοληψία). Από τις **μη καταστροφικές μεθόδους** πλέον χρησιμοποιούμενες είναι:

α) Κρουσίμετρο

β) Υπέρηχοι

Ενώ στις καταστροφικές μεθόδους ανήκει η μέθοδος των αποκοπτόμενων πυρήνων (καρότα).

Με τις μη καταστροφικές μεθόδους η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος δεν μετριέται άμεσα, αλλά από την συσχέτιση της με κάποια άλλη ιδιότητα του σκυροδέματος, η οποία μετριέται σχετικά εύκολα (επιφανειακή σκληρότητα, ελαστικότητα, πυκνότητα, εφελκυστική αντοχή κλπ).

Ο ισχύων Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος επιβάλλει την χρήση τους στον επανέλεγχο του σκληρυμένου σκυροδέματος, ενώ ο Νέος Κανονισμός για την μελέτη και κατασκευή έργων από σκυρόδεμα αναγνωρίζει την χρησιμότητα τους και επιτρέπει την εφαρμογή τους στον έλεγχο συμμόρφωσης. Τέλος θα λέγαμε ότι οι μη καταστροφικές μέθοδοι εμφανίζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και αποτελούν μοναδικό στόχο και ελπίδα για τον άμεσο, ταχύ, ασφαλή, αξιόπιστο και ακίνδυνο για τον άνθρωπο τρόπο ελέγχου των κατασκευών από σκυρόδεμα που έχει υποστεί βλάβες από διάφορες αιτίες, όπως η κόπωση, σεισμούς κ.λ.π.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πριν την παρουσίαση αυτής της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου για την βοήθεια στην συλλογή των απαραίτητων στοιχείων στους:

- ❖ DR. Γεωργόπουλο Θεοφάνη, Πολιτικό Μηχανικό, καθηγητή του τμήματος 'Εργων Υποδομής' του Ανώτατου Τεχνολογικού Ιδρύματος Πάτρας.
- ❖ DR. Τάσιο Θεοδόσιο, Πολ. Μηχ. Καθηγητή Ε.Μ.Π
- ❖ Παγανό Δημήτριο, καθηγητή εφαρμογών του τμήματος 'Εργων Υποδομής' του Ανώτατου Τεχνολογικού Ιδρύματος Πάτρας.
- ❖ Σουσάνη Βασίλειο, Πολιτικό Μηχανικό, Μελετητή δημοσίων έργων
- ❖ Καραμπούλα Δήμο, Βοηθό του εργαστηρίου σκυροδέματος του Ανώτατου Τεχνολογικού Ιδρύματος Πάτρας

1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος με τη βοήθεια σύγχρονων μεθόδων. Οι μέθοδοι αυτές χαρακτηρίζονται ως καταστροφικές και μη. Στις μη καταστροφικές μεθόδους ανήκουν οι δοκιμές με το κρουσίμετρο και τους υπερήχους, ενώ στις καταστροφικές μεθόδους ανήκει η αποκοπή κυλινδρικών δοκιμίων η αλλιώς "καρότα".

Συνήθως η εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος με την βοήθεια των μεθόδων αυτών γίνεται στις εξής περιπτώσεις:

- 1) Σε παλαιές κατασκευές, στις οποίες δεν υπάρχουν στοιχεία.
- 2) Σε κατασκευές όπου πρόκειται να αυξηθούν τα φορτία (π.χ προσθήκη ορόφου, μεταβολή των φορτίων γέφυρας κ.λ.π)
- 3) Σε νέες κατασκευές όπου υπάρχουν αμφιβολίες για την ποσότητα του σκυροδέματος (βλάβες, χαμηλές αντοχές δοκιμίων)
- 4) Σε κατασκευές όπου επενέργησαν φθοροποιοί παράγοντες όπως είναι ο παγετός, η πυρκαγιά, ο σεισμός κ.λ.π
- 5) Στην παρακολούθηση της ποιότητας του σκυροδέματος, κατά την βιομηχανική του παραγωγή.

Αν και στην παρούσα εργασία δεν μπορεί να γίνει έλεγχος των αποτελεσμάτων της θλιπτικής αντοχής των δοκιμίων παρόλα αυτά, μέσω των τιμών των πειραμάτων που παρατάσσονται στους πίνακες του παραρτήματος, εξάγονται σημαντικά συμπεράσματα που αφορούν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων θλιπτικής αντοχής η οποία προκύπτει από την χρήση των αντίστοιχων οργάνων συσχετίζοντας την με την πραγματική αντοχή η οποία προκύπτει από την μηχανή θραύσης.

2. ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Γενικά

Στην Τεχνολογία του Σκυροδέματος, ένα γενικό πρόβλημα ελέγχου ποιότητας πρέπει να εξακριβώνει αν ένα ολοκληρωμένο στοιχείο από σκυρόδεμα είναι κατασκευαστικά επαρκές για τους σκοπούς που σχεδιάστηκε. Σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές και διατάξεις στις περισσότερες χώρες του κόσμου, αν η αντοχή σε θλίψη των 28 ημερών (κυβικών η κυλινδρικών δοκιμίων) συμμορφώνεται με την προδιαγραφόμενη αντοχή, δεχόμαστε ότι το σκυρόδεμα που αντιπροσωπεύεται με τα δοκίμια ικανοποιεί τα σχεδιαστικά κριτήρια.

Οι συμβατικές δοκιμές αντοχής δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα ως προς τον καθορισμό των κριτηρίων ποιότητας στην διάρκεια της παραγωγής και της παράδοσης, μα αφήνουν πολλά ζητούμενα στη μετέπειτα πορεία του έργου. Τα κύρια μειονεκτήματα της συγκεκριμένης προσέγγισης είναι:

- η καθυστέρηση ως την λήψη των αποτελεσμάτων ,
- το γεγονός πως τα δοκίμια ίσως να μην είναι πραγματικά αντιπροσωπευτικά του σκυροδέματος της κατασκευής εξ αιτίας της διαφορετικής τους θέσης, συμπύκνωσης και συνθηκών συντήρησης και
- η αναγκαιότητα του ελέγχου των δοκιμίων ως την καταστροφής τους,
- με συνέπεια την αδυναμία επαναληψιμότητας των αποτελεσμάτων.

Τα παραπάνω συνδυαζόμενα με το γεγονός πως τα στοιχεία από σκυρόδεμα της κατασκευής είναι πολύ μεγαλύτερα σε διαστάσεις δημιουργούν αμφιβολίες ως προς το αν τα δοκίμια, κυλινδρικά η κυβικά, αντιπροσωπεύουν πραγματικά τη αντοχή του σκυροδέματος σε ένα έργο.

Σαν απάντηση στα προηγούμενα ερωτήματα για την εξασφάλιση της ποιότητας του σκυροδέματος μιας κατασκευής, έγιναν πολλές προσπάθειες τα τελευταία 45 χρόνια να αναπτυχθούν μέθοδοι για μη καταστροφικές και εφαρμοζόμενες επί τόπου δοκιμές του σκυροδέματος. Σήμερα αναφέρεται ένας σημαντικός αριθμός τέτοιων μεθόδων που ποικίλουν από απλές έως πλήρως εξειδικευμένες στην εφαρμογή. Παράλληλα δε μερικές θεωρούνται αρκετά εξελιγμένες ενόσω άλλες βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό στάδιο. Αναμφισβήτητα όμως αποτελούν ένα καινούριο και πολλά υποσχόμενο τομέα στη έρευνα του σκυροδέματος.

Οι διαθέσιμες μη καταστροφικές μέθοδοι εφαρμόζονται τόσο σε νέες όσο και σε παλαιές κατασκευές και μπορούν γενικά να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει εκείνες τις μεθόδους που στηρίζονται στην μέτρηση μιας ιδιότητας του σκυροδέματος (π.χ επιφανειακή σκληρότητα, μέτρο ελαστικότητας) βάσει της οποίας γίνεται:
 - α) έλεγχος της εξέλιξης της αντοχής του σκυροδέματος κατά την φάση κατασκευής αλλά και μετά την ολοκλήρωσή της,
 - β) έλεγχος κατασκευών που δέχθηκαν την επίδραση φθοροποιών παραγόντων, όπως ο παγετός, η πυρκαγιά, οι χημικές επιρροές, ο σεισμός κ.λ.π.
 - γ) ποιοτικός έλεγχος προκατασκευασμένων στοιχείων (π.χ σε σειρά βιομηχανική παραγωγή ή επί τόπου σε μια κατασκευή),
 - δ) ανθεκτικότητα σε διάρκεια κ.λ.π και
- η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει αυτές τις μεθόδους που αποσκοπούν στον προσδιορισμό:
 - α) του μεγέθους και της θέσης ρωγμών, κενών και άλλου είδους αντίστοιχων ανωμαλιών στο εσωτερικό της μάζας του σκυροδέματος,
 - β) της θέσης, της ποιότητας και της κατάστασης του οπλισμού,
 - γ) της ομοιογένειας του σκυροδέματος πριν την εφαρμογή άλλων μεθόδων, όπως η λήψη και τον έλεγχο πυρήνων, αφ ενός καταστροφικών και αφ ετέρου ακριβότερων από την εφαρμογή μη καταστροφικών μεθόδων,
 - δ) των περιοχών κακής συμπύκνωσης, περιεκτικότητα σε υγρασία κ.λ.π. Έτσι εάν πρόκειται για έλεγχο ομοιογένειας ή εξέλιξης της αντοχής του σκυροδέματος ενδείκνυται η χρήση των έμμεσων μεθόδων. Στις περιπτώσεις όμως όπου πρόκειται για υπολογισμό θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος τα αποτελέσματα που δίνουν είναι λιγότερο αξιόπιστα. Έτσι στις περιπτώσεις αυτές συνίσταται ο συνδυασμός των έμμεσων μεθόδων με πυρηνοληψείες. Οι μέθοδοι που ενδιαφέρουν περισσότερο είναι συνήθως αυτές που στηρίζονται σε σχέσεις μεταξύ αντοχής και άλλων ιδιοτήτων, οι οποίες έχουν στατικό χαρακτήρα. Ας σημειωθεί ότι στην διασπορά των τιμών της αντοχής προστίθεται και αυτή που προέρχεται από την ασάφεια της σχέσης αντοχής-μετρούμενης ιδιότητας καθώς και η διασπορά στην μέτρηση της ιδιότητας,

δίνοντας συνολική διασπορά της τάξεως 20-30%. Έτσι γενικά συνίσταται η χρήση των μεθόδων αυτών να γίνεται από πεπειραμένο προσωπικό και χρήσιμο κυρίως για σύγκριση της ποιότητας του σκυροδέματος από περιοχή σε περιοχή.

Στις μη καταστροφικές μεθόδους εκτίμησης αντοχής κατατάσσονται:

- α) οι μέθοδοι εύρεσης της επιφανειακής σκληρότητας του σκυροδέματος (μέθοδος κρουσίμετρου) και
- β) η μέθοδος των υπερήχων.

2.2 ΟΙ ΜΚΜ ΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΣΤΗΚΑΝ

2.2.1 Το κρουσίμετρο αναπήδησης SCHMIDT

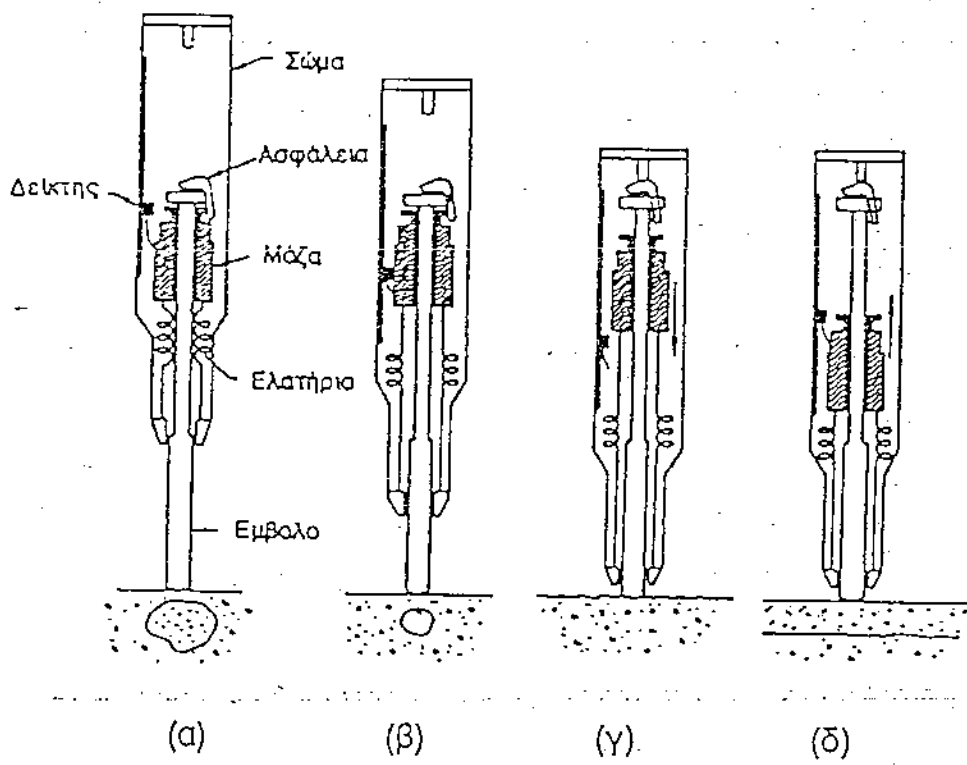
Βασική αρχή της μεθόδου είναι ότι η αναπήδηση ελαστικής μάζας εξαρτάται από την σκληρότητα της επιφάνειας πάνω στην οποία γίνεται η κρούση. Το κρουσίμετρο αναπήδησης, που δείχνεται σχηματικά στο (σχ.1), πιέζεται προς την επιφάνεια του σκυροδέματος , με αποτέλεσμα το έμβολο που πιέζεται (προς το σκυροδέμα) να προκαλεί την αναπήδηση της μάζας που είναι στερεωμένη στο εσωτερικό του μέσω ελατηρίου, που αρχικά είναι τεντωμένο.

Η αναπήδηση της μάζας σχετίζεται με την αντοχή του σκυροδέματος μέσω καμπυλών, που έχουν προκύψει από πειραματικά αποτελέσματα. Επειδή τα αποτελέσματα της δοκιμής είναι ευαίσθητα στην παρουσία αδρανών η κενών στην επαφή με το έμβολο, συνίσταται να γίνονται περίπου 10 μετρήσεις. Οι μετρήσεις αυτές γίνονται στην ίδια περιοχή του σκυροδέματος και λαμβάνεται ο μέσος όρος. Επίσης, η κρούση πρέπει να γίνεται πάντα κάθετα προς την επιφάνεια, η οποία πρέπει να είναι λεία. Η θέση του κρουσίμετρου ως προς την κατακόρυφο επηρεάζει κάπως τα αποτελέσματα και αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στις καμπύλες συσχετισμού.

Η πλέον κοινή χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι το **κρουσίμετρο αναπήδησης τύπου Schmidt (Schmidt Hammer)**. Αν και το κρουσίμετρο αποτελεί ένα γρήγορο, απλό και ανέξοδο τρόπο ελέγχου της αντοχής πρέπει να αναγνωριστεί πως έχει σοβαρούς περιορισμούς. Για παράδειγμα τα αποτελέσματα του κρουσίμετρου επηρεάζονται:

- α) από την επιφάνεια του σκυροδέματος,
- β) από την ηλικία του,
- γ) από την ευκαμψία των στοιχείων καθώς επίσης και
- δ) από την εντατική τους κατάσταση.

Έτσι η επιφάνεια του σκυροδέματος πριν την δοκιμή, πρέπει να καθαρίζεται και να λειαίνεται καθώς έχει παρατηρηθεί ότι οι ενδείξεις σε επιφάνειες λείες είναι αυξημένες συγκριτικά με ανώμαλες επιφάνειες. Επιφάνεια με ανωμαλίες, αγριέματα ή με πολύ λεπτόκκοκα υλικά είναι ακατάλληλη για την δοκιμή. Επιφάνεια σκυροδέματος η οποία προέκυψε με κοπή είναι επίσης ακατάλληλη. Τέλος πρέπει να αποφεύγονται οι υγρές επιφάνειες, διότι δίνουν μικρότερες αντοχές από αυτές του σκυροδέματος, ενώ αντίθετα επιφάνειες οι οποίες έχουν υποστεί υψηλές θερμοκρασίες οδηγούν σε πολύ μεγάλες αντοχές.



Κρουσίμετρο αναπήδησης.

