



ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΤΕΣΤΡΑΜΜΕΝΟΥ ΔΟΜΙΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ
ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Επόπτες: Μ. Δ. Κωτσοβός, Καθηγητής ΕΜΠ

Σπουδαστές: Βορκά Χρυστάλλα
Λακκοτρύπης Κώστας

Ευχαριστίες

Ιδιαίτερες ευχαριστίες απευθύνουμε στον Καθηγητή κύριο Μιχάλη Κωτσοβό που μας ανάθεσε την παρούσα Διπλωματική Εργασία , η οποία θα ήταν αδύνατο να εκπονηθεί χωρίς την καθοδήγηση του καθ'όλη την περίοδο.

Έπίσης τις θερμές μας ευχαριστίες θέλουμε να εκφράσουμε στους κυρίους Μ. Βουγιούκα, Γ. Κωτσοβό και Π. Κυλάφη που με τις επιστημονικές του γνώσεις και οδηγίες βοήθησε σημαντικά στην εκπόνηση της παρούσας μελέτης .

Τέλος ευχαριστούμε το Επιστημονικό καθώς και το Τεχνικό Προσωπικό του Εργαστηρίου Ωπλισμένου Σκυροδέματος για την άριστη συνεργασία και την πολύτιμη βοήθεια τους.

Πίνακας Περιεχομένων

	Σελίδα
Πρόλογος	4
Κεφάλαιο 1: Μη καταστρεπτικές μέθοδοι αποτίμησης αντοχής σκυροδέματος	5
1.1 – Μέθοδος Κρουσιμέτρου Schmidt	6
1.2 – Μέθοδος Υπερήχων	13
Κεφάλαιο 2: Μέθοδος Πυρηνοληψίας	27
Κεφάλαιο 3: Ferroskan	39
Κεφάλαιο 4: Radar	51
Κεφάλαιο 5: Επισκεύες	61
Κεφάλαιο 6: Πείραμα	75
Βιβλιογραφία	90

Πρόλογος

Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας ήταν η αποτίμηση της ποιότητας σκυροδέματος τοιχίου, προϋπάρχουσας κατασκευής στο εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος Ε.Μ.Π. καθώς και ο έλεγχος αξιοπιστίας των μεθόδων που εφαρμόστηκαν για το σκοπό αυτό. Η εργασία αυτή ασχολήθηκε με τις δύο βασικότερες μη καταστρεπτικές μεθόδους, τη μέθοδο του κρουσίμετρο και των υπερήχων, και με την άμεση μέθοδο της πυρηνοληψίας. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης όργανα σάρωσης της κατασκευής για εντοπισμό των ράβδων οπλισμού, όπως το Ferroskan και το Radar.

Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα εξής όργανα:

- Κρουσίμετρο τύπου Schmidt
- Συσκευή υπερήχων που διαθέτε το εργαστήριο
- Καροτιέρα HILTI DD 160E
- Ferroskan HILTI
- Randar SIR 2000

Στη συνέχεια το τοίχιο επισκευάστηκε για να είναι σε θέση να υποβληθεί σε πείραμα αντοχής. Η δουλειά στο εργαστήριο ολοκληρώθηκε με τη διεξαγωγή του πειράματος.

Χαρακτηριστικά κατασκευής:

Διαστάσεις τοιχίου

Μήκος : 1,70 m

Πλάτος : 0,16 m

Ύψος : 1,70 m

Μήκος κρυφοϋποστυλωματων : 0,30 m

Ποιότητα υλικών:

$f_y = 500 \text{ MPa}$

$f_c = 30 \text{ MPa}$

Κεφάλαιο 1

Μη καταστρεπτικές μέθοδοι αποτίμησης αντοχής σκυροδέματος

Για την αντιμετώπιση κάποιων προβλημάτων (όπως είναι η μερική καταστροφή της κατασκευής, που επιβάλλουν κάποιες μέθοδοι αποτίμησης της αντοχής σκυροδέματος), ένα ευρύ φάσμα επιτόπου δοκιμών έχει αναπτυχθεί. Αυτές οι μέθοδοι είναι γνωστές ως μη καταστρεπτικές δοκιμές. Με την ονομασία αυτή γίνεται κατανοητό ότι η ζημιά που προκαλούν στη κατασκευή είναι είτε πολλή μικρή είτε ανύπαρκτη, χωρίς όμως να επηρεάζουν καθόλου την απόδοση ή την εμφάνιση της κατασκευής. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα των μη καταστρεπτικών δοκιμών είναι ότι επιτρέπουν επανέλεγχο στην ίδια (ή σχεδόν στην ίδια) θέση, έτσι ώστε οι αλλαγές με το χρόνο μπορούν να εξεταστούν.

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

Στο σκυροδέμα, ο όρος αντοχή σχετίζεται με την μέγιστη τάση που μπορεί να μεταφέρει το υλικό και η οποία προκαλεί θραύση. Η θλιπτική αντοχή του

σκυροδέματος (η οποία είναι ιδιαίτερα μεγάλη, γι' αυτό και συχνά στην πράξη τα στοιχεία από

σκυρόδεμα σχεδιάζονται έτσι ώστε να εκμεταλλευόμαστε την ιδιότητα αυτή) αποτελεί τη σημαντικότερη ιδιότητα για το υλικό, γιατί με αυτή σχετίζονται άμεσα όλες σχεδόν οι άλλες ιδιότητες (το μέτρο ελαστικότητας, η διαπερατότητα, η στεγανότητα, η ανθεκτικότητά του σε περιβαλλοντικές επιδράσεις).

Πολλές είναι οι φορές που αναζητείται η επιτόπου του έργου αντοχή του σκυροδέματος λόγω μη λήψης συμβατικών δοκιμών. Η εκτίμηση της επιτόπου αντοχής γίνεται είτε με έμμεσες μεθόδους – μεθόδους μη-καταστροφικού ελέγχου (όπως κρουσίμετρο, υπέρηχοι, εξόλκευση ήλου), είτε με πυρηνοληψία.

Όσον αφορά την αντοχή, πρέπει να σημειωθεί ότι μόνο μπορεί να εκτιμηθεί, και όχι να μετρηθεί, επειδή οι μη καταστρεπτικές δοκιμές είναι, ως επί το πλείστον, συγκριτικής φύσης. Κατά συνέπεια, είναι χρήσιμο να καθιερωθεί μια πειραματική σχέση μεταξύ των αποτελεσμάτων που παίρνουμε από μια δεδομένη δοκιμή και την αντοχή των δοκιμών που γίνονται σε πυρήνες από το σκυρόδεμα της κατασκευής. Ακολούθως η σχέση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μετατροπή των αποτελεσμάτων των μη καταστρεπτικών μεθόδων σε μονάδες αντοχής. Η κατανόηση της φυσικής σχέσης μεταξύ των αποτελεσμάτων της μη καταστρεπτικής μεθόδου και της αντοχής είναι ουσιαστική.

Ένα ακόμη γενικότερο σχόλιο για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων των μη καταστρεπτικών δοκιμών είναι απαραίτητο. Οι δοκιμές αυτές σπάνια δίνουν αριθμούς που μπορούν να ερμηνευθούν κατηγορηματικά, ως εκ τούτου η κρίση του μηχανικού είναι απαραίτητη.

Παρακάτω δίνεται συνοπτική περιγραφή και αποτελέσματα δύο μη-καταστροφικών μεθόδων: του κρουσιμέτρου και των υπερήχων.

1.1. Μέθοδος Κρουσιμέτρου

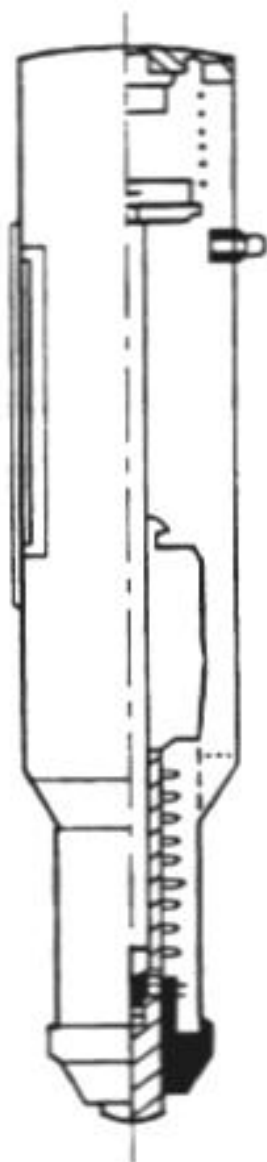
Η μέθοδος του κρουσιμέτρου είναι μια από τις παλαιότερες μη καταστρεπτικές μεθόδους εκτιμής της αντοχής του σκυροδέματος που ακόμη και σήμερα χρησιμοποιείται ευρέως. Ανακαλύφθηκε το 1948 από τον



Εικόνα 1

Ernst Schmidt και για αυτό το λόγο έμεινε γνωστή και ως μέθοδος του κρουσιμέτρου Schmidt. Με την μέθοδο αυτή εξετάζεται η ποιότητα του σκυροδέματος της εξωτερικής επιφάνειας των κατασκευών και σε βάθος έως 30mm, και βασίζεται στην μέτρηση της επιφανειακής σκληρότητας των δομικών στοιχείων που εξετάζονται. Η μέθοδος του κρουσιμέτρου μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα για την αντοχή ενός δομικού στοιχείου μόνο όταν συνδυαστεί και με άλλες μεθόδους. Στο ASTM C805 (1985) προτείνεται ο συνδυασμός της μεθόδου του κρουσιμέτρου με την ημικαταστρεπτική μέθοδο των πυρήνων, ώστε να συσχετιστεί η ένδειξη R του κρουσιμέτρου με την αντοχή του σκυροδέματος.

Βασική αρχή της μεθόδου είναι ότι η αναπήδηση ελαστικής μάζας εξαρτάται από την σκληρότητα της επιφάνειας πάνω στην οποία γίνεται η κρούση. Το κρουσίμετρο



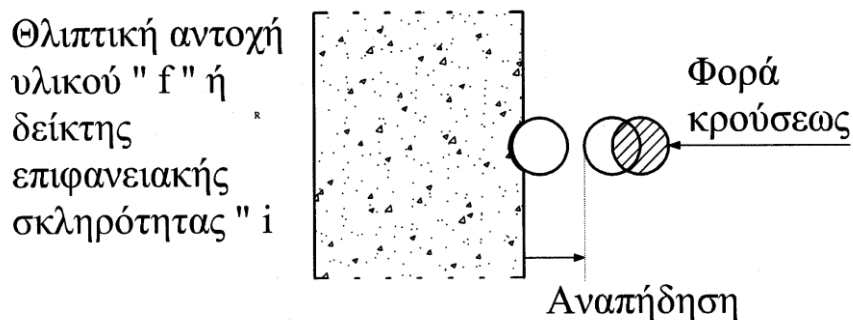
Εικόνα 2

αναπήδησης, που δίνεται σχηματικά δίπλα, 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 είναι αρχικά τεντωμένο. Η αναπήδηση της μάζας συσχετίζεται με την αντοχή του σκυροδέματος μέσω καμπυλών, που έχουν προκύψει από πειραματικά αποτελέσματα.

Επειδή τα αποτελέσματα της δοκιμής είναι ευαίσθητα στην παρουσία αδρανών ή κενών στην επαφή με το έμβολο, συνιστάται να γίνονται περίπου 10-15 μετρήσεις στην ίδια περιοχή του σκυροδέματος και να λαμβάνεται ο μέσος όρος. Επίσης, η κρούση πρέπει να γίνεται πάντα κάθετα προς την επιφάνεια, η οποία πρέπει να είναι λεία. Η θέση του κρουσιμέτρου ως προς την κατακόρυφο επηρεάζει κάπως τα αποτελέσματα, και αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στις καμπύλες συσχέτισης.

Η σχέση αναπήδησης – αντοχής δεν είναι μοναδική, και εξαρτάται από παράγοντες σχετικούς με την ποιότητα της επιφάνειας του σκυροδέματος, όπως είναι η συμπίκνωση, το τελείωμα, η ποιότητα και ποσότητα τσιμέντου, η ηλικία, η

υγρασία, η θερμοκρασία περιβάλλοντος, ο βαθμός ενανθράκωσης κ.τ.λ. Γι' αυτό, οι καμπύλες συσχετισμού θα πρέπει να έχουν προκύψει από τη μέτρηση αντοχών πυρήνων από σκυρόδεμα με τα ίδια ή παρόμοια χαρακτηριστικά (π.χ. σύσταση, σύνθεση) με το υπό εξέταση σκυρόδεμα.



Εικόνα 3. Αρχή της μεθόδου

Παράγοντες που επηρεάζουν την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος

Αναλυτικά, οι παράγοντες που επηρεάζουν την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος με τη μέθοδο του κρουσιμέτρου είναι οι εξής:

Τύπος τσιμέντου

Γενικώς, οι διάφοροι τύποι τσιμέντου Portland δεν επηρεάζουν σημαντικά τις ενδείξεις του κρουσιμέτρου (λιγότερο από 10%). Όμως, αν χρησιμοποιηθούν οι καμπύλες που έχουν προκύψει για σκυροδέματα από τσιμέντο Portland σε σκυρόδεμα από high alumina cement μπορεί να προκύψουν πλασματικώς αντοχές έως και 100% μεγαλύτερες. Ενώ αντιστοίχως για σκυροδέματα από supersulphated cement μπορεί να προκύψουν έως και 50% χαμηλότερες αντοχές. Πρέπει λοιπόν, να γίνεται βαθμονόμηση του οργάνου για τον κάθε τύπο τσιμέντου που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Η επίδραση της περιεκτικότητας του σκυροδέματος σε τσιμέντο δεν ξεπερνά το 10%. Αντίθετα χρειάζονται ξεχωριστές βαθμονομήσεις για σκληρά και για μαλακά αδρανή, καθότι τα αποτελέσματα που δίνουν παρουσιάζονται σημαντικά διαφοροποιημένα.

Τύπος και γεωμετρία των εξεταζόμενων δοκιμίων

Οι επιφάνειες που δοκιμάζονται με την μέθοδο του κρουσιμέτρου πρέπει να είναι απόλυτα λείες. Επιφάνειες οι οποίες προκύπτουν από καλούπια κατασκευασμένα από διάφορα υλικά (ξύλο, μέταλλο) ανταποκρίνονται διαφορετικά στην μέθοδο του κρουσιμέτρου. Οι επιφάνειες που δημιουργούνται με την χρήση μυστριού είναι

σκληρότερες από αυτές που προκύπτουν από καλούπι και οι τιμές του δείκτη επιφανειακής σκληρότητας παρουσιάζουν σημαντική διασπορά. Συμπερασματικά μπορεί να αναφερθεί ότι οι προς δοκιμή επιφάνειες θα πρέπει ή να προέρχονται από καλούπι ή να λειαίνονται αν είναι ανώμαλες, καθότι έχει παρατηρηθεί ότι οι ενδείξεις του κρουσιμέτρου στις λείες επιφάνειες είναι αυξημένες σε σχέση με τις ενδείξεις στις ανώμαλες επιφάνειες. Επίσης εκτός από τις ανώμαλες επιφάνειες, ακατάλληλες για δοκιμή είναι επίσης και οι επιφάνειες που προκύπτουν από κοπή (π.χ. με τροχό). Η γεωμετρία των δοκιμίων (κύλινδρος ή κύβος) δεν επιφέρει πρακτικώς καμία μεταβολή στον μετρούμενο δείκτη επιφανειακής σκληρότητας (R).

Υγρασία

Η παρουσία υψηλού ποσοστού υγρασίας στο σκυρόδεμα του εξεταζόμενου στοιχείου έχει σαν αποτέλεσμα την σημαντική μείωση των ενδείξεων του κρουσιμέτρου σε σχέση με τις μετρήσεις που παίρνουμε για ξηρά στοιχεία. Η μείωση αυτή του δείκτη επιφανειακής σκληρότητας ανάλογα με το ποσοστό υγρασίας μπορεί να φτάσει το 20%.

Θερμοκρασία

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

Ενανθράκωση

Όταν τα δομικά στοιχεία είναι μεγάλης ηλικίας ή εκτίθενται σε περιβάλλον πλούσιο σε CO₂, αναπτύσσεται το φαινόμενο της ενανθράκωσης. Το φαινόμενο αυτό, προκαλεί αύξηση των ενδείξεων του κρουσιμέτρου έως και 50% για σταθερή συμβατική αντοχή σκυροδέματος f_c . Γίνεται εύκολα κατανοητό ότι για μεγάλα βάθη ενανθρακώσεως η διαφορά μεταξύ της συμβατικής αντοχής f_c και της $f_c(R)$ είναι τόσο μεγάλη, που μας επιτρέπει να πούμε ότι γι' αυτές τις τιμές του βάθους ενανθρακώσεως η μέθοδος του κρουσιμέτρου παύει να είναι ένα αντικειμενικό κριτήριο για την εκτίμηση της αντοχής μιας κατασκευής. Σε πολλές περιπτώσεις όμως είμαστε υποχρεωμένοι να πάρουμε αποφάσεις για την φέρουσα ικανότητα μιας υπάρχουσας κατασκευής στηριζόμενοι σε μετρήσεις που κάνουμε πάνω σε ενανθρακωμένα στοιχεία σκυροδέματος. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος

αυτού προτείνεται η αφαίρεση ενός στρώματος πάχους έως 5mm από την εξωτερική τους επιφάνεια.

Διεύθυνση κρουσιμετρήσεως

Η διεύθυνση κρουσιμετρήσεως επηρεάζει σημαντικά τον μετρούμενο δείκτη επιφανειακής σκληρότητας (R). Πρέπει να σημειωθεί ότι ανάλογα με την διεύθυνση κρουσιμετρήσεως (οριζόντια ή κατακόρυφη) θα πρέπει να γίνονται οι σχετικές διορθώσεις των μετρήσεών μας σύμφωνα με τις οδηγίες που δίνονται στο εγχειρίδιο του οργάνου. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η επίδραση της διεύθυνσης κρουσιμετρήσεως στην ένδειξη του κρουσιμέτρου.

R	Διορθώσεις για γωνίες κλίσεως: (+ προς τα πάνω, - προς τα κάτω)			
	+90°	+45°	-45°	-90°
10			+2.4	+3.2
20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1
40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7
50	-3.1	-2.1	+1.6	+2.2
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7

Πίνακας 1

Αριθμός και θέσεις δοκιμών

Στο εγχειρίδιο του κρουσιμέτρου Schmidt, τύπου N, τονίζεται ότι ο αριθμός των κρουσιμετρήσεων θα πρέπει να είναι από 5 έως 10 ανά θέση. Η διάμετρος της περιοχής στην οποία γίνεται ένα σύνολο μετρήσεων (θέση), θα πρέπει να είναι μεταξύ 150 και 300 mm. Ως τελική τιμή της μετρήσεως στην υπόψη θέση, θα λαμβάνεται ο μέσος όρος των κρουσιμετρήσεων της θέσεως αυτής. Αν μια κρουσιμέτρηση διαφέρει περισσότερο από 5 μονάδες απ' την μέση τιμή της θέσεως θεωρείται απορριπτέα. Το ASTM: C 805-85 (1985) αναφέρει ότι δεν λαμβάνεται σαν σωστό το σύνολο των κρουσιμετρήσεων μιας θέσεως όταν δύο μετρήσεις διαφέρουν από το μέσο όρο κατά 7 μονάδες. Πάνω στο ίδιο θέμα αναφέρεται από το ISO/DIS 8045 (1982) ότι ο αριθμός των κρουσιμετρήσεων ανά θέση θα πρέπει να είναι 9. Αν το 20% των μετρήσεων μιας θέσεως διαφέρει από τον μέσο όρο περισσότερο από 6 μονάδες, η μέτρηση της θέσεως θεωρείται αναξιόπιστη και επαναλαμβάνεται.

Σημεία που πρέπει να αποφεύγονται

Τα σημεία κρουσιμετρήσεως θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 30mm μακριά από τις ακμές ή τις απότομες ασυνέχειες του δοκιμίου. Περιοχές με οπλισμούς θα πρέπει,

όσο το δυνατόν, να αποφεύγονται. Το ελάχιστο πάχος, των δοκιμαζόμενων με την μέθοδο του κρουσιμέτρου (R), μελών μιας κατασκευής πρέπει να είναι 100mm.

Συντελεστής μεταβλητότητας

Οι Murray A., Long A. (1987) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η μέση αντοχή, όπως υπολογίζεται με τις έμμεσες μεθόδους, είναι σχεδόν η ίδια με την μέση αντοχή των συμβατικών δοκιμών. Εκείνο που αυξάνεται κατά 50% σε σύγκριση με τα συμβατικά δοκίμια στις έμμεσες μεθόδους είναι η διασπορά. Στο ACI ο συντελεστής μεταβλητότητας C.O.V. της μεθόδου του κρουσιμέτρου δίνεται ίσος με 10%, ενώ για την μέθοδο των υπερήχων κυμαίνεται από 0.4 έως 1.1%. στα BSI1881/202 1986 αναφέρεται ότι ο συντελεστής μεταβλητότητας των μεμονωμένων μετρήσεων κάθε ομάδας μετρήσεων είναι συνήθως 10%. Μπορεί όμως να κυμανθεί μεταξύ του 2% και 15%. Ο συντελεστής μεταβλητότητας μειώνεται όσο αυξάνεται η αντοχή του σκυροδέματος και αυξάνεται όσο αυξάνεται το μέγεθος των αδρανών.

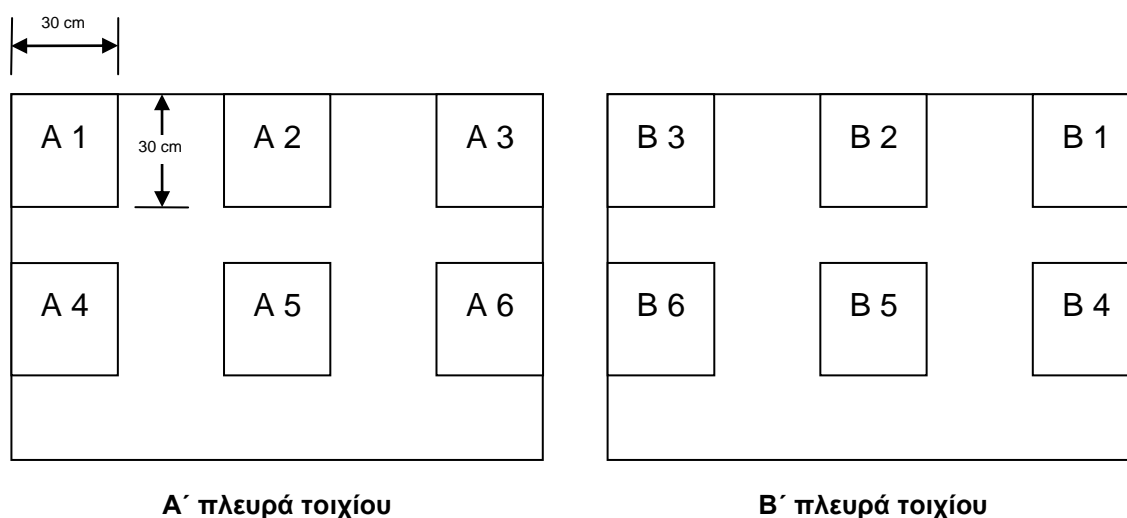
Στην ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία παρουσιάζονται διάφορες καμπύλες οι οποίες συσχετίζουν την ένδειξη του κρουσιμέτρου με την μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. Γενικά δεν συνιστάται η άμεση εφαρμογή των καμπυλών αυτών χωρίς προηγούμενη βαθμονόμηση. Η βαθμονόμηση μπορεί να γίνει με την παρασκευή ειδικών δοκιμών (με διαφορετικές αντοχές). Τα δοκίμια που θα χρησιμοποιηθούν (κυβικά ή κυλινδρικά) πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο μεγάλα, ούτως ώστε να εξαφανιστεί η επίδραση του μεγέθους από τα αποτελέσματα. Κύβοι 15cm ή μεγαλύτεροι πρέπει να προτιμώνται. Ο πλέον ικανοποιητικός τρόπος μετρήσεως του δείκτη επιφανειακής σκληρότητας των κύβων είναι να τους τοποθετούμε σε μηχανή επιβολής θλιπτικού φορτίου και αφού τους επιβάλουμε θλιπτική τάση περίπου 1MPa να κάνουμε τις μετρήσεις σε δύο απ' τις πλευρές που προέκυψαν από καλούπι. Είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται δοκίμια με ξηρές επιφάνειες. Σε περίπτωση που έχουν συντηρηθεί σε υγρές συνθήκες θα πρέπει να μεταφέρονται για 2 ημέρες πριν την δοκιμή σε συνθήκες εργαστηρίου. Ο ελάχιστος αριθμός των μετρήσεων σε κάθε δοκίμιο πρέπει να είναι 9. Οι θέσεις δοκιμών θα πρέπει να απέχουν μεταξύ τους καθώς και απ' τις ακμές του δοκιμίου 30mm. Στην συνέχεια υπολογίζεται ο μέσος όρος και η διασπορά των μετρήσεων για κάθε ένα από τα 30 περίπου δοκίμια που απαιτούνται για να έχουμε μια καλή συσχέτιση συμβατικής αντοχής (f_c) και δείκτη επιφανειακής σκληρότητας (R). Στον παρακάτω

πίνακα δίνονται στοιχεία από την διεθνή βιβλιογραφία (A.Neville 11975 & Taywood Eng. Ltd 1986) για ποιοτική κατάταξη του σκυροδέματος αναλόγως των ενδείξεων του κρουσιμέτρου.

A/A	Δείκτης κρουσιμετρήσεως R	Ποιότητα
1	> 45	Εξαιρετική
2	35 ÷ 45	Καλή
3	25 ÷ 35	Μέτρια
4	20 ÷ 25	Κακή
5	< 20	Απόμειξη, ρωγμές

Πίνακας 2

Η μη καταστρεπτική μέθοδος του κρουσιμέτρου εφαρμόστηκε στο τοίχιο για την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος, αλλά λόγω τεχνικών δυσκολιών (σπάσιμο του ελατηρίου του κρουσιμέτρου), δεν εφαρμόστηκε στα καρότα που πήραμε με την πυρηνοληψία. Ως εκ τούτου, η βαθμονόμηση των καμπυλών είναι αδύνατη και οι μετρήσεις που πήραμε απ' το τοίχιο θεωρούνται άκυρες. Παρ' όλα ταύτα, παρατίθενται παρακάτω:



Σχήμα 1

A/A	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6
1	36	40	40	-	40	42	37	40	42	39	39	42
2	36	42	44	-	38	40	40	39	37	39	39	38
3	38	42	42	-	40	41	38	40	38	37	38	42
4	40	40	44	-	36	39	41	42	38	38	43	40
5	44	45	42	-	37	38	38	42	38	39	37	41
6	45	37	42	-	38	41	38	40	40	38	38	44
7	41	44	40	-	35	38	39	44	42	36	39	41
8	40	37	44	-	34	42	39	39	41	41	37	42
9	42	42	44	-	41	42	40	41	39	36	38	43
10	39	42	41	-	41	46	40	45	40	40	40	37
11	40	39	42	-	36	45	39	40	41	35	38	43
12	42	44	40	-	35	40	41	38	42	34	40	38
13	40	39	39	-	42	44	44	39	41	38	39	39
14	45	40	45	-	40	42	42	41	40	35	44	37
15	37	38	40	-	37	39	40	41	40	34	38	41
AVE R	40,33	40,73	41,93	-	38,00	41,27	40,33	40,73	39,93	37,27	39,13	40,53

Πίνακας 3

Στο A4 κομμάτι του τοιχίου είχε προηγηθεί επισκευή με EMACO, γι' αυτό τα αποτελέσματα από την κρουσιμέτρηση ήταν πολύ διαφορετικά απ' ότι στο υπόλοιπο τοιχίο.