Σχ. 1

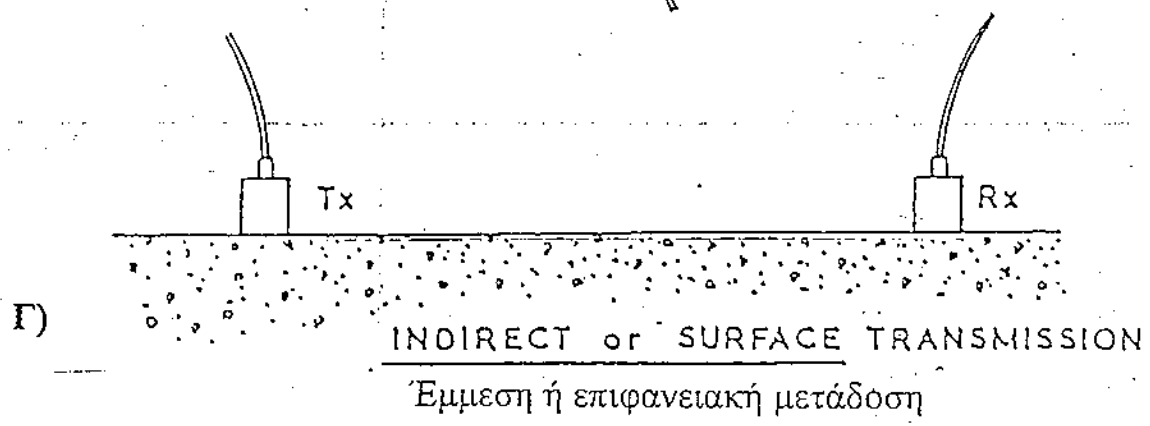
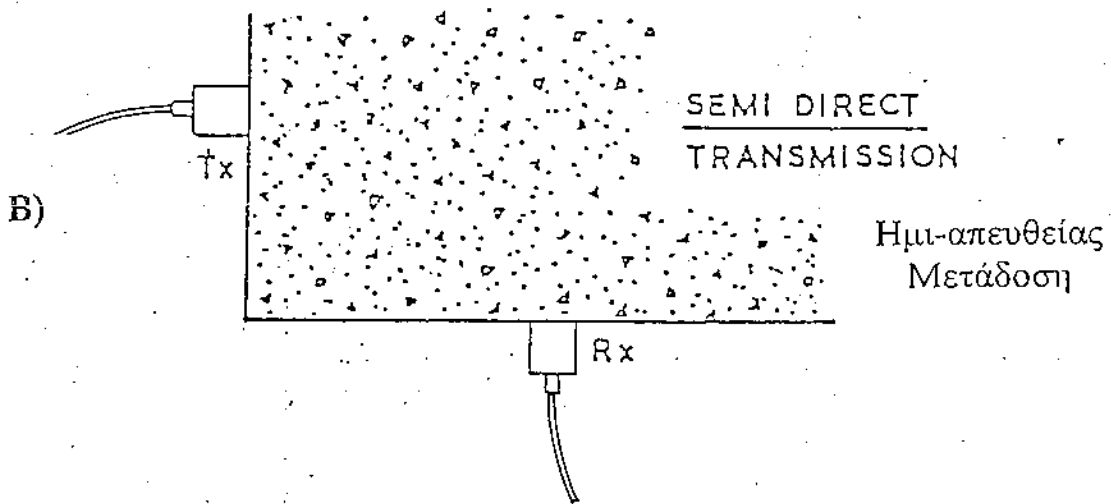
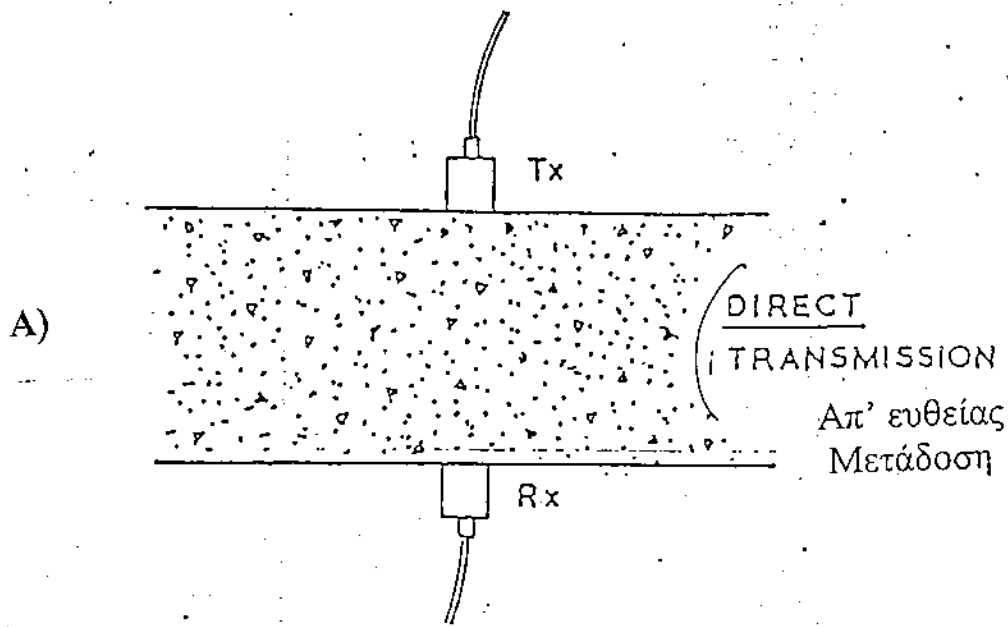
Η χρήση του κρουσίμετρου πρέπει να γίνεται για σκυροδέματα ηλικίας από 15 ημερών έως 3 μηνών, διότι το σφάλμα μπορεί να φθάσει το 15 %. Για ηλικίες σκυροδέματος κάτω των 15 ημερών είναι καλό να αποφεύγεται το κρουσίμετρο, ενώ για ηλικίες άνω των 3 μηνών χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων διότι το σφάλμα μπορεί να φθάσει έως και 25 %. Συνεχίζοντας θα λέγαμε ότι είναι καλό να αποφεύγονται οι κρούσεις σε λεπτά στοιχεία όπως πλάκες πάχους μικρότερου των 10cm, καθώς επίσης το ότι η υγρασία έχει σαν αποτέλεσμα την σημαντική μείωση των ενδείξεων του κρουσίμετρου συγκριτικά πάντα με τις ενδείξεις που παίρνουμε από ξηρά στοιχεία. Τέλος η εντατική κατάσταση των διαφόρων στοιχείων επηρεάζει την ανάγνωση R. Για το λόγο αυτό συνίσταται να αποφεύγονται οι μετρήσεις σε περιοχές υψηλής έντασης.

Έτσι εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος μέσω αυτής της μεθόδου με μια ακρίβεια της τάξης $\pm 15\%$ ή $\pm 20\%$ ίσως να είναι δυνατή μόνο για δοκίμια που σκυροδετήθηκαν, συντηρήθηκαν και μετρήθηκαν κάτω από ιδανικές συνθήκες παραπλήσιες εκείνων από τις οποίες προέκυψαν οι καμπύλες συσχέτισης.

2.2.2 Μέθοδος Ταχύτητας Υπερήχων

Η αρχή της μεθόδου Ταχύτητας Υπερήχων είναι ότι η ταχύτητα του ήχου, V, που διαδίδεται μέσω στέρεου σώματος συνδέεται με το μέτρο ελαστικότητας E, και την πυκνότητα P, του σώματος βάσει της σχέσης: $V = \sqrt{g \times E / \rho}$ όπου g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας. Η σχέση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας σκυροδέματος γνωστής πυκνότητας (δυναμικό μέτρο ελαστικότητας), το οποίο συσχετίζεται με την αντοχή.

Ο εξοπλισμός της δοκιμής περιλαμβάνει βασικά ένα πομπό σε επαφή με το σκυρόδεμα και ένα δέκτη επίσης σε επαφή με το σκυρόδεμα αλλά σε ορισμένη απόσταση L από τον πομπό (σχ 2). Ο πομπός παράγει υπερήχους από έναν ηλεκτροακουστικό κρύσταλλο βάσει του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου, ενώ ο δέκτης (που είναι επίσης ηλεκτροακουστικός) συλλαμβάνει τους υπερήχους και τους μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα, που μέσω ενισχυτή καταγράφεται σε παλμογράφο. Ο χρόνος που απαιτείται για την διάδοση της ταλάντωσης από τον πομπό στο δέκτη μετράται ηλεκτρονικά με ακρίβεια $\pm 0,1 \times 10^{-6} \text{ sec}$, και με γνωστή την απόσταση πομπού-δέκτη υπολογίζεται η ταχύτητα των υπερήχων.



Τρόποι μεταβίβασης υπερήχων.

Σχ 2

Αν και η κατεύθυνση στην οποία διαδίδεται η μέγιστη ενέργεια μέσα στο σκυρόδεμα είναι σε ορθή γωνία ως προς την επιφάνεια του πομπού, είναι δυνατόν να ανιχνευτούν παλμοί και συνεπώς μπορούν να γίνουν μετρήσεις της ταχύτητας του παλμού με την τοποθέτηση του παλμού και του δεκτή:

- α) σε απέναντι πλευρές (απευθείας μετάδοση σχ.2α)
- β) σε παρακείμενες πλευρές (ημι-απευθείας μετάδοση σχ.2β)
- γ) στην ίδια πλευρά (έμμεση η επιφανειακή μετάδοση σχ.2γ)

Η ευαισθησία των οργάνων, άρα και η ακρίβεια της μεθόδου μεγιστοποιείται όταν η μετάδοση γίνεται απευθείας, διότι επιτυγχάνεται μεταφορά της μέγιστης ενέργειας από τον πομπό στον δέκτη. Ταυτόχρονα η μέτρηση του διανυόμενου μήκους από το υπερηχητικό κύμα γίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια (μετρώνται μόνο διαμήκη κύματα). Ενώ σε περιπτώσεις ημιαπευθείας μετάδοσης έχουμε μειωμένη ακρίβεια, διότι δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε ακριβώς την πορεία του υπερηχητικού κύματος μέσα στην μάζα του σκυροδέματος (το σήμα επηρεάζεται και από εγκάρσια κύματα). Ο τρόπος της επιφανειακής μετάδοσης συνίσταται όταν είναι προσιτή μόνο η μια πλευρά του δοκιμίου η όταν αναζητείται το βάθος μιας επιφανειακής ρωγμής. Επίσης συνίσταται και όταν υπάρχει περίπτωση διαφοροποίησης της ποιότητας του σκυροδέματος από την επιφάνεια προς το κέντρο του δοκιμίου.

Η μετατροπή των τιμών της ταχύτητας των υπερήχων σε αντίστοιχες τιμές θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος γίνεται μέσω ειδικών καμπυλών συσχέτισης, οι οποίες προκύπτουν από πειραματικά δεδομένα. Η συγκεκριμένη τεχνική εφαρμόζεται και για τον προσδιορισμό άλλων ιδιοτήτων του σκυροδέματος και θεωρείται ιδανική:

- α) για τον προσδιορισμό ρωγμών και κενών στο σκυρόδεμα (σχ.3), (σχ.4),
- β) για τον υπολογισμό του μέτρου ελαστικότητας και της σταθεράς POISSON του σκυροδέματος,
- γ) για την διαπίστωση της ομοιομορφίας του, καθώς επίσης και
- δ) για τον έλεγχο της κατάστασης του σκυροδέματος μετά από πυρκαγιά (σχ.5)

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι: η απλότητά της και η ευκολία στην εφαρμογή. Ωστόσο σαν κύριο μειονέκτημα αναφέρεται η περιορισμένη αξιοπιστία, γιατί όπως και στο κρουσιμετρο, έτσι και εδώ η σχέση ταχύτητας-αντοχής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες με κυριότερους παράγοντες:

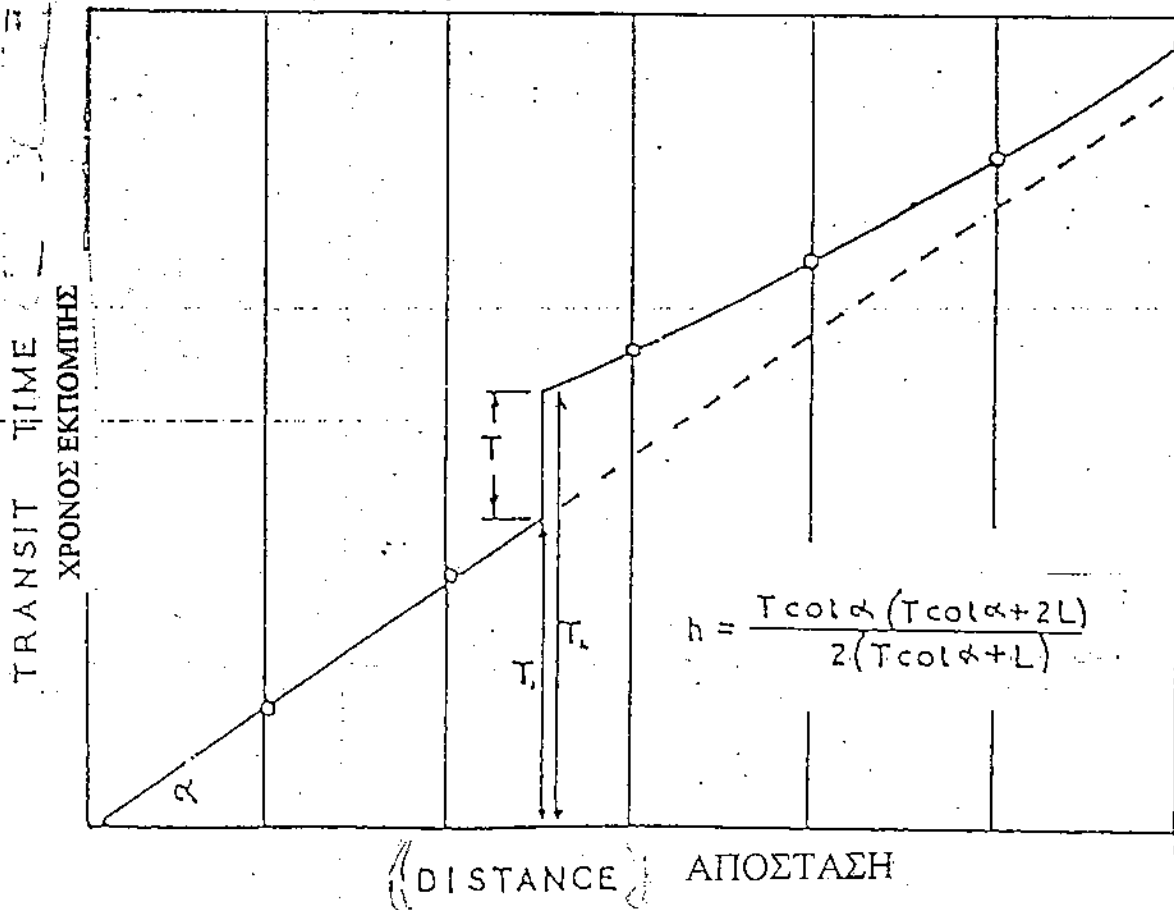
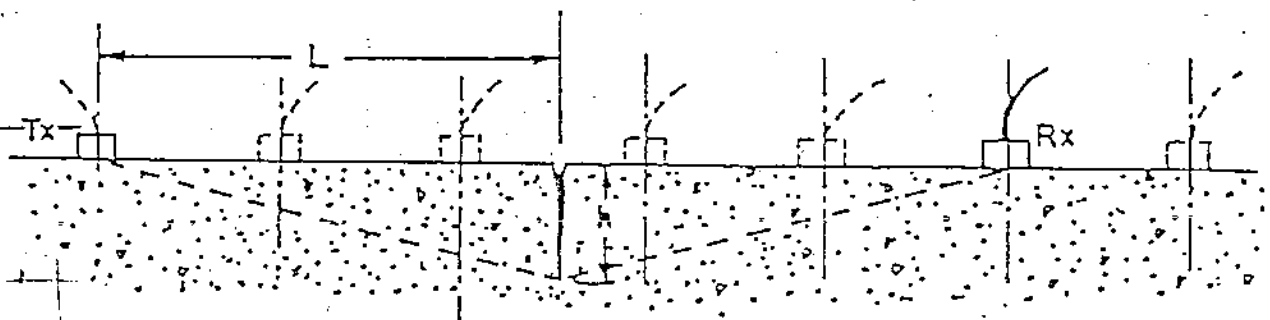
- α) την επιφάνεια του σκυροδέματος,
- β) την θερμοκρασία του περιβάλλοντος,
- γ) το μήκος διαδρομής του υπερήχου μέσω του σκυροδέματος,
- δ) την επίδραση της υγρασίας,
- ε) την επίδραση της εντατικής κατάστασης (σχ.6).