1.2 Μέθοδος Υπερήχων

Περιγραφή μεθόδου τασικών κυμάτων

Διάφορες μέθοδοι βασιζόμενες στην διάδοση (τασικών) κυμάτων διαμέσου του σκυροδέματος χρησιμοποιούνται για το μη καταστροφικό έλεγχο κατασκευών από σκυρόδεμα και τοιχοποιία. Στις μεθόδους αυτές ανήκουν η μέθοδος των υπερήχων καθώς και μια σειρά μεθόδων που βασίζονται στην ηχώ (αντήχηση, αντίλαλο) εξ αντανάκλασεως υπερηχητικών ή κρουστικών κυμάτων.

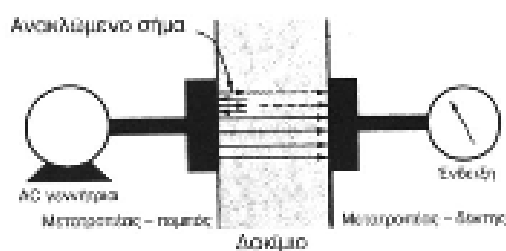
Η μέθοδος των υπερήχων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της ομοιομορφίας ενός στοιχείου, των εντοπισμό ανωμαλιών (ύπαρξη ρωγμών, κοιλοτήτων, πάχος στρώματος που έχει υποστεί φθορά), την αποτίμηση του μέτρου ελαστικότητας, ενώ ύστερα από κατάλληλη βαθμονόμηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος. Οι κρουστικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται συνήθως όταν δεν είναι προσπελάσιμες οι δύο πλευρές ενός

στοιχείου για την εκτίμηση του πάχους ή του μήκους ενός στοιχείου (π.χ. πλάκα επί εδάφους, έγχυτος πάσσαλος) και για τον προσδιορισμό ανωμαλιών στην μάζα του σκυροδέματος.

Τασικά κύματα εμφανίζονται όταν μια πίεση ή μια παραμόρφωση εφαρμόζονται απότομα π.χ. με κρούση, στην επιφάνεια ενός στερεού. Η διαταραχή διαδίδεται δια μέσου του στερεού όπως τα ηχητικά κύματα στον αέρα. Η ταχύτητα διαδόσεως των τασικών κυμάτων σε ένα στερεό είναι συνάρτηση του μέτρου ελαστικότητας, του λόγου Poisson, της πυκνότητας και της γεωμετρίας του στερεού.

Μέθοδος των υπερήχων

Είναι μια έμμεση μη καταστρεπτική μέθοδος. Η συσκευή των υπερήχων αποτελείται από την κεντρική μονάδα που περιέχει τον υπολογιστή και από δύο όμοιους κρυστάλλους εκ των οποίων ο ένας είναι ο πομπός και ο άλλος ο δέκτης. Οι δύο κρύσταλλοι τοποθετούνται αντικριστά σε δύο παράλληλες επιφάνειες του υπό εξέταση στοιχείου.

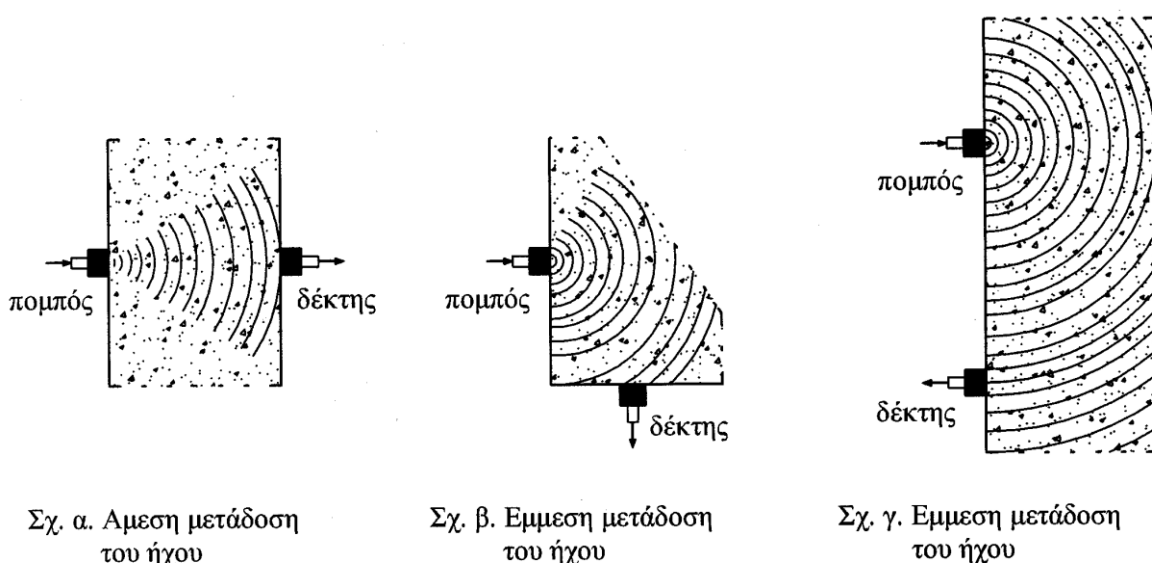


Εικόνα 4. Διάταξη συσκευής υπερήχων

Οι κρύσταλλοι αποτελούνται από πιεζοηλεκτρικά κεραμικά στοιχεία τα οποία αλλάζουν μέγεθος όταν τους εφαρμόζεται ηλεκτρικό ρεύμα ή παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα όταν αλλάζουν μέγεθος. Η επιβολή κατάλληλου ρεύματος έχει ως συνέπεια ο κρύσταλλος πομπός να πάλλεται με την φυσική του συχνότητα. Η ταλάντωση του κρυστάλλου παράγει τασικά κύματα τα οποία διαδίδονται διαμέσου του σκυροδέματος. Εν τω μεταξύ, ταυτόχρονα με την δημιουργία του παλμού του ηλεκτρικού ρεύματος, ένα ηλεκτρονικό χρονόμετρο ακριβείας τίθεται σε λειτουργία. Μόλις ο παλμός φθάσει στον δέκτη παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο σταματά το χρονόμετρο και στην οθόνη της συσκευής αναγράφεται ο αντίστοιχος χρόνος. Αν το πάχος του δοκιμίου είναι ίσο με L , ο χρόνος που χρειάστηκε το υπερηχητικό κύμα για

να το διανύσει T , τότε η ταχύτητα των υπερήχων V (συνήθως σε km/s) δίνεται απ' τον τύπο: $V=L/T$.

Μετρήσεις με την μέθοδο των υπερήχων μπορούν να γίνουν με τρεις τρόπους. Ο πρώτος είναι τοποθετώντας τους δύο κρυστάλλους σε δύο αντικριστές πλευρές του προς εξέταση δοκιμίου (direct transmission), ο δεύτερος τοποθετώντας τους σε δύο κάθετες μεταξύ τους πλευρές (semi-direct transmission), ενώ στον τρίτο οι κρύσταλλοι τοποθετούνται στην μοναδική προσιτή πλευρά του δομικού στοιχείου (indirect or surface transmission).



Σχ. α. Άμεση μετάδοση του ήχου

Σχ. β. Εμμεση μετάδοση του ήχου

Σχ. γ. Εμμεση μετάδοση του ήχου

Εικόνα 5. Τρόποι εφαρμογής μεθόδου υπερήχων

Όπως γίνεται εύκολα κατανοητό ο πρώτος τρόπος μετρήσεως της ταχύτητας των υπερήχων είναι ο περισσότερο ακριβής, επειδή με την τοποθέτηση των κρυστάλλων αντικριστά επιτυγχάνεται η μεταφορά της μέγιστης ενέργειας από τον πομπό στον δέκτη, ενώ ταυτόχρονα η μέτρηση του, διανυόμενου απ' το υπερηχητικό κύμα, μήκους του δομικού στοιχείου γίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια. Η ακρίβεια των μετρήσεων με τον δεύτερο τρόπο παρουσιάζεται μειωμένη, καθώς είναι δύσκολο να προσδιοριστεί επακριβώς η πορεία που διατρέχει το υπερηχητικό κύμα μέσα στην μάζα του σκυροδέματος και άρα είναι δύσκολο να μετρηθεί το μήκος L . Για την απλούστευση των ενεργειών θεωρείται ότι το μήκος L που διανύει το κύμα είναι ίσο με την απόσταση μεταξύ των κέντρων των δύο κρυστάλλων. Ο τρίτος τρόπος χρησιμοποιείται όταν είναι προσιτή η μία μόνον πλευρά του προς εξέταση δοκιμίου, ή όταν αναζητείται το βάθος μιας επιφανειακής ρωγμής, ή τέλος όταν υπάρχουν

υποψίες για διαφοροποίηση της ποιότητας του σκυροδέματος απ' την επιφάνεια προς το κέντρο του στοιχείου.

Για την καλύτερη επαφή των κρυστάλλων στην επιφάνεια του σκυροδέματος χρησιμοποιείται λιπαντική ουσία, η οποία καλύπτει τις ατέλειες της εξωτερικής επιφάνειας του στοιχείου. Η λιπαντική ουσία μπορεί να είναι γράσο, βαζελίνη ή γενικά κάποιο παράγωγο του πετρελαίου. Πρέπει να τοποθετείται σε μικρή ποσότητα γιατί διαφορετικά προκαλεί αθέλητες διαφοροποιήσεις στην μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων. Οι διαφοροποιήσεις αυτές οφείλονται στο γεγονός ότι η ταχύτητα διαδόσεως των υπερήχων είναι διαφορετική στο σκυρόδεμα από ότι στην χρησιμοποιούμενη λιπαντική ουσία. Παράλληλα με την χρήση των ανωτέρω λιπαντικών ουσιών, κατά την διάρκεια της μέτρησης, θα πρέπει οι κρύσταλλοι να πιέζονται με μεγάλη δύναμη πάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Στην περίπτωση που οι εξωτερικές επιφάνειες του σκυροδέματος είναι πολύ ανώμαλες θα πρέπει, πριν την τοποθέτηση της λιπαντικής ουσίας, να γίνεται επιπέδωση των επιφανειών με την χρήση ηλεκτρικού περιστροφικού τριβείου.

Η ιδιοσυχνότητα των κρυστάλλων είναι συνήθως 50kHz. Γενικώς μικρότερης συχνότητας κρύσταλλοι (20kHz) χρησιμοποιούνται σε στοιχεία με μεγάλη μάζα σκυροδέματος, ενώ μεγαλύτερης συχνότητας κρύσταλλοι (>100kHz) χρησιμοποιούνται σε στοιχεία μικρού πάχους όταν απαιτείται ακριβέστερη μέτρηση του χρόνου διαδόσεως.

Πριν από κάθε μέτρηση της ταχύτητας των υπερήχων πρέπει να ελέγχεται η ένδειξη του οργάνου. Για άμεση επαφή των δύο κρυστάλλων η ένδειξη πρέπει να είναι μηδέν, ενώ αν χρησιμοποιείται η ειδική ράβδος βαθμονομήσεως πρέπει να είναι τόση οσέ αναγράφεται στην ράβδο. Η ακρίβεια πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ $\pm 1\%$ κατά ISO DIS 8047 (1982) ή $\pm 2\%$ κατά ASTM C597 (1983).

Παράγοντες που επηρεάζουν την μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων

Υγρασία

Όταν, στο δοκιμαζόμενο στοιχείο, το ποσοστό υγρασίας είναι υψηλό παρατηρείται μια αύξηση της μετρούμενης ταχύτητας των υπερήχων. Ο Λογοθέτης (1979) συνιστά τη χρήση των διορθωτικών συντελεστών που φαίνονται παρακάτω:

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

Πίνακας 4. Επίδραση της συντήρησης στην ταχύτητα των υπερήχων

Θερμοκρασία του Σκυροδέματος

Έχει παρατηρηθεί ότι όταν η θερμοκρασία κυμαίνεται από +5°C έως +30°C δεν παρατηρείται καμία σημαντική διαφοροποίηση στην μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων. Αντίθετα, όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη από +5 °C παρατηρείται αύξηση της ταχύτητας των υπερήχων επειδή το ύδωρ των πόρων μετατρέπεται σε πάγο, ενώ όταν η θερμοκρασία είναι ψηλότερη των +30 °C παρατηρείται μείωση της ταχύτητας των υπερήχων η οποία πιθανόν προέρχεται από τις εσωτερικές μικρορηγματώσεις που σημειώνονται στην μάζα του σκυροδέματος σ' αυτές τις θερμοκρασίες. Στον πίνακα παρακάτω δίνονται οι διορθωτικοί συντελεστές, με τους οποίους προσαυξάνεται (ή μειώνεται) η μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων, όταν η θερμοκρασία βρίσκεται εκτός του διαστήματος +5 °C έως +30 °C.

Θερμοκρασία °C	Διόρθωση της μετρούμενης ταχύτητας των υπερήχων	
	Ξηρές συνθήκες %	Υγρές συνθήκες %
60	+5.0	+4.0
40	+2.0	+1.7
20	±0.0	±0.0
0	-0.5	-1.0
-4	-1.5	-7.5

Πίνακας 5. Επίδραση της θερμοκρασίας σκυροδέματος στην ταχύτητα των υπερήχων

Μήκος Διαδρομής (path length)

Το ελάχιστο μήκος διαδρομής πρέπει να είναι ίσο με 100mm για σκυρόδεμα με μέγιστο μέγεθος αδρανούς 20mm και 40mm. Επίσης το ελάχιστο μήκος διαδρομής θα πρέπει να είναι πενταπλάσιο του μέγιστου κόκκου αδρανών και σε καμία περίπτωση μικρότερο των 150mm. Είναι όμως δυνατό, το μήκος διαδρομής να κυμαίνεται από 50mm έως 15m. Το ανώτερο όριο του μήκους διαδρομής εξαρτάται απ' την κατάσταση της εξωτερικής επιφάνειας του στοιχείου, όπως επίσης και από τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος από το οποίο είναι κατασκευασμένο. Πρέπει να τονισθεί ότι για μεγάλα μήκη απαιτούνται συχνότητες της τάξεως των 20kHz, ενώ αντίθετα για μικρά μήκη οι συχνότητες μπορούν να φθάσουν και τα 200kHz. Στον πίνακα παρακάτω δίνονται οι συχνότητες ανάλογα με το μήκος διαδρομής (ο πίνακας ισχύει για τις μη καταστρεπτικές μεθόδους).

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

Πίνακας 6. Απαιτούμενη συχνότητα οργάνου συναρτήσει του μήκους διαδρομής των υπερήχων

Σχήμα και Διαστάσεις δοκιμίου

Η ταχύτητα των υπερήχων δεν εξαρτάται από το σχήμα και τις διαστάσεις των δοκιμαζόμενων στοιχείων, εκτός και αν η διάσταση είναι μικρότερη από την επιτρεπόμενη. Όταν η διάσταση του δοκιμίου είναι μικρή, τότε έχουμε μια μείωση και στην ταχύτητα των υπερήχων. Η μείωση αυτή εξαρτάται κυρίως από τον λόγο του μήκους κύματος προς την ελάχιστη διάσταση του δοκιμίου. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η συνιστώμενη ελάχιστη διάσταση του δοκιμίου συναρτήσει της συχνότητας του οργάνου και της ταχύτητας των υπερήχων.

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

Πίνακας 7. Ελάχιστη διάσταση δοκιμίου συναρτήσει της συχνότητας του οργάνου

Ράβδοι Οπλισμού

Η μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων στις περιοχές των δομικών στοιχείων που περιέχουν ράβδους οπλισμού, είναι συνήθως υψηλότερη σε σχέση με την ταχύτητα που μετράται σε περιοχές ελεύθερες από οπλισμό. Η αύξηση αυτή δικαιολογείται από το γεγονός ότι στο χάλυβα η ταχύτητα των υπερήχων είναι από 1.2 έως 2.0 φορές μεγαλύτερη από την ταχύτητα στο σκυρόδεμα. Η παρατηρούμενη αύξηση εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό των ράβδων οπλισμού, την διάμετρό τους και την απόσταση του κέντρου των κρυστάλλων από τον διαμήκη άξονα των ράβδων. Άλλοι παράγοντες που μπορεί να οδηγήσουν στην αύξηση της ταχύτητας των υπερήχων είναι ακόμη η συχνότητα των υπερήχων και η κατάσταση της εξωτερικής επιφάνειας των ράβδων του οπλισμού. Επιγραμματικά μπορεί να αναφερθεί ότι το σύνολο των ερευνητών συνιστούν να αποφεύγονται να γίνονται μετρήσεις σε περιοχές με υψηλό ποσοστό οπλισμού και κυρίως παράλληλα προς αυτούς. Όταν όμως τέτοιες μετρήσεις είναι αναπόφευκτες, τότε τα αποτελέσματα των μετρήσεων θα πρέπει να διορθώνονται σύμφωνα με τα παρακάτω:

α) Άξονες οπλισμών κάθετοι προς την διεύθυνση μετρήσεως:

$$v_c/v = (1-L_s/L)/[1-L_s*v/(L*v_s)]$$

όπου:

v_c : η διορθωμένη ταχύτητα των υπερήχων.

v : η ταχύτητα των υπερήχων στο οπλισμένο σκυρόδεμα (η ταχύτητα που μετράμε).

v_s : η ταχύτητα των υπερήχων στο χάλυβα από 5.2km/sec έως 6.0km/sec.

L : το πάχος του στοιχείου που εξετάζουμε.

L_s : ΣΦι το συνολικό μήκος της διαδρομής μέσα από τους χάλυβες.

β) Άξονες οπλισμών παράλληλοι προς την διεύθυνση μετρήσεως:

Ο διορθωτικός συντελεστής εξαρτάται: i) από την απόσταση μεταξύ του άξονα διαδρομής του κύματος και την ράβδο οπλισμού, καθώς και ii) από την ταχύτητα των υπερήχων στο καθαρό από οπλισμούς σκυρόδεμα.

Η ταχύτητα διαδόσεως των υπερήχων στο σκυρόδεμα v_c δίνεται από την σχέση:

$$v_c/v = v_c/v_s + 2 * a/L * \sqrt{[1 - (v_c/v_s)^2]}$$

$$\text{για } 4(a/L)^2 < (v_s - v_c)/(v_s + v_c)$$

όπου:

v : η ταχύτητα των υπερήχων στο οπλισμένο σκυρόδεμα (η ταχύτητα που μετράμε).

v_c : η ταχύτητα των υπερήχων στο καθαρό σκυρόδεμα.

v_s : η ταχύτητα των υπερήχων στον χάλυβα (σε km/s)

a : η απόσταση μεταξύ της ράβδου οπλισμού και του πλησιέστερου κρυστάλλου

L : το μήκος της διαδρομής

Η επίδραση των οπλισμών μηδενίζεται όταν $4(a/L)^2 > (v_s - v_c)/(v_s + v_c)$

Εντατική κατάσταση του σκυροδέματος

Η ταχύτητα των υπερήχων αυξάνεται ελαφρά όταν το σκυρόδεμα φορτίζεται προοδευτικά σε χαμηλά επίπεδα, αλλά μειώνεται απότομα όταν η εξωτερική τάση γίνει ίση με το 70% της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. Το φαινόμενο αυτό ερμηνεύεται από το γεγονός ότι με την προοδευτική αύξηση της τάσεως μειώνονται τα κενά στην μάζα του σκυροδέματος, με αποτέλεσμα να έχουμε μικρότερους χρόνους διαδόσεως των υπερήχων.

Αντίθετα όταν η τάση είναι μεγάλη και εφαρμοστεί απότομα, τότε δημιουργούνται ρωγμές στην μάζα του σκυροδέματος, με συνέπεια να έχουμε αύξηση του χρόνου διαδόσεως των υπερηχητικών κυμάτων. Ο Λογοθέτης (1979) αναφέρει ότι τόσο η εντατική κατάσταση του σκυροδέματος, όσο και ο αριθμός των κύκλων φορτίσεως και αποφορτίσεως σε υψηλές τάσεις επηρεάζουν την ταχύτητα των υπερήχων, (αύξηση των τάσεων προκαλεί μείωση της ταχύτητας «ν». Στον πίνακα παρακάτω δίνονται οι αναγκαίες διορθώσεις που πρέπει να γίνονται για κάθε περίπτωση. Οι τιμές που παρατίθενται πρέπει να προστίθενται στις μετρούμενες ταχύτητες.

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

Πίνακας 8. Διόρθωση της ταχύτητας των υπερήχων συναρτήσει της εντατικής καταστάσεως

Εκτίμηση του βάθους ρωγμής ή του πάχους κατεστραμμένου επιφανειακού στρώματος

Η μέθοδος των υπερήχων, εκτός από την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος, βοηθάει ακόμη στον προσδιορισμό της ύπαρξης και του μεγέθους κατασκευαστικών σφαλμάτων, ρωγμών και πόρων μέσα στην μάζα του σκυροδέματος. Η ύπαρξη μιας ρωγμής μπορεί να διαπιστωθεί μόνο όταν το μήκος της είναι μεγαλύτερο από το πλάτος κρυστάλλου-πομπού ή μεγαλύτερο από το μήκος κύματος του υπέρηχου που χρησιμοποιείται. Αν υπάρχει ρωγμή τέτοιων διαστάσεων μέσα σε ένα δομικό στοιχείο, τότε όταν τοποθετηθούν οι κρύσταλλοι κατά μήκος του άξονα του, ο χρόνος διαδόσεως του υπερηχητικού κύματος παρουσιάζεται σημαντικά αυξημένος σε σχέση με τον χρόνο διαδόσεως που παρατηρείται όταν τοποθετήσουμε τους κρυστάλλους

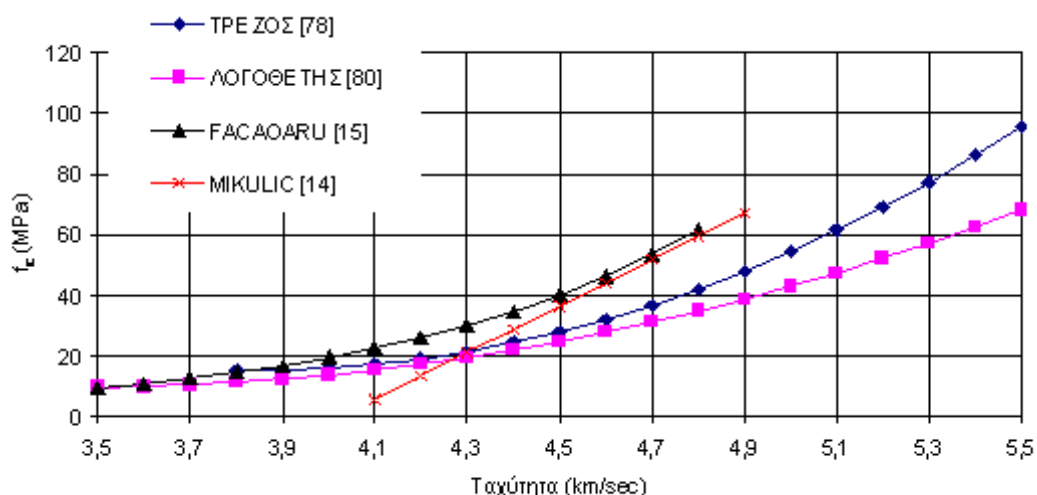
σε γειτονικές θέσεις χωρίς ρωγμές. Για να είναι οι μετρηθέντες χρόνοι συγκρίσιμοι, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ομοιογένεια του σκυροδέματος του εξεταζόμενου στοιχείου.

Η ύπαρξη εσωτερικών ρωγμών ή κενών προκαλούν περίθλαση των υπερήχων με αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου διαδόσεως των υπερήχων. Έτσι, αν δεν είναι γνωστή η εσωτερική κατάσταση του στοιχείου, η φαινομενικά μειωμένη ταχύτητα των υπερήχων, μπορεί να θεωρηθεί ότι οφείλεται στην μειωμένη αντοχή του σκυροδέματος.

Η ίδια τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του πάχους του επιφανειακού στρώματος το οποίο επηρεάσθηκε από μια πυρκαγιά ή παγετό με αποτέλεσμα να έχει μικρότερη ταχύτητα διαδόσεως από ότι το υποκείμενο υγιές στρώμα. Η μέτρηση εκτελείται μετρώντας το χρόνο διαδόσεως των υπερήχων ως συνάρτηση της αποστάσεως μεταξύ των δύο κρυστάλλων πομπού και δέκτη. Γίνεται η υπόθεση ότι τα κύματα φθάνουν στον δέκτη κατά μήκος δύο διαδρομών: η διαδρομή 1 είναι ευθεία κατά μήκος του κατεστραμμένου σκυροδέματος και η διαδρομή 2 είναι τεθλασμένη διαμέσου του κατεστραμμένου – του υγιούς και ξανά του κατεστραμμένου σκυροδέματος. Για μικρές αποστάσεις μεταξύ των δύο κρυστάλλων συντομότερη είναι η διαδρομή 1, ενώ για μεγαλύτερες αποστάσεις συντομότερη είναι η διαδρομή 2.

Συσχέτιση αντοχής συμβατικών δοκιμών και ταχύτητας υπερήχων

Στην διεθνή βιβλιογραφία έχουν προταθεί διάφορες καμπύλες που συσχετίζουν την ταχύτητα των υπερήχων με την μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. Πάντως σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά: το διάστημα εμπιστοσύνης 90% μπορεί να εκτείνεται μέχρι και $\pm 0.25f_{cm}$ εκατέρωθεν των μέσων καμπυλών. Γι' αυτό δεν συνιστάται η άμεση εφαρμογή των καμπύλων χωρίς προηγούμενη βαθμονόμηση.



Καμπύλη 1 Μέση θλιπτική αντοχή σκυροδέματος συναρτήσει της ταχύτητας των υπερήχων

Η βαθμονόμηση μπορεί να γίνει με την παρασκευή ειδικών δοκιμίων (με διαφορετικές αντοχές) προκειμένου για έλεγχο σκυροδέματος το οποίο δεν έχει ακόμη παραχθεί. Τα δοκίμια που θα χρησιμοποιηθούν (κυβικά ή κυλινδρικά) πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο μεγάλα, ούτως ώστε να εξαφανιστεί η επίδραση του μεγέθους από τα αποτελέσματα. Κύβοι 15 cm ή μεγαλύτεροι πρέπει να προτιμώνται. Είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται δοκίμια με ξηρές επιφάνειες. Σε περίπτωση που έχουν συντηρηθεί σε υγρές συνθήκες θα πρέπει να μεταφέρονται για 2 ημέρες πριν τη δοκιμή σε συνθήκες εργαστηρίου. Σε κάθε κυβικό δοκίμιο πρέπει να γίνονται δύο μετρήσεις σε δύο κάθετες διευθύνσεις και λαμβάνεται ο μέσος όρος. Αν δεν είναι εφικτή η παρασκευή ειδικών δοκιμίων (π.χ. στην περίπτωση ελέγχου υπαρχουσών κατασκευών) τότε η βαθμονόμηση μπορεί να γίνει με πυρήνες που λαμβάνονται από την κατασκευή που πρόκειται να ελεγχθεί. Στα αποτελέσματα προσαρμόζεται με παλινδρόμηση παραβολική ή εκθετική σχέση της μορφής: $f_c = av^2 + bv + c$ ή $f_c = ae^{bv}$ αντιστοίχως.

Στον επόμενο πίνακα δίνονται στοιχεία από την διεθνή βιβλιογραφία για ποιοτική κατάταξη του σκυροδέματος αναλόγως των ενδείξεων των υπερήχων.