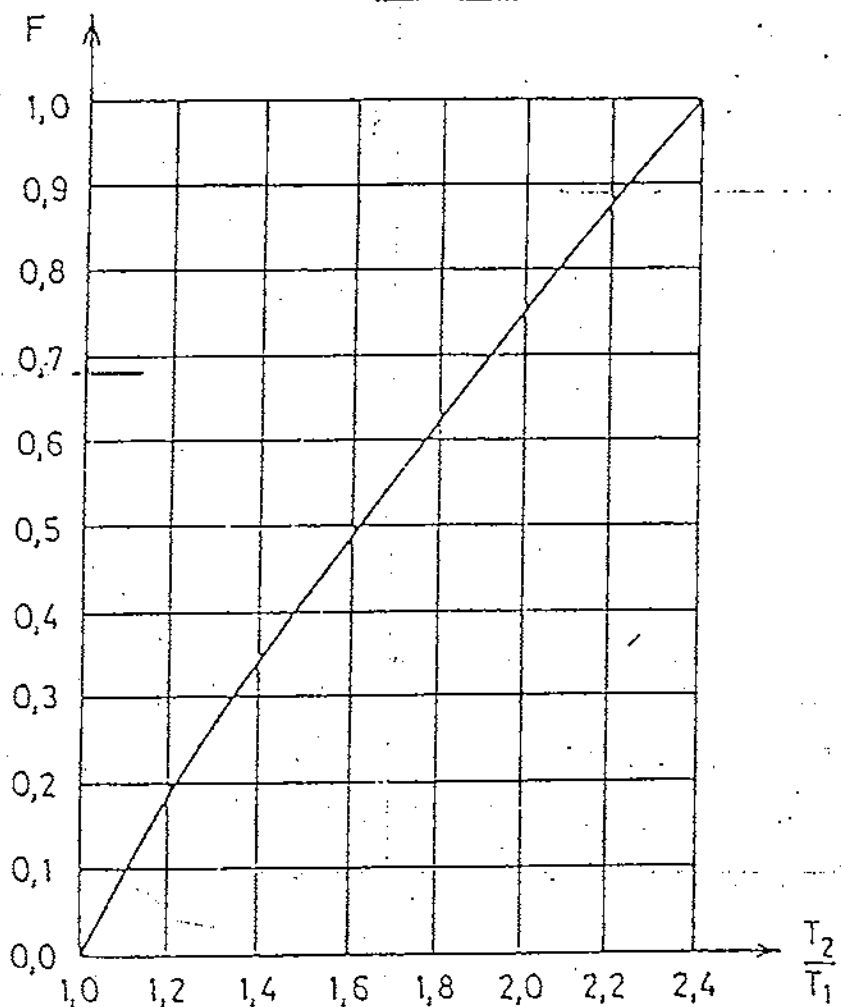
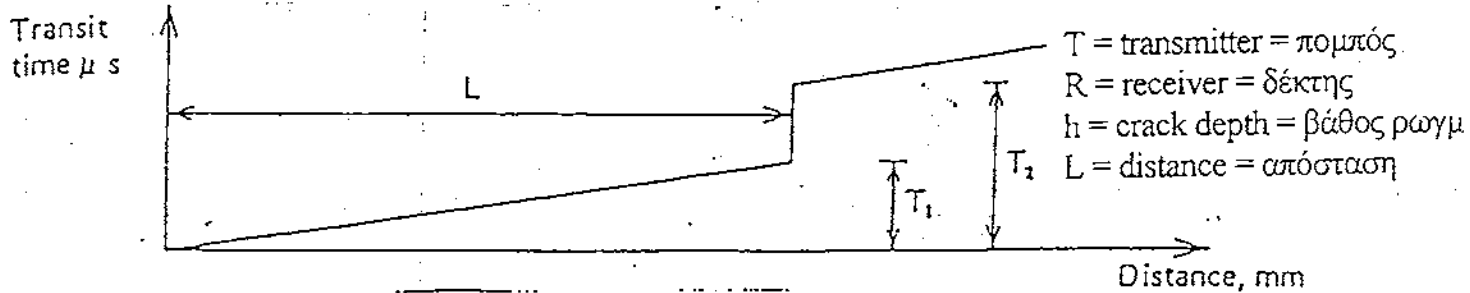
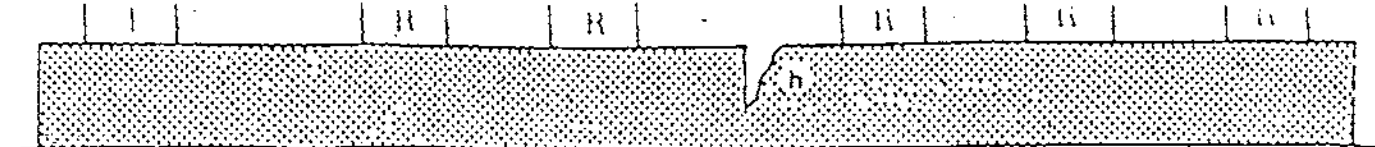
(a) Estimation of crack depth. Crack perpendicular to concrete surface.

(Let first value of x chosen be X_1 and second value be $2X_1$, and the transit times corresponding to these be T_1 and T_2 respectively, then

Βάθος ρωγμής, crack depth $c = X_1 \sqrt{\frac{4T_1^2 - T_2^2}{T_2^2 - T_1^2}}$

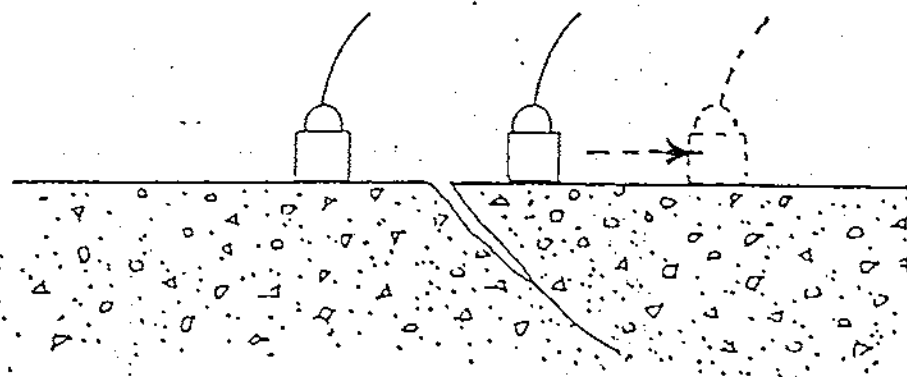


Μέτρηση βάθους ρωγμής.

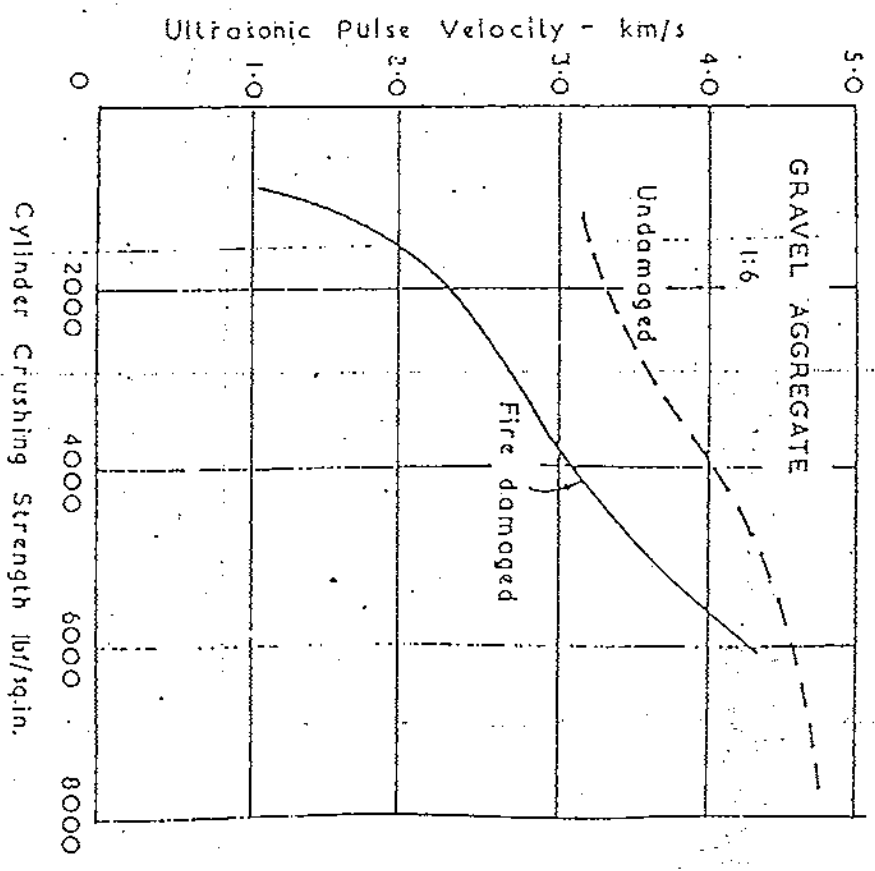
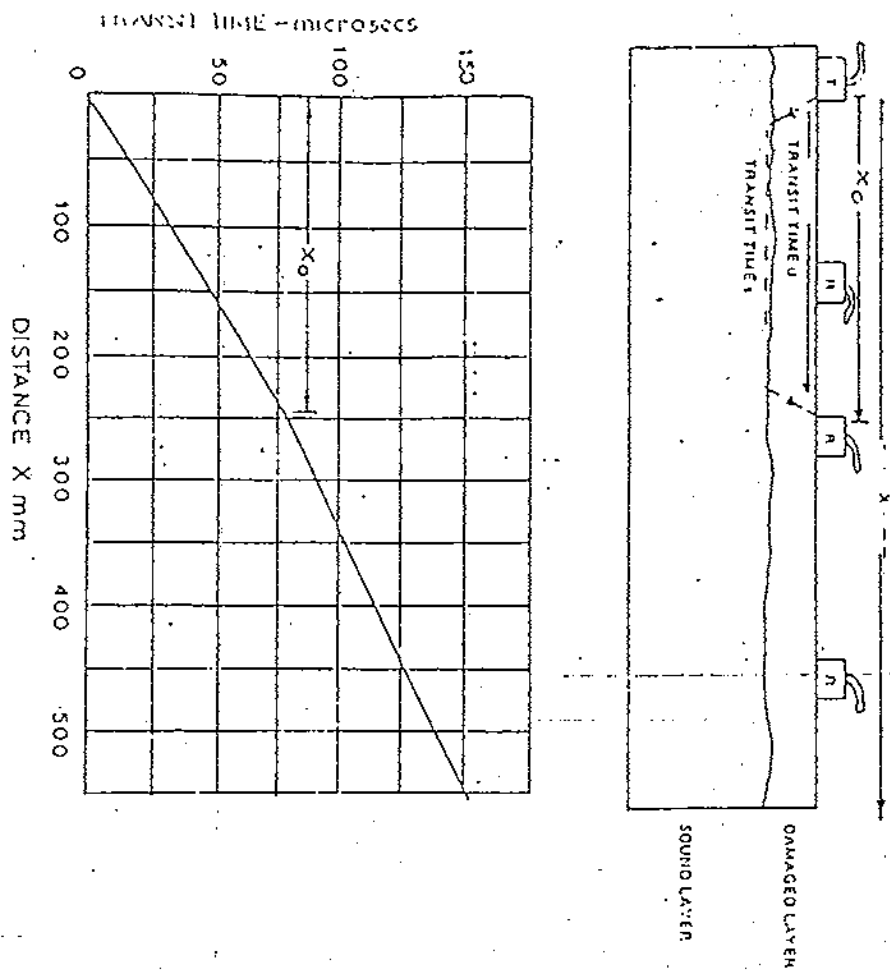


$$h = \frac{L}{2} \left(\frac{T_2}{T_1} - \frac{T_1}{T_2} \right) = F \cdot L$$

$\frac{T_2}{T_1}$	F
1,0	0
1,1	0,095
1,2	0,183
1,3	0,265
1,4	0,343
1,5	0,417
1,6	0,488
1,7	0,556
1,8	0,622
1,9	0,687
2,0	0,750
2,2	0,873
2,4	0,992

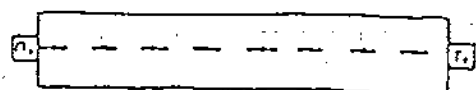


(b) Check on inclination of crack



ΕΛΕΥΧΟΣ ΠΡΟΒΟΛΗΣ ΑΚΥΡΟΦΕΡΤΟΣ ΑΠΟ ΥΠΗΛΙΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.

Σχ. 5

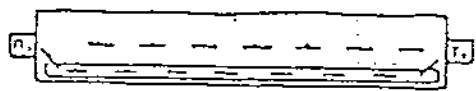


(a)

(a) SOUND CONCRETE

SOUND WAVES TRAVEL SHORTEST DISTANCE BETWEEN T_x AND R_x

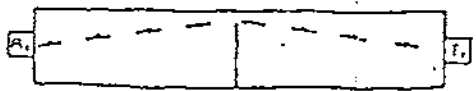
$$V_e = \frac{L}{t_0}$$



(b)

(b) REINFORCING STEEL

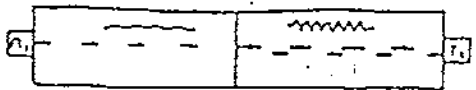
SOUND WAVES TRAVELLING THROUGH STEEL ARRIVE BEFORE THOSE THROUGH CONCRETE



(c)

(c) SHALLOW CRACK

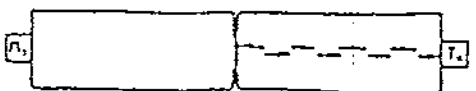
SOUND WAVES TRAVEL AROUND CRACK $l_1 > l_0$; $V_1 < V_0$



(d)

(d) NARROW CRACK

SOUND WAVES PARTIALLY REFLECTED AND PARTIALLY TRANSMITTED WITH LARGE LOSS OF AMPLITUDE BUT ONLY SLIGHT INCREASE IN l_0



(e)

(e) WIDE CRACK

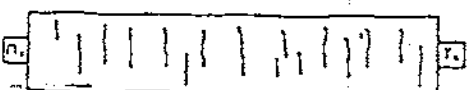
SOUND WAVES WHOLLY REFLECTED. NO SIGNAL RECEIVED



(f)

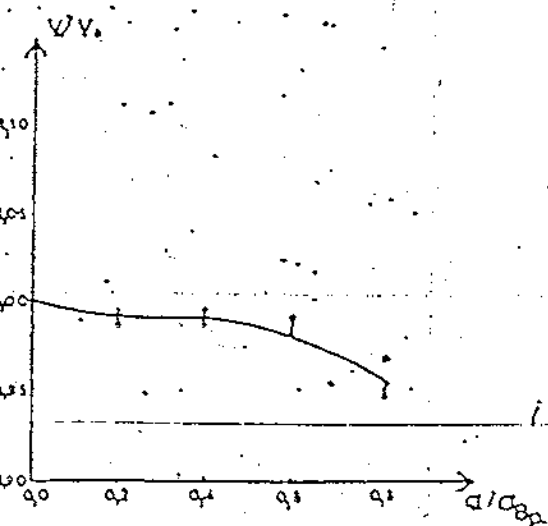
(f & g) VOIDS AND MICRO CRACKS

SOUND WAVES MAY TRAVEL AROUND OR ACROSS THEM (IF WATER FILLED) WITH INCREASE OF TRANSIT TIME



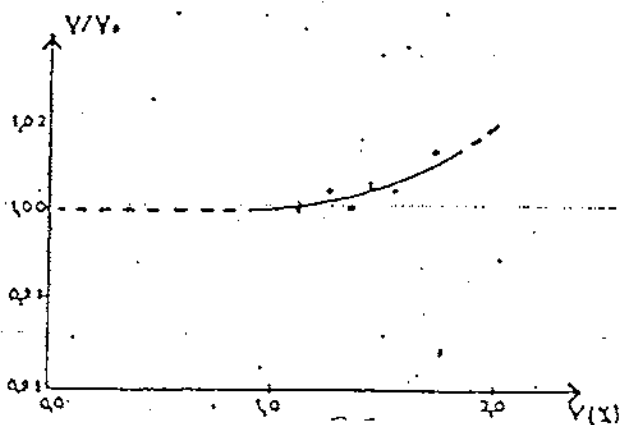
(g)

CONDITIONS THAT INFLUENCE TRANSMISSION OF SOUND WAVES IN CONCRETE



Επίδραση υλιπτικών τάσεων στην ταχύτητα του υπερήχου

$$\gamma = \frac{B \cdot B_0}{B_0} \cdot 100 (\%)$$



Επίδραση της υγρασίας στην ταχύτητα του υπερήχου

παράγοντες που επιδρούν στην διάδοση των υπερήχων

Σχ. 6

Έχει παρατηρηθεί πειραματικά, ότι όσο η θερμοκρασία κυμαίνεται από $+5^{\circ}\text{C}$ έως $+30^{\circ}\text{C}$, δεν έχουμε καμία σημαντική αλλαγή στην ταχύτητα των υπερήχων, κάτι που δεν ισχύει όταν η θερμοκρασία πέφτει κάτω των 5°C ή επάνω των 30°C . Επίσης το ανώτερο όριο του μήκους διαδρομής εξαρτάται από την κατάσταση της εξωτερικής επιφάνειας του δοκιμίου, καθώς επίσης και από τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος. Έτσι σε μεγάλα μήκη απαιτούνται συχνότητες της τάξεως των 20 kHz, ενώ για μικρά μήκη μπορούν να φθάσουν και τα 200 kHz.

Για την επίδραση της εντατικής κατάστασης στην ταχύτητα των υπερήχων συγγραφείς αναφέρουν ότι η ταχύτητα αυξάνει ελαφρά όταν το σκυροδέμα φορτίζεται προοδευτικά, αλλά μειώνεται απότομα όταν η εξωτερική τάση γίνεται ίση με το 70 % της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. Το φαινόμενο αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι όσο η τάση αυξάνει προοδευτικά τόσο τα μικροκενά στη μάζα του σκυροδέματος καλύπτονται, με αποτέλεσμα να έχουμε μικρότερους χρόνους υπερήχων. Αντίθετα όταν η τάση είναι μεγάλη και εφαρμοστεί απότομα, τότε δημιουργούνται ρωγμές στη μάζα του σκυροδέματος, με συνέπεια την αύξηση του χρόνου διάδοσης των υπερηχητικών κυμάτων.

Έτσι λοιπόν προτιμούνται οι μετρήσεις σε επιφάνειες σκυροδέματος οι οποίες προέρχονται από καλούπια ή σε επιφάνειες οι οποίες έχουν διαστρωθεί επιμελώς. Αντίθετα επιφάνειες με ανωμαλίες αποφεύγονται. Επίσης οι μετρήσεις συνηθίζεται να γίνονται σε θερμοκρασίες από 5°C έως 30°C . Ενώ σε χαμηλότερες ή υψηλότερες θερμοκρασίες απαιτούνται διορθωτικοί συντελεστές. Το ποσοστό της υγρασίας στο εσωτερικό του σκυροδέματος επηρεάζει την ταχύτητα των Υπερήχων V , καθώς επίσης και το μήκος της διαδρομής του υπερήχου μέσω του σκυροδέματος.

Τέλος τόσο η εντατική κατάσταση του σκυροδέματος, όσο και ο αριθμός των κύκλων φορτίσεως αποφορτίσεως σε υψηλές τάσεις, επηρεάζουν την ταχύτητα των Υπερήχων. Αύξηση των τάσεων προκαλεί πτώση της V . Για αυτό η μετατροπή των τιμών της ταχύτητας των Υπερήχων σε αντίστοιχες τιμές αντοχής θραύσης του σκυροδέματος γίνεται μέσα ειδικών καμπυλών συσχέτισης, οι οποίες προκύπτουν από πειραματικά δεδομένα για διάφορες ηλικίες και κοκκομετρικές συνθέσεις.

4.ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

4.1. Περιγραφή διαδικασίας δοκιμών

Στο εργαστήριο αντοχής σκυροδέματος εξετάστηκαν δέκα (10) κυβικά δοκίμια διαστάσεων 15x15x15 cm και τέσσερα (4) ορθογώνια δοκίμια διαστάσεων 70x15 cm, στο χρονικό διάστημα ανάμεσα στον Απρίλη του 2002 και τον Ιούνιο του 2002. προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για τον υπολογισμό της θλιπτικής αντοχής των συγκεκριμένων δοκιμίων. Τα δοκίμια δεν χρειάστηκε να κατασκευαστούν, αφού οι δοκιμές έγιναν επάνω σε έτοιμα. Πρέπει εδώ να τονισθεί πως κανένα από τα δοκίμια δεν συντηρήθηκε σε ειδικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας, αλλά αφέθηκαν όλα να παραμείνουν στο περιβάλλον του εργαστηρίου σε όλη την διάρκεια των δοκιμών.

Το πρόγραμμα δοκιμών περιλαμβάνει μετρήσεις ταχύτητας υπερήχων, κρουσιμετρήσεις καθώς και την υποβολή τους σε θραύση με την βοήθεια της μηχανής θραύσης τόσο των ορθογωνίων δοκιμίων, όσο και των κυβικών προκειμένου να βρεθεί η θλιπτική αντοχή τους. Τέλος περιλαμβάνει την κατασκευή δυο πλακών από σκυρόδεμα από τις οποίες πήραμε δυο σειρές των 6 δοκιμίων, με την χρήση της καροπερας, και τα οποία υποβάλλαμε σε θραύση.

Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις της ταχύτητας των υπερήχων φέρει το όνομα PUNDIT. Η συχνότητα εκπομπής των υπερηχητικών παλμών ήταν 54KHz και για την λήψη των τιμών δεν απαιτήθηκε ιδιαίτερη προετοιμασία των δοκιμίων, εκτός της χρήσης μικρής ποσότητας λιπαντικού λαδιού (γράσο) για την εξασφάλιση της καλής επαφής μεταξύ των μετατροπέων του οργάνου και της επιφάνειάς του εξεταζόμενου δοκιμίου. Οι κρουσιμετρήσεις έγιναν με κρουσίμετρο δι' αναπηδήσεως τύπου SCHMIDT C181 που τοποθετείται κατακόρυφα προς την δοκιμαζόμενη πλευρά του δοκιμίου και υπό γωνία -90° ως προς την επιφάνεια της (Φωτ.1), (Φωτ.2). Τα δοκίμια ακουμπούσαν ελεύθερα στο δάπεδο του εργαστηρίου κατά την διάρκεια της δοκιμής και δεν λήφθηκε ιδιαίτερη μέριμνα για την λείανση της επιφάνειάς τους, εκτός της απομάκρυνσης των επιφανειακών ανωμαλιών με την χρήση σμυριδόπετρας (Φωτ.3),(Φωτ.4).

4.2 ΛΗΨΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.2.1 Υπέρηχοι

Για να είμαστε σίγουροι ότι τα υπερηχητικά κύματα που διοχετεύονται από τον πομπό, περνούν μέσα στη μάζα του σκυροδέματος, τοποθετούμε μεταξύ πομπού και δέκτη, μια λιπαντική ουσία η οποία καλύπτει τις εξωτερικές ατέλειες (Φωτ.5),(Φωτ.6). Αυτή μπορεί να είναι γράσο, βαζελίνη η γενικά κάποιο παράγωγο του πετρελαίου, πρέπει να τοποθετείται σε μικρή ποσότητα γιατί διαφορετικά θα προκαλέσει διαφοροποιήσεις στις τιμές ταχύτητας των υπερήχων.

Οι διαφοροποιήσεις αυτές οφείλονται στο γεγονός ότι η ταχύτητα διάδοσης των υπερήχων είναι διαφορετική για το σκυρόδεμα από ότι για την λιπαντική ουσία. Παράλληλα με την χρήση της λιπαντικής αυτής ουσίας, θα πρέπει πομπός και δέκτης να πιέζονται με δύναμη επάνω στην επιφάνεια του δοκιμίου για να έχουμε το δυνατόν ακριβέστερα αποτελέσματα. Στην περίπτωση που οι εξωτερικές επιφάνειες του δοκιμίου είναι ανώμαλες θα πρέπει να γίνει ισοπέδωση των επιφανειών με την χρήση σμυριδόπανου και έπειτα να ακολουθήσει η χρήση της λιπαντικής ουσίας. Έπειτα για να ελέγξουμε εάν το σφάλμα της συσκευής είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια, τοποθετούμε μεταξύ πομπού και δέκτη τον βαθμονομέα και ελέγχουμε εάν η ταχύτητα που μας δίνει είναι αυτή που αναγράφεται στην συσκευή (Φωτ.7),(Φωτ.8). Στην συνέχεια ξεκινάμε τις μετρήσεις.

Η διαδικασία υπολογισμού της ταχύτητας υπερήχων περιλαμβάνει τρεις μετρήσεις σε κάθε κυβικό δοκίμιο που γίνονται στις ανά δυο απέναντι πλευρές του όπως φαίνεται στις (Φωτ.9), (Φωτ. 10) Ενώ σε κάθε ορθογώνιο δοκίμιο τοποθετείται στην μια άκρη του δοκιμίου ο πομπός και ο δέκτης μετακινείται ανά απόσταση 10 cm (Φωτ.11),(Φωτ.12) καταγράφοντας τις αντίστοιχες μετρήσεις. Παράλληλα κάνοντας ένα πρόχειρο διάγραμμα και διαπιστώνοντας την περιοχή όπου βρίσκεται η ρωγή μειώνουμε κατά το ήμισυ και περισσότερο τις αποστάσεις μεταξύ πομπού και δέκτη, παίρνοντας έτσι περισσότερες μετρήσεις για τον υπολογισμό της θέσης και του βάθους της ρωγμής.

Οι ενδείξεις της συσκευής αποτελούν τιμές χρόνου διέλευσης των υπερήχων μέσα από το σκυρόδεμα και δίνονται σε μικροδευτερόλεπτα (μsec). Για κάθε δοκίμιο υπολογίζεται η μέση τιμή των χρόνων αυτών. Τα δε αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων και υπολογισμών παρουσιάζονται στους πίνακες του παραρτήματος : Π1-Π5. Η ταχύτητα διάδοσης V του υπερηχητικού παλμού υπολογίζεται με την χρήση της σχέσης : $V=L/T$, όπου:

L είναι το μήκος της διαδρομής του παλμού μέσα στο δοκίμιο και

T είναι η μέση τιμή των ανά ζεύγη πλευρών μετρούμενων χρόνων διέλευσης.

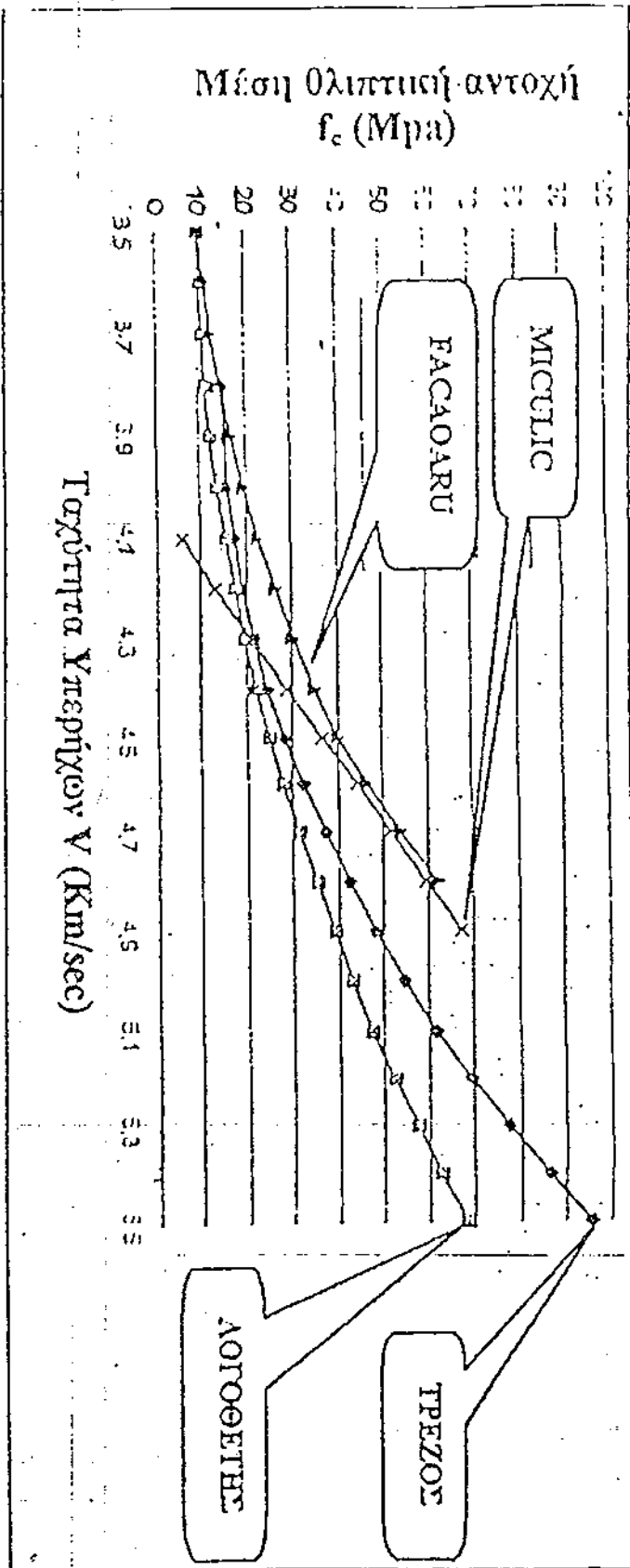
Η υπολογιζόμενη τιμή της ταχύτητας δίνεται σε km/sec. Για να εντοπίσουμε τις ρωγμές του σκυροδέματος κατασκευάζουμε το διάγραμμα του χρόνου μετάδοσης του υπερηχητικού παλμού συναρτήσει της απόστασης μεταξύ πομπού και δέκτη, ελέγχοντας την ποικιλία στην κλίση των γραμμών. Έτσι βρίσκοντας την θέση X και χρησιμοποιώντας τον τύπο : $h=x/2(1-v_1/v_2 / 1+v_1/v_2)^{1/2}$ υπολογίζουμε το βάθος της ρωγμής. Οι μέσες ταχύτητες των υπερήχων για όλα τα δοκίμια καθώς και η τελική μέση ταχύτητα κάθε δοκιμίου εμφανίζονται στους πίνακες Π6-Π11 του παραρτήματος.

Για την αναγωγή των τιμών της ταχύτητας σε τιμές αντοχής θραύσης των δοκιμίων γίνεται χρήση της καμπύλης συσχέτισης που παρουσιάζεται στο σχήμα (Σχ.7). Με βάση βέβαια τα αποτελέσματα πολλών δοκιμών που έχουν γίνει σε διάφορα στοιχεία σκυροδέματος από διάφορους ερευνητές-συγγραφείς, έχουν καθορισθεί διάφορες καμπύλες που συσχετίζουν την ταχύτητα υπερήχων V σε στοιχείο σκυροδέματος, με τη μέση Θλιπτική Αντοχή Fc αυτού (σχ.8),(σχ.9),(σχ.10). Στην παρούσα εργασία η καμπύλη η οποία χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή του Λογοθέτη. Πρέπει να τονισθεί ότι δεν έγινε καμία διόρθωση στις ταχύτητες των υπερήχων με την χρήση ειδικών συντελεστών και η καμπύλη εφαρμόστηκε για τις αρχικές τιμές, όπως αυτές προέκυψαν από τους αντίστοιχους χρόνους που μετρήθηκαν.

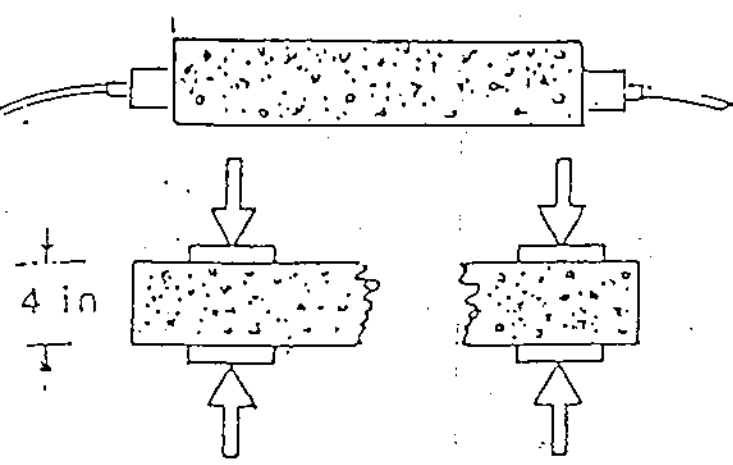
Τα αποτελέσματα που πάρθηκαν μετά την συσχέτιση ταχύτητας υπερήχων - αντοχής θραύσης παρουσιάζονται στους πίνακες Π12 και Π13 του παραρτήματος, καθώς επίσης τα διαγράμματα τιμών αποστάσεων-χρόνου υπερήχων, από τα οποία φαίνονται τα σημεία ρωγμής των ορθογώνιων δοκιμίων, παρουσιάζονται στα διαγράμματα D1-D4.