A/A	Ταχύτητα υπερήχων v (km/s)	Ποιότητα
1	> 4,500	Εξαιρετική
2	3,500 : 4,500	Καλή
3	2,500 : 3,500	Μέτρια
4	< 2,500	Κακή
5	< 2,500	Απόμειξη, ρωγμές

Πίνακας 9. Ποιοτική κατάταξη σκυροδέματος

Παρακολούθηση της εξελίξεως της αντοχής του σκυροδέματος

Η μέθοδος των υπερήχων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της εξελίξεως της αντοχής του σκυροδέματος με διαδοχικές μετρήσεις κατά χρονικά διαστήματα. Η ταχύτητα διαδόσεως των υπερήχων είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας της πυκνότητας του σκυροδέματος. Αν δεχθούμε εξ άλλου ότι το μέτρο ελαστικότητας είναι επίσης ανάλογο της τετραγωνικής ρίζας της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, προκύπτει ότι η ταχύτητα των υπερήχων είναι ανάλογη της τέταρτης ρίζας της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. Αυτό σημαίνει ότι, για μια δεδομένη σύνθεση σκυροδέματος και καθώς αυξάνεται η αντοχή του σκυροδέματος με τον χρόνο, υπάρχει μια αναλογικώς μικρότερη αύξηση της ταχύτητας των υπερήχων. Όπως αναφέρεται σε σχετικό δημοσίευμα, φαίνεται ότι μια αύξηση της αντοχής σκυροδέματος μικρής ηλικίας από 3.4MPa σε 10.3MPa μπορεί να έχει αύξηση της ταχύτητας των υπερήχων από 4.0km/s σε 4.6km/s. Αλλά σε μεγαλύτερης ηλικίας σκυροδέμα η αύξηση της αντοχής από 27.6MPa σε 34.5MPa μπορεί να έχει αύξηση της ταχύτητας των υπερήχων από 5.09km/s σε 5.22km/s. Δηλαδή σε μεγάλες ηλικίες η ταχύτητα των υπερήχων δεν είναι ευαίσθητη στην αύξηση της αντοχής.

Λοιπές εφαρμογές

Με την μέθοδο των υπερήχων ελέγχονται, αποτιμώνται και δίνονται πληροφορίες για τις εξής ιδιότητες:

- έλεγχος ομοιογένειας και ομοιομορφίας ενός δομικού στοιχείου
- αποτιμάται η αντοχή, μέτρο ελαστικότητας και ο λόγος Poisson των συνιστώντων υλικών
- αποτιμώνται οι αλλοιώσεις των υλικών που ενδεχομένως γίνονται με την πάροδο του χρόνου στις ιδιότητες των υλικών, οι οποίες οφείλονται σε διάφορα αίτια (διάβρωση, πυρκαγιά κλπ)
- διαπιστώνεται η ύπαρξη ελαττωμάτων π.χ. κοιλότητες, ρωγμές, πόροι κλπ, ή άλλες ανωμαλίες στη μάζα των δομικών στοιχείων

Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε δομικά στοιχεία από σκυρόδεμα, είτε σε δομικά στοιχεία από τοιχοποιία.

Στο τοιχίο εφαρμόστηκε η μη καταστρεπτική αυτή μέθοδος με τη συσκευή υπερήχων που διαθέτει το εργαστήριο, σε κανονικές θερμοκρασίες και με κανονικά ποσοστά υγρασίας. Άρα η επίδραση της συντήρησης και της θερμοκρασίας σκυροδέματος στην ταχύτητα των υπερήχων θεωρείται μηδενική. Της επιλογή των θέσεων δοκιμής, προηγήθηκε η σάρωση του τοιχίου με ειδικό όργανο σάρωσης κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, με σκοπό την εφαρμογή της μεθόδου σε σημεία της κατασκευής χωρίς ράβδους οπλισμού. Πάρθηκαν συνολικά 23 μετρήσεις από είκοσι τρεις διαφορετικές περιοχές του τοιχίου απαλλαγμένες από ράβδους οπλισμού. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων (μετρούμενος χρόνος, υπολογιζόμενη ταχύτητα) παρουσιάζονται στην επόμενη σελίδα.

A/A	T ($\times 10^{-6}$ s)	L ($\times 10^{-3}$ km)	V=L/T (km/s)
1	39	0,16	4,10
2	39	0,16	4,10
3	37	0,16	4,32
4	37	0,16	4,32
5	38	0,16	4,21
6	39	0,16	4,10
7	39	0,16	4,10
8	44	0,16	3,64
9	45	0,16	3,56
10	45	0,16	3,56
11	39	0,16	4,10
12	35	0,16	4,57
13	37	0,16	4,32
14	39	0,16	4,10
15	41	0,16	3,90
16	41	0,16	3,90
17	38	0,16	4,21
18	38	0,16	4,21
19	36	0,16	4,44
20	37	0,16	4,32
21	36	0,16	4,44
22	37	0,16	4,32
23	36	0,16	4,44
AVER	38,78	0,16	4,14

Πίνακας 10. Αποτελέσματα μετρήσεων απο περιοχές απαλλαγμένες από ράβδους οπλισμού

Κεφάλαιο 2

Μέθοδος Πυρηνοληψίας

Επειδή η έμμεση εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος γεννά πολλά ερωτηματικά ως προς την ακρίβεια των μεθόδων αυτών, όλοι οι διεθνείς κανονισμοί επιβάλλουν την παράλληλη λήψη πυρήνων απ' τα εξεταζόμενα, με έμμεσες μεθόδους, μέλη μιας κατασκευής. Εκτός από την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, με τους πυρήνες μπορούμε να εξετάσουμε ακόμη, γενικότερα την ποιότητα του σκυροδέματος μιας κατασκευής, τη θέση και το μέγεθος των ράβδων οπλισμού, την ύπαρξη ρωγμών ή άλλων αστοχιών μέσα στη μάζα του σκυροδέματος, την αποτελεσματικότητα των ενέσεων κόλλας κ.τ.λ.

Το βασικό πλεονέκτημα των πυρηνοληψιών είναι η αμεσότητα του προσδιορισμού της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, επιτόπου του έργου. Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι το σχετικώς υψηλό κόστος (συγκριτικά με τις έμμεσες μεθόδους), η δυσκολία λήψεως πυρήνων από υποστυλώματα και η ευαισθησία των αποτελεσμάτων τόσο κατά την λήψη και θραύση των πυρήνων (καροτιέρα, επιπέδωση βάσεων) όσο και στην αξιολόγηση και αναγωγή σε "συμβατική αντοχή".

Προγραμματισμός της πυρηνοληψίας

Για την ορθή εξαγωγή αποτελεσμάτων από μια πυρηνοληψία θα πρέπει να έχει γίνει ένας ορθός προγραμματισμός. Συγκεκριμένα θα πρέπει να αποφασισθούν η διάμετρος και το μήκος των πυρήνων, τα δομικά στοιχεία από όπου θα γίνει η πυρηνοληψία και οι θέσεις των πυρήνων πάνω στα δομικά στοιχεία καθώς και ο αριθμός των πυρήνων. Στην διεθνή βιβλιογραφία συνιστάται η διάμετρος των αποκοπτόμενων πυρήνων, προκειμένου για τον έλεγχο της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, να είναι 10 έως 15 cm, αλλά σε κάθε περίπτωση τριπλάσια του μεγέθους του μέγιστου αδρανούς που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή του εξεταζόμενου σκυροδέματος. Τα μεγαλύτερης διαμέτρου δοκίμια δίνουν ακριβέστερα αποτελέσματα γιατί καταστρέφονται λιγότερο κατά την διαδικασία κοπής και λείανσής τους και επειδή είναι λιγότερο ευαίσθητα. Σε έρευνες που έγιναν και στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν πυρήνες διαμέτρου 5 και 10 cm διαπιστώθηκε ότι οι πυρήνες με διάμετρο 10 cm έδωσαν αντοχές ίσες με το 88% της αντοχής κυλινδρικών δοκιμίων συντηρημένων σε συνθήκες εργαστηρίου, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για πυρήνες

διαμέτρου 5 cm ήταν από 65% έως 70%. Δηλαδή η αντοχή των πυρήνων διαμέτρου 10 cm παρουσιάζεται 20% περίπου αυξημένη σε σχέση με την αντοχή των πυρήνων διαμέτρου 5 cm. Για το επιδιωκόμενο μήκος του πυρήνα (ή άλλως για την τιμή του λόγου ύψος / διάμετρο L/D) δεν υπάρχει μια μονοσήμαντη συνιστώμενη τιμή, αλλά όπως φαίνεται απ' τις διάφορες δημοσιεύσεις, η τιμή του λόγου L/D μπορεί να κυμανθεί από 0.95 έως 2.0. οι μεγάλες τιμές προσεγγίζουν την γεωμετρία των συμβατικών κυλινδρικών δοκιμών διαμέτρου 15 cm και ύψους 30 cm. Η απόσταση των αποκοπτόμενων πυρήνων απ' τις ακμές των εξεταζόμενων στοιχείων πρέπει να είναι τουλάχιστον 8 cm, ενώ η μεταξύ τους απόσταση πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 4D (D η διάμετρος του πυρήνα). Ο συνιστώμενος αριθμός των αποκοπτόμενων πυρήνων από κάθε εξεταζόμενο δομικό στοιχείο ποικίλει ανάλογα με τους ερευνητές και κανονισμούς. Έτσι: α) κατά το ACI 228 και τον Petersons, 1970, θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 3. αν η μέση αντοχή των 3 πυρήνων είναι ίση με το 85% της συμβατικής αντοχής του σκυροδέματος f_c , ή η αντοχή του καθενός ίση με το 75% της f_c , τότε το σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται ικανοποιητικής αντοχής β) κατά τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος, 1997, ο αριθμός των πυρήνων μπορεί να φτάσει και τους 12 σε περίπτωση επανελέγχου. Πάντως, επειδή συχνότατα ορισμένοι πυρήνες αστοχούν (ρωγμή εντός του σκυροδέματος, ύπαρξη οπλισμού, κακή επιπέδωση κλπ) καλόν είναι να λαμβάνονται 2 επιπλέον εφεδρικοί πυρήνες γ) κατά την Εγκύκλιο Ε 7 ΥΠΕΧΩΔΕ 1997α, η κατασκευή διαχωρίζεται σε τμήματα (παρτίδες) σκυροδέματος και κάθε παρτίδα ελέγχεται με 6 πυρήνες που κόβονται από τυχαίες θέσεις.

Παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή των πυρήνων

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίζει κανείς όταν χρησιμοποιεί την μέθοδο των πυρήνων για την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος μιας κατασκευής είναι το πρόβλημα της παρουσίας ράβδων οπλισμού. Οι διεθνείς κανονισμοί συνιστούν να αποφεύγεται η κοπή πυρήνων από περιοχές δομικών στοιχείων που περιέχουν οπλισμούς. Στις περιπτώσεις που η αποφυγή κοπής οπλισμού είναι αδύνατη η επίδραση της παρουσίας τους στην αντοχή των πυρήνων εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως: το μέγεθος των ράβδων οπλισμού, ο λόγος L/D των πυρήνων. Η θέση των ράβδων οπλισμού μέσα στους πυρήνες καθώς και η συμβατική αντοχή του σκυροδέματος της κατασκευής. Στο BS 6089 (1981) προτείνεται ο

πολλαπλασιασμός της αντοχής των πυρήνων που περιέχουν οπλισμό με τον διορθωτικό συντελεστή:

$$1.0+1.5*\Sigma[(D_r*H)/(D_c*L)], \text{ όπου:}$$

D_r : διάμετρος οπλισμού

D_c : διάμετρος πυρήνα

H : απόσταση οπλισμού από την κοντινότερη πλευρά του οπλισμού

L : μήκος πυρήνα

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

Η ύπαρξη μιας ράβδου οπλισμού μέσα στους αποκοπτόμενους πυρήνες έχει ως συνέπεια την μείωση της μετρούμενης αντοχής κατά 8-9%, ενώ με δύο ράβδους οπλισμού η μείωση γίνεται 11-13%.

Οι πυρήνες μετά την κοπή και την λείανσή τους συνηθίζεται να καλύπτονται (καπέλωμα) με διάφορα υλικά (high alumina cement mortar, sulphur-sand mixture), για την διόρθωση των ατελειών που δημιουργούνται κατά την κοπή / επιπέδωση των παράλληλων επιφανειών τους. Οι διαφοροποιήσεις της θλιπτικής αντοχής που εισάγονται από το καπέλωμα οφείλονται στο υλικό του καπελώματος αλλά και στην αντοχή του ίδιου του πυρήνα. Οι διαφοροποιήσεις αυτές ενδέχεται να είναι σημαντικές: κατά τον Petersons (1971) μπορεί να φτάσουν και στο 30%. Γενικώς το καπέλωμα προκαλεί μείωση της αντοχής από 2% έως και 20%. Για την αποφυγή της μεταβλητής αυτής επιδράσεως του καπελώματος συνιστάται (Petersons 1971) να αποφεύγεται το καπέλωμα και η απαραίτητη επιπέδωση των επιφανειών να γίνεται με ειδικά μηχανήματα λειάνσεως.

Αναγωγή αντοχής πυρήνα σε αντοχή κύβου

Στην διεθνή αλλά και ελληνική βιβλιογραφία έχουν προταθεί πολλές σχέσεις αναγωγής της αντοχής του πυρήνα σε (συμβατική) αντοχή κύβου. Πολλές από αυτές χρησιμοποιούν στην σχέση αναγωγής συντελεστές εξαρτώμενους της διαμέτρου Φ του πυρήνα, του λόγου ύψος / διάμετρο (h/Φ), του τρόπου κατεργασίας του πυρήνα, του λόγου L/D , της παρουσίας οπλισμού, της συντήρησης του έργου κτλ.

Το British Standard 6089 (1981), προτείνει δύο διαφορετικές σχέσεις αναγωγής της αντοχής πυρήνων σκυροδέματος σε αντοχή κύβου. Η μια σχέση μπορεί να

χρησιμοποιηθεί για πυρήνες χωρίς οπλισμό, ενώ η άλλη για πυρήνες με οπλισμούς κάθετους στον άξονα του πυρήνα.

α) πυρήνες χωρίς οπλισμούς:

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

όπου

D = 2.5 για πυρήνες κομμένους κατά την οριζόντια διεύθυνση

D = 2.3 για πυρήνες κομμένους κατά την κατακόρυφη διεύθυνση

λ είναι ο λόγος μήκος / διάμετρος του πυρήνα

β) πυρήνες με οπλισμούς:

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

όπου

Φ_r είναι η διάμετρος του οπλισμού

Φ_c είναι η διάμετρος του πυρήνα

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

l το ύψος του πυρήνα

Προσδιοριζόμενες ιδιότητες με τους πυρήνες

Με τους πυρήνες είναι δυνατός ο προσδιορισμός πολλών ιδιοτήτων του σκυροδέματος όπως αντοχή σε θλίψη, αντοχή σε εφελκυσμό από διάρρηξη, μέτρο ελαστικότητας, λόγος Poisson, φαινόμενο βάρους (φυσικό, ξηρό, κορεσμού), υγρασία δοκιμίου, υδατοαπορροφητικότητα, πορώδες, ταχύτητα διαδόσεως υπερήχων (για βαθμονόμηση των έμμεσων μεθόδων), έλεγχος μάζας δομικού στοιχείου (ομοιογένεια, ομοιομορφία σκυροδέματος, έλεγχος εσωτερικής δομής τοιχοποιίας κλπ), αποτελεσματικότητα επεμβάσεων (πληρότητα ρωγμών σκυροδέματος με κόλλες ή τοιχοποιίας με ενέματα κλπ), συνάφεια παλιού νέου σκυροδέματος (έγχυτου ή εκτοξευόμενου).

Για την ορθή εξαγωγή συμπερασμάτων από μια πυρηνοληψία, θα πρέπει να γίνεται κατάλληλη επιλογή της διαμέτρου και του λόγου ύψους προς διάμετρο αναλόγως του επιδιωκόμενου σκοπού. Για τον έλεγχο αντοχής σκυροδέματος σε θλίψη συνιστάται

οι πυρήνες να έχουν διάμετρο 10 cm. Επίσης όταν πρόκειται για έλεγχο αντοχής ο λόγος ύψους προς διάμετρο L/D, πρέπει να κυμαίνεται από 0.95 έως 2.00.

Αντοχή σε θλίψη

Οι αποκοπτόμενοι πυρήνες έχουν διάμετρο από 5 έως 20 cm περίπου και μήκος τουλάχιστον όσο και η διάμετρος τους. Μεταφέρονται στο εργαστήριο και διαμορφώνονται (αποκόπτονται τα άκρα τους και ιδίως το ενανθρακωμένο τμήμα, καπελώνονται ούτως ώστε οι επιφάνειες φορτίσεως να είναι επίπεδες, παράλληλες μεταξύ τους και κάθετες προς τον διαμήκη άξονα) υποβάλλονται σε δοκιμή μονοαξονικής θλίψης σύμφωνα με το αντίστοιχο πρότυπο.

Η αντοχή του πυρήνα σε μονοαξονική θλίψη υπολογίζεται από την σχέση:

$$\sigma = P / (\pi \cdot d^2 / 4)$$

όπου:

P: μέγιστο θλιπτικό φορτίο

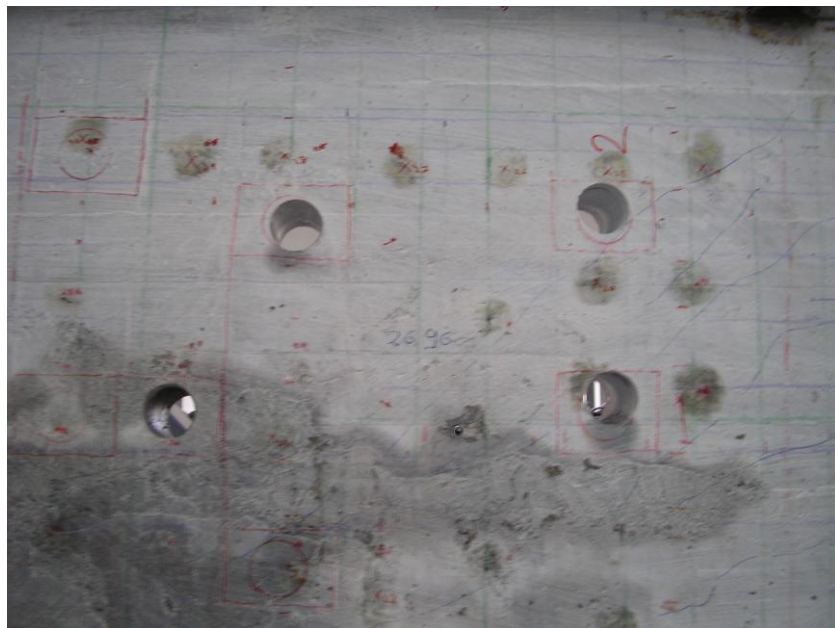
d: διάμετρος δοκιμίου

σ : τάση θραύσεως

Της πυρηνοληψίας που έγινε στο εργαστήριο, προηγήθηκε η σάρωση του τοιχίου με Ferroskan για τον εντοπισμό των θέσεων των ράβδων οπλισμού και την αποφυγή της κοπής τους. Η λήψη των πυρήνων έγινε με την βοήθεια του τεχνικού προσωπικού του εργαστηρίου, με καροτιέρα HILTI τύπου DD 160E. Το HILTI DD 160E είναι ένα αδαμαντοφόρο δράπανο γρήγορης κοπής, εύκολο σε λειτουργία, κατάλληλο για άνοιγμα οπών από 25 μέχρι 225 χιλιοστών. Το ειδικό σχέδιο του αδαμαντοφόρου αυτού συστήματος υγρής διάτρησης, το καθιστά εύκολο να τοποθετηθεί στον τοίχο.



Φωτογραφία 1. Η καρотиέρα HILTI τύπου DD 160E



Φωτογραφία 2. Θέσεις κοπής πυρήνων

Για την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος της κατασκευής μας πήραμε 4 πυρήνες διαμέτρου 65 χιλιοστών, εκ των οποίων ο ένας αστόχησε (η αποκοπή του έγινε σε περιοχή της οποίας είχε προηγηθεί επισκευή με σκυρόδεμα EMACO). Εκ των εναπομείναντα τριών πυρήνων, οι δύο περιείχαν ράβδους οπλισμού ενώ ένας μόνο ήταν καθαρός από οπλισμό.



Φωτογραφία 3. Οι πυρήνες για τη δοκιμή της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος



Φωτογραφία 4. Ο πυρήνας που έσπασε

Οι πυρήνες μετά την κοπή, την επιπέδωση των επιφανειών τους και την εφαρμογή της μεθόδου των υπερήχων σ' αυτούς, υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοαξονικής θλίψης. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των πυρήνων καθώς και τα αποτελέσματα των δοκιμών παρατίθενται παρακάτω.



Φωτογραφία 5. Δοκιμή θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος

A/A	Μήκος (cm)	Μάζα (gr)	Fc (kN)	Fc'' (MPa)	fc' (MPa)	Fc (MPa)	T (μs)	V (km/s)
1	13,3	1075	74	22,3	23,42	24,62	26	5,12
2	16,9	1325	85.1	25,6	26,88	27,93	32	5,28
3	17,6	1475	75	22,6	23,73	23,73	35	5,03

Πίνακας 11

Fc: μέγιστο θλιπτικό φορτίο

fc'': θλιπτική αντοχή σκυροδέματος

$$fc' = Fc / (\pi \cdot d^2 / 4)$$

d=65mm (διάμετρος πυρήνα)

fc' = fc''*1,05, διορθωμένη αντοχή λόγω μικρής διαμέτρου των πυρήνων (βλ. διάγραμμα παρακάτω)

$f_c = f_{c,core,red} = f_c \cdot (1.0 + 1.5 \cdot \Sigma[(D_r \cdot H)/(D_c \cdot L)])$, διορθωμένη αντοχή λόγω παρουσίας ράβδων οπλισμού

A/A	H (cm)	Διορθωτικός Συντελεστής
1	3	1,05
2	1,5 * 2	1,04
3	-	-

Πίνακας 12

D_r : διάμετρος οπλισμού (10 mm)

D_c : διάμετρος πυρήνα (65 mm)

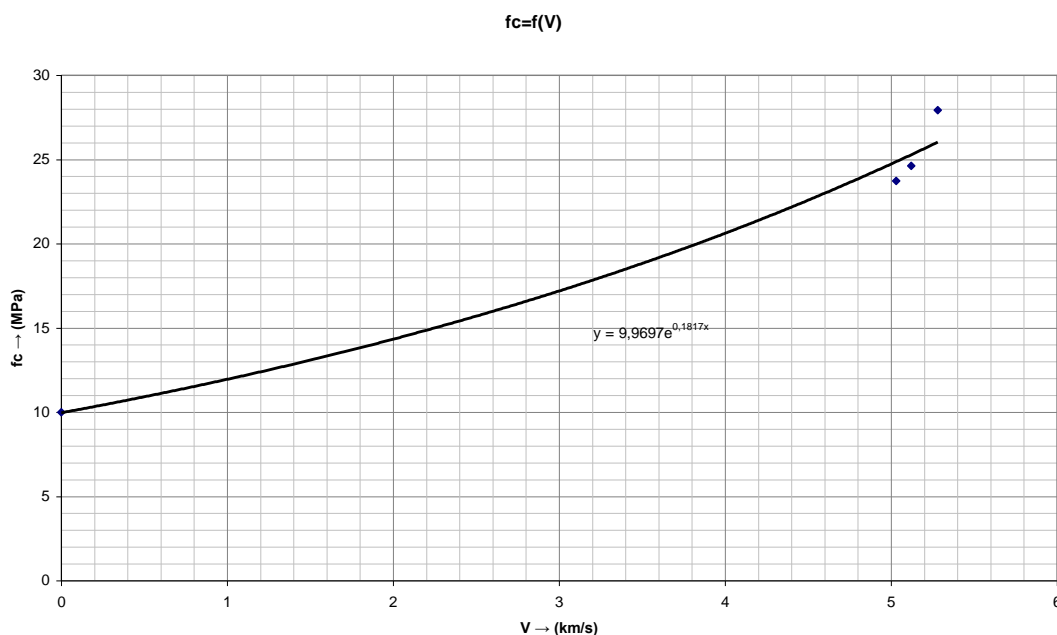
H: απόσταση οπλισμού από την κοντινότερη πλευρά του οπλισμού

L: μήκος πυρήνα (βλέπε πίνακα)

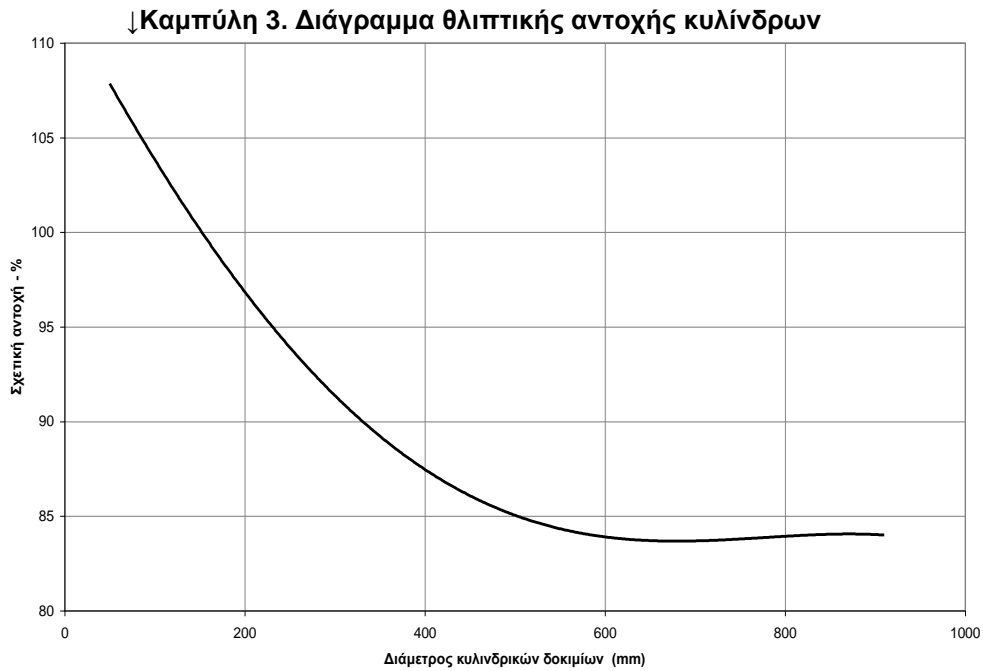
T= ο χρόνος που χρειάστηκε το υπερηχητικό κύμα για να διανύσει απόσταση $L=0,16$ m (πάχος του τοιχίου)

$V=L/T$ η ταχύτητα των υπερήχων

Ακολουθεί η καμπύλη συσχέτισης της ταχύτητας των υπερήχων με τη μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος καθώς και πίνακας με τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πάρθηκαν με τη μέθοδο των υπερήχων στο τοιχίο προσαρμοσμένα στη καμπύλη αυτή της μορφής $y = 9,9697e^{0,1817x}$



Καμπύλη 2. Συσχετισμός ταχύτητας υπερήχων με μέση θλιπτική αντοχή σκυροδέματος



V=L/T (km/s)	Fc (MPa)
4,36	22,01
4,36	22,01
4,59	22,97
4,59	22,97
4,47	22,48
4,36	22,01
4,36	22,01
3,86	20,12
3,78	19,81
3,78	19,81
4,36	22,01
4,86	24,10
4,59	22,97
4,36	22,01
4,15	21,18
4,15	21,18
4,47	22,48
4,47	22,48
4,72	23,51
4,59	22,97
4,72	22,88
4,59	22,38

Πίνακας 13. Υπέρηχοι

Για την αναγωγή της αντοχής των πυρήνων σε αντοχή κύβων χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις που προτείνει το British Standard για πυρήνες με και χωρίς οπλισμούς.

$$f_c = [D / (1.5 + 1/\lambda)] * f_{c,core} \text{ για πυρήνες χωρίς οπλισμούς}$$

$$f_c = [D / (1.5 + 1/\lambda)] * f_{c,core} * (1.0 + 1.5 \Sigma \Phi_r * d / \Phi_c * l) \text{ για πυρήνες με οπλισμούς}$$

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής των σχέσεων φαίνονται στο ακόλουθο πίνακα:

A/A	f_c (MPa)	$f_{c,core}$ (MPa)	d (mm)	αριθμός ράβδων	l (mm)	Φ_c (mm)	λ	Φ_r (mm)
1	32,56	24,62	30	1	133	65	2,05	10
2	38,57	27,93	15	2	169	65	2,6	10
3	31,74	23,73	-	-	176	65	2,71	-

Πίνακας 14. Αποτελέσματα αποτελέσματα σχέσεων αναγωγής πυρήνων σε αντοχή κύβων

Όπου:

D = 2.5 για πυρήνες κομμένους κατά την οριζόντια διεύθυνση

D = 2.3 για πυρήνες κομμένους κατά την κατακόρυφη διεύθυνση

λ είναι ο λόγος μήκος / διάμετρος του πυρήνα

Φ_r είναι η διάμετρος του οπλισμού

Φ_c είναι η διάμετρος του πυρήνα

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

l το ύψος του πυρήνα

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής των δικών μας δοκιμίων f_c με τα αποτελέσματα της θλιπτικής αντοχής των κυλινδρικών και κυβικών δοκιμίων της περσινής διπλωματικής με τίτλο "Δομοστατικός Σχεδιασμός και Ανάλυση Κατασκευών" f_c' , παρατηρούμε μεγάλη διαφορά στις τιμές.