4.2.2 Κρουσιμετρήσεις

Είναι γνωστό πως οι λαμβανόμενες τιμές με το κρουσίμετρο της επιφανειακής σκληρότητας του σκυροδέματος παρουσιάζουν σημαντική διασπορά μεταξύ τους και έτσι προκειμένου να εξασφαλιστεί ένα ικανοποιητικό επίπεδο αξιοπιστίας, χρειάζονται αρκετές μετρήσεις. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος κατά την διάρκεια των μετρήσεων πρέπει να είναι από 10 έως 30°C, διότι μετρήσεις σε χαμηλές



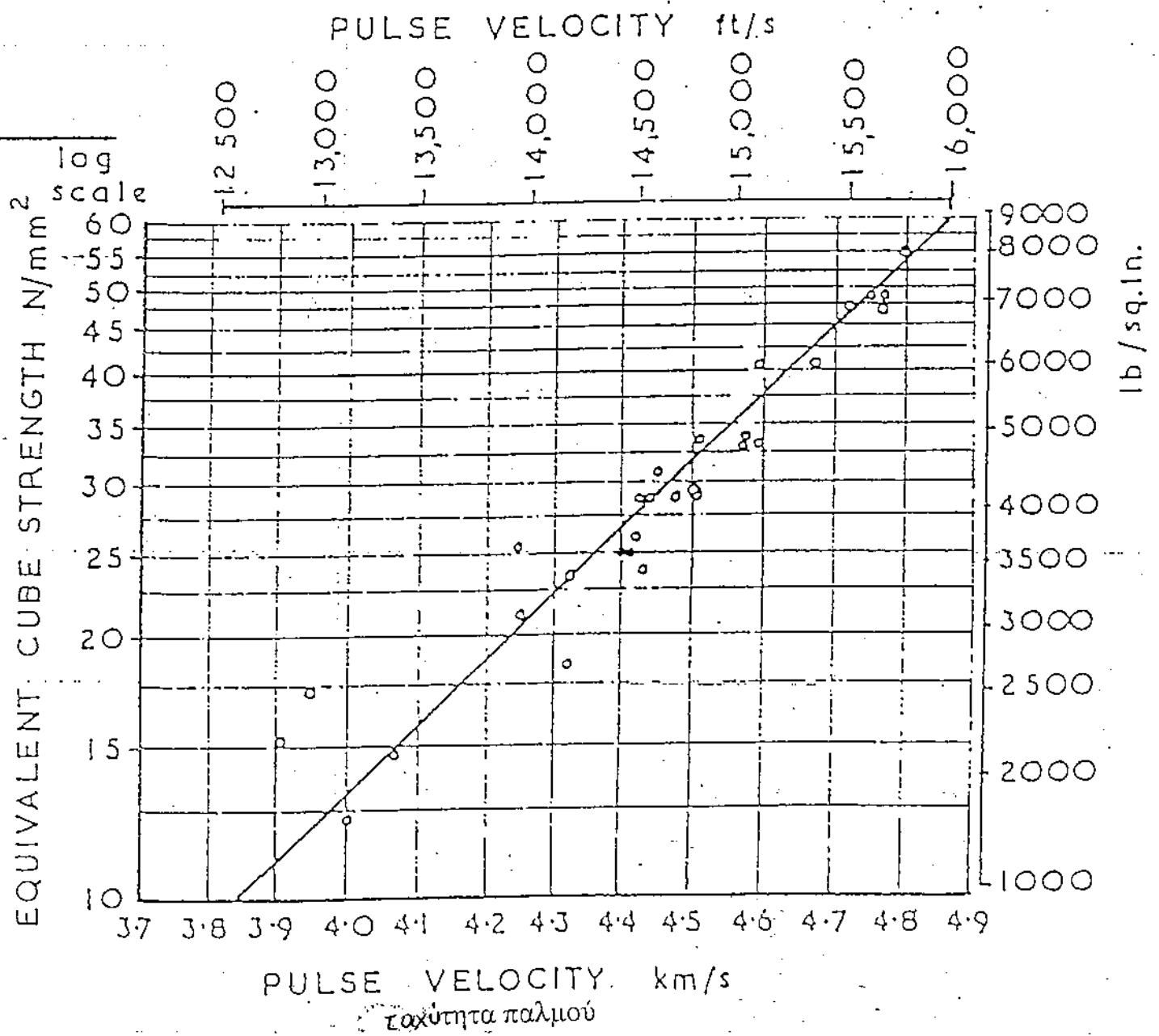
Σχ. 7



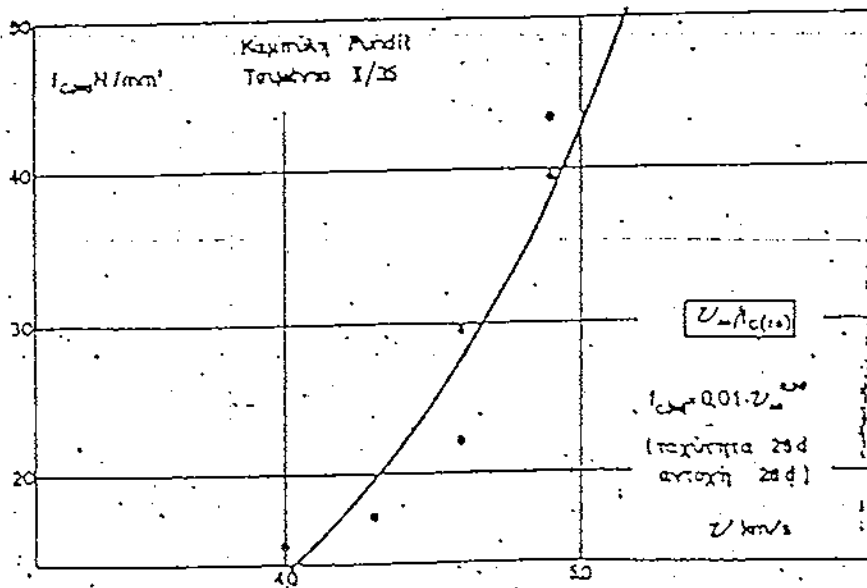
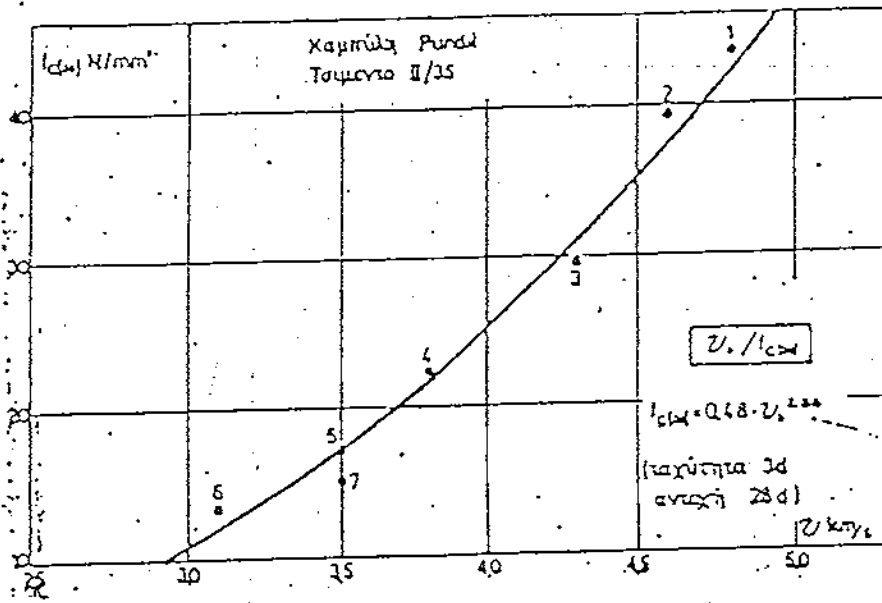
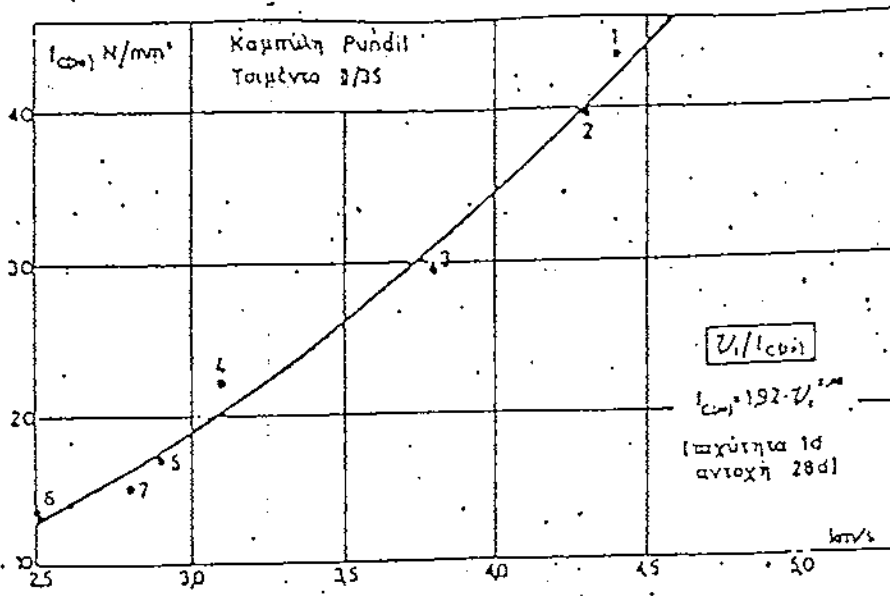
Pulse Velocity measured along beam axis.

Equivalent cube strength of broken halves measured (B.S.1881)

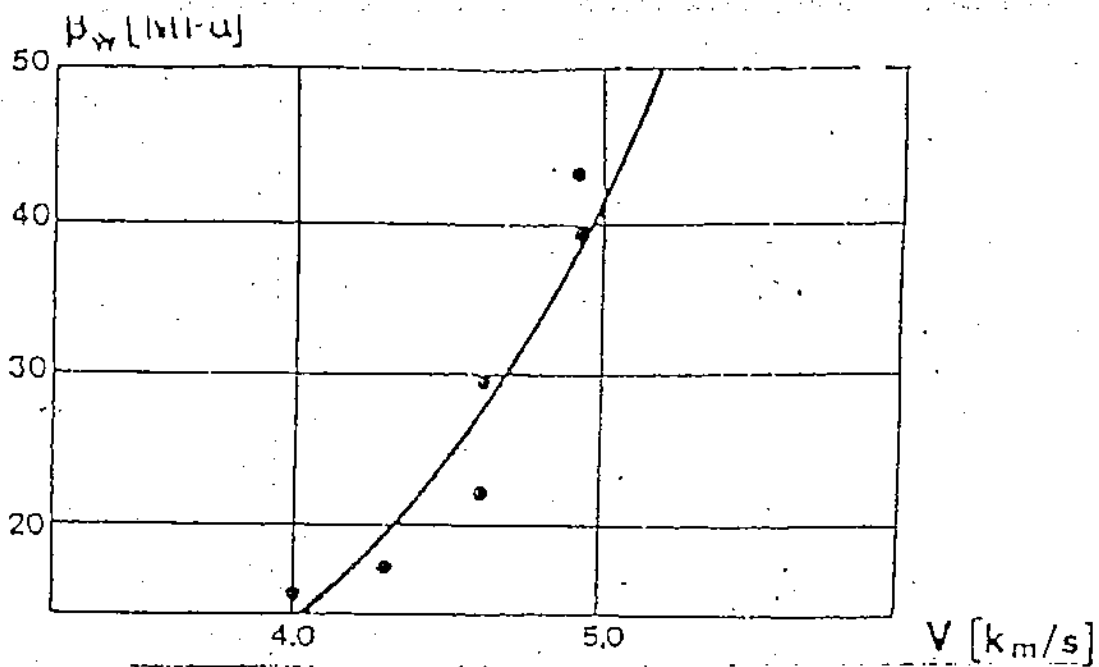
The Correlation graph below was obtained by measuring pulse velocity and equivalent cube strength of beams as shown above



Καμπύλη συσχέτισης για Αγγλικά δεδομένα



Καμπύλες συσχέτισης για διάφορες ηλικίες σκυροδέματος.



ε. Καμπύλη β_{w28}/V_{28} FUNDIT για Έλληνικά σκυροδέματα (Χ. Οικονόμου, 1983)

$V_d = V \cdot \eta_{c1} \cdot \eta_{c2} \cdot \eta_a \cdot \eta_f \cdot \eta_h \cdot \eta_t$ ($V=L/T$ όπου L ή απόσταση T_{xR})
(T ο χρόνος)

Οι διορθωτικοί συντελεστές εξαρτώνται από:

<ul style="list-style-type: none"> • Τύπο τσιμέντου: Portland καθαρό $\eta_{c1}=1,00$ Έλληνικού τύπου $0,90$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Ποσότητα τσιμέντου: 100 kg/m³ $\eta_{c2}=0,46$ 150 $0,61$ 200 $0,75$ 250 $0,88$ 300 1,00 350 $1,11$ 400 $1,21$ 450 $1,30$ 500 $1,38$
<ul style="list-style-type: none"> • Μέγιστο κόκκο αδρανών: 70-80 $\eta_a=0,94$ 30 1,00 15 $1,05$ 7 $1,12$ 3 $1,25$ 1 $1,71$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Λεπτόκοκκο ύλικό (0-1mm): 6% $\eta_f=0,96$ 12 1,00 18 $1,04$ 30 $1,10$ 42 $1,16$ 54 $1,22$
<ul style="list-style-type: none"> • Ηλικία σκυροδέματος: 3 ημέρες $\eta_t=0,73$ 7 $0,87$ 14 $0,95$ 28 1,00 90 $1,10$ 180 $1,18$ 1 χρόνος $1,24$ 5 $1,36$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Υγρασία σκυροδέματος: Χαμηλή $1,04$ Μέση 1,00 Υψηλή $0,80$

στ. Διορθωτικοί συντελεστές η

Καμπύλη συσχέτισης και διορθωτικοί συντελεστές.

θερμοκρασίες δίνουν αυξημένες ενδείξεις οργάνου, οπότε πρέπει και να αποφεύγονται.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας εκτελέστηκαν δέκα (10) κρουσιμετρήσεις στην πλευρά αυτή του δοκιμίου με τις λιγότερες επιφανειακές ανωμαλίες, αφού πρώτα τοποθετήθηκαν σταθερά στο έδαφος και απομακρύνθηκε το επιφανειακό στρώμα της επιφάνειας με την βοήθεια σφυριδόπετρας, την οποία φέρει επάνω το ίδιο το κρουσίμετρο (Φωτ.13). Το τοποθετήσαμε κάθετα στην επιφάνεια και χτυπήσαμε δέκα φορές σε δέκα διαφορετικά σημεία της επιφάνειας αυτής. Οι θέσεις των δοκιμών απέχουν 30 mm από τις ακμές του δοκιμίου όπως ορίζεται, καθώς και το γεγονός ότι τα δοκίμια δεν περιέχουν οπλισμό. Έπειτα συνεχίσαμε με τον υπολογισμό του μέσου όρου των παραπάνω τιμών έχοντας πάντοτε υπόψη ότι εάν κάποια από τις μετρήσεις διαφέρει περισσότερο των 5 μονάδων από την μέση τιμή, τότε απορρίπτεται και ο νέος μέσος όρος εξάγεται από τις υπόλοιπες. Τέλος εξάγεται η μέση τιμή και τα αποτελέσματα εμφανίζονται στους πίνακες Π14 και Π15. Στο σχήμα (σχ.11) παρουσιάζεται η καμπύλη συσχέτισης την οποία χρησιμοποιήσαμε για να γίνει η αντιστοίχιση των μέσων τιμών των ενδείξεων του κρουσίμετρου σε τιμές θλιπτικής αντοχής.

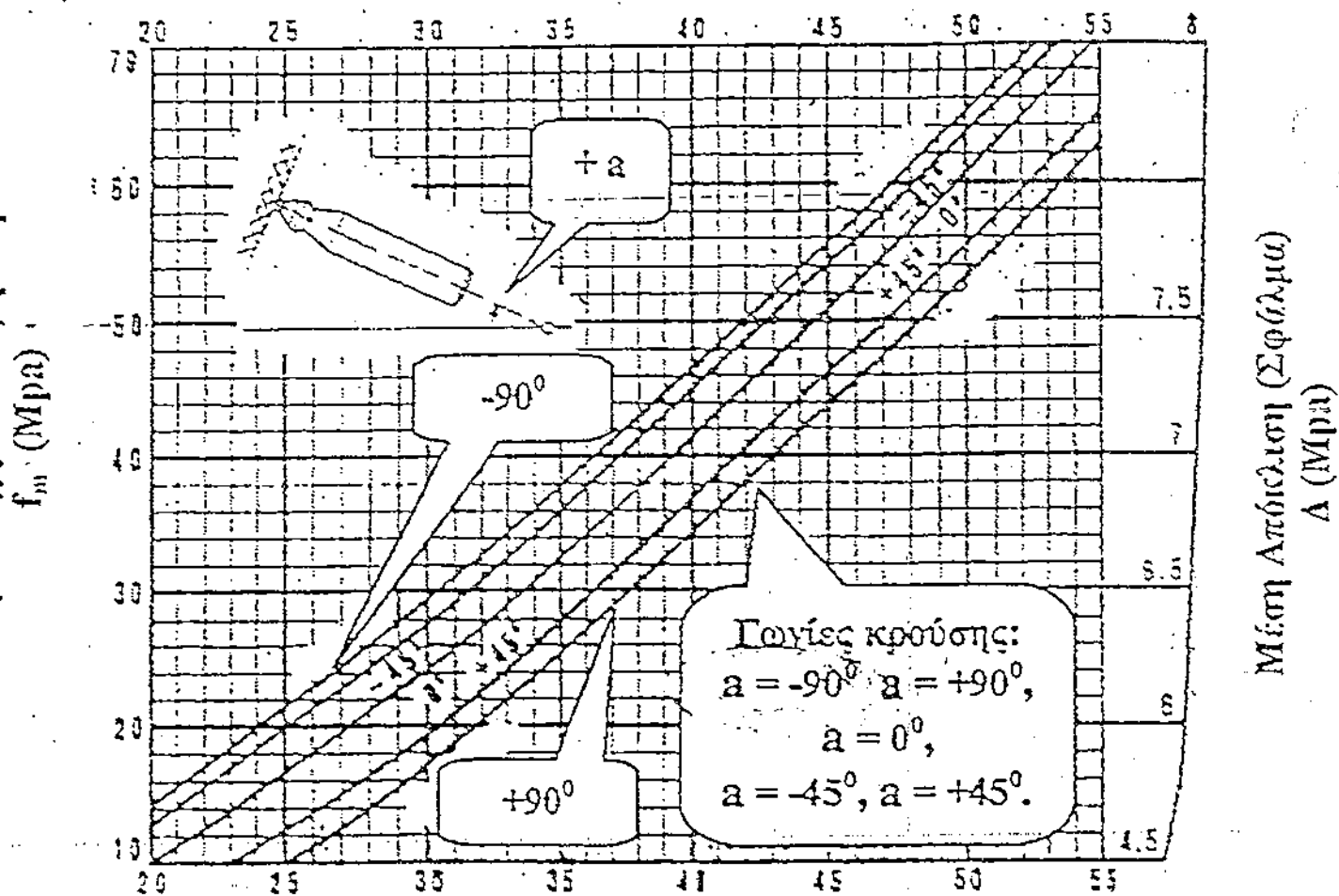
Πρόκειται για την καμπύλη του κρουσίμετρου SCHMIDT C 181 και υπό γωνία -90° , εφόσον οι κρουσιμετρήσεις έγιναν με το συγκεκριμένο όργανο και υπό την δεδομένη γωνία. Και στην περίπτωση του κρουσίμετρου δεν έγιναν διορθώσεις των τιμών αναπήδησης (R) χρησιμοποιώντας διορθωτικούς συντελεστές.

Οι τιμές της θλιπτικής αντοχής σε συνάρτηση με την ένδειξη R του κρουσίμετρου όλων των δοκιμών που εξετάστηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα Π16 του παραρτήματος.

4.2.3 Θραύση

Η τελική δοκιμή που κλείνει τον κύκλο των μετρήσεων κάθε δοκιμίου με MKM, είναι βέβαια η εύρεση της θλιπτικής του αντοχής. Η δοκιμή αυτή εκτελείται στην μηχανή θραύσης με σταθερή ταχύτητα φόρτισης και καταγράφεται η μέγιστη ασκούμενη δύναμη στο ορθογώνιο δοκίμιο μέχρι την αστοχία του (Φωτ.14), (Φωτ.15), καθώς επίσης και η απευθείας τιμή θραύσης του κυβικού δοκιμίου. Έτσι για τα μεν ορθογώνια δοκίμια, διαιρώντας την δύναμη θραύσης δια του εμβαδού του δοκιμίου έχουμε την θλιπτική αντοχή του και συνεπώς την κατηγορία στην οποία αντιστοιχεί. Στα δε κυβικά δοκίμια

SCHMIDT C 181



Υπολογισθείσα Μέση Σκληρομέτρηση
R

Σχ 11

Εφαρμογή:

Γωνία κρούσης $\alpha = -90^\circ$

Μέση τιμή κρουσίμετρου $R = 25$

→ από καμπύλη $F_m = 21,8 \text{ MPa}$

παίρνουμε απευθείας από την μηχανή θραύσης την τιμή της θλιπτικής αντοχής του. Οι τιμές θλιπτικής αντοχής των δοκιμίων παρουσιάζονται στους πίνακες: Π17-Π19 του παραρτήματος.

Έτσι για παράδειγμα έχουμε:

Ορθογώνιο δοκίμιο:

$$F = 1.26 \text{ KN}, A = 0.70 \times 0.15 \text{ m}^2$$

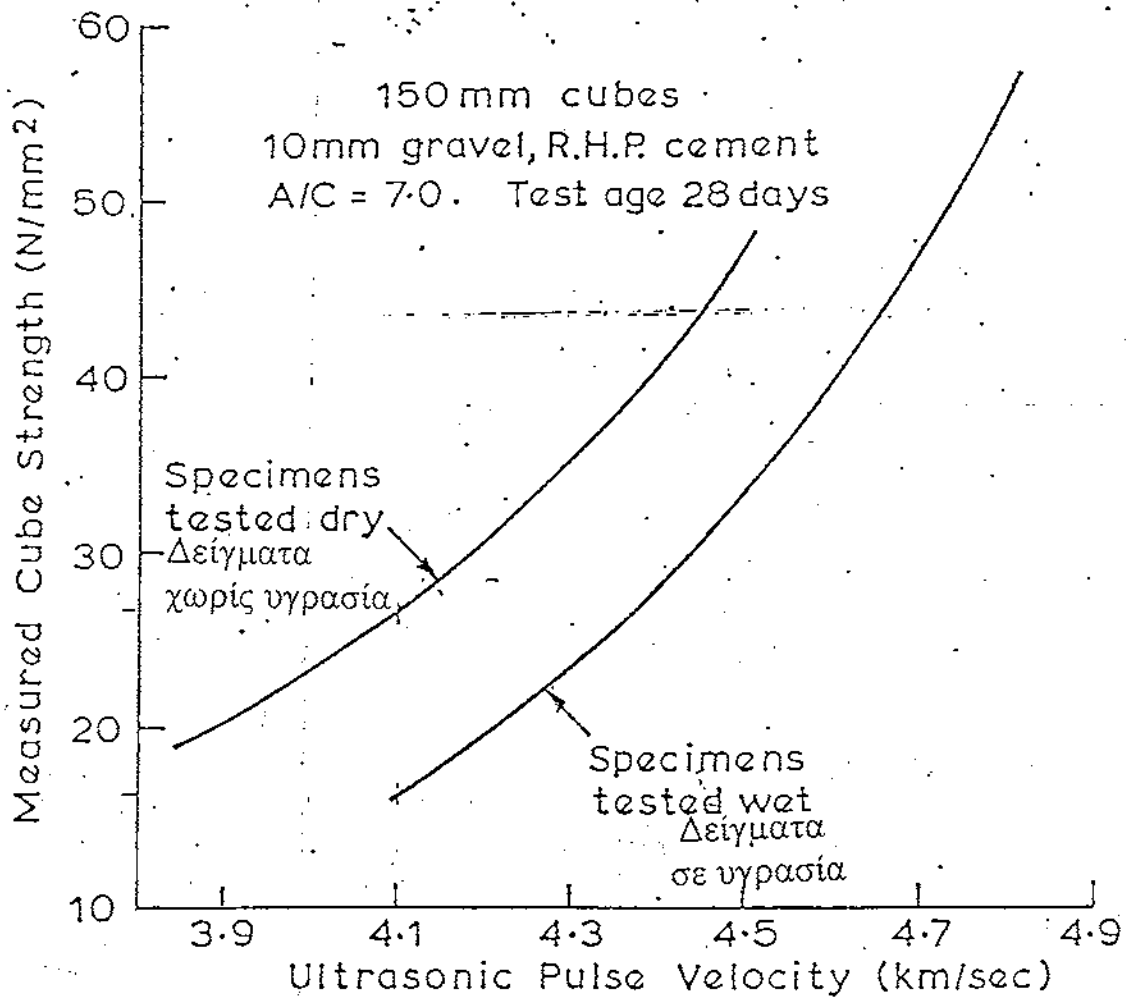
Θλιπτική αντοχή:

$$F/A = 12 \text{ KN/m}^2$$

4.2.4 Μέθοδος αποκοπόμενων πυρήνων (καρότα)

Στην παρούσα εργασία η μόνη καταστροφική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η αποκοπή πυρήνων, κατά την οποία με την βοήθεια του αντίστοιχου εξοπλισμού, δηλαδή της καροπέρας (Φωτ.16), πήραμε δυο σειρές των έξι (6) πυρήνων σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Οι πυρήνες έχουν διάμετρο 10 cm και είναι συμβατοί σύμφωνα με την αντίστοιχη εγκύκλιο, η οποία ορίζει ότι η διάμετρος πρέπει να είναι από 9,5 έως 10,5 cm καθώς και το ύψος πρέπει να είναι από 9,5 έως 12,5 cm.

Το βασικό εξάρτημα της καροπέρας είναι το περιστροφικό τρυπάνι η αλλιώς διαμάντι, διότι έχει αδαμαντοκορόνα σε πολύ καλή κατάσταση. Επειδή το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε, όταν χρησιμοποιούμε την μέθοδο των πυρήνων, για να εκτιμήσουμε την αντοχή του σκυροδέματος, είναι το πρόβλημα του οπλισμού έτσι λοιπόν κατασκευάσαμε δυο πλάκες χωρίς οπλισμό διαστάσεων 0.50 x 0.50 x 0,15 cm. Αφήσαμε να περάσει διάστημα 28 ημερών υπό κατάλληλες συνθήκες και την τοποθετήσαμε κάτω από την μηχανή αποκοπής πυρήνων. Οι πλάκες τοποθετήθηκαν πλήρως οριζόντια ούτως ώστε η λήψη των πυρήνων να είναι κάθετη ως προς τις επιφάνειες των πλακών. Αφού έγινε η λήψη των πυρήνων ακολούθησε η κοπή και η λείανση των επιφανειών τους έως ότου γίνουν επίπεδες για διόρθωση των ατελειών που δημιουργούνται κατά την κοπή. Στη συνέχεια οι πυρήνες αυτοί συντηρήθηκαν για δυο περίπου ημέρες μέσα σε δεξαμενές νερού σε θερμοκρασία 24 °C. Τέλος ακολούθησε η θραύση των πυρήνων στην μηχανή θραύσης και τα αποτελέσματα αυτής εξάγονται στους πίνακες Π20-Π21 του παραρτήματος.



INFLUENCE OF MOISTURE-CONDITIONS
ON PULSE VELOCITY.

Επιρροή των συνθηκών υγρασίας στην ταχύτητα των υπερήχων.

Τέλος εάν θα θέλαμε να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα των μεθόδων μεταξύ τους θα καταλήγαμε στο συμπέρασμα ότι στην περίπτωση των κυβικών δοκιμίων, το κρουσίμετρο δίνει μια πιο βελτιωμένη εκτίμηση της αντοχής σε σύγκριση με την μέθοδο των υπερήχων, ενώ στην περίπτωση των ορθογώνιων δοκιμίων, οι υπέρηχοι δίνουν αποτελέσματα μεγαλύτερα από αυτά της μηχανής θραύσης.

Συμπερασματικά θα κλείναμε υποστηρίζοντας ότι οι **MKM** δεν πρέπει να θεωρηθούν σαν υποκατάστατα των δοκιμών θραύσης κυβικών η ορθογώνιων δοκιμίων, αλλά μόνο σαν συμπληρωματικές μέθοδοι. Η χρησιμότητα τους βέβαια είναι αναμφίβολη διότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο στον έλεγχο δομικών στοιχείων επισημαίνοντας περιοχές ασθενούς σκυροδέματος, έτσι ώστε να γίνει πυρηνοληψεία εάν κρίνεται απαραίτητο, όσο και στον πλήρη εντοπισμό της θέσης και του μεγέθους ρωγμών στο εσωτερικό του σκυροδέματος.

5.2 Μεταβολή της ταχύτητας και της αντοχής

Η ταχύτητα των υπερήχων, διαμέσου του σκυροδέματος, επηρεάζεται από την μικρορηγματώση που προκαλείται από την αύξηση της θερμοκρασίας. Επομένως έχουμε συνεχή μείωση της ταχύτητας V με την αύξηση της θερμοκρασίας και μεταβολή της ταχύτητας εντονότερη από αυτήν της αντοχής.

Η αντοχή του σκυροδέματος έχει πολυπλοκότερη εξάρτηση διότι επηρεάζεται και από την ρηγματώση και από την μεταβολή του όγκου του υλικού αλλά και από τις εσωτερικές τάσεις μεταξύ του τσιμεντοπολτού και των αδρανών. Για τον λόγο αυτό η μεταβολή της αντοχής με την αύξηση της θερμοκρασίας είναι ηπιότερη και από την μεταβολή της ταχύτητας

5.3 Συμπεράσματα

Είναι γνωστό ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρείται σημαντική πτώση της αντοχής του σκυροδέματος. Η πτώση αυτή γίνεται εντονότερη μετά τους 200-300°C. Η μείωση της αντοχής οφείλεται στην μεταβολή του ιστού του σκυροδέματος λόγω αποβολής του νερού και λόγω του ασυμβίβαστου στην διόγκωση του τσιμέντου και των αδρανών (δημιουργία μικρορηγματώσης). Συνεπώς η διέλευση των υπερήχων διαμέσου του σκυροδέματος επηρεάζεται από την αναπτυσσόμενη μικρορηγματώση, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της ταχύτητας V με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Η μείωση της αντοχής και της ταχύτητας δεν είναι αυτές διότι, η αντοχή επηρεάζεται μόνο από την ρηγματώση αλλά και από άλλους παράγοντες όπως είναι οι αναπτυσσόμενες εσωτερικές τάσεις.

Οι αναγνώσεις του κρουσίμετρου, ως γνωστόν επηρεάζονται από μια επιφανειακή στρώση περίπου 3cm. Αρχικά η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί σκλήρυνση της επιφάνειας του σκυροδέματος, για το λόγο αυτό μέχρι τους 500-600°C παρατηρείται μάλλον αύξηση στις αναγνώσεις του κρουσίμετρου.

Ξεπερνώντας όμως τους 600°C, η ρηγματώση του σκυροδέματος φθάνει στην επιφανειακή στρώση με αποτέλεσμα την μείωση στις αναγνώσεις του κρουσίμετρου με την περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας. Η εκτίμηση της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται είναι δυνατόν να γίνει μέσω εκτίμησης υγιεινών τμημάτων του σκυροδέματος.

Με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται η αξιοπιστία της μεθόδου των υπερήχων διότι η διασπορά των μετρήσεων αυξάνει σημαντικά.

6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στο παράρτημα περιλαμβάνονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα αυτής της εργασίας, τα οποία προέκυψαν από μια σειρά πειραμάτων. Τα αποτελέσματα αυτά δίδονται με την μορφή πινάκων και γραφικών παραστάσεων.

6.1. ΠΙΝΑΚΕΣ

Το κομμάτι αυτό του παραρτήματος περιλαμβάνει ένα σύνολο από 21 πίνακες, οι οποίοι, περιέχουν τα αποτελέσματα των πειραμάτων που έγιναν επάνω σε κυβικά και ορθογώνια δοκίμια. Στους πίνακες αυτούς βρίσκουμε τιμές χρόνων υπερήχων, τιμές επιφανειακής σκληρότητας κρουσίμετρου, προκύπτουσες τιμές αντοχής των και τέλος τιμές αντοχής θραύσης.

ΧΡΟΝΟΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

ΚΥΒΙΚΟ ΔΟΚΙΜΙΟ 15x15x15 cm

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΧΡΟΝΟΣ ΥΠΕΡΗΧΟΥ			ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
	μsec	μsec	μsec	μsec
1	38.7	36.8	40.0	38.5
2	40.5	39.8	41.8	40.7
3	35.9	39.0	35.7	36.9
4	37.7	37.2	37.3	37.4
5	35.6	35.2	37.5	36.1
6	35.3	35.4	37.4	36.0
7	36.9	34.8	34.6	35.4
8	36.8	37.5	41.3	38.5
9	34.1	35.5	36.2	35.3
10	35.4	35.3	36.0	35.6
11	36.3	36.1	37.1	36.5

ΠΙΝ.1

ΧΡΟΝΟΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

ΟΡΘΟΓΩΝΙΟ ΔΟΚΙΜΙΟ 70 x 15 cm

α) ΔΟΚΙΜΙΟ 3			
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ	ΧΡΟΝΟΣ ΥΠΕΡΗΧΟΥ		ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
cm	μsec		μsec
10	72.0	73.0	72.5
20	110.0	115.0	112.5
30	120.0	124.0	122.0
35	110.0	178.3	144.2
40	123.0	189.2	156.1
42.5	126.2	240.0	183.1
45	135.0	237.5	186.3
50	154.7	217.0	185.9
52.5	162.2	307.2	234.7
55	171.2	329.0	250.1
57.5	147.2	314.0	230.6
60	181.3	287.0	234.2
65	194.0	308.0	251.0

ΠΗΝ.4

ΧΡΟΝΟΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

ΟΡΘΟΓΩΝΙΟ ΔΟΚΙΜΙΟ 70 x 15 cm

α) ΔΟΚΙΜΙΟ 4			
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ	ΧΡΟΝΟΣ		ΜΕΣΗ
	ΥΠΕΡΗΧΩΝ		ΤΙΜΗ
cm	μsec		μsec
10	77.0	78.0	77.5
20	123	125	124
30	148	149	148.5
32.5	149	150	149.5
35	119.6	139.6	129.6
37.5	122.7	150.6	136.7
40	159.3	156.6	158.0
42.5	154.3	163.0	158.7
45	160	168.6	164.3
47.5	164.7	164.3	164.5
50	173.4	181.7	177.5
52.5	177.1	187.6	182.4
55	216.5	223.7	220.1
57.5	230.8	239.8	235.3
60	226.7	233.3	230.0
62.5	226.7	235.7	231.2
65	235.0	255.3	245.2

ΠΙΝ.5

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

ΚΥΒΙΚΟ ΔΟΚΙΜΙΟ 15 x 15 cm

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΥΠΕΡΗΧΟΥ			ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
	V (Km/sec)			
1	3.88	4.08	3.75	3.90
2	3.70	3.77	3.59	3.69
3	4.18	3.85	4.20	4.07
4	3.98	4.03	4.02	4.01
5	4.21	4.26	4.00	4.16
6	4.25	4.24	4.01	4.17
7	4.06	4.31	4.33	4.24
8	4.08	4.00	3.63	3.90
9	4.40	4.22	4.14	4.26
10	4.24	4.25	4.17	4.22
11	4.04	4.15	4.04	4.08