Συγκεκριμένα:

	μέση θλιπτική αντοχή δοκιμίων (MPa)	
	κυβικά	κυλινδρικά
fc	34,29	25,43
fc'	58,13	42,66

Πίνακας 15. Σύγκριση αποτελεσμάτων θλιπτικής αντοχής με περσινή διπλωματική

Κεφάλαιο 3

Ferrosan

Το Ferrosan, που κατασκευάζεται από την εταιρία HILTI (Schaan, Λιχτενστάιν), εμφανίστηκε στην αγορά αρχές της δεκαετίας του '90 και στοχεύει στην απεικόνιση ράβδων χάλυβα στο σκυρόδεμα.

Όργανα συστήματος

Ο ανιχνευτής πολυαισθητήρων RS 10 (σχήμα, δεξιά) αποτελεί την καρδιά του συστήματος. Είναι μεγέθους 230x140x140 cm και βάρους 1 kg, και είναι σε θέση να ανιχνεύει πλάτος 15cm.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο όργανο ελέγχου RV 10 (σχήμα, αριστερά), μεγέθους 270x200x80 cm και βάρους 2,2 kg. Η οθόνη τεχνολογίας LCD λειτουργεί στα 320x240 pixels χρησιμοποιώντας 9 επίπεδα γκρι.

Το όργανο ελέγχου μπορεί να συνδεθεί με υπολογιστή μέσω μιας τυποποιημένης διεπαφής RS 232 και να κατεβάσει τα επίκτητα δεδομένα. Υπάρχει μέγιστο όριο 42 αρχείων ακατέργαστων στοιχείων που το κάθε αρχείο αντιστοιχεί με μια πλήρη απόκτηση. Το λογισμικό επεξεργασίας δεδομένων που τρέχει στο μικροεπεξεργαστή 16 μπιτ του οργάνου ελέγχου είναι επίσης διαθέσιμο σε υπολογιστή.



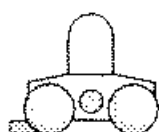
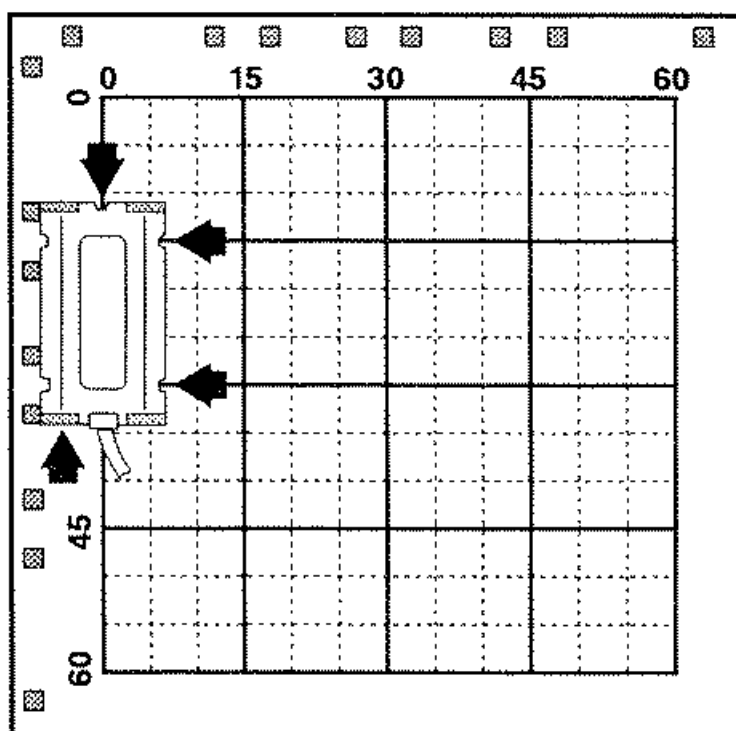
Φωτογραφία 6. Όργανο Ferrosan RV10 (αριστερά) και ανιχνευτής RS10 (δεξιά) (μήκος χάρακα: 30cm)

Το Ferroskan κάνει δυνατή μια πλήρη έρευνα των στοιχείων σκυροδέματος και μας δίνει πληροφορίες για το που να εφαρμόσουμε την μέθοδο πυρηνοληψίας, αποφεύγοντας έτσι την κοπή πυρήνων με ράβδους οπλισμού.

Ανιχνευτική διαδικασία

Η μέγιστη περιοχή που μπορεί να καλυφθεί και να αναλυθεί σε μια απλή εικόνα είναι 60x60 cm και πρέπει να διασχιστεί οριζόντια και κάθετα, για συνολικά οκτώ ανιχνεύσεις (τέσσερις σε κάθε κατεύθυνση, σχήμα παρακάτω). Μέχρι και 42 εικόνες μπορούν να αποθηκευτούν.

Το σύστημα αδυνατεί να εντοπίσει αντικείμενα τοποθετημένα παράλληλα στην κατεύθυνση ανίχνευσης. Πρέπει όμως να σημειωθεί πως το τελευταίο ισχύει αυστηρά μόνο για ράβδους μακρύτερους από τον ανιχνευτή, υπό την έννοια ότι οποιοδήποτε αντικείμενο μικρότερο από το μήκος ανίχνευσης θα παράγει τουλάχιστον ένα σήμα στην αρχή του και ένα στο τέλος του. Σημειώνεται επίσης ότι τα διαγώνια αντικείμενα εμφανίζονται με μειωμένη ευκρίνεια.



Σχήμα 2. Διαδικασία ανίχνευσης Ferroskan, μήκη σε cm

Η μέγιστη ταχύτητα ανίχνευσης είναι 0,5 m/s, η οποία είναι ικανοποιητική για φορητή λειτουργία αφού μια πλήρης ανίχνευση λαμβάνεται γρήγορα. Σημειώνεται ότι η περιοχή ενδιαφέροντος μπορεί να είναι μικρότερη εάν είναι απαραίτητο, αλλά μόνο τα τμήματα που περιέχουν και οριζόντια και κάθετα στοιχεία επιδεικνύονται και αναλύονται.

Η απόσταση μετρείται κατά μήκος της διαδρομής του καννάβου, χρησιμοποιώντας έναν οπτικό κωδικοποιητή, δεδομένου ότι η χρησιμοποιούμενη επιφάνεια είναι σχεδόν παντού επίπεδη. Δυο ρόδες τοποθετούνται σε κάθε άκρη του ανιχνευτή. Όταν κινούνται μαζί οι τέσσερις ρόδες εγγυούνται μετατοπίσεις όσο το δυνατόν παράλληλες κατά μήκος της κατεύθυνσης ανίχνευσης.

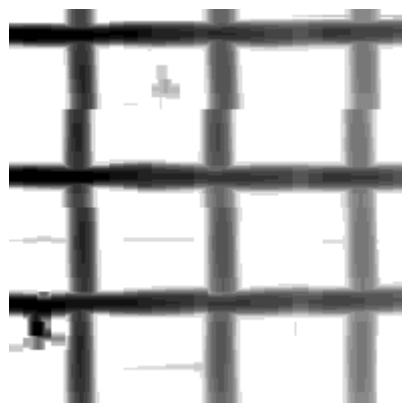
Τεχνικές λεπτομέρειες

Το σύστημα μετράει με προσέγγιση την οριζόντια κλίση, κατά μήκος της κατεύθυνσης ανίχνευσης, του κάθετου στοιχείου του προκληθέντος μαγνητικού πεδίου. Δεδομένου ότι ένα τέτοιο σύστημα στοχεύει πρώτιστα σε χαλύβδινα αντικείμενα, μπορεί να χτιστεί, σε γενικές γραμμές, είτε χρησιμοποιώντας έναν μόνιμο μαγνήτη είτε έναν ηλεκτρομαγνήτη όπως στους συμβατικούς ανιχνευτές μετάλλων. Οι αντίστοιχοι αισθητήρες περιλαμβάνουν πεδία δίσκων όπως οι μαγνητικά ελεγχόμενοι αντιστάτες, ή συμβατικότερες σπείρες χαλκού. Μια δισδιάστατη ρύθμιση των αισθητήρων είναι σε γενικές γραμμές δυνατή.

Επεξεργασία δεδομένων

Ο αισθητήρας είναι προφανώς το κεντρικό μέρος του συστήματος, αλλά η απλή επεξεργασία δεδομένων, η οποία συμβαίνει σε πραγματικό χρόνο, συμβάλλει επίσης στην απόδοση του συστήματος. Το λογισμικό μπορεί να εκτελέσει μια πιο λεπτομερή ανάλυση, εάν απαιτούνται ακριβέστερα αποτελέσματα.

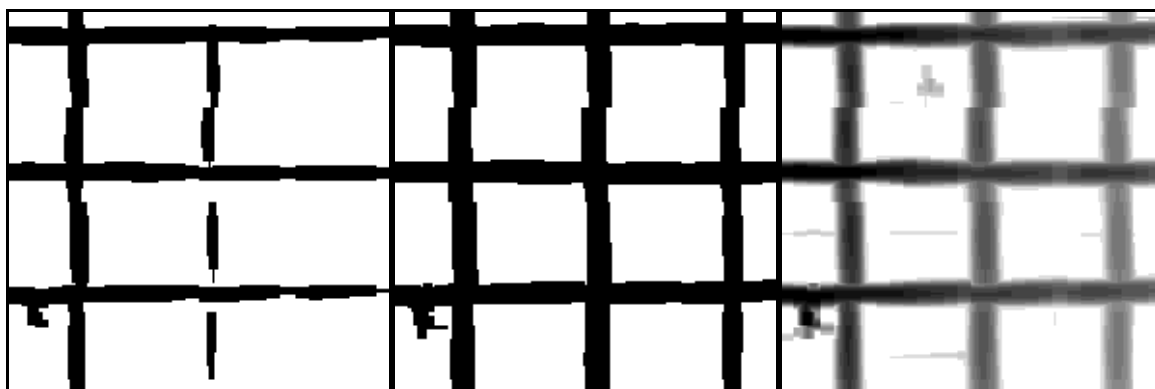
Η χρησιμοποίηση ενός διαφορικού αισθητήρα διευκολύνει τον εντοπισμό των ράβδων. Ο εντοπισμός συμβαίνει, παραδείγματος χάριν, με την ανίχνευση μηδέν διασταυρώσεων στα λαμβανόμενα σήματα, ή από την περαιτέρω διαφοροποίηση. Οι διάφορες καμπύλες σημάτων μπορούν έπειτα να χρησιμοποιηθούν για να παραγάγουν, από τις οριζόντιες και κάθετες ανιχνεύσεις, μια σύνθετη δισδιάστατη εικόνα (grey-scale) όπως το σχήμα στην επόμενη σελίδα.



Εικόνα Ferrosan 1. (60x60cm)

Οι εικόνες αυτές μπορούν έπειτα να υποβληθούν σε περαιτέρω επεξεργασία για διαφορετικά βάθη, όπως στο σχήμα πιο κάτω (πάντα αρχίζοντας από 0, π.χ. 0 20mm ή 0 35mm κ.λπ.), χρησιμοποιώντας ένα απλό μενού και τους διακόπτες δίπλα στην οθόνη. Οι εικόνες αυτές αποδίδονται μαυρόασπρα. Λόγω του ότι τα βήματα επεξεργασίας στηρίζονται στα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς των ράβδων, η οποία εξαρτάται πολύ περισσότερο από το βάθος τους και λιγότερο από το μέγεθός τους, θα ήταν δύσκολο να γενικευτούν σε άλλα μεταλλικά αντικείμενα.

Τα σήματα που παραλαμβάνονται με ανιχνευτές μετάλλων αλλοιώνονται με την απόσταση. Η παρουσίαση εικόνας ράβδων με μερικά γκριζα επίπεδα στα διαφορετικά βάθη απαιτεί, επομένως, κάποια μορφή μη γραμμικού μετασχηματισμού για να συντηρήσει τη δυναμική του συστήματος. Αυτό έχει επιπτώσεις στην απεικόνιση των αντικειμένων που μας ενδιαφέρουν, ειδικά όταν αυτά είναι απομονωμένα. Το φιλτράρισμα είναι επίσης απαραίτητο, ειδικά για τα αδύνατα σήματα.



Εικόνα Ferrosan 2. Επίδειξη αυξομείωσης βάθους (0.20mm, 0.35mm, 0.50mm, 0-max)

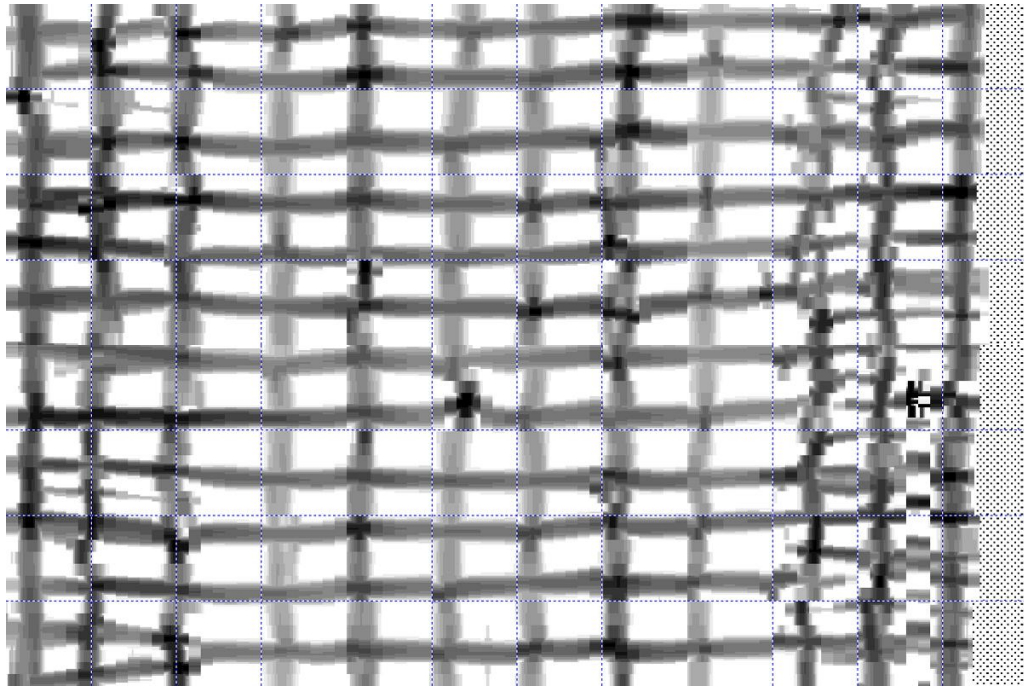
Ανάλυση στοιχείων

Ράβδοι διαμέτρου 6mm μπορούν να αποτυπωθούν για βάθος μέχρι και 130mm, και εκείνοι των 36mm, μέχρι και 180mm βάθος. Ένδειξη του βάθους και του μεγέθους τους δίνεται μόνο όταν είναι αξιόπιστη, το οποίο συμβαίνει για τις κάπως μικρότερες τιμές του βάθους. Η ευκρίνεια των αισθητήρων είναι τέτοια που για να διακρίνονται ξεχωριστά δύο ράβδοι πρέπει η απόστασή τους d να είναι μεγαλύτερη από το βάθος τους (επικάλυψη) T ($d/T > 1$).

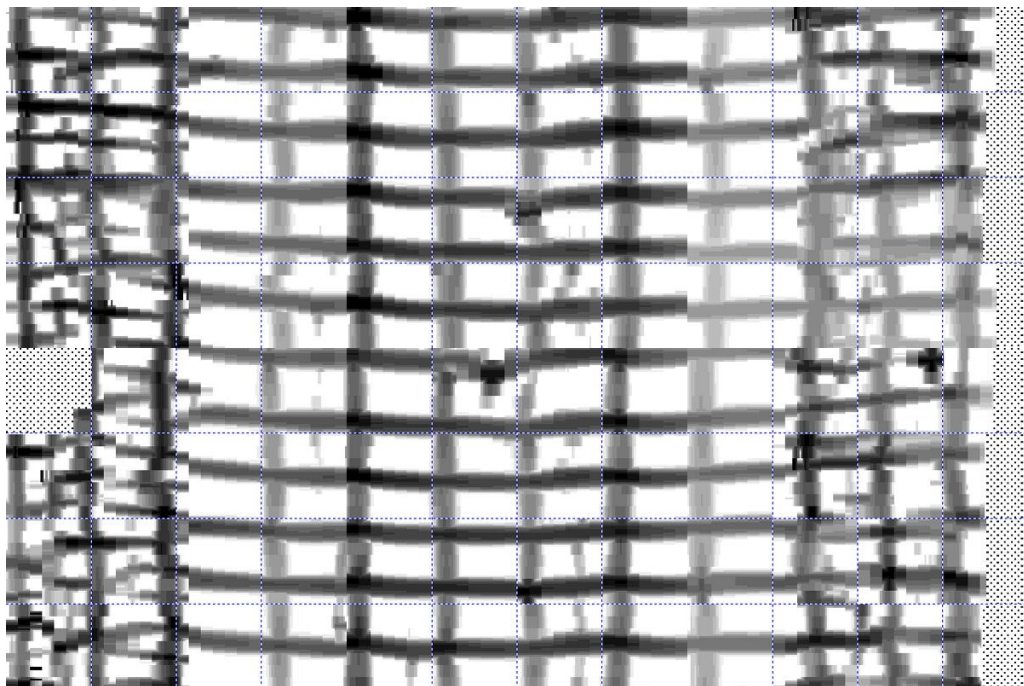
Σημειώνουμε ότι η επεξεργασία είναι συντονισμένη στα σιδηρομαγνητικά αντικείμενα. Μη σιδηρομαγνητικά π.χ. αλουμίνιο ή χαλκός, επίσης παράγουν σήματα, τα οποία δεν μπορούν εντούτοις να αξιολογηθούν. Οι αντίστοιχες εικόνες μοιάζουν κάπως όπως "τα αρνητικά" των αναμενόμενων. Αυτό συνήθως δεν είναι πρόβλημα δεδομένου ότι η ανάλυση τέτοιων αντικειμένων δεν είναι ο αρχικός στόχος του συστήματος, και ότι εμφανίζονται σπάνια στο πλαίσιο στο οποίο χρησιμοποιείται το Ferrosan.

Επίσης ότι το μαγνητικό πεδίο που προκαλείται στη ράβδο, ακτινοβολεί από τις άκρες του σε όλες τις κατευθύνσεις και ανιχνεύεται συχνά σε περισσότερους από έναν αισθητήρες, οι οποίοι καταστούν την τελική εικόνα πιο συγκεχυμένη.

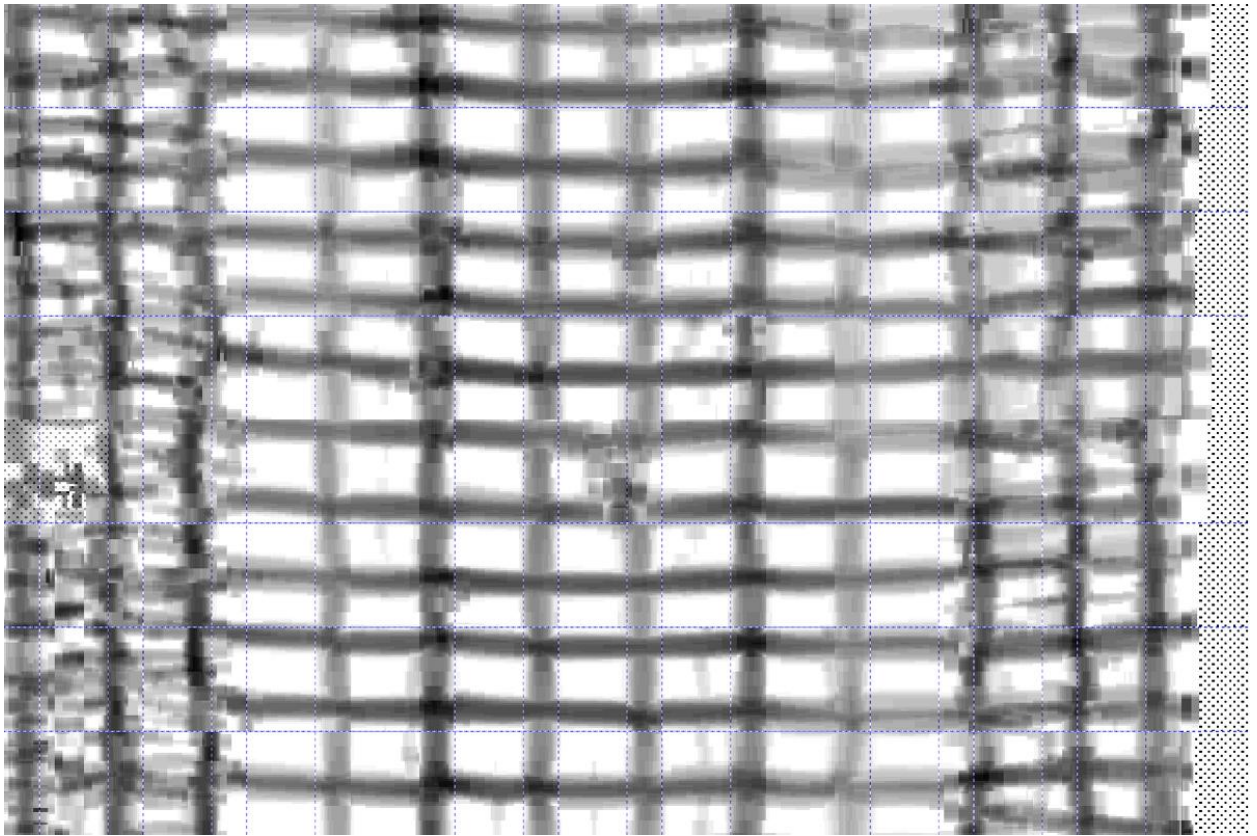
Η σάρωση του τοιχίου έγινε με τη βοήθεια κάρναβου διαστάσεων 60x60 εκατοστών. Τα αποτελέσματα της σάρωσης παρουσιάζονται στα πιο κάτω σχήματα για τις δύο πλευρές του τοιχίου. Η τρίτη εικόνα απεικονίζει τις δύο σχάρες του τοιχίου ενωμένες (η μια πίσω απ' την άλλη), μετά από ανάλυση των δεδομένων σε ειδικό πρόγραμμα υπολογιστή.



Εικόνα Ferrosan 3. Πλευρά Α'



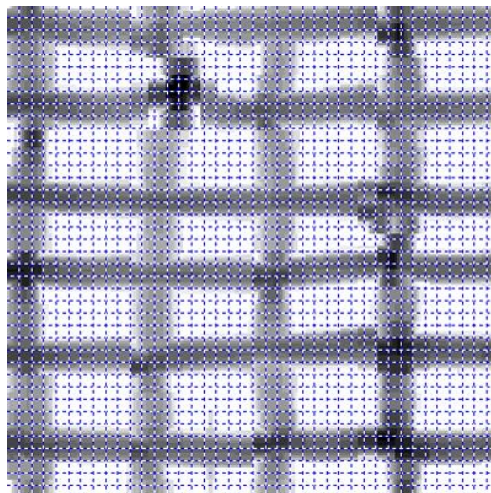
Εικόνα Ferrosan 4. Πλευρά Β'



Εικόνα Ferroscan 5. Ταύτιση Πλευράς Α΄ και Β΄

Πυκνό πλέγμα

Το πρόγραμμα υπολογιστή του HILTI Ferroscan παρέχει πολλές δυνατότητες για επεξεργασία των ακατέργαστων εικόνων που παίρνουμε από την σάρωση. Δίνει την δυνατότητα αλλαγής πλέγματος, δίνοντας έτσι την δυνατότητα στον χρήστη να χρησιμοποιήσει πολύ πυκνό πλέγμα όπως φαίνεται στην πιο κάτω εικόνα, στην οποία χρησιμοποιήθηκε πλέγμα ανά 15 χιλιοστά.



Εικόνα Ferroscan 6. Πυκνό πλέγμα εικόνας σάρωσης

Η συγκεκριμένη εικόνα αντιστοιχεί σε σάρωση της μεσαίας περιοχής του τοιχίου, όπου η διάμετρος των κατακόρυφων και οριζόντιων ράβδων είναι 10 χιλιοστά. Από την συγκεκριμένη εικόνα φαίνεται πως οι μετρούμενες διαμέτροι είναι πολύ μεγαλύτερες από τις πραγματικές, και αυτό γιατί το όργανο ανιχνεύει και τις ράβδους του πίσω πλέγματος με αποτέλεσμα να θολώνει κάπως την εικόνα.

Οριζόντια και κάθετα τμήματα

Το πρόγραμμα στηρίζει επίσης την λειτουργία οριζόντιων και κάθετων τμημάτων, που χρησιμοποιούνται για να δείξουν ένα οριζόντιο ή κάθετο κομμάτι στη συγκεκριμένη θέση της εικόνας που εμείς ορίζουμε. Το διάγραμμα που εμφανίζεται παρουσιάζει παραλλαγές στο καταγραμμένο σήμα πάνω στη γραμμή του τμήματος.