ΠΙΝ. 6

ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

ΟΡΘΟΓΩΝΙΟ ΔΟΚΙΜΙΟ 70 x 15 cm

ΔΟΚΙΜΙΟ 1		
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ
cm	μsec	Km/sec
10	65.5	10.69
20	82.0	8.50
30	99.5	7.04
40	136.0	5.15
42	270.0	2.59
45	234.0	2.99
47	251.0	2.79
50	195.0	3.59
52	316.0	2.21
55	322.0	2.17
57	333.0	2.10
60	260.5	2.69
63	328.5	2.13
65.5	340.0	2.06

ΠΙΝ.7

ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

ΟΡΘΟΓΩΝΙΟ ΔΟΚΙΜΙΟ 70 x 15 cm

ΔΟΚΙΜΙΟ 2		
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΣΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ
cm	μsec	Km/sec
10	97.0	7.21
20	101.0	6.93
30	112.0	6.25
40	141.0	4.13
42	137.0	5.11
45	137.5	5.08
47	140.0	5.00
50	169.5	4.13
55	187.0	3.74
57	167.0	4.19
60	171.5	4.08
62.5	180.0	3.89
65	183.5	3.81

ΠΙΝ.8

ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

ΟΡΘΟΓΩΝΙΟ ΔΟΚΙΜΙΟ 70 x 15 cm

ΔΟΚΙΜΙΟ 3		
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΣΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ
cm	μsec	Km/sec
10	72.5	9.66
20	112.5	6.22
30	122.0	5.73
35	144.2	4.85
40	156.1	4.48
42.5	183.1	3.82
45	186.3	3.76
50	185.9	3.76
52.5	234.7	2.98
55	250.1	2.80
57.5	230.6	3.03
60	234.2	2.99
65	251.0	2.79

ΠΙΝ.9

ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

ΟΡΘΟΓΩΝΙΟ ΔΟΚΙΜΙΟ 70 x 15 cm

ΔΟΚΙΜΙΟ 4		
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΣΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ
cm	μsec	Km/sec
10	77.5	9.03
20	124.0	5.64
30	148.5	4.71
32.5	149.5	4.70
35	129.6	5.40
37.5	136.7	5.12
40	158.0	4.43
42.5	158.7	4.41
45	164.3	4.26
47.5	164.5	4.25
50	177.5	3.94
52.5	182.4	3.84
55	220.1	3.18
57.5	235.3	2.97
60	230.0	3.04
62.5	231.2	3.03
65	245.2	2.85

ΠΙΝ.10

ΤΕΛΙΚΗ ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΥΠΕΡΗΧΩΝ
ΟΡΘΟΓΩΝΙΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ 70 x 15 cm

ΔΟΚΙΜΙΑ	ΤΕΛΙΚΗ ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ Km/sec
1	3.71
2	4.90
3	4.16
4	4.24

ΠΙΝ.11

ΑΝΤΟΧΗ ΚΥΒΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΚΑΜΠΥΛΗΣ

ΥΠΕΡΗΧΟΙ

ΔΟΚΙΜΙΑ	ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ	ΑΝΤΟΧΗ (Fc) ΑΠΟ ΚΑΜΠΥΛΗ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ
	Km/sec	MPa	C
1	3.90	13.0	C8/10
2	4.07	15.0	C8/10
3	4.01	15.0	C8/10
4	4.16	18.0	C12/15
5	4.17	19.0	C12/15
6	4.24	20.0	C12/15
7	3.90	13.0	C8/10
8	4.26	20.2	C12/15
9	4.22	19.5	C12/15
10	4.08	15.0	C8/10

ΠΙΝ.12

ΑΝΤΟΧΗ ΟΘΟΓΩΝΙΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΚΑΜΠΥΛΗΣ

ΥΠΕΡΗΧΟΙ

ΔΟΚΙΜΙΑ	ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ Km/sec	ΑΝΤΟΧΗ (F _c) ΑΠΟ ΚΑΜΠΥΛΗ MPa	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΚΥΡ/ΤΟΣ C
1	4.05	16.0	C12/15
2	4.90	40.0	C30/35
3	4.37	21.0	C16/20
4	4.40	23.0	C16/20

ΠΙΝ.13

ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

ΚΥΒΙΚΟ ΔΟΚΙΜΙΟ 15 x 15 cm

ΔΟΚΙΜΙΟ 1				
18	16	23	21	16
17	15	21	28	24
ΔΟΚΙΜΙΟ 2				
18	22	20	23	18
22	21	24	24	22
ΔΟΚΙΜΙΟ 3				
25	30	25	31	25
32	25	30	37	36
ΔΟΚΙΜΙΟ 4				
22	30	21	28	22
25	18	31	34	32
ΔΟΚΙΜΙΟ 5				
25	30	28	32	27
28	27	29	36	34
ΔΟΚΙΜΙΟ 6				
15	18	13	17	20
19	16	18	22	22
ΔΟΚΙΜΙΟ 7				
18	28	18	24	18
22	18	22	30	33
ΔΟΚΙΜΙΟ 8				
15	13	13	12	10
18	15	17	16	14
ΔΟΚΙΜΙΟ 9				
12	16	12	22	23
16	14	14	20	14
ΔΟΚΙΜΙΟ 10				
16	20	17	19	26
20	16	20	24	23

ΠΠΝ.14

Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

Σελ. 50

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΣΩΝ ΤΙΜΩΝ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΚΥΒΙΚΟ ΔΟΚΙΜΙΟ 15 x 15 cm

ΔΟΚΙΜΙΑ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
1	20.0
2	21.4
3	29.6
4	26.3
5	29.6
6	18.0
7	23.1
8	14.3
9	16.3
10	20.1

ΠΙΝ.15

**ΑΝΤΟΧΗ ΚΥΒΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΜΕ
ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΚΑΜΠΥΛΗΣ**

ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΟ

ΔΟΚΙΜΙΑ	ΕΝΔΕΙΞΗ (R)	ΑΝΤΟΧΗ (F _c) ΑΠΟ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΟΥ ΚΑΜΠΥΛΗ MPa	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ C
1	20.0	14.0	C8/10
2	21.4	16.0	C12/15
3	29.6	29.0	C20/25
4	26.3	23.5	C16/20
5	29.6	29.0	C20/25
6	18.0	<14.0	
7	23.1	18.5	C12/15
8	14.3	<14.0	
9	16.3	<14.0	
10	20.1	14.0	C8/10

ΠΙΝ.16

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΡΑΥΣΗΣ
ΚΥΒΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ 15 x 15 cm

ΔΟΚΙΜΙΑ	ΤΑΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ (N/mm²)
1	37.0
2	18.0
3	26.5
4	41.5
5	37.0
6	60.0
7	36.5
8	23.0
9	24.0
10	24.5
11	29.5

ΠΙΝ.17

ΑΝΤΟΧΗ ΚΥΒΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

ΘΡΑΥΣΗ

ΔΟΚΙΜΙΑ	ΤΑΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ ΑΠΟ ΜΗΧΑΝΗ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ
	MPa	C
1	37.0	C30/35
2	26.5	C20/25
3	41.5	C30/35
4	37.0	C30/35
5	60.0	C45/55
6	36.5	C30/35
7	23.0	C16/20
8	24.0	C16/20
9	24.5	C16/20
10	29.5	C20/25

ΠΙΝ.18

ΑΝΤΟΧΗ ΟΡΘΟΓΩΝΙΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΚΑΜΠΥΛΗΣ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΡΑΥΣΗΣ

ΔΟΚΙΜΙΑ	ΔΥΝΑΜΗ KN	ΕΜΒΑΔΟ 10^{-2} $\div 70 \times 15 \text{ m}^2$	ΑΝΤΟΧΗ (Fc) ΑΠΟ ΚΑΜΠΥΛΗ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ C
1	1.26	$\div 70 \times 15$	=12.0	C8/10
2	3.04	$\div 70 \times 15$	=29.0	C25/30
3	2.00	$\div 70 \times 15$	=19.0	C12/15
4	1.89	$\div 70 \times 15$	=18.0	C12/15

ΠΙΝ.19

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΠΥΡΗΝΩΝ
ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

A/A	Ημερ/νια σκυρ/σης	Ημερ/νια Ελέγχου	H	D	H/D	P	F	Τάση θραύσης MPa	L1	L2	L4	G	L3	W
			cm	cm		KN	mm ²					MPa		MPa
1	20/9/2002	15/11/2002	10,3	10,0	1,03	162,9	7850	20,70	0,857	0,960	1,03	17,5	1,224	21,5
2	»	»	10,4	10,0	1,04	148,5	7850	18,90	0,860	0,960	1,03	16,1	1,232	19,8
3	»	»	10,3	10,0	1,03	150,5	7850	19,10	0,857	0,960	1,03	16,2	1,231	19,9
4	»	»	10,4	10,0	1,04	210,2	7850	26,70	0,860	0,960	1,03	22,7	1,195	27,1
5	»	»	10,4	10,0	1,04	183,1	7850	23,30	0,860	0,960	1,03	19,8	1,212	24,0
6	»	»	10,4	10,0	1,04	169,0	7850	21,50	0,860	0,960	1,03	18,3	1,221	22,3

Μεσος όρος : 22,44 MPa

Τυπική απόκλιση S : 2,78MPa

$f_p = \bar{X} - 1,6 \times S = 22,44 - 1,6 \times 2,78 = 17,99 \text{ MPa}$

Εκτιμάται ότι η παρτίδα αυτή έχει αντοχή που ανταποκρίνεται στην κατηγορία σκυροδέματος C12/15

H : Ύψος πυρήνα (cm)

D : Διάμετρος πυρήνα (cm)

P : Φορτίο θραύσης (KN)

G : Αντοχή κυλίνδρου 15 x 30 cm (MPa)

L1 : Συντελεστής αναγωγής της αντοχής πυρήνα με λόγο H:D σε αντοχή κυλίνδρου H:D=2

L2 : Συντελεστής αναγωγής της αντοχής κυλίνδρου με λόγο H:D σε αντοχή κυλίνδρου

L3 : Συντελεστής αναγωγής της αντοχής κυλίνδρου με H=30cm και D=15cm σε αντοχή κύβου 15x15x15 cm

L4 : Συντελεστής που εξαρτάται από το μέγεθος του πυρήνα, την συντήρηση του έργου κ.λ.π

W : Αντοχή κύβου 15x15x15 (MPa)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΠΥΡΗΝΩΝ ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

A/A	Ημερ/νία σκυρ/σης	Ημερ/νία ελέγχου	H cm	D cm	H/D	P KN	F mm ²	Τάση θραύσης MPa	L1	L2	L4	G MPa	L3	W MPa
1	18/9/2002	20/11/2002	10,4	10,0	1,04	141,5	7850	18,00	0,860	0,960	1,03	15,3	1,237	18,9
2	»	»	10,3	10,0	1,03	139,3	7850	17,70	0,857	0,960	1,03	15,0	1,239	18,6
3	»	»	10,4	10,0	1,04	123,9	7850	15,70	0,860	0,960	1,03	13,4	1,246	16,6
4	»	»	10,3	10,0	1,03	118,8	7850	15,10	0,857	0,960	1,03	12,8	1,250	16,0
5	»	»	10,2	10,0	1,02	139,3	7850	17,70	0,855	0,960	1,03	15,0	1,239	18,5
6	»	»	10,4	10,0	1,04	123,5	7850	15,70	0,860	0,960	1,03	13,4	1,246	16,6

Μέσος όρος : 17,55 MPa

Τυπική απόκλιση S : 1,27 MPa

$f_{pi} = \bar{X}_6 - 1,6 \times S = 17,55 - 1,6 \times 1,27 = 15,52$ MPa

Εκτιμάται ότι η παρτίδα αυτή έχει αντοχή που ανταποκρίνεται στην κατηγορία σκυροδέματος C12/15

H : Ύψος πυρήνα (cm)

D : Διάμετρος πυρήνα (cm)

P : Φορτίο θραύσης (KN)

G : Αντοχή κυλίνδρου 15x30 cm

L1 : Συντελεστής αναγωγής της αντοχής πυρήνα με λόγο H:D σε αντοχή κυλίνδρου με λόγο H:D=2

L2 : Συντελεστής αναγωγής της αντοχής κυλίνδρου με λόγο H:D σε αντοχή κυλίνδρου

L3 : Συντελεστής αναγωγής της αντοχής κυλίνδρου με H=30 cm και D=15 cm σε αντοχή κύβου 15x15x15 cm

L4 : Συντελεστής που εξαρτάται από το μέγεθος του πυρήνα, την συντήρηση του έργου κ.λ.π

W : Αντοχή κύβου 15x15x15 (MPa)

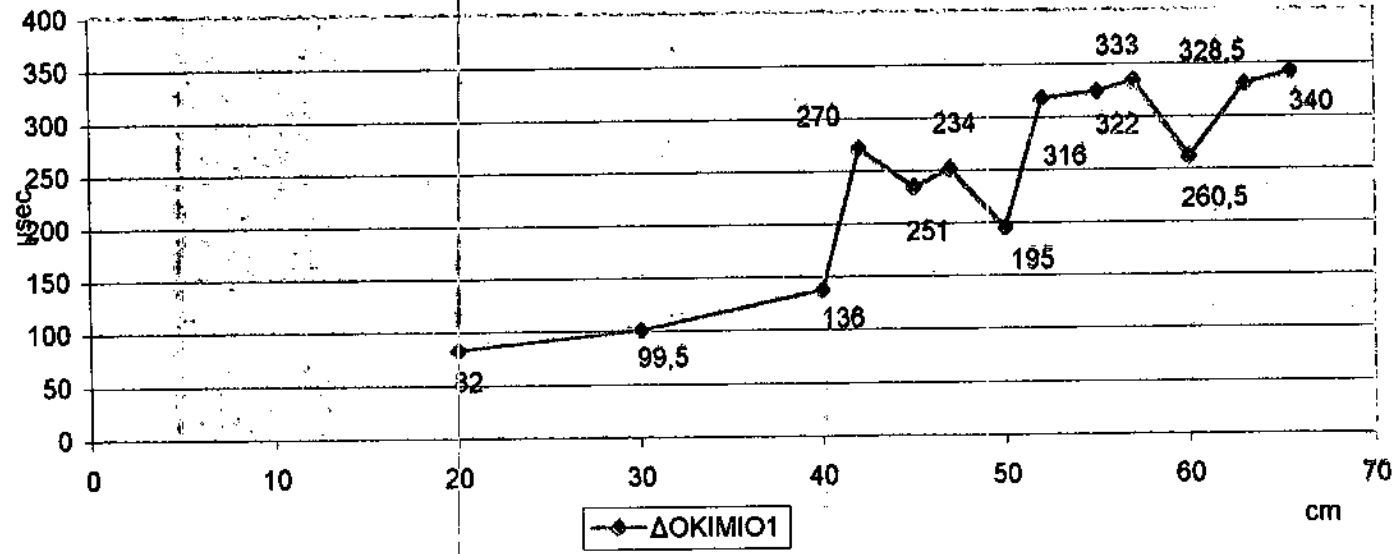
6.2. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

το κομμάτι αυτό του παραρτήματος περιλαμβάνει 4 γραφικές παραστάσεις, με την βοήθεια των οποίων βρίσκουμε τις περιοχές ρωγμών των ορθογωνίων δοκιμίων. Κατασκευάζονται με την βοήθεια των υπερήχων και έχουν ως τιμές αξόνων, αποστάσεις (cm) και ταχύτητα (μ_{sec}) κατά X και κατά Ψ αντίστοιχα.

ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΡΩΓΜΩΝ

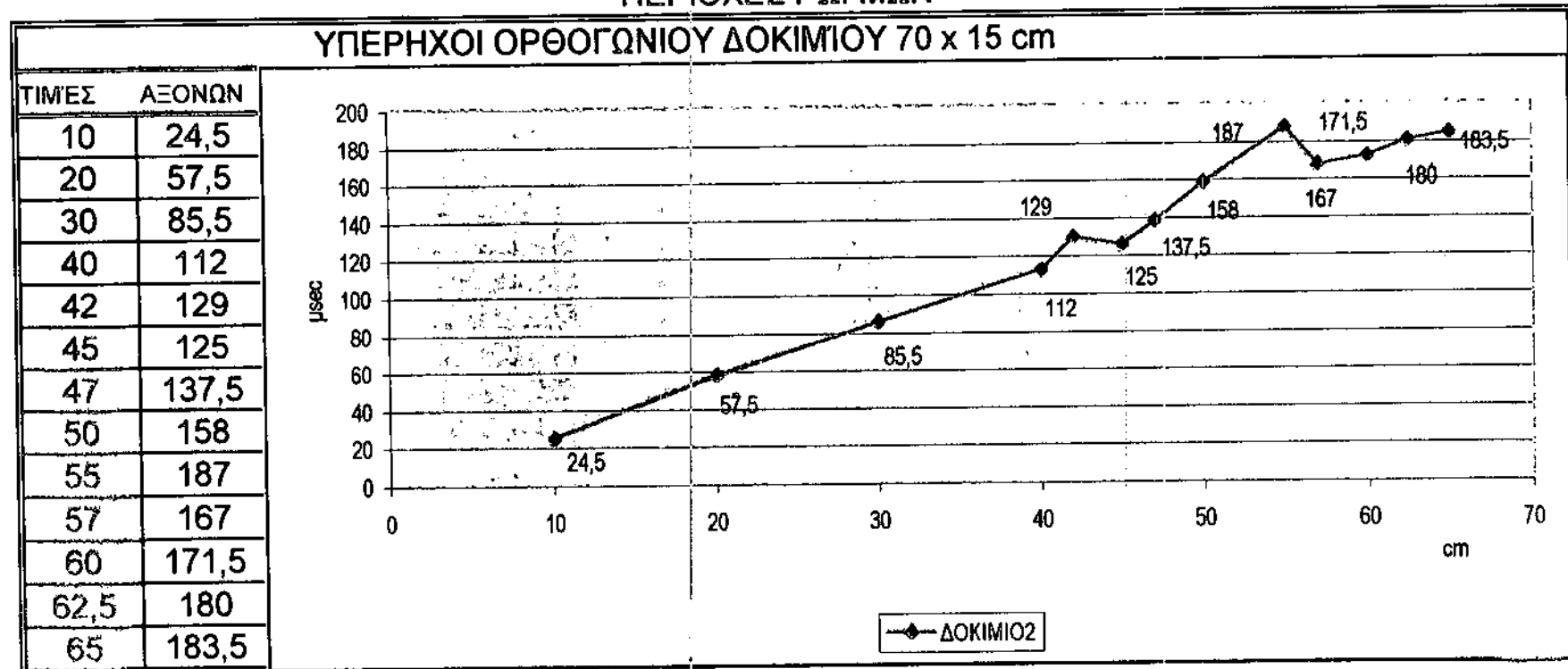
ΓΡΑΦΗΜΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 70 x 15 cm

ΤΙΜΕΣ	ΑΞΟΝΩΝ
10	65,5
20	82
30	99,5
40	136
42	270
45	234
47	251
50	195
52	316
55	322
57	333
60	260,5
63	328,5
65,5	340



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ D1

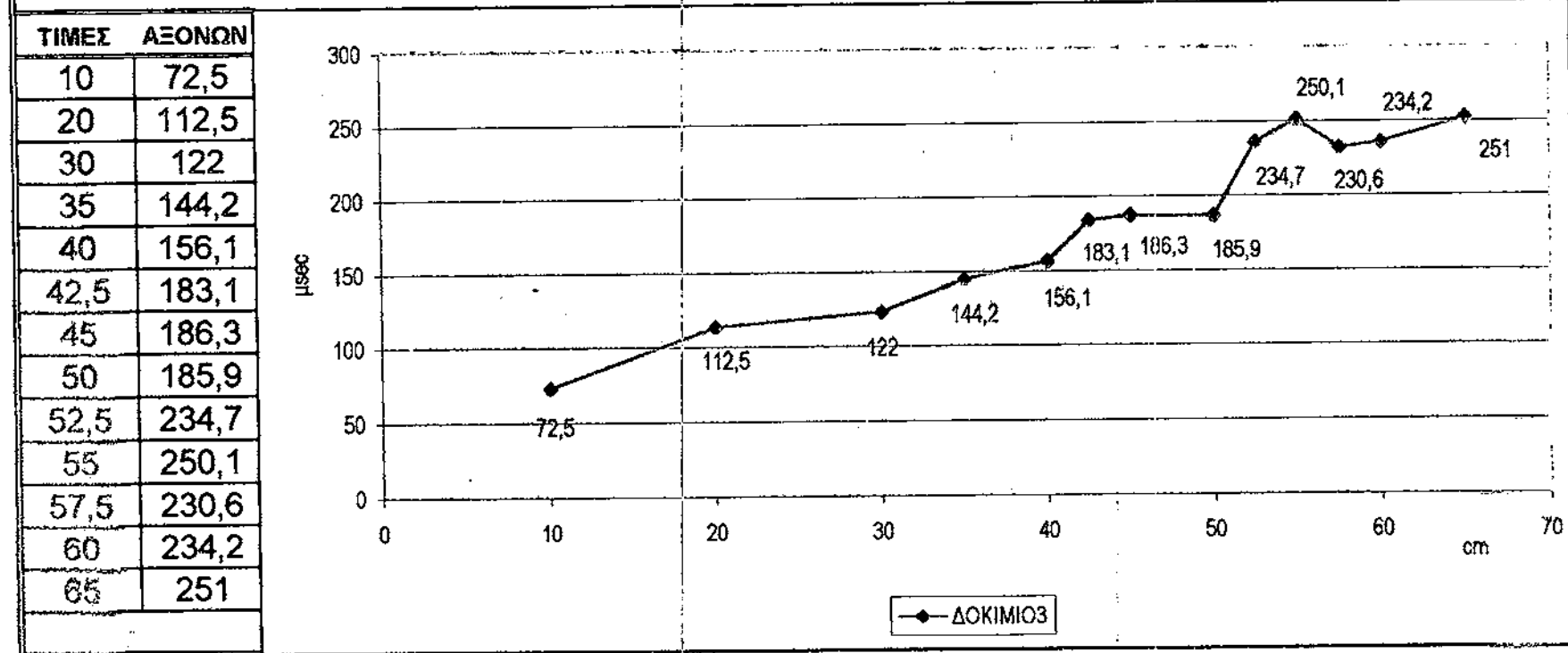
ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΡΩΓΜΩΝ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ D2

ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΡΩΓΜΩΝ

ΓΡΑΦΗΜΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 70 x 15 cm

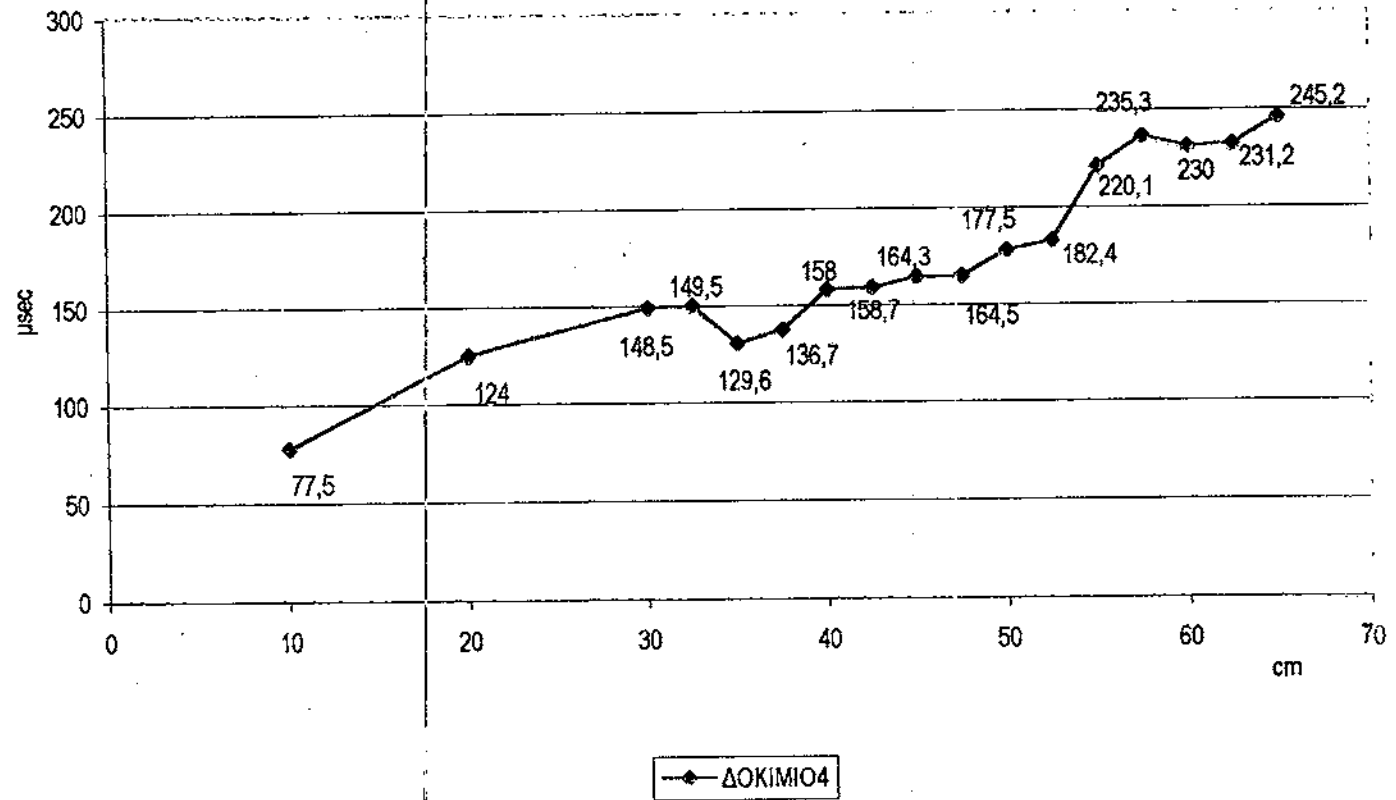


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ D3

ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΡΩΓΜΩΝ

ΓΡΑΦΗΜΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 70 x 15 cm

ΤΙΜΕΣ ΑΞΟΝΩΝ	
10	77,5
20	124
30	148,5
32,5	149,5
35	129,6
37,5	136,7
40	158
42,5	158,7
45	164,3
47,5	164,5
50	177,5
52,5	182,4
55	220,1
57,5	235,3
60	230
62,5	231,2
65	245,2



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ D4

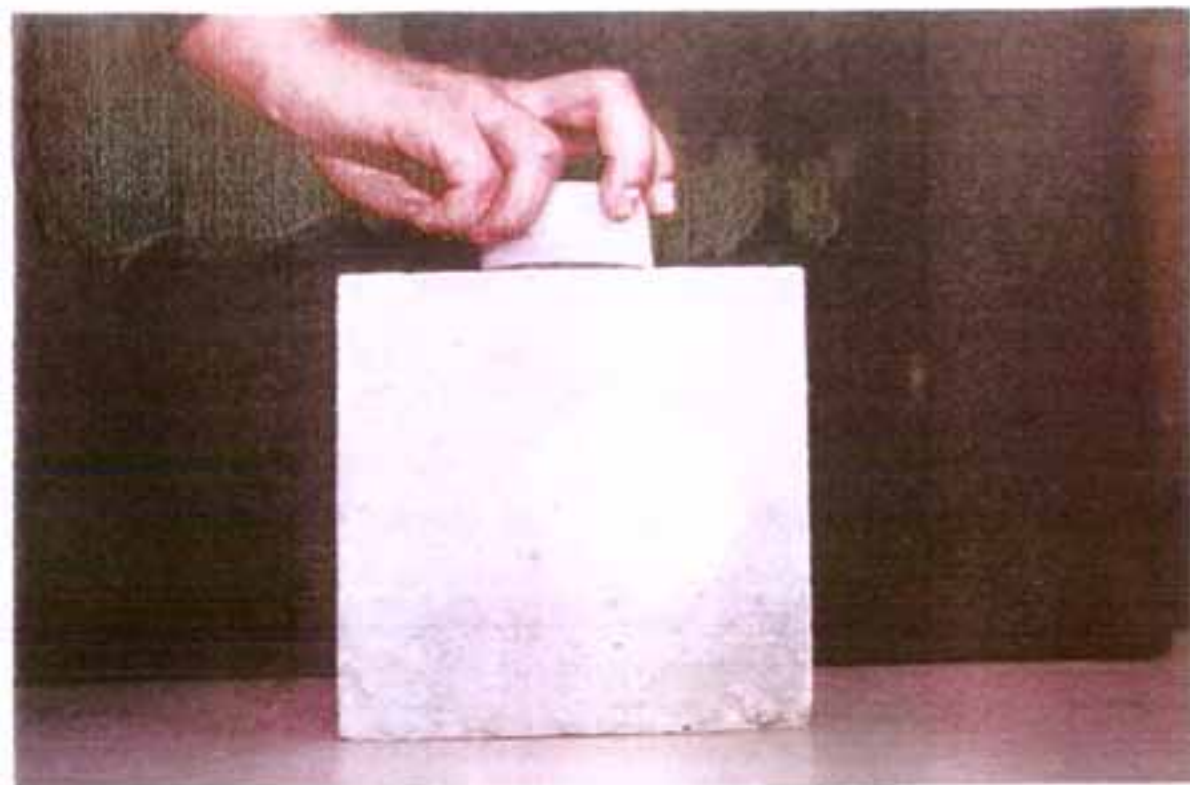
6.3 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ



Φωτ.1



Φωτ.2



Φωτ.3



Φωτ.4



Φωτ.5



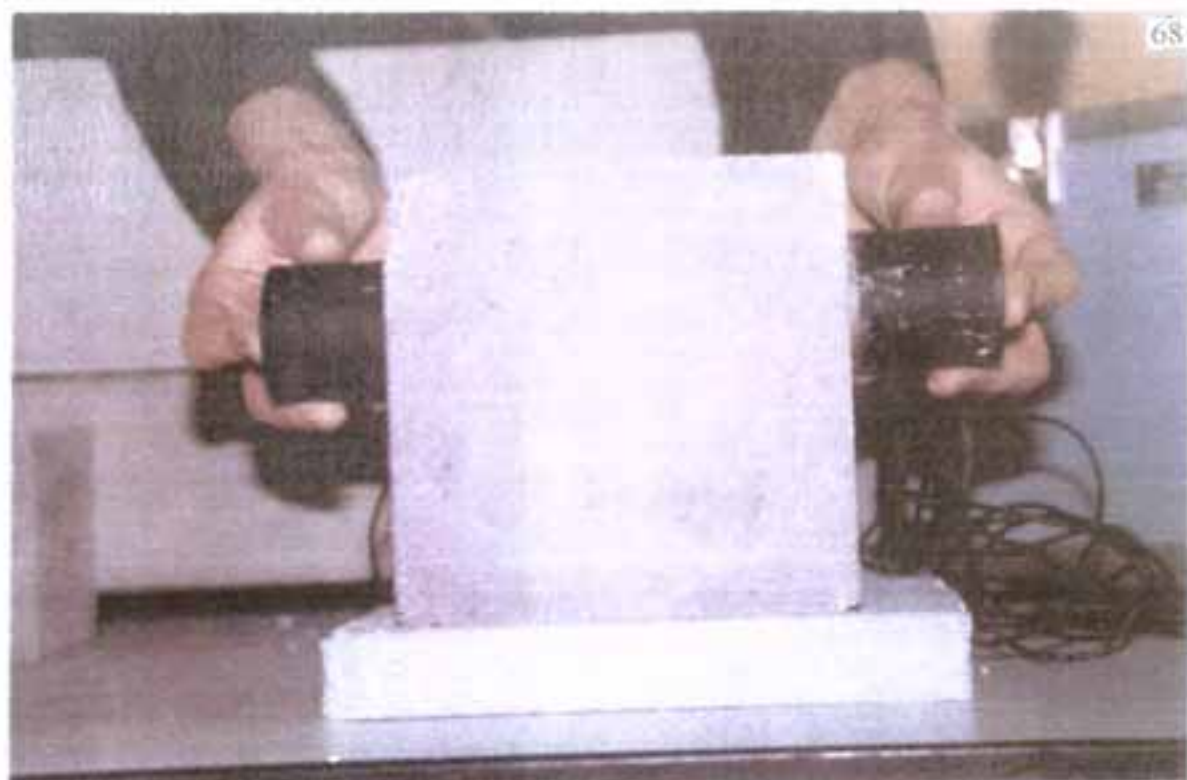
Φωτ.6



Φωτ.7



Φωτ.8



Φωτ.9



Φωτ.10



Φωτ.11



Φωτ.12



Φωτ.13



Φωτ.14

Φωτ.15





Φωτ.16

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **ΧΑΪΔΟΓΙΑΝΝΗΣ Ν. ΓΕΩΡΓΙΟΣ:**
μη καταστρεπτικές δοκιμές προσδιορισμού αντοχής σκυροδέματος.
2. **Θ.Π. ΤΑΣΙΟΣ, Κ. Α. ΔΕΜΙΡΗΣ:**
νέα Ε.Μ. προσδ. αντ. σκυρ. Δι' εξυλκεύσεως ήλου.
3. **Ι. Ν. ΠΡΑΣΙΑΝΑΚΗ, Π. ΓΚΙΟΚΑ:**
εφαρμ. των ΜΚΜ για τον Μ.Κ. έλεγχο του σκυρ. (άρθρο από το δελτίο ΣΠΜΕ του συλλόγου πολ. μηχ. Ελλάδας).
4. **Κ. Γ. ΤΡΕΖΟΣ, Κ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ, Χ. ΜΑΡΑΒΕΛΙΑΣ:**
προσδ. της επιτόπου αντ. του σκυρ. με Ε.Μ. Βαθμονόμηση κρουσ. και υπερήχων.
5. **Ν. ΒΕΡΕΤΑΝΟΣ:**
ΚΤΣ 1997.
6. **Θ. Α. ΓΕΩΡΓΟΠΟΥΛΟΣ:**
οπλισμένο σκυρόδεμα.
7. **Δ. Α. ΠΑΓΑΝΟΣ:**
εργαστήριο οπλ. σκυροδέματος.