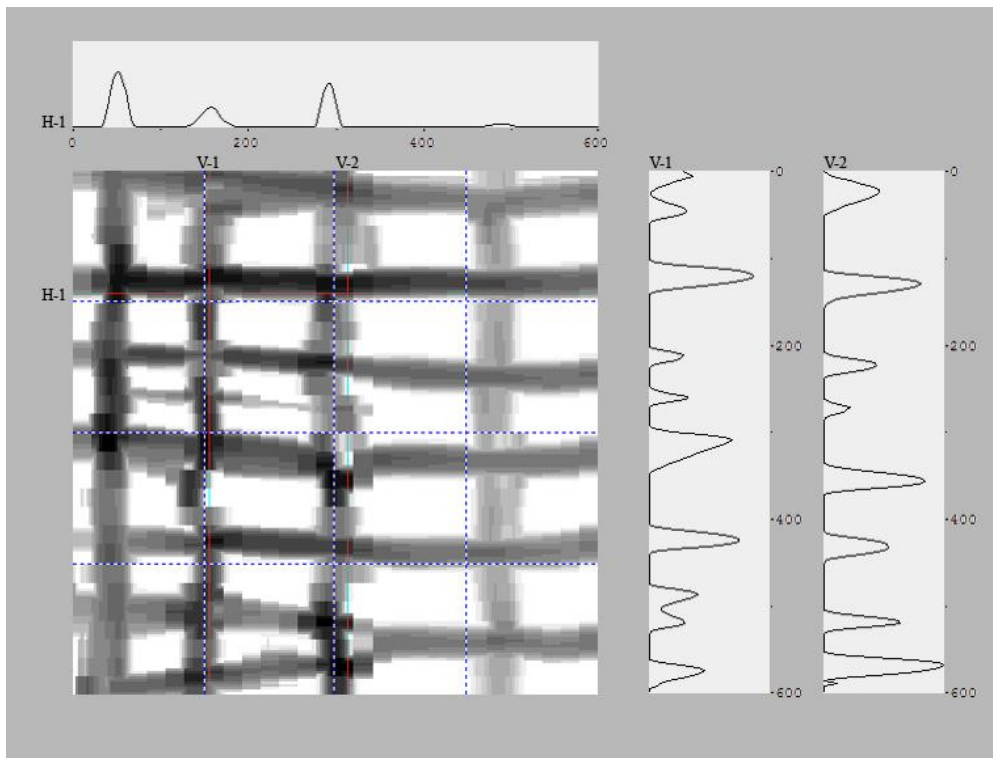
Ο ένας άξονας αντιπροσωπεύει την απόσταση από την αρχή της ανίχνευσης, ενώ ο άλλος άξονας αντιπροσωπεύει το εύρος σημάτων. Ψηλό εύρος εξυπακούει χαμηλό βάθος επικάλυψης.

Εντούτοις, δεν υπάρχει καμία άμεση γραμμική σχέση μεταξύ του εύρους και του βάθους της επικάλυψης. Με άλλα λόγια, δεν μπορεί να γίνει άμεση μέτρηση του βάθους της επικάλυψης χρησιμοποιώντας το εύρος της καμπύλης.

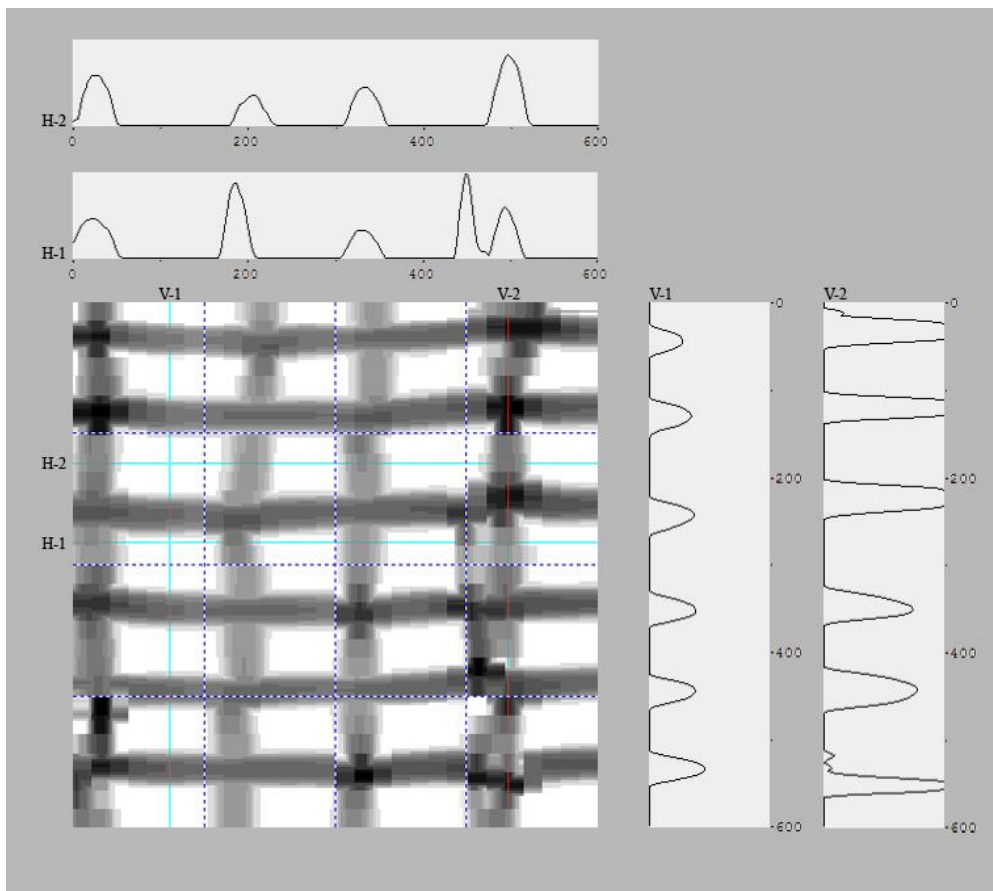
Από τις καμπύλες είναι εμφανές κατά πόσο η εικόνα παρουσιάζει μια μεμονωμένη ράβδο, μια γειτονική ή κάποιο άλλο σιδηρομαγνητικό αντικείμενο.

Αυτή η λειτουργία μπορεί να ενεργοποιηθεί με την επιλογή "οριζόντιο τμήμα" ή "κάθετο τμήμα" από το μενού "επιλογών" ή το αντίστοιχο κουμπί στη γραμμή επιλογής εργαλείων.

Το οριζόντιο ή κάθετο διάγραμμα τμημάτων εμφανίζεται δίπλα η κάτω από την εικόνα. Μια γραμμή εμφανίζεται στην αρχική εικόνα δείχνοντας τη θέση του τμήματος που επιδεικνύεται. Η γραμμή αυτή μπορεί να κινηθεί με σύρσιμο του ποντικιού έτσι ώστε να εμφανιστεί εικόνα άλλου τμήματος. Στις πιο κάτω εικόνες, με ειδική επεξεργασία δείχνουμε τα διαγράμματα που δίνει η γραμμή τοποθετημένη σε διάφορα οριζόντια και κάθετα σημεία για σάρωση που έγινε στην περιοχή της κρυφούποστύλωμας (Εικόνα Ferroskan 7) και σε μια μεσαία περιοχή του τοιχίου (Εικόνα Ferroskan 8).



Εικόνα Ferrosan 7. Σάρωση περιοχής κρυφούποστύλωμα με διαγράμματα



Εικόνα Ferrosan 8. Σάρωση περιοχής σάρωση μεσαίας περιοχής με διαγράμματα

Είναι απαραίτητο να σημειώσουμε πως το διάγραμμα τμημάτων παρουσιάζει τα δεδομένα μόνο από την ανίχνευση σε μια κατεύθυνση. Εντούτοις η εικόνα που επιδεικνύεται δημιουργείται με τα δεδομένα από τις ανιχνεύσεις που γίνονται και στις δύο κατευθύνσεις.

Η μορφή των καμπυλών στο διάγραμμα τμημάτων παρέχει μια τραχιά ένδειξη των χαρακτηριστικών της εικόνας:

Εάν οι καμπύλες δεν παρουσιάζουν καμία ξαφνική απόκλιση, μπορεί να θεωρηθεί ότι το αντικείμενο που ανιχνεύεται είναι μια κυλινδρική ράβδος χάλυβα σκυροδέματος.

Εντούτοις, εάν η καμπύλη παρουσιάζει ξαφνικές αποκλίσεις, τότε είναι πιθανό να βρίσκονται σε αυτό το σημείο της περιοχής σάρωσης άλλα μεταλλικά αντικείμενα ή το σήμα που καταγράφηκε από την ανίχνευση σε αυτήν την κατεύθυνση ήταν τόσο αδύνατο (πολύ βαθιές ή πολύ λεπτές ράβδοι) που καταγράφηκε με παρεμβολές.

Τα διαγράμματα τμημάτων μπορούν να δείξουν πότε δύο ράβδοι βρίσκονται η μια κοντά στην άλλη. Ράβδοι που βρίσκονται η μια κοντά στην άλλη ενδέχεται να παρουσιαστούν στην εικόνα σαν μια. Εάν δεν βρίσκονται πολύ κοντά η μια στην άλλη τότε μπορούν "να χωριστούν" με τη δημιουργία ενός διαγράμματος τμημάτων και με την αυξομείωση του βάθους.

View range

Άλλη μια λειτουργία του προγράμματος είναι το view range, το οποίο καθορίζει το βάθος σάρωσης από την επιφάνεια, το οποίο μπορεί να κυμανθεί από 0-130mm.

Μια γρήγορη επισκόπηση των θέσεων των ράβδων μπορεί να ληφθεί με τη ρύθμιση του view range, επιλέγοντας τα αντίστοιχα κουμπιά στη γραμμή εργαλείων.

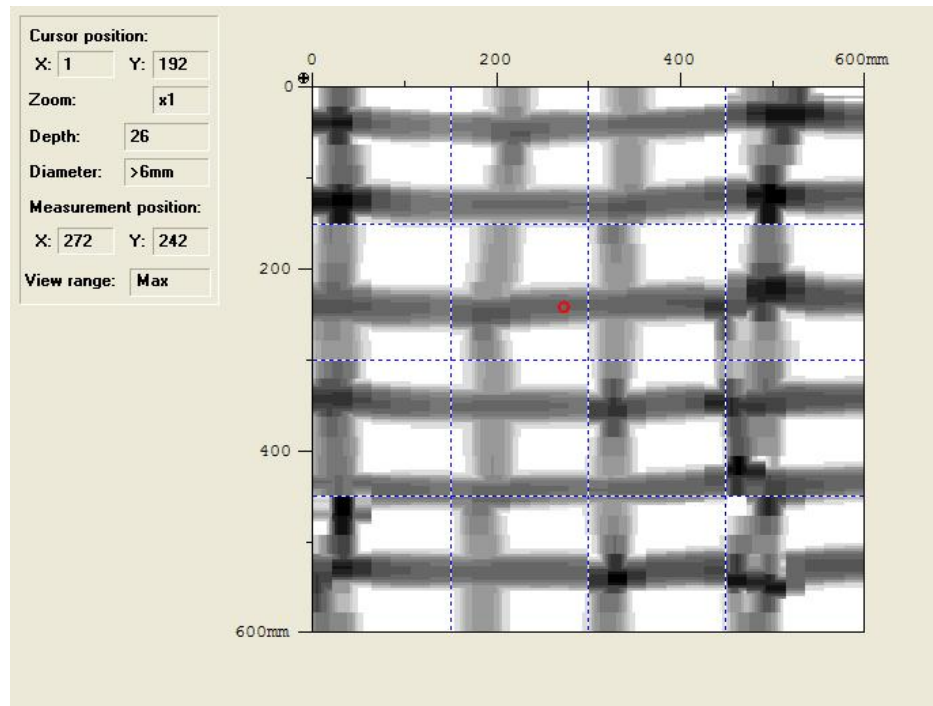
Οι ράβδοι που βρίσκονται μεταξύ της επιφάνειας και του ρυθμισμένου βάθους, παρουσιάζονται στην οθόνη μαύρες με άσπρο φόντο. Το view range set στα αριστερά της εικόνας. Αυτή η μέθοδος παρέχει μια γρήγορη επισκόπηση του βάθους επικάλυψης μεμονωμένων ράβδων.

Το View Range μπορεί να τεθεί βαθμιαία, αυξομειώνοντας το βάθος από το μενού "View" ή με τα κουμπιά στη γραμμή εργαλείων.

Αυτή η λειτουργία το καθιστά πιθανό να προσδιορίσει ράβδους που βρίσκονται σε διαφορετικά βάθη.

Καθορισμός βάθους επικάλυψης και διαμέτρου

Χτυπώντας μια ράβδο στην εικόνα, ένας μικρός άσπρος κύκλος εμφανίζεται έπειτα σε αυτό το σημείο. Αυτός ο μικρός κύκλος δείχνει ένα σημείο στο οποίο η διάμετρος ή το βάθος επικάλυψης μπορεί να καθοριστεί. Το βάθος επικάλυψης και, εάν είναι δυνατόν, η διάμετρος των ράβδων παρουσιάζονται σε πίνακα πληροφοριών.



Εικόνα Ferrosan 9. Πίνακας Πληροφοριών

Πρέπει να επισημανθεί ότι η διάμετρος δεν μπορεί να καθοριστεί σε όλες τις θέσεις (π.χ. κοντά στις άκρες) και δεν θα υποδειχθεί σε θέσεις όπου το λαμβανόμενο σήμα δεν ήταν σαφές (ράβδοι πολύ κοντά μεταξύ τους).

Η διάμετρος ή το βάθος επικάλυψης δεν μπορεί να καθοριστεί σε κάποια σημεία για διάφορους λόγους:

- Η θέση των ράβδων (βάθος) υπερβαίνει τη μέγιστη τιμή βάθους σάρωσης που προσφέρεται.
 - Υπάρχουν αντικείμενα άλλων μετάλλων ή με άλλες μαγνητικές ιδιότητες.
-

- Το σημείο μέτρησης είναι πολύ κοντά στην άκρη της σαρωμένης περιοχής και δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία.
 - Δύο ράβδοι είναι πάρα πολύ κοντά μεταξύ τους. Ο ασύμμετρος προσδιορισμός θέσης των ράβδων οδηγεί στην ανακριβή αξιολόγηση και δεν εμφανίζεται κάποια τιμή.
 - Οι ράβδοι έχουν ασυνήθιστη μορφή που δεν μπορεί να αξιολογηθεί από τον αλγόριθμο εργασίας.
 - Το σήμα είναι διαστρεβλωμένο λόγω της δόνησης που προκαλείται από την τραχιά επιφάνεια της κατασκευής ή άλλου είδους παρέμβαση. Ο αλγόριθμος παύει να λειτουργεί όταν υπάρχουν υπερβολικές παρεμβάσεις.
-

Κεφάλαιο 4

Radar

Το Radar SIR 2000 είναι ένας διεισδυτικός ραδιοανιχνευτής εδάφους (gpr = ground penetrating radar system), σύστημα που κατασκευάστηκε με σκοπό την κάλυψη αναγκών γεωλογικής έρευνας. Με τις κατάλληλες ρυθμίσεις είναι δυνατόν να εντοπίσει υπόγειους σωλήνες νερού, αθέατους όγκους υλικών εντός του εδάφους, αλλά και να προσδιορίσει πάχη εδαφικών στρώσεων. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε κυρίως σε στρατιωτικές εφαρμογές και αργότερα σε πολιτικές. Η χρήση του πλέον έχει επεκταθεί σε έργα Πολιτικού Μηχανικού και η εφαρμογή του είναι ευρεία σε κατασκευές από σκυρόδεμα (κτίρια, γέφυρες) αλλά και σε έργα οδοποιίας. Δεδομένου ότι είναι μέθοδος μη καταστρεπτική, ενδείκνυται για έλεγχο ήδη υπάρχουσών κατασκευών και των δομικών τους υλικών με σκοπό τον προσδιορισμό πάχους στρωμάτων, πλακών και στοιχείων (υποστυλώματα, δοκοί) καθώς και τον εντοπισμό εσωτερικών φθορών ή ύπαρξη ξένων υλικών.

Η ευελιξία του συστήματος δίνει την δυνατότητα να εφαρμόζεται στην πλειονότητα των συμπαγών υλικών δίνοντας πληροφορίες για το εσωτερικό τους. Εκτός από την ιδιαίτερα χρήσιμη και διαδεδομένη εφαρμογή του στην ανίχνευση οπλισμού στο σκυρόδεμα, τελευταία έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται και σε πλινθοδομές αλλά και σε λιθοδομές. Έχοντας το πλεονέκτημα του μικρού μεγέθους και βάρους του μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε περιπτώσεις που άλλες μέθοδοι είναι αδύνατο να εφαρμοστούν. Δίνει την δυνατότητα έρευνας οποιασδήποτε επιφάνειας ανεξάρτητα της κατάστασής της και του μεγέθους της, ενώ σε μικρό χρονικό διάστημα μπορεί να αποτυπώσει μεγάλες επιφάνειες.

Η λειτουργία του στηρίζεται στην μέθοδο των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η συσκευή εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς, οι οποίοι έχουν την ικανότητα να διαδίδονται εντός του υλικού. Όταν ο παλμός συναντήσει υλικό με διαφορετική διηλεκτρική σταθερά από το επιφανειακό, μέρος της ακτινοβολίας του ανακλάται και επιστρέφει στην συσκευή, όπου καταγράφεται και αναπαράγεται σε πραγματικό χρόνο. Αυτό δίνει την δυνατότητα της επιτόπου εκτίμησης της εσωτερικής κατάστασης του υλικού. Ο τρόπος που αναπαράγονται οι λαμβανόμενες πληροφορίες είναι τέτοιος που δίνει μια εικόνα τομής του υλικού στο σημείο που αποτυπώθηκε.

Τα συμπεράσματα για την κατάσταση του υλικού βγαίνουν εύκολα, αν οι ρυθμίσεις είναι κατάλληλες και δεν χρειάζονται περαιτέρω υπολογισμούς. Επίσης, υπάρχει και η δυνατότητα αναπαραγωγής υπό κλίμακα, δίνοντας έτσι πληροφορίες για ακριβή θέση ξένων υλικών ή φθορών και κάνοντας εύκολη την εκτίμηση πάχους στρώματος ή στοιχείου.

Αρχή λειτουργίας της μεθόδου

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η λειτουργία του Radar SIR2000, βασίζεται στις ιδιότητες του ηλεκτρομαγνητισμού. Θεωρείται σημαντικό, να αναπτύξουμε σε αυτό το σημείο δύο έννοιες που έχουν πολύ μεγάλη σημασία για την κατανόηση αυτής της λειτουργίας, δηλαδή τη διηλεκτρική σταθερά και την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Διηλεκτρική σταθερά είναι η δυνατότητα ενός υλικού να αποθηκεύει ένα ηλεκτρικό φορτίο όταν ένα ηλεκτρονικό πεδίο εφαρμόζεται σε αυτό. Σχετική διηλεκτρική σταθερά είναι η διηλεκτρική σταθερά των υλικών ως προς τον αέρα. Έχει ορισθεί η διηλεκτρική σταθερά του αέρα = 1 και του νερού = 81. Ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η ικανότητα ενός υλικού να προκαλεί ηλεκτρικό ρεύμα. Ελέγχει τη διαπεραστικότητα του σήματος.

Το Radar SIR2000 λειτουργεί ως πομπός και δέκτης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η συσκευή εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς συγκεκριμένης συχνότητας, οι οποίοι διεισδύουν στο έδαφος ή στο υλικό που εφαρμόζονται. Το βάθος διείσδυσης εξαρτάται από την συχνότητα του παλμού που επιβάλλεται καθώς και από την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους ή του υλικού. Όσο χαμηλότερη είναι η αγωγιμότητα του υλικού τόσο αυξάνεται η διαπερατότητα του σήματος, ενώ όσο μικρότερη είναι η συχνότητα του παλμού σε τόσο μεγαλύτερο βάθος διεισδύει το σήμα. Έτσι ανάλογα με το προς έρευνα υλικό επιλέγεται και η κατάλληλη συχνότητα, άρα και η κατάλληλη κεραία εκπομπής του σήματος προκειμένου να ληφθούν στοιχεία για το ζητούμενο βάθος.

Το ηλεκτρομαγνητικό σήμα έχει την ιδιότητα να ανακλά μέρος της ακτινοβολίας του όταν συναντά διεπιφάνεια υλικών που έχουν διαφορετική διηλεκτρική σταθερά. Η υπόλοιπη ακτινοβολία συνεχίζει σε βάθος, ενώ η ανακλώμενη ακτινοβολία επιστρέφει στην συσκευή όπου καταγράφεται και παρουσιάζεται στην οθόνη του συστήματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά της διηλεκτρικής σταθεράς των υλικών, τόσο μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας θα ανακλαστεί και άρα τόσο πιο έντονο θα είναι

και το σήμα που θα επιστρέψει στο σύστημα. Στην οθόνη, τα ανακλώμενα σήματα έχουν την ιδιότητα να παρουσιάζονται έτσι ώστε να είναι εμφανείς οι διαφορές της έντασής τους.

Ο παρακάτω τύπος δίνει τον συντελεστή αντανάκλασης r του σήματος σε σχέση με τις διηλεκτρικές σταθερές των υλικών της διεπιφάνειας στην οποία προσπίπτει το σήμα:

$$r = \frac{\sqrt{E_i} - \sqrt{E_{ii}}}{\sqrt{E_i} + \sqrt{E_{ii}}}$$

Όπου E_i, E_{ii} = διηλεκτρικές σταθερές των δύο υλικών
 r = συντελεστής αντανάκλασης (είναι $-1 < r < 1$)

Όσο πιο κοντά είναι η τιμή του r στα -1 και 1 τόσο πιο έντονο θα είναι το σήμα της αντανάκλασης που θα επιστρέψει στην αντένα. Πιο συγκεκριμένα ορίζεται:

Για $r = 0$ έως $\pm 0,2$ αδύνατο, ασθενές

$\pm 0,2$ έως $\pm 0,35$ μέτριο

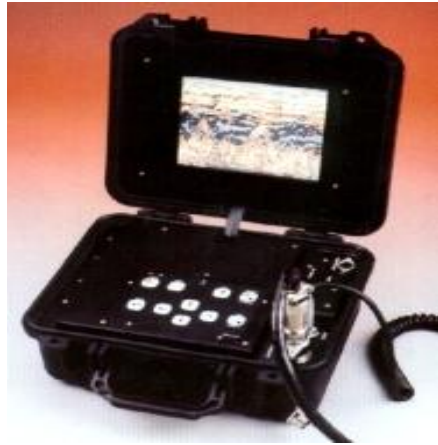
$\pm 0,35$ έως ± 1 δυνατό

Η συσκευή, εκτός της εντάσεως του σήματος, παρέχει πληροφορίες που αφορούν το χρόνο διαδρομής και την απόσβεση. Το βάθος εδάφους ή το πάχος υλικού παρουσιάζεται σε αμφίδρομο χρόνο διαδρομής (two way travel time) και μετράται σε μονάδες μέτρησης χρόνου (ns). Βάσει του χρόνου διαδρομής και της διαπερατότητας του κάθε υλικού, μπορεί να υπολογιστεί το βάθος σε μονάδες μέτρησης μήκους. Σημειώνεται ότι το ηλεκτρομαγνητικό σήμα του Radar SIR2000 δεν μπορεί να διεισδύσει ούτε να διαπεράσει μεταλλικές επιφάνειες, όμως τις εμφανίζει στην οθόνη με συγκεκριμένο τρόπο, έτσι ώστε να είναι αναγνωρίσιμες.

Περιγραφή του SIR2000

Το Radar SIR2000 είναι ένα ελαφρύ, φορητό, μονοδίαυλο σύστημα που αποτελείται από δύο συσκευές: i) την κεντρική μονάδα και ii) την κεραία. Η κεντρική μονάδα λειτουργεί σαν “ σκανδάλη παλμού ” (trigger pulse) του ηλεκτρομαγνητικού σήματος, το οποίο στέλνει στην κεραία. Αυτή με την σειρά της είναι πομπός και δέκτης του σήματος, αφού στέλνει τους παλμούς στο υπό έλεγχο υλικό ή έδαφος, λαμβάνει τους ανακλώμενους παλμούς και τους επαναφέρει στην κεντρική μονάδα προς επεξεργασία.

Κεντρική μονάδα



Εικόνα 6. Κεντρική μονάδα του SIR 2000

Είναι κατασκευασμένη σε μορφή βαλίτσας 6 κιλών και διαστάσεων 35×30×16 εκατοστών. Τροφοδοτείται με ρεύμα μέσω ηλεκτρονικού δικτύου (110/220 Volt), ή μπαταρίας αυτοκινήτου (με τον κατάλληλο μετασχηματιστή) ή επαναφορτιζόμενης μπαταρίας (12V, 18Ah). Η αυτονομία της μπαταρίας ανάλογα την χρήση και την θερμοκρασία κυμαίνεται στις 4±0.5 ώρες.

Περιέχει:

- σκληρό δίσκο χωρητικότητας 1,3GB
- VGA οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD), 21 εκατοστών με ανάλυση 640×480 pixels
- ενσωματωμένο πληκτρολόγιο 10 πλήκτρων
- παράλληλη θύρα εισαγωγής - εξαγωγής δεδομένων
- σειριακή θύρα εισαγωγής – εξαγωγής δεδομένων
- θύρα σύνδεσης με την κεραία

Κεραίες

Οι κεραίες (antennas) διακρίνονται ανάλογα με την συχνότητα σήματος που εκπέμπουν. Υπάρχουν κεραίες των 16, 20, 35, 70, 80, 100, 200, 300, 400, 500, 900, 1000, 1500 και 2500 MHz.

Η κεραία είναι ο πομπός και ο δέκτης ηλεκτρομαγνητικών σημάτων. Για μεγάλα βάθη και όχι πολύ μεγάλη ευκρίνεια, χρησιμοποιούνται κεραίες με μικρή συχνότητα

σήματος, ενώ για μικρότερα βάθη και μεγαλύτερη ευκρίνεια αποτελεσμάτων, προτιμώνται κεραιές μεγαλύτερης συχνότητας. Η επιλογή των κεραιών γίνεται και σε σχέση με το επιφανειακό υλικό και τον όγκο των ερευνούμενων εσωτερικών στόχων. Ο ηλεκτρομαγνητικός παλμός που εκπέμπει η κεραία είναι κωνικής ελλειψοειδούς μορφής και έχει περιεχόμενη γωνία 90° κατά την διεύθυνση κίνηση και 60° κατά την κάθετη στην κίνηση διεύθυνση.

Στο εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος του ΕΜΠ υπάρχουν οι:

- 3101D των 900 MHz. Διαστάσεων $8 \times 18 \times 33$ εκατοστών και βάρους 2,3 κιλών. Είναι κατάλληλη για βάθη έως ένα μέτρο.
- 5100 των 1500 MHz. Διαστάσεων $3.8 \times 10 \times 16.5$ εκατοστών και βάρους 1,8 κιλών. Είναι κατάλληλη για βάθη έως 50 εκατοστά, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Στο τοιχίο χρησιμοποιήθηκε η antenna 5100.



Εικόνα 7. Antennas 3101 D και 5100 του συστήματος

Επίσης υπάρχουν δυνατότητες:

- Χρήσης ασπρόμαυρου εκτυπωτή, ο οποίος μπορεί να τυπώνει αρχεία σε πραγματικό χρόνο (τη στιγμή λήψης δεδομένων) ή σε ήδη αποθηκευμένα αρχεία
- Χρήσης κοινού ηλεκτρολογίου ηλεκτρονικού υπολογιστή που μπορεί να συνδεθεί απ' ευθείας με την κεντρική μονάδα.

Λειτουργία του συστήματος

Η λειτουργία του συστήματος υποδιαιρείται σε 4 φάσεις:

- Collect setup
 - Collect date
 - Playback setup
-

- Playback data

Οι φάσεις αυτές είναι ακόλουθες η μια της άλλης. Όταν η συσκευή μπαίνει σε λειτουργία το σύστημα ανοίγει στο collect setup. Ανοίγει μάλιστα ένας πίνακας που περιέχει όλα τα ήδη αποθηκευμένα setups από τα οποία ο χρήστης επιλέγει με ποιο θα εργαστεί. Η επιλογή αυτή δεν είναι δεσμευτική. Όποιο από τα setup και να ανοιχτεί, οι δυνατότητες είναι οι ίδιες. Η συσκευή έχει αποθηκευμένα κάποια setup από κατασκευής τα οποία σχετίζονται με την antenna που θα χρησιμοποιηθεί. Εκτός αυτών υπάρχουν και άλλα 57 setups που μπορεί να διαχειριστεί ο χρήστης.

Αφού γίνουν όλες οι ρυθμίσεις των παραμέτρων στο collect setup, η συσκευή είναι έτοιμη για την συλλογή στοιχείων (collect data). Αφού ενεργοποιηθεί, δοκιμάζουμε την antenna στην περιοχή ενδιαφέροντος βλέποντας συγχρόνως στην οθόνη τα στοιχεία που συλλέγει σε πραγματικό χρόνο. Εκεί πρέπει να δοθεί προσοχή στις λειτουργίες output που παρέχονται και αφορούν την αποθήκευση του αρχείου στο σκληρό ή την μεταφορά του σε υπολογιστή ή εκτυπωτή σε πραγματικό χρόνο. Κατά την διάρκεια του collect data υπάρχει η δυνατότητα παγώματος της οθόνης και οπτικής επεξεργασίας του αποτελέσματος.

Όταν τελειώσει η σάρωση της επιφάνειας μελέτης το σύστημα περνάει στη φάση playback setup. Τα στοιχεία που έχουν ληφθεί, δεν μπορούν πλέον να αλλάξουν. Εδώ γίνεται ρύθμιση με παρόμοιες παραμέτρους με το collect setup του τελικού αποτελέσματος. Οι ρυθμίσεις δεν αφορούν την συλλογή στοιχείων, αλλά την αναπαραγωγή τους. Γίνονται ουσιαστικά παρεμβάσεις για το καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα του αρχείου που έχει καταγραφεί, αναλόγως του ζητούμενου (πάχους υλικού, συγκεκριμένος εσωτερικός στόχος, κ.α.).

Τέλος το σύστημα περνά στο playback data, που είναι το τελικό αποτέλεσμα. Κατά την αναπαραγωγή του ο χρήστης μπορεί να παγώσει την εικόνα προκειμένου να πάρει αναλυτικές μετρήσεις συγκεκριμένων στόχων ή πάχους υλικού. Σε αυτή τη φάση το αρχείο είναι ολοκληρωμένο και μπορεί να μεταφερθεί σε υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία.

Κατά τις φάσεις collect setup και playback setup στην οθόνη εμφανίζονται τα εξής:

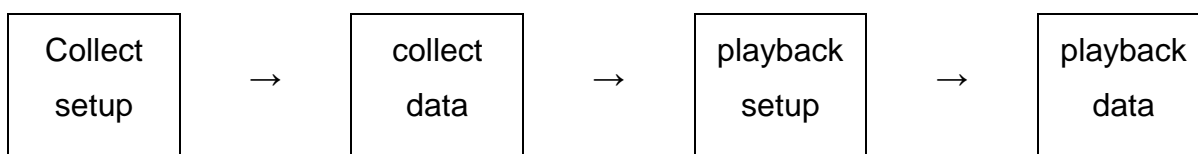
- στο κέντρο, το αρχείο που καταγράφεται ή αναπαράγεται
-

- στο κάτω μέρος, το μενού εντολών και παραμέτρων, καθώς και άλλες πληροφορίες όπως η ώρα, η ημερομηνία, ο αριθμός αρχείου και ενδείξεις λειτουργίας του σκληρού δίσκου και μεταφοράς του αρχείου
- στο δεξιό μέρος φαίνεται ένας παλμογράφος, στο πάνω μέρος του οποίου υπάρχει μια μπάρα χρωμάτων

Ο παλμογράφος είναι μια γραφική παράσταση με κάθετο άξονα το βάθος πεδίου σε χρόνο ή σε μήκος (επιλέγεται). Οριζόντιος άξονας είναι η ένταση (με θετικές και αρνητικές τιμές) του ανακλώμενου σήματος. Όσο σύρεται η antenna ο παλμογράφος καταγράφει νέες γραφικές παραστάσεις. Τα διαγράμματα που δημιουργούνται, είναι ίσα με τον αριθμός σαρώσεων που έχουν γίνει κατά την διάρκεια της συλλογής στοιχείων.

Αναλόγως της έκτασης της έντασης του ανακλώμενου σήματος και την αντιστοιχία της στην μπάρα χρωμάτων, το κάθε σημείο του πεδίου βάθους παίρνει κάποιο χρώμα. Αυτό απεικονίζεται στο αρχείο στο κέντρο της οθόνης. Κάθε σάρωση δηλαδή της antenna είναι μια κάθετη έγχρωμη γραμμή του αρχείου.

Κατά τις φάσεις collect data και playback data, στην οθόνη εμφανίζεται σε μεγέθυνση, μόνο το αρχείο. Για να εμφανιστεί το μενού εντολών, πρέπει το αρχείο να παγώσει (standby). Σε αυτές τις φάσεις δεν παρέχονται άλλες πληροφορίες. Το μόνο που φαίνεται στην οθόνη είναι ο αριθμός του αρχείου και των σαρώσεων.



Σχήμα 3. Σχηματική απεικόνιση των φάσεων λειτουργίας του συστήματος

Λειτουργίες των πλήκτρων του συστήματος και αντιστοιχία τους με πληκτρολόγιο ηλεκτρονικού υπολογιστή

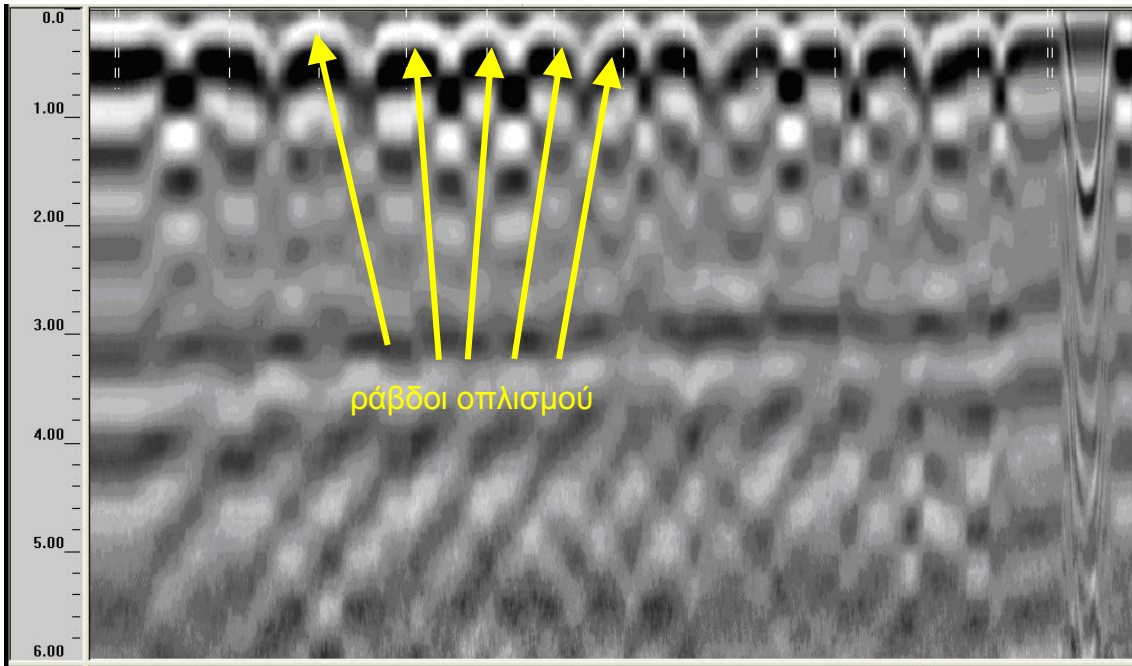
- Πλήκτρο ενεργοποίησης (power key)→ Θέτει σε λειτουργία και εκτός λειτουργίας τη συσκευή
 - Πλήκτρο εκκίνησης/αναμονής (run/standby key ή F8)→ όταν η συσκευή βρίσκεται στη φάση collect setup το πλήκτρο αυτό ξεκινά το collect data. Όσο το σύστημα συλλέγει στοιχεία, πιέζοντάς το, παγώνουμε την καταγραφή αρχείου στην οθόνη. Επίσης, κατά τη διάρκεια που συλλέγει στοιχεία, πιέζοντας το και κρατώντας
-

το πατημένο για δύο δευτερόλεπτα, θα σταματήσει η συλλογή στοιχείων και θα κλείσει το αρχείο. Όταν βρισκόμαστε στο playback mode, πιέζοντάς το, θα αρχίσει η αναπαραγωγή των επιλεγθέντων αρχείων. Ξαναπατώντας το έχουμε παύση της αναπαραγωγής. Όταν θέλουμε να συνεχίσουμε, απλά το πιέζουμε ξανά.

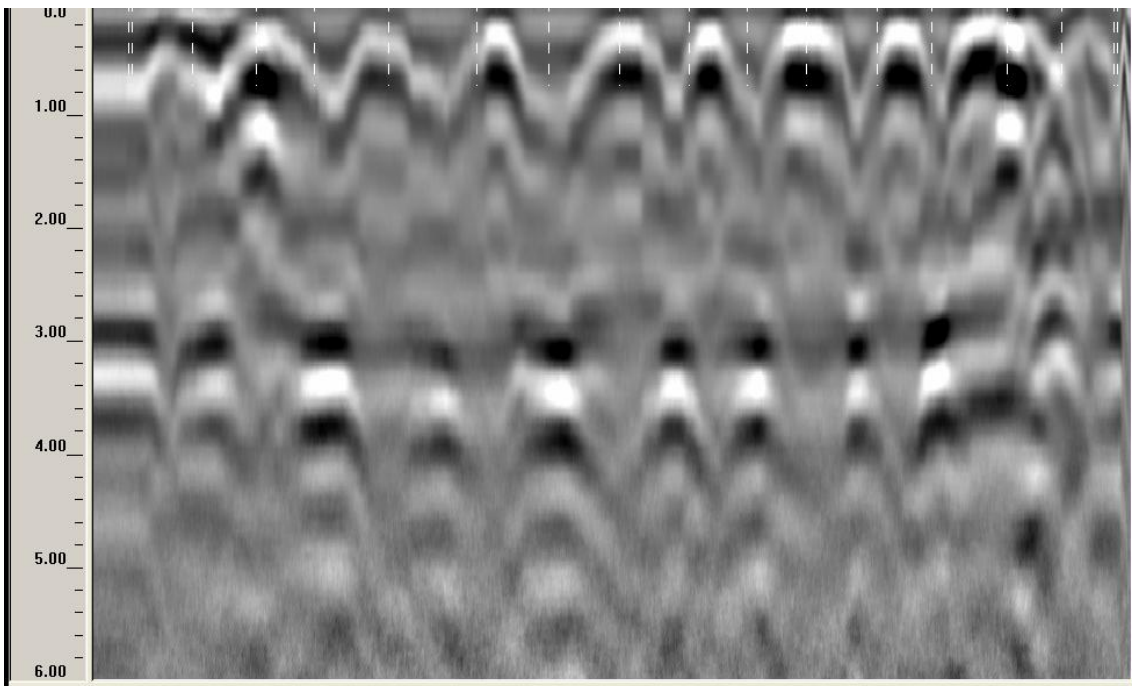
- Πλήκτρο συλλογής/αναπαραγωγής (collect/playback key ή F1)→ το πλήκτρο αυτό χρησιμοποιείται για μεταφορά μεταξύ των collect setup mode και την οθόνη ρύθμισης παραμέτρων.
- Πλήκτρο βοήθειας (help key ή F5)→ το πλήκτρο αυτό χρησιμοποιείται για να δίνει πληροφορίες για λειτουργίες και εντολές του συστήματος. Επιλέγοντας οποιαδήποτε εντολή του μενού και πιέζοντας το help key, στην οθόνη αναγράφονται οδηγίες και βοήθεια για αυτή την εντολή. Πιέζοντας help key και μετά enter στην οθόνη εμφανίζονται γενικές οδηγίες.
- Πλήκτρο εκτύπωσης (print key ή F3)→ το πλήκτρο αυτό χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την εντολή Select Block για να τυπώσει στιγμιότυπα στοιχείων.
- Πλήκτρο εισαγωγής (enter key)→ στο πληκτρολόγιο υπολογιστή χρησιμοποιείται το ίδιο και χρησιμεύει εκτός από επιβεβαίωση εντολών και στην μετακίνηση μεταξύ των στηλών των μενού.
- Πλήκτρο βελών (arrow diamond)→ στο πληκτρολόγιο υπολογιστή χρησιμοποιούνται τα βελάκια και χρησιμεύουν στην μετακίνηση μέσα στα μενού καθώς επίσης και στην κύλιση κατά την διάρκεια αναπαραγωγής ή καταγραφής αρχείων στην οθόνη. Επίσης, μετακινούν τον νηματόσταυρο που εμφανίζεται στην οθόνη στην εντολή cursor κατά τα collect και playback data.

Στο τοιχίο εφαρμόζοντας τη μέθοδο του Radar, και αφού περάσαμε τα αρχεία στον υπολογιστή, συνειδητοποιήσαμε πως οι εικόνες που παίρνουμε είναι συγκεχυμένες λόγω του πολύ πυκνού σπλισμού. Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά τρεις εικόνες, μια από κατακόρυφη σάρωση σε περιοχή κρυφούποστύλωμα, μια από κατακόρυφη σάρωση σε μεσαία περιοχή του τοιχίου και μια από οριζόντια σάρωση. Όπως φαίνεται και στην εικόνα τα σίδερα που κατέγραψε το Radar, είναι πολύ πυκνά με αποτέλεσμα να μην παίρνουμε σαφείς πληροφορίες απ' τις οποίες να μπορούν να βγουν συμπεράσματα για τις θέσεις των ράβδων και τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά. Ειδικά από την περιοχή της κρυφούποστύλωμα, στις εικόνες που

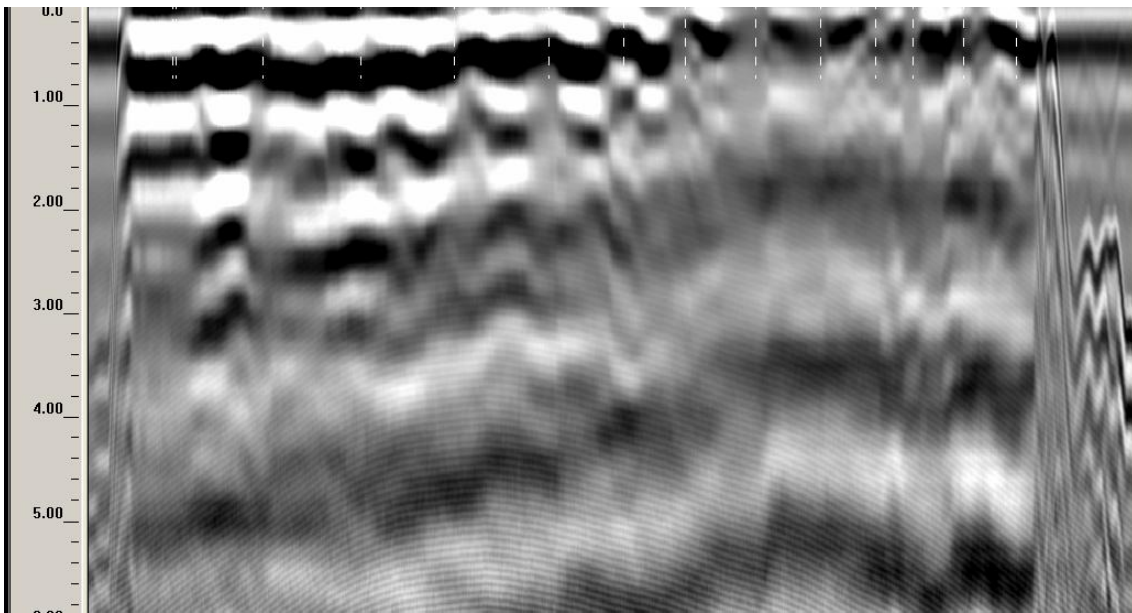
έδωσε η σάρωση, ήταν αδύνατο να εξαχθούν στοιχεία για τις ράβδους. Σε γενικές γραμμές η χρήση του συγκεκριμένου οργάνου σε περιπτώσεις όπου ο οπλισμός είναι πυκνός και το πλάτος της κατασκευής μικρό, όπως δηλαδή στη περίπτωση του τοιχίου που εξετάσαμε, δεν δίνει σαφείς ενδείξεις για τα χαρακτηριστικά του οπλισμού.



Εικόνα Radar 1. Κατακόρυφη σάρωση σε μεσαία περιοχή



Εικόνα Radar 2. Οριζόντια σάρωση



Εικόνα Radar 3. Κατακόρυφη σάρωση σε κρυφούποστύλωμα

Κεφάλαιο 5

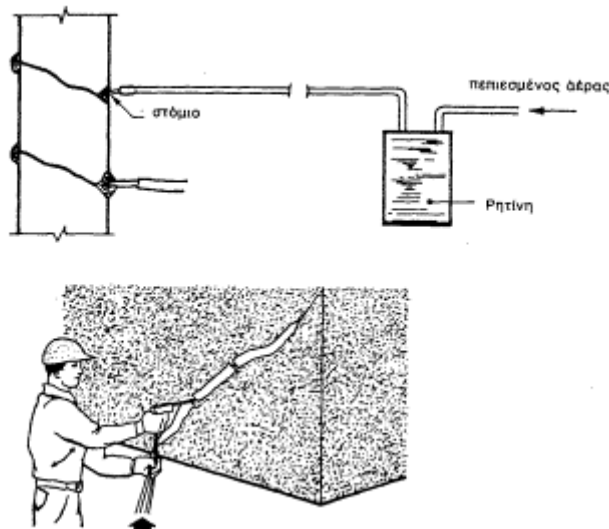
ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ

Γενικά υπάρχουν πολλοί τρόποι επισκευών που θα μπορούσαμε να εφαρμόσουμε, άλλους με μεγαλύτερο κόστος και άλλους διαθέτοντας περισσότερο χρόνο.

Επισκευή με εποξειδικές ρητίνες, εποξειδικά κονιάματα και εποξειδικά σκυροδέματα.

Η χρήση εποξειδικών ρητινών για τις επισκευές βλαβών προϋποθέτει την εκλογή της κατάλληλης ρητίνης και σκληρυντού όπως επίσης και τη σχολαστική τήρηση των αναλογιών του μίγματος για το συγκεκριμένο στοιχείο στο οποίο θα εφαρμοστεί.

Οι εποξειδικές ρητίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε αυτούσιες σε ρευστή κατάσταση, είτε σαν εποξειδικό κονίαμα με αναλογία βάρους άμμου 1:1 ως 1:7, είτε σαν εποξειδικό σκυρόδεμα.



Σχήμα 4. Ένεση με εποξειδική ρητίνη

Ο τύπος της εποξειδικής ρητίνης και η μορφή με την οποία θα χρησιμοποιηθεί θα αναφέρονται στην έκθεση επισκευής των βλαβών για το συγκεκριμένο έργο.

Οι εποξειδικές ρητίνες αυτούσιες στη ρευστή τους κατάσταση θα χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση ρωγμών πλάτους από 0,1 mm ως 3 mm σε άοπλο και σε οπλισμένο σκυρόδεμα.

Ακόμα εποξειδικές ρητίνες θα χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση νέου σκυροδέματος σε παλαιό και για τη συγκόλληση οπλισμού ή μεταλλικών ενισχύσεων σε στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Σε κάθε περίπτωση χρησιμοποίησης της εποξειδικής ρητίνης χρειάζεται επιμελημένος καθαρισμός της επιφάνειας και προσεκτική εκτέλεση της εργασίας.

Εφόσον πρόκειται για τη συγκόλληση ρωγμών με εποξειδική ρητίνη η εργασία θα γίνεται με ενέσεις. Η εργασία πρέπει να ακολουθεί της εξής σειρά:

- Καθαρισμός των ρωγμών με χρήση κενού ή πεπιεσμένου αέρα.
- Τοποθέτηση καρφιών, σωληνίσκων μικρής διαμέτρου ή κοχλιωτών ακροφυσίων σε ορισμένες θέσεις πάνω στη ρωγμή (ανάλογα με την τεχνική που θα εφαρμοστεί) που θα χρησιμοποιηθούν σαν σημεία ενέσεως της ρητίνης. Επιλέγονται αποστάσεις περίπου ίσες με το πάχος του στοιχείου.
- Κάλυψη του συνόλου των ρωγμών και σε όλες τις πλευρές με ρητίνη ταχείας σκλήρυνσης για επιφανειακή σφράγιση.
- Ένεση με εποξειδική ρητίνη. Η ένεση πρέπει να αρχίζει από το κατώτερο σημείο και να συνεχίζεται μέχρις ότου υπερχειλίσει η ρητίνη από το ανωτέρω σημείο.
- Τα σημεία ενέσεως και υπερχειλίσεως της ρητίνης σφραγίζονται με κατάλληλο τρόπο (ανάλογα με τη τεχνική που θα εφαρμοστεί).
- Η ρητίνη ταχείας σκλήρυνσης που χρησιμοποιήθηκε για την επιφανειακή σφράγιση των ρωγμών θα απομακρύνεται μετά από 24 ώρες.

Για την εκτέλεση της εργασίας αυτής χρειάζεται εξειδικευμένο προσωπικό καθώς και οι απαραίτητες και κατάλληλες συσκευές, τόσο για τον καθορισμό των ρωγμών, όσο και για την εκτέλεση των ενέσεων.

Εφόσον πρόκειται για τη συγκόλληση νέου τσιμεντοκονιάματος ή σκυροδέματος σε παλαιό σκυρόδεμα θα ακολουθείται η εξής τεχνική:

- Επιμελημένος καθαρισμός της επιφάνειας του παλαιού σκυροδέματος και ξήρανση.
 - Επάλειψη της ξηρής επιφάνειας με εποξειδική ρητίνη.
 - Διάστρωση του νωπού σκυροδέματος πριν αρχίσει η σκλήρυνση της ρητίνης.
-

Εφόσον πρόκειται για τη συγκόλληση οπλισμού ή μεταλλικών ενισχύσεων σε οπλισμένο σκυρόδεμα με εποξειδική ρητίνη πρέπει να ακολουθείται η εξής τεχνική:

α. Τοποθέτηση ράβδων σαν ενίσχυση επιφάνειας.

- Δημιουργία αυλάκων στο σκυρόδεμα βάθους 3 έως 5 cm και πλάτους 3 έως 4 φορές τη διάμετρο της ράβδου.
- Καθαρισμός της επιφάνειας των αυλάκων.
- Επάλειψη των αυλάκων ελαφρά με εποξειδική ρητίνη.
- Επάλειψη των σιδηρών ράβδων με εποξειδική ρητίνη και τοποθέτηση στους αύλακες.
- Πλήρωση των αυλάκων με εποξειδικό κονίαμα.

β. Τοποθέτηση μεταλλικών πλακών σαν εξωτερική ενίσχυση.

Γενικά οι εργασίες με εποξειδική ρητίνη απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό, που πρέπει να γνωρίζει και να τηρεί τα μέτρα ασφαλείας.

Τα εποξειδικά κονιάματα χρησιμοποιούνται για τη συγκόλληση ρωγμών όταν αυτές έχουν πλάτος μεγαλύτερο των 3 mm.

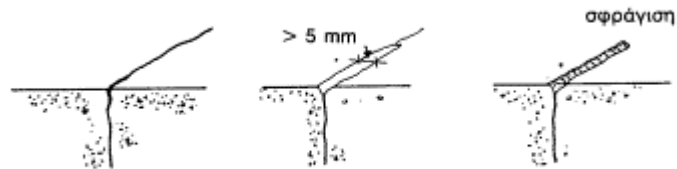
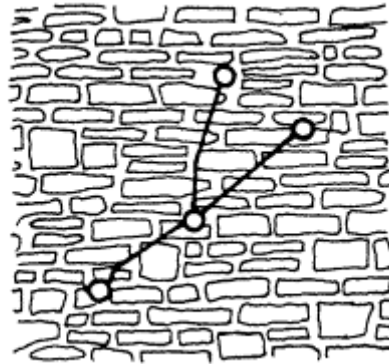
Κατά την εφαρμογή των εποξειδικών κονιαμάτων και εποξειδικών σκυροδεμάτων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο μέγιστος χρόνος για τη χρησιμοποίηση μετά την ανάμειξη (χρόνος εφαρμογής - pot life).

Επισκευές με τσιμεντενέσεις ή με τσιμεντοκονιάματα

Τσιμεντενέσεις:

Η μέθοδος εφαρμόζεται για επισκευές ρωγμών ανοίγματος ολίγων χιλιοστών σε φέρουσες τοιχοποιίες από λιθοδομές μεγάλου πάχους.

Για το τσιμεντένεμα πρέπει να χρησιμοποιείται αναμικτήρας υψηλού στροβιλώδους ώστε για την ίδια ρευστότητα να μειώνεται η ανάγκη σε νερό.



Τα στάδια επισκευής με τη μέθοδο αυτή είναι:

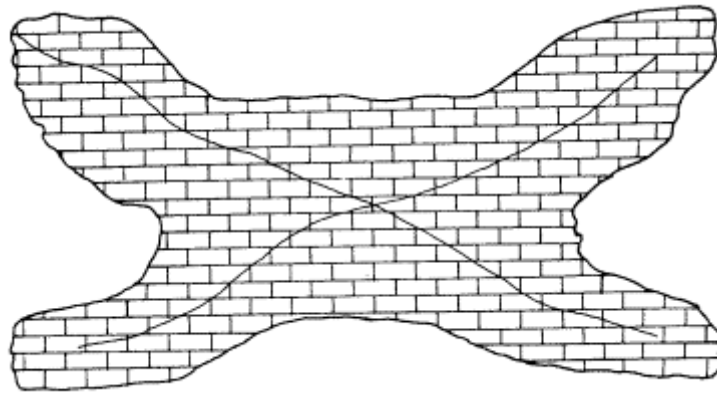
- Γίνεται καθαίρεση των επιχρισμάτων, αφαίρεση των σαθρών τμημάτων της ρωγμής και πλύσιμο υπό πίεση.
- Ανοίγονται τρύπες με τρυπάνι μπετόν μέσα στο «επίπεδο» της ρωγμής και σε αποστάσεις μικρότερες όσο στενότερη είναι η ρωγμή. Στις τρύπες αυτές τοποθετούνται σωληνάκια.
- Διευρύνονται τα χείλη της ρωγμής και σφραγίζονται με τσιμεντοκονίαμα ώστε να μη φύγει από τις ρωγμές το τσιμεντένεμα.
- Ακολούθως μέσα από το κατώτερο σωληνάκι εισάγεται τσιμεντένεμα υπό μορφή τσιμεντοπολτού ή τσιμεντοκονιάματος βελτιωτικά πρόσθετα (π.χ. μπετονίτη) στην αρχή λεπτόρρευστο με μικρή πίεση και στο τέλος παχύρρευστο με μεγάλη πίεση. Μόλις το υλικό της τσιμεντένεσης αρχίσει να βγαίνει από το πιο πάνω σωληνάκι, τότε συνεχίζουμε από το σωληνάκι εκείνο, ενώ βουλώνουμε το πρώτο. Έτσι συνεχίζεται η τσιμεντένεση εκ των κάτω προς τα άνω.

Τσιμεντοκονιάματα:

Για ρωγμές μέχρι 10 mm σε φέρουσα λιθοδομή μικρού πάχους ή σε οπτοπλινθοδομή φέρουσα ή μη φέρουσα , χρησιμοποιείται η ακόλουθη τεχνική:

α) Καθαίρεση επιχρίσματος σε μεγάλο πλάτος ήτοι της τάξης των 1,5cm έως 25cm εκατέρωθεν της ρωγμής.

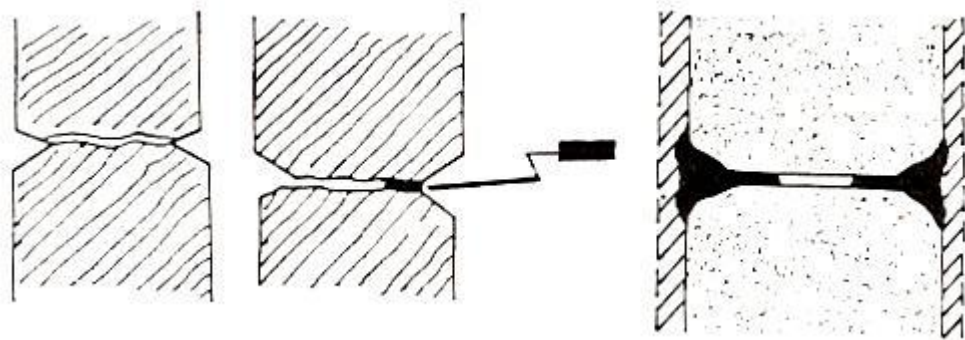
β) Διεύρυνση των χειλών της ρωγμής (τοπικό σπάσιμο πλίνθων)



Σχήμα 5

γ) Πλύσιμο με νερό υπό πίεση, και διαβροχή των επιφανειών ρωγμής μέχρι της προηγούμενης της εισαγωγής του κονιάματος.

δ) Εισαγωγή πλούσιου τσιμεντοκονιάματος (με ψιλό μυστρί όσο γίνεται βαθύτερα στη ρωγμή) μετά από διύγρανση της ρωγμής.



Σχήμα 6

ε) Εξωτερικό αρμολόγημα και τελικό επίχρισμα.

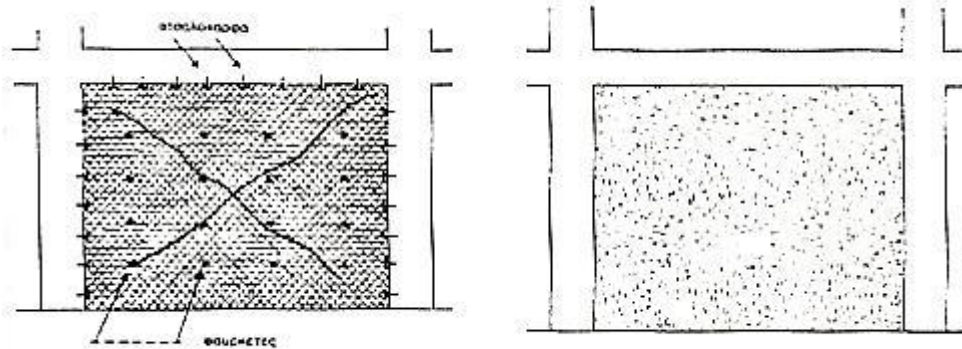
Για μεγάλες ανοιχτές ρωγμές, και με την προϋπόθεση ότι συμφέρει η επισκευή τους, μπορούμε να εφαρμόσουμε την εξής τεχνική:

α) Καθολική καθαίρεση επιχρίσματος.

β) Πλύσιμο με νερό υπό πίεση, και εκτέλεση των εργασιών γ, δ και ε.

γ) Μετά τοποθετείται ελαφρύ πλέγμα, όπως κοτετσόσυρμα, πολύ τεντωμένο σε επαφή επάνω στον τοίχο και καρφώνεται στο σκελετό του φέροντος οργανισμού με ατσαλόκαρφα και επάνω στον τοίχο με φουρκέτες μπηγμένες στο κονίαμα των αρμών του.

δ) Κάλυψη του συνόλου με πεταχτό πηχτό τσιμεντοκονίαμα.



Σχήμα 7

Παρατήρηση: Για την επιτυχία της επισκευής με τσιμεντοκονιάματα πρέπει να χρησιμοποιούνται ύφυγρα μίγματα με μικρή περιεκτικότητα σε τσιμέντο και να γίνεται επιμελής συντήρηση.

Επισκευή με έγχυτο σκυρόδεμα

Το έγχυτο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται για επισκευές σε περιπτώσεις που μπορούν να χωρέσουν σχετικά χονδρά αδρανή και σε επιφάνειες όπου μπορεί να σταθεί το επί τόπου χυνόδεμα π.χ. στο επάνω πέλμα πλακών ή δοκών ή μέσα σε τύπους για να αποτελέσει μανδύα υποστυλωμάτων ή παρειών δοκών ή και για να καλύψει τον τυχόν πρόσθετο οπλισμό ενίσχυσης. Αντίθετα όμως δεν χρησιμοποιείται σε κάτω πέλματα πλακών ή δοκών.

Οι κυριότερες απαιτήσεις για το έγχυτο σκυρόδεμα στις επισκευές είναι επιμελημένη προετοιμασία και προσεκτική εκτέλεση της σκυροδέτησης, δηλαδή:

- Αποκάλυψη των υπαρχόντων οπλισμών.
- Αφαίρεση του σαθρού σκυροδέματος και διαμόρφωση φωλεών και κοιλοτήτων για τον καλύτερο εγκιβωτισμό του νέου έγχυτου σκυροδέματος.

- Εκτράχυνση του παλαιού σκυροδέματος με εργαλεία ή με αμμοβολή.
- Έκπλυση με άφθονο νερό υπό πίεση και διαβροχή του παλαιού σκυροδέματος επί τριήμερο μέχρι κορεσμού μέχρι της προηγούμενης της διαστρώσεως.
- Διάστρωση του νέου σκυροδέματος μετά από διύγρυνση του παλαιού.

Η μέγιστη διάσταση κόκκου των αδρανών του έγχυτου σκυροδέματος δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1/5 της μικρότερης ελεύθερης διάστασης του χώρου που σκυροδετείται.

Το διαστρωνόμενο έγχυτο σκυρόδεμα πρέπει να έχει την κατάλληλη ρευστότητα για τον καλό εγκιβωτισμό και την καλή πρόσφυση με το παλαιό σκυρόδεμα και τους οπλισμούς.

Πρέπει οπωσδήποτε να χρησιμοποιηθεί δονητής κατά τη διάστρωση.

Χρειάζεται να διατηρείται συνεχώς υγρή η επιφάνεια της σκυροδετήσεως κατά την πρώτη εβδομάδα της σκλήρυνσης.

Η αντοχή του νέου σκυροδέματος πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την αντοχή του παλαιού κατά 5 MPa.

Στη διεπιφάνεια παλαιού και νέου σκυροδέματος για μεγαλύτερη διασφάλιση συνεργασίας τοποθετείται, κατά την κρίση του μελετητή, ειδική ρητίνη.

EMACO S66

Η επισκευή του τοιχίου έγινε τελικά με EMACO S66, ένα έτοιμο για χρήση προϊόν σε μορφή σκόνης που δεν περιέχει μεταλλικές προσμίξεις και χλωριούχα άλατα. Αναμειγμένο με το νερό δίνει ρεοπλαστικό (ρευστό χωρίς διαχωρισμό), μη συρρικνούμενο, υψηλής αντοχής κονίαμα με υψηλή συνάφεια με τον χάλυβα και το σκυρόδεμα.

Στο EMACO προστίθεται νερό και το μίγμα αναμιγνύεται για 3-4 λεπτά έως ότου το κονίαμα γίνει ομοιογενές και δεν έχει σβώλους. Η μέγιστη ποσότητα νερού που απαιτείται είναι 10% (η απαιτούμενη ποσότητα νερού είναι 2,35-3 lt ανά σάκο). Το EMACO S66 μπορεί να χρησιμοποιηθεί εύκολα όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος στην διάρκεια της διαδικασίας είναι μεταξύ +5 °C έως και +50 °C. Δεδομένου ότι η θερμοκρασία στο εργαστήριο είναι ιδανική, οι αντοχές αναπτύσσονται με κανονικό ρυθμό.

Διαδικασία επισκευής

Αρχικά απομακρύνθηκε το αποσαθρωμένο σκυρόδεμα (που βρισκόταν σε όλο το κάτω μέρος του τοιχίου με εξαίρεση την αριστερή κρυφοϋποστύλωμα), με κομπρεσέρ χειρός που προκαλεί λιγότερους κραδασμούς από τα συμβατικά μοντέλα.



Φωτογραφία 7. Εικόνα στην οποία είναι εμφανής η μη ύπαρξη μονολιθικότητας (α)



Φωτογραφία 8 Εικόνα στην οποία είναι εμφανής η μη ύπαρξη μονολιθικότητας (β)

Αφού απομακρύνουμε το αποσασθρωμένο τμήμα, εντοπίσαμε έντονη ρηγμάτωση. Γι' αυτό αναγκαστήκαμε να απομακρύνουμε μεγαλύτερο τμήμα υλικού από τη μεσαία περιοχή της κατασκευής.

Οι προς επισκευή επιφάνειες του εναπομείναντα μονολιθικού τμήματος ήταν τραχείες για την καλή πρόσφυση του EMACO με αυτές και με τέτοια σχηματική μορφή (μύτες προς τα κάτω) για την αποφυγή σπηλαίωσης που ενδέχεται να υπάρξει με την τοποθέτηση του κονιάματος.



Φωτογραφία 9. Μορφή κατασκευής πριν την επισκευή (α)



Φωτογραφία 10. Μορφή κατασκευής πριν την επισκευή (β)

Στην περιοχή των κρυφοκολώνων διακρίναμε ρηγμάτωση και για αυτό το λόγο αφαιρέσαμε το ρηγματωμένο υλικό. (φωτογραφίες 11,12)



Φωτογραφία 11



Φωτογραφία 12

Στην συνέχεια το τοίχιο διαβράχθηκε με νερό και ακολούθως καθαρίστηκε από την σκόνη με πεπιεσμένο αέρα. Η τοποθέτηση οπλισμού στα σημεία που έγινε η πυρηνοληψία θεωρήθηκε μη απαραίτητη.

Τα καλούπια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ανθεκτικά και στεγανά (ώστε να αποφευχθεί η αποστράγγιση του νερού από το κονίαμα) και αγκυρωμένα και στηριγμένα στερεά για να αντέξουν την πίεση του κονιάματος όταν αυτό τοποθετηθεί. Για την διευκόλυνση της έκχυσης, τα καλούπια διαμορφώθηκαν με κατάλληλο άνοιγμα. Πριν ξεκινήσει η διαδικασία της έκχυσης, τα ξύλινα καλούπια κορέσθηκαν με νερό για την αποφυγή της πιθανότητας απορρόφησης νερού από το κονίαμα με αποτέλεσμα την αφυδάτωσή του.

Η προετοιμασία του κονιάματος ήταν σταδιακή (ανά σάκο). Το κονίαμα εκχυνόταν με συνεχή ροή χωρίς να απαιτείται δόνηση. Η έκχυση του κονιάματος (σε κατάσταση ρευστή) γινόταν μόνο από την μια πλευρά για να αποφεύγεται η παγίδευση αέρα. Εύκαμπτη χαλύβδινη ράβδος χρησιμοποιήθηκε για να σιγουρευτούμε πως το

κονίαμα γέμιζε πλήρως το χώρο ανάμεσα στα καλούπια και την κατασκευή. Τα καλούπια αφαιρέθηκαν 24 ώρες μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας έκχυσης.



Φωτογραφία 13



Φωτογραφία 14. Καλούπι τοιχίου για την αποκατάσταση της επισκευής



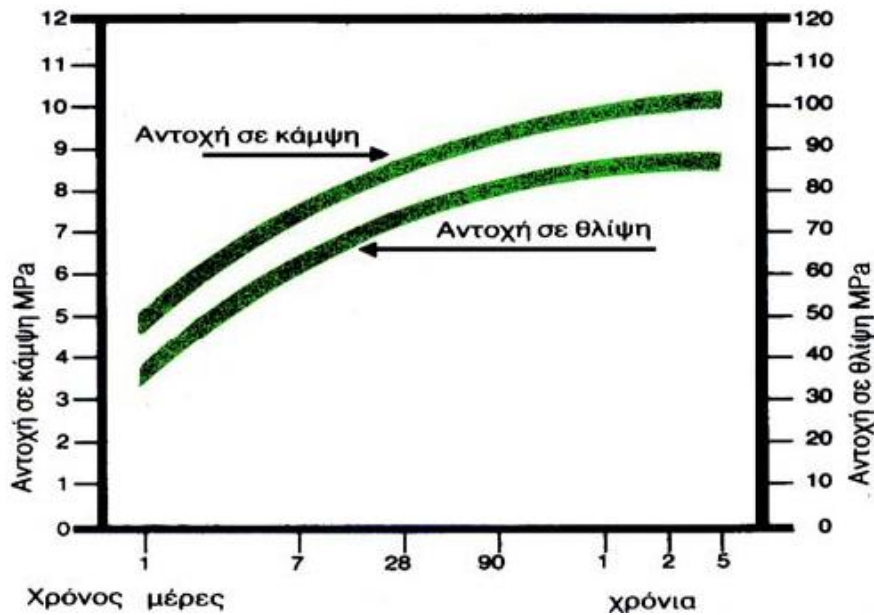
Φωτογραφία 15. Χρήση χαλύβδινης ράβδου

Εφτά συνολικά κυβικά δοκίμια ακμής 100mm χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση της αντοχής του κονιάματος σε θλίψη (κάθε ένα δοκίμιο αντιστοιχεί σε διαφορετική αναλογία νερού - Εmαcο). Μετά την πάροδο είκοσι ημερών τα κυβικά δοκίμια υποβλήθηκαν σε δοκιμή θλιπτικής αντοχής.



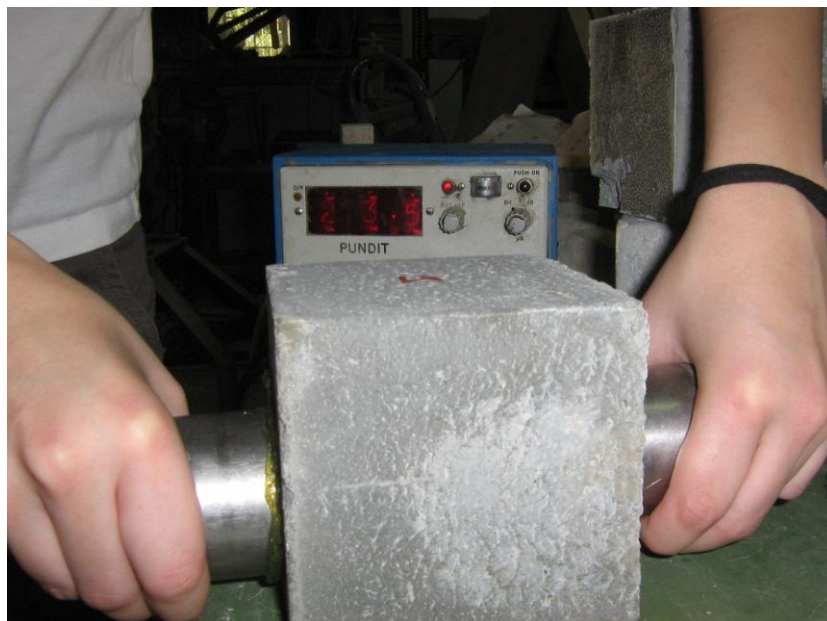
Φωτογραφία 16. Τα δοκίμια που προετοιμάστηκαν για τη δοκιμή της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος

Το σχήμα που ακολουθεί δίνει το μέσο όρο μηχανικών αντοχών του EMACO S66, σε 20°C, με νερό ανάμειξης 8%. Όπως παρατηρούμε η αναμενόμενη αντοχή σε θλίψη που αντιστοιχεί σε χρόνο ίσο με 20 μέρες, κυμαίνεται γύρω στα 65 MPa.



Σχήμα 8. Μέσος όρος μηχανικών αντοχών του EMACO S66

Από τα επτά δοκίμια που υποβλήθηκαν στην δοκιμή, απορρίψαμε τα δύο με την μεγαλύτερη και μικρότερη μετρούμενη αντοχή. Στα δοκίμια εφαρμόσαμε επίσης και τη μέθοδο των υπερήχων.



Φωτογραφία 17. Μέθοδος υπερήχων στα κυβικά δοκίμια



Φωτογραφία 18. Δοκιμή θλιπτικής αντοχής δοκιμίων

Η δοκιμή θλιπτικής αντοχής στα κυβικά δοκίμια και η μέθοδος των υπερήχων, έδωσαν τα εξής αποτελέσματα:

A/A	F _c (MPa)	f _c (MPa)	T (μs)	V (km/s)
1	536	53,6	23	4,35
2	521,5	52,2	23	4,35
3	535	53,5	23	4,35
4	611	61,1	23	4,35
5	455	45,5	24	4,17
AVER	531,7	53,16	23,2	4,31

Παρατηρούμε πως η υπολογιζόμενη αντοχή είναι μικρότερη από την αναμενόμενη, που οφείλεται στο ότι η αναλογία ανάμειξης σκόνης EMACO και νερού δεν ήταν η προβλεπόμενη.

Κεφάλαιο 6

6.1 Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά δοκιμίου

Οι διαστάσεις του τοιχίου είναι οι εξής:

Μήκος: 1,70 m

Πλάτος: 0,25 m

Ύψος: 1,7 m.

Είχε στο πάνω μέρος πρίσμα διαστάσεων διατομής 0,60 x 0,40 και πλάτους ίσο με του τοιχίου και πέδιλο ύψους 0,60 m, μήκους 2,90 m και πλάτους 0,60 m.

Το δοκίμιο σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από προηγούμενους σπουδαστές με βάση τον ΕΚΩΣ. Δεδομένα ήταν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής του δοκιμίου και η ποιότητα σκυροδέματος και χάλυβα. Ο διαμήκης οπλισμός του τοιχίου υπολογίστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε η δύναμη που έπρεπε να ασκήσει ο επενεργητής για να προκαλέσει αστοχία του δοκιμίου να είναι η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη, χωρίς ωστόσο να ξεπερνάει τη μέγιστη δύναμη που μπορεί να ασκήσει. Ύστερα, υπολογίστηκε ο απαιτούμενος εγκάρσιος οπλισμός και ο οπλισμός περίσφιξης. Το πέδιλο του τοιχίου σχεδιάστηκε βάσει των διατάξεων του κανονισμού για το σχεδιασμό πεδίων. Στο πάνω πρίσμα τοποθετήθηκε ο ελάχιστος οπλισμός δοκών, αφού θεωρήθηκε ότι δεν παραλαμβάνει φορτία.

Η διάμετρος του διαμήκη οπλισμού είναι 14 mm στα κρυφούπροστυλώματα και 10 mm στον κορμό. Η διάμετρος του εγκάρσιου οπλισμού είναι 10mm.

Η πραγματική αντοχή των ράβδων χάλυβα όπως μετρήθηκε από προηγούμενους σπουδαστές ήταν η εξής:

Φ10

$f_y = 559,80 \text{ MPa}$

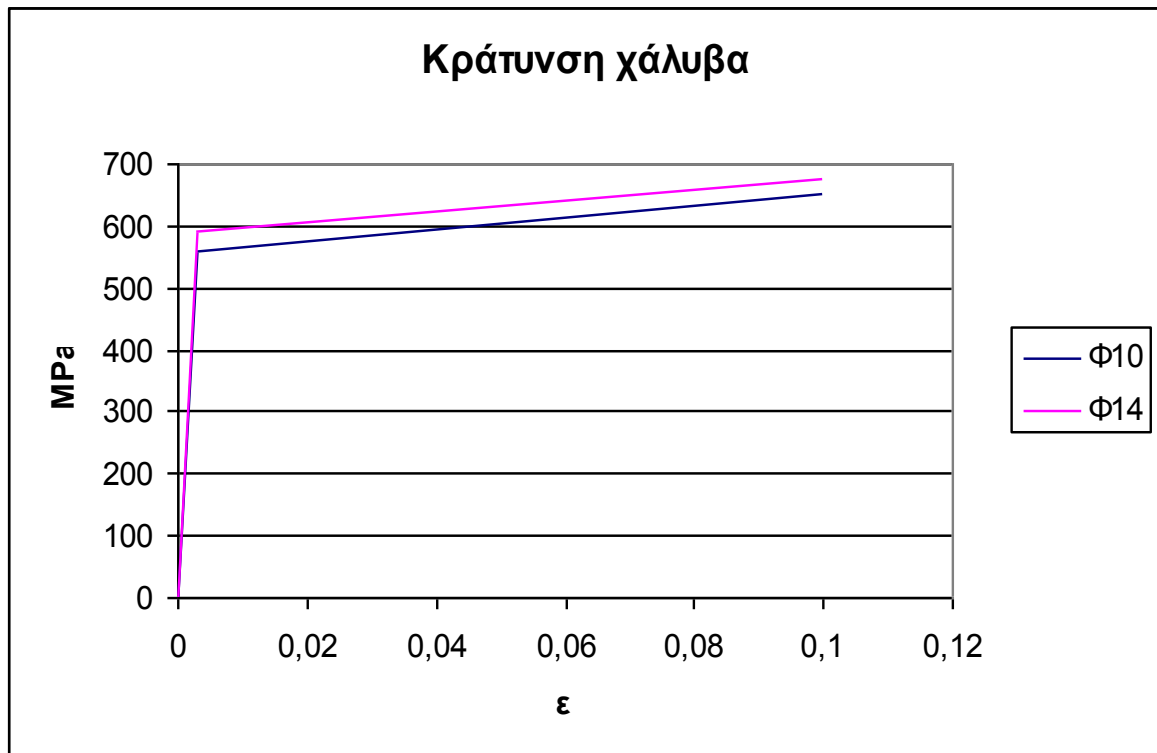
$f_u = 651,90 \text{ MPa}$

Φ14

$f_y = 593,10 \text{ MPa}$

$f_u = 676,03 \text{ MPa}$

Για το θεωρητικό υπολογισμό της αντοχής, θεωρήθηκε ότι ο χάλυβας έχει συμπεριφορά η οποία περιγράφεται από το παρακάτω διγραμμικό διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης.



Διάγραμμα 1. Τάσης - Παραμόρφωσης χάλυβα

6.2 Υπολογισμός ροπής αντοχής με κράτυνση χάλυβα και πραγματική αντοχή σκυροδέματος.

Μετά από τις δοκιμές για την εύρεση αντοχής σε δοκίμια χάλυβα και σκυροδέματος, τα αποτελέσματα ήταν τα ακόλουθα :

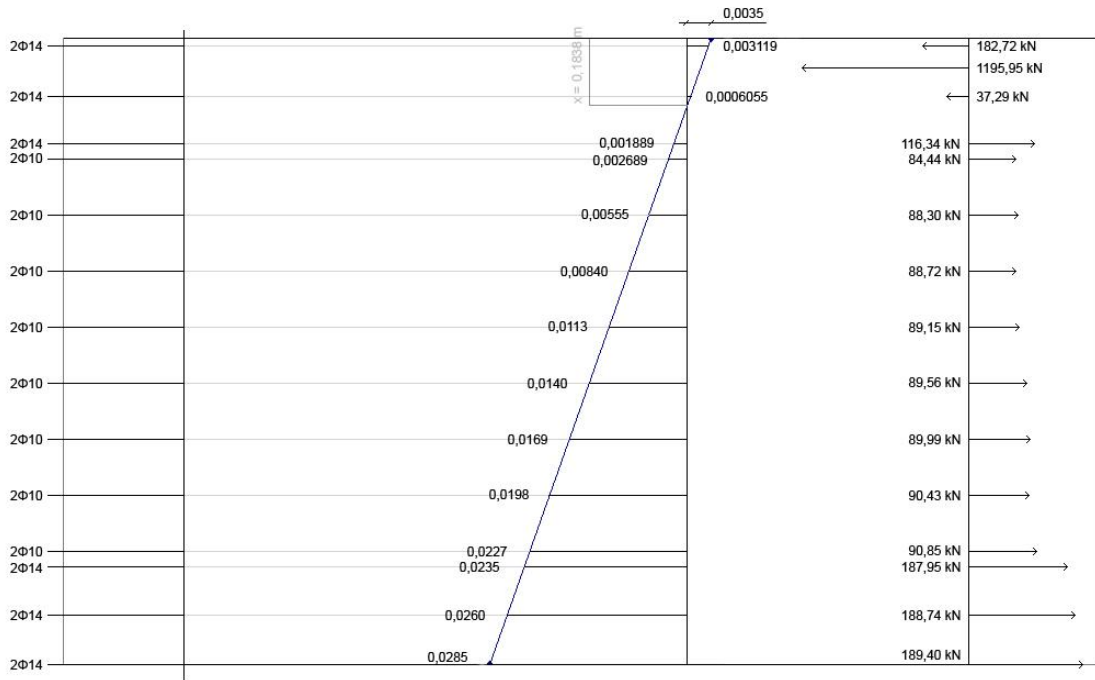
Για ράβδους χάλυβα διαμέτρου Φ10 : $f_y = 559,80 \text{ MPa}$, $f_u = 651,90 \text{ MPa}$

Για ράβδους χάλυβα διαμέτρου Φ14 : $f_y = 593,10 \text{ MPa}$, $f_u = 676,03 \text{ MPa}$

Για κυλινδρικά δοκίμια σκυροδέματος : $f_c = 53,16 \text{ MPa}$

Λόγω βάρους πρίσματος υπάρχει αξονική δύναμη ίση με $N = -0,6 \cdot 0,4 \cdot 1,7 \cdot 25 \Rightarrow$
 $N = -10,20 \text{ kN}$

Μετά από υπολογισμό φύλλο του Excel προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:



Διάγραμμα 2. Προφίλ διατομής και διάγραμμα παραμορφώσεων και εσωτερικών δυνάμεων

$$2\Phi 14 \Rightarrow 3,08 \text{ cm}^2$$

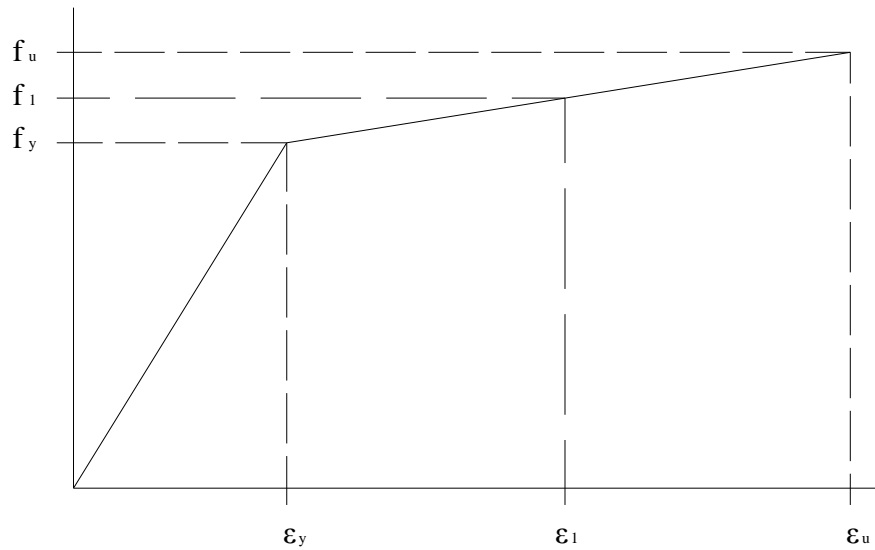
$$2\Phi 10 \Rightarrow 1,57 \text{ cm}^2$$

Θεωρούμε ότι η μέγιστη παραμόρφωση ράβδων ανεξαρτήτως διαμέτρου είναι 10%

$$\text{Για τις ράβδους } \Phi 10 : \varepsilon_y = \frac{559,80}{200.000} = 0,002799$$

$$\text{Για τις ράβδους } \Phi 14 : \varepsilon_y = \frac{593,10}{200.000} = 0,002966$$

Η συμπεριφορά του χάλυβα θεωρήθηκε διγραμμική όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Διάγραμμα 3. Διγραμμικό διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων

Για τον υπολογισμό της τάσης του χάλυβα όταν η παραμόρφωση είναι μεγαλύτερη

από αυτή της τάσης διαρροής χρησιμοποιήθηκε ο τύπος : $\frac{\varepsilon_i - \varepsilon_y}{f_i - f_y} = \frac{0,1 - \varepsilon_y}{f_u - f_y}$

Έτσι για την περίπτωση των ράδβων διαμέτρου Φ10 ο τύπος είναι :

$$\frac{\varepsilon_i - 0,002799}{f_i - 559,80} = \frac{0,1 - 0,002799}{651,90 - 559,80} \Rightarrow f_i = \frac{\varepsilon_i - 0,002799}{0,1 - 0,002799} * (651,90 - 559,80) + 559,80 \text{ (MPa)}$$

Και για την περίπτωση των ράδβων διαμέτρου Φ14 ο τύπος είναι :

$$\frac{\varepsilon_i - 0,002966}{f_i - 593,10} = \frac{0,1 - 0,002966}{676,03 - 593,10} \Rightarrow f_i = \frac{\varepsilon_i - 0,002966}{0,1 - 0,002966} * (676,03 - 593,10) + 593,10 \text{ (MPa)}$$

$$x=0,1838 \text{ m}$$

$$\varepsilon_2 = -0,00312 > 0,002966 \Rightarrow f = 593,23 \text{ MPa} \Rightarrow F_2 = -3,08 * 593,23 * 10^3 = -182,72 \text{ kN} \quad (\Phi 14)$$

$$\varepsilon_A = -0,0006 < 0,002966 \Rightarrow f = 121,08 \text{ MPa} \Rightarrow F_A = -3,08 * 121,08 * 10^3 = -37,29 \text{ kN} \quad (\Phi 14)$$

$$\varepsilon_B = 0,0019 < 0,002966 \Rightarrow f = 377,74 \text{ MPa} \Rightarrow F_B = 3,08 * 377,74 * 10^3 = 116,34 \text{ kN} \quad (\Phi 14)$$

$$\varepsilon_\Gamma = 0,0027 < 0,002799 \Rightarrow f = 537,80 \text{ MPa} \Rightarrow F_\Gamma = 1,57 * 537,80 * 10^3 = 84,44 \text{ kN} \quad (\Phi 10)$$

$$\varepsilon_\Delta = 0,0055 > 0,002799 \Rightarrow f = 562,40 \text{ MPa} \Rightarrow F_\Delta = 1,57 * 562,40 * 10^3 = 88,30 \text{ kN} \quad (\Phi 10)$$

$$\varepsilon_E = 0,0084 > 0,002799 \Rightarrow f = 565,10 \text{ MPa} \Rightarrow F_E = 1,57 * 565,10 * 10^3 = 88,72 \text{ kN} \quad (\Phi 10)$$

$$\varepsilon_Z = 0,0113 > 0,002799 \Rightarrow f = 567,86 \text{ MPa} \Rightarrow F_Z = 1,57 * 567,86 * 10^3 = 89,15 \text{ kN} \quad (\Phi 10)$$

$$\varepsilon_H = 0,0140 > 0,002799 \Rightarrow f = 570,41 \text{ MPa} \Rightarrow F_H = 1,57 * 570,41 * 10^3 = 89,56 \text{ kN} \quad (\Phi 10)$$

$$\varepsilon_\Theta = 0,0169 > 0,002799 \Rightarrow f = 573,16 \text{ MPa} \Rightarrow F_\Theta = 1,57 * 573,16 * 10^3 = 89,99 \text{ kN} \quad (\Phi 10)$$

$$\varepsilon_I = 0,0198 > 0,002799 \Rightarrow f = 575,91 \text{ MPa} \Rightarrow F_{\Gamma} = 1,57 \cdot 575,91 \cdot 10^3 = 90,42 \text{ kN} \quad (\Phi 10)$$

$$\varepsilon_K = 0,0227 > 0,002799 \Rightarrow f = 578,66 \text{ MPa} \Rightarrow F_{\Gamma} = 1,57 \cdot 578,66 \cdot 10^3 = 90,85 \text{ kN} \quad (\Phi 10)$$

$$\varepsilon_{\Lambda} = 0,0235 > 0,002966 \Rightarrow f = 610,22 \text{ MPa} \Rightarrow F_{\Lambda} = 3,08 \cdot 610,22 \cdot 10^3 = 187,95 \text{ kN} \quad (\Phi 14)$$

$$\varepsilon_M = 0,0260 > 0,002966 \Rightarrow f = 612,79 \text{ MPa} \Rightarrow F_M = 3,08 \cdot 612,79 \cdot 10^3 = 188,74 \text{ kN} \quad (\Phi 14)$$

$$\varepsilon_1 = 0,0285 > 0,002966 \Rightarrow f = 614,92 \text{ MPa} \Rightarrow F_1 = 3,08 \cdot 614,92 \cdot 10^3 = 189,40 \text{ kN} \quad (\Phi 14)$$

$$F_c = 0,68 \cdot b \cdot x \cdot f_c = 0,68 \cdot 0,18 \cdot 0,1838 \cdot 53,16 \cdot 10^3 = -1195,95 \text{ kN}$$

$$\boxed{\Sigma F = -22 \text{ kN} \approx N}$$

$$M_2 = -182,72 \cdot 0,02 = -3,65 \text{ kNm}$$

$$M_A = -37,29 \cdot 0,152 = -5,67 \text{ kNm}$$

$$M_B = 116,34 \cdot 0,283 = 32,92 \text{ kNm}$$

$$M_{\Gamma} = 84,44 \cdot 0,325 = 27,44 \text{ kNm}$$

$$M_{\Delta} = 88,30 \cdot 0,475 = 41,94 \text{ kNm}$$

$$M_E = 88,72 \cdot 0,625 = 55,45 \text{ kNm}$$

$$M_Z = 89,15 \cdot 0,775 = 69,09 \text{ kNm}$$

$$M_H = 89,56 \cdot 0,925 = 82,84 \text{ kNm}$$

$$M_{\Theta} = 89,99 \cdot 1,075 = 96,74 \text{ kNm}$$

$$M_I = 90,42 \cdot 1,225 = 110,76 \text{ kNm}$$

$$M_K = 90,85 \cdot 1,375 = 124,92 \text{ kNm}$$

$$M_{\Lambda} = 187,95 \cdot 1,417 = 266,33 \text{ kNm}$$

$$M_M = 188,74 \cdot 1,548 = 292,17 \text{ kNm}$$

$$M_1 = 189,40 \cdot 1,680 = 318,19 \text{ kNm}$$

$$\text{Ροπή λόγω αξονικής: } 10,20 \cdot 0,85 = 8,67 \text{ kNm}$$

$$\text{Ροπή λόγω θλιπτικής δύναμης σκυροδέματος: } -1195,95 \cdot 0,40 \cdot 0,1838 = -87,89 \text{ kNm}$$

$$\boxed{\Sigma M = 1430,25 \text{ kNm}}$$

6.3 Υπολογισμός ροπής στη διαρροή με πραγματικό όριο διαρροής χάλυβα και πραγματική αντοχή σκυροδέματος

Τα δεδομένα για τα υλικά είναι τα εξής :

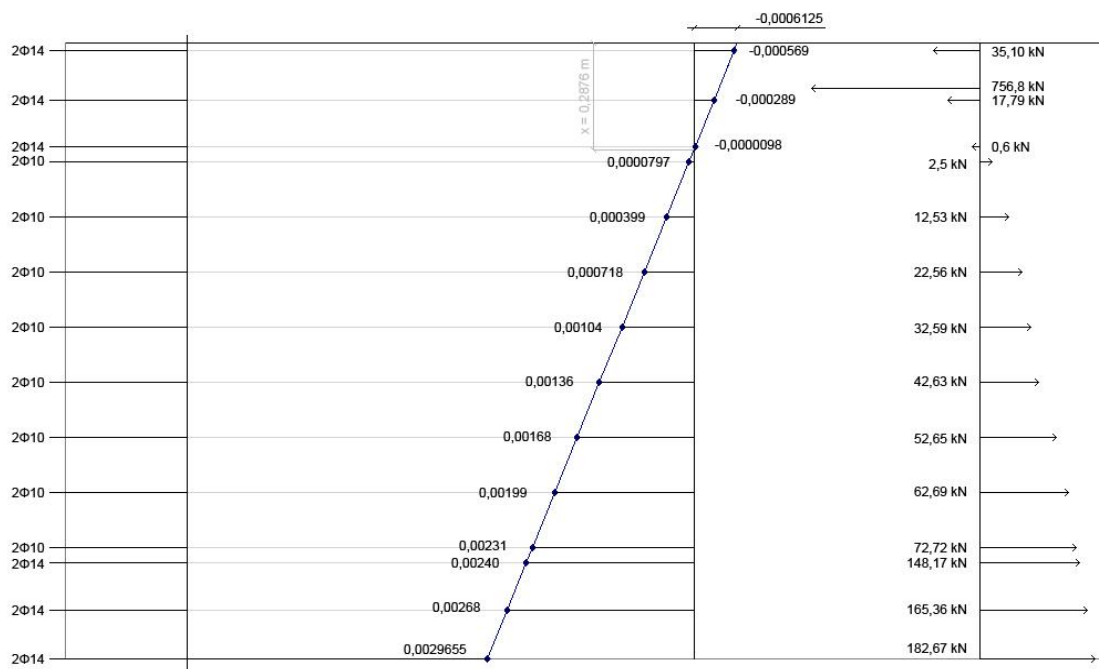
Για ράβδους χάλυβα διαμέτρου $\Phi 10$: $f_y = 559,80 \text{ MPa}$

Για ράβδους χάλυβα διαμέτρου $\Phi 14$: $f_y = 593,10 \text{ MPa}$

Για κυλινδρικά δοκίμια σκυροδέματος : $f_c = 53,16 \text{ MPa}$

Διαρροή συμβαίνει είτε όταν η παραμόρφωση του σκυροδέματος γίνει 2‰, είτε όταν κάποια ράβδος χάλυβα διαρρεύσει.

Λόγω βάρους πρίσματος υπάρχει αξονική δύναμη ίση με $N = -0,6 * 0,4 * 1,7 * 25 \Rightarrow \underline{N = -10,20 \text{ kN}}$



Διάγραμμα 4. Προφίλ διατομής και διάγραμμα παραμορφώσεων και εσωτερικών δυνάμεων

$$2\Phi 14 \Rightarrow 3,08 \text{ cm}^2$$

$$2\Phi 10 \Rightarrow 1,57 \text{ cm}^2$$

$$\text{Για τις ράβδους } \Phi 10 : \epsilon_y = \frac{559,80}{200.000} = 0,002799$$

$$\text{Για τις ράβδους } \Phi 14 : \epsilon_y = \frac{593,10}{200.000} = 0,002966$$

Η απόσταση a της δύναμης F_c από την ακραία θλιβόμενη ίνα δίνεται από τη σχέση :

$$a = \zeta' * x, \text{ όπου } \zeta' = \frac{8 - \epsilon_c}{4 * (6 - \epsilon_c)} \text{ για } \epsilon_c < 2\text{‰}, \text{ όπου } \epsilon_c : \text{ η παραμόρφωση του}$$

σκυροδέματος σε ποσοστό επί τοις ‰.

Για τον υπολογισμό της δύναμης σκυροδέματος F_c χρησιμοποιήθηκε η σχέση :

$$F_c = \alpha * 0,85 * f_c * x * b, \text{ όπου } \alpha = \frac{1}{12} * \epsilon_c * (6 - \epsilon_c) \text{ για } \epsilon_c < 2\text{‰}, \text{ όπου } \epsilon_c : \text{ η παραμόρφωση του}$$

σκυροδέματος σε ποσοστό επί τοις ‰.

$$\varepsilon_c = -0,0006125 \quad \Rightarrow \quad \alpha = 0,275 \quad \Rightarrow \quad \zeta' = 0,343$$

$$x = 0,2876 \text{ m}$$

$$\varepsilon_2 = -0,000569 < 0,002966 \Rightarrow F_2 = -3,08 * 0,000569 * 20.000 = -35,10 \text{ kN} \quad (\Phi 14)$$

$$\varepsilon_A = -0,000289 < 0,002966 \Rightarrow F_A = -3,08 * 0,000289 * 20.000 = -17,79 \text{ kN} \quad (\Phi 14)$$

$$\varepsilon_B = -0,00000979 < 0,002966 \Rightarrow F_B = -3,08 * 0,00000979 * 20.000 = -0,6 \text{ kN} \quad (\Phi 14)$$

$$\varepsilon_\Gamma = -0,0000797 < 0,002799 \Rightarrow F_\Gamma = -1,57 * 0,0000797 * 20.000 = 2,5 \text{ kN} \quad (\Phi 10)$$

$$\varepsilon_\Delta = 0,000399 < 0,002799 \Rightarrow F_\Delta = 1,57 * 0,000399 * 20.000 = 12,53 \text{ kN} \quad (\Phi 10)$$

$$\varepsilon_E = 0,000718 < 0,002799 \Rightarrow F_E = 1,57 * 0,000718 * 20.000 = 22,56 \text{ kN} \quad (\Phi 10)$$

$$\varepsilon_Z = 0,00104 < 0,002799 \Rightarrow F_Z = 1,57 * 0,00104 * 20.000 = 32,59 \text{ kN} \quad (\Phi 10)$$

$$\varepsilon_H = 0,00136 < 0,002799 \Rightarrow F_H = 1,57 * 0,00136 * 20.000 = 42,63 \text{ kN} \quad (\Phi 10)$$

$$\varepsilon_\Theta = 0,00168 < 0,002799 \Rightarrow F_\Theta = 1,57 * 0,00168 * 20.000 = 52,65 \text{ kN} \quad (\Phi 10)$$

$$\varepsilon_I = 0,00199 < 0,002799 \Rightarrow F_I = 1,57 * 0,00199 * 20.000 = 62,69 \text{ kN} \quad (\Phi 10)$$

$$\varepsilon_K = 0,00231 < 0,002799 \Rightarrow F_K = 1,57 * 0,00231 * 20.000 = 72,72 \text{ kN} \quad (\Phi 10)$$

$$\varepsilon_\Lambda = 0,0024 < 0,002966 \Rightarrow F_\Lambda = 3,08 * 0,0024 * 20.000 = 148,17 \text{ kN} \quad (\Phi 14)$$

$$\varepsilon_M = 0,00268 < 0,002966 \Rightarrow F_M = 3,08 * 0,00268 * 20.000 = 165,36 \text{ kN} \quad (\Phi 14)$$

$$\varepsilon_1 = 0,0029655 = 0,002966 \Rightarrow F_1 = 3,08 * 0,0029655 * 20.000 = 182,67 \text{ kN} \quad (\Phi 14)$$

$$F_c = 0,275 * b * x * f_c = 0,275 * 0,18 * 0,2876 * 53,16 * 10^3 = -756,80 \text{ kN}$$

$$\Sigma F = (-35,10 - 17,79 - 0,60 - 756,80) + (2,5 + 12,53 + 22,56 + 32,59 + 42,63 + 52,65 + 62,69 + 72,72 + 148,17 + 165,36 + 182,67) \Rightarrow$$

$$\boxed{\Sigma F = -12,62 \text{ kN} \approx -10,20 \text{ kN} = N}$$

$$M_2 = -35,10 * 0,02 = -0,702 \text{ kNm}$$

$$M_A = -17,79 * 0,152 = -2,704 \text{ kNm}$$

$$M_B = -0,60 * 0,283 = -0,170 \text{ kNm}$$

$$M_\Gamma = 2,5 * 0,325 = 0,813 \text{ kNm}$$

$$M_\Delta = 12,53 * 0,475 = 5,952 \text{ kNm}$$

$$M_E = 22,56 * 0,625 = 14,1 \text{ kNm}$$

$$M_Z = 32,59 * 0,775 = 25,257 \text{ kNm}$$

$$M_H = 42,63 * 0,925 = 39,43 \text{ kNm}$$

$$M_\Theta = 52,65 * 1,075 = 56,599 \text{ kNm}$$

$$M_I = 62,69 * 1,225 = 76,795 \text{ kNm}$$

$$M_K = 72,72 * 1,375 = 99,99 \text{ kNm}$$

$$M_\Lambda = 148,17 * 1,417 = 209,957 \text{ kNm}$$

$$M_M = 165,36 * 1,548 = 255,977 \text{ kNm}$$

$$M_1 = 182,67 * 1,680 = 306,886 \text{ kNm}$$

Ροπή λόγω αξονικής : $10,20 * (1,70/2) = 8,67 \text{ kNm}$

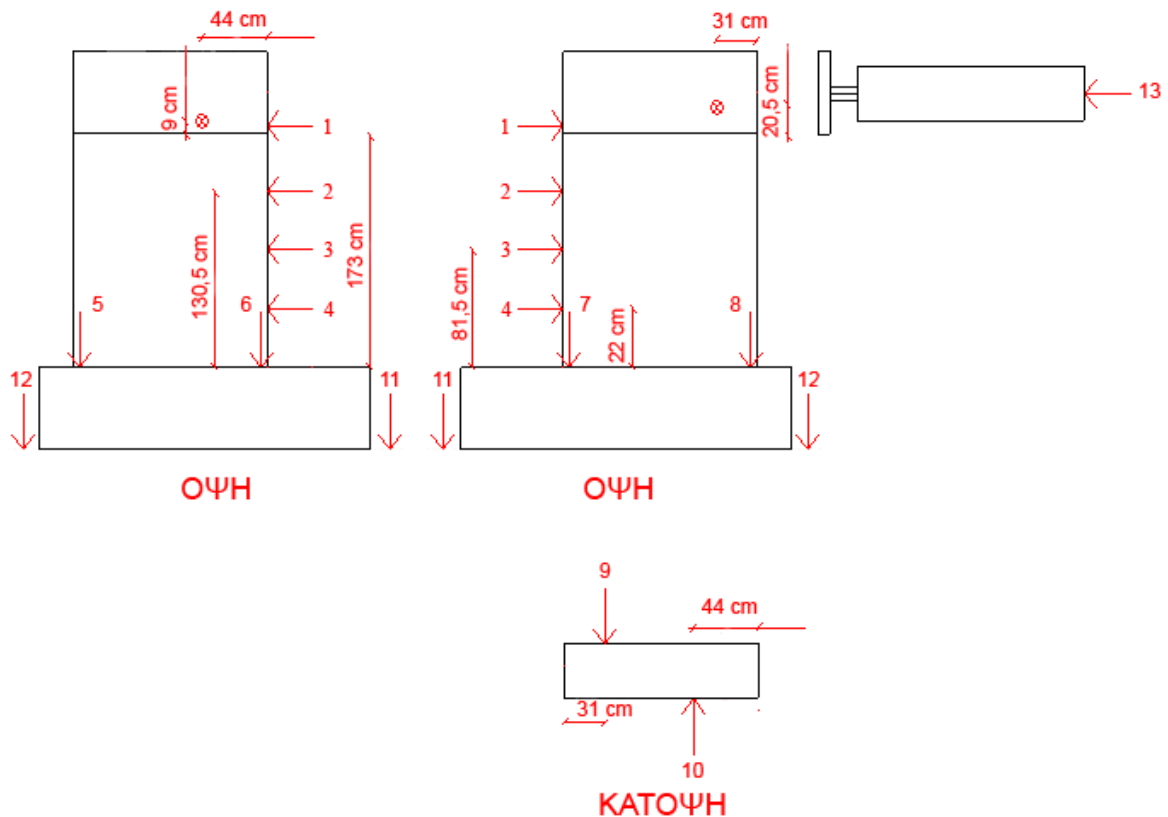
Ροπή λόγω θλιπτικής δύναμης σκυροδέματος : $-756,8 * 0,275 * 0,343 = -71,39 \text{ kNm}$

$\Sigma M = 1025,463 \text{ kNm}$

6.4 Προετοιμασία πειράματος

Για τη διεξαγωγή του πειράματος και την εξαγωγή αποτελεσμάτων, τοποθετήθηκαν βελομέτρα σε προεπιλεγμένες θέσεις έτσι ώστε να μετρηθούν μετατοπίσεις και στροφές.

Η διάταξη των βελομέτρων είναι αυτή που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Διάγραμμα 5. Σχηματική διάταξη βελομέτρων

Το βελόμετρο 1 μετράει την μετατόπιση του τοιχίου στο υψηλότερο σημείο. Τα βελόμετρα 2,3,4 μαζί με το 1 τοποθετήθηκαν για να υπολογιστεί η ελαστική γραμμή. Τα βελόμετρα 5,6,7,8 τοποθετήθηκαν ώστε να υπάρχει ένδειξη παραμόρφωσης στο κατώτερο σημείο του τοιχίου. Τα βελόμετρα 9,10 τοποθετήθηκαν ώστε να μετρηθεί η στροφή του τοιχίου. Τα βελόμετρα 11,12 τοποθετήθηκαν ώστε να μετρηθεί πόσο ανασηκώνεται το πέδιλο. Το βελόμετρο 13 τοποθετήθηκε στη στήριξη του επενεργητή και μετράει τη μετατόπιση της βάσης του.

Διενέργεια πειράματος

Το σκεπτικό ήταν να ξεκινήσουμε από μικρές δυνάμεις και να φτάσουμε σε μεγάλες και να γίνουν πολλές ανακυκλήσεις.

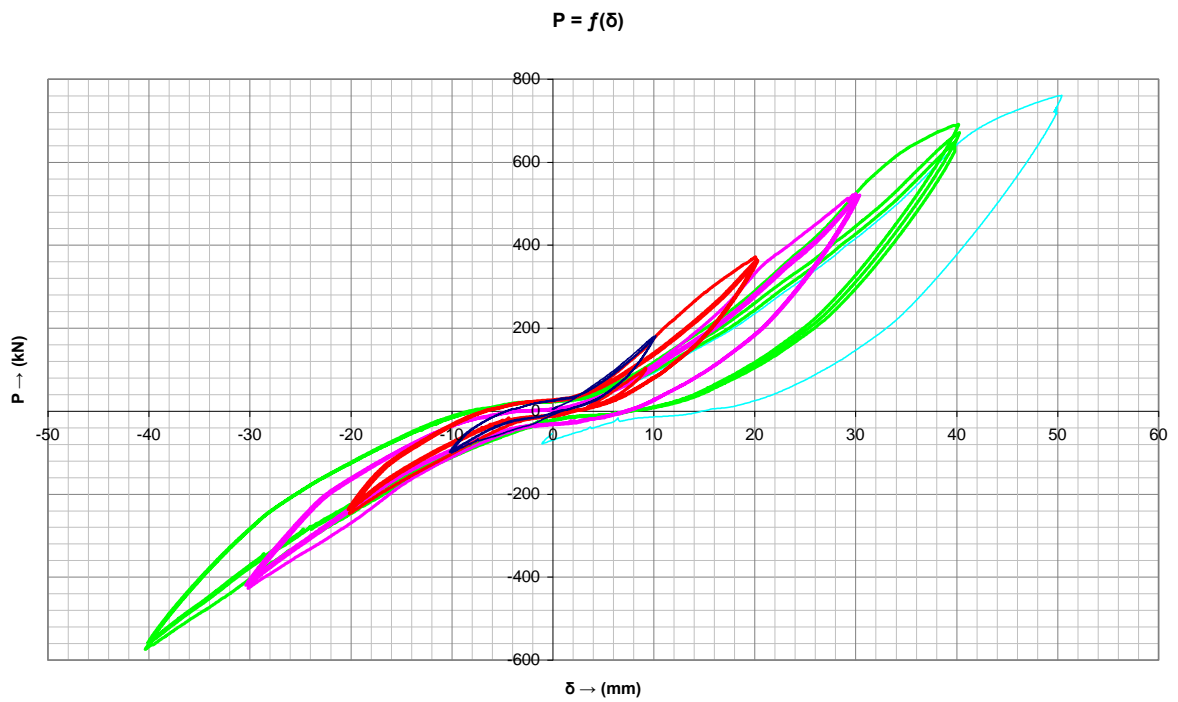
Οι μετατοπίσεις που επιβλήθηκαν ήταν της τάξης των 10,20,30,40 mm για πολλές ανακυκλήσεις, ενώ τέλος επιβλήθηκε θετική μετατόπιση 50 mm.

6.5 Επεξεργασία και παρουσίαση αποτελεσμάτων

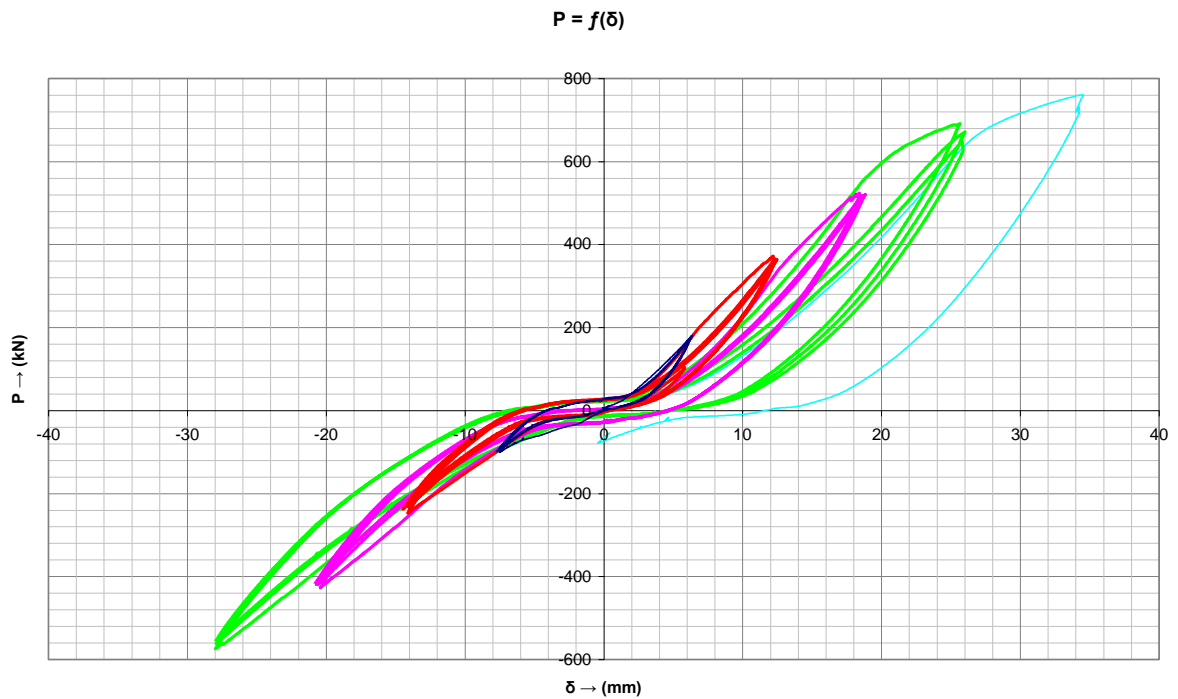
Τα αποτελέσματα που κυρίως ενδιέφεραν ήταν αυτά που θα έδιναν το διάγραμμα φορτίου μετατόπισης. Για να διορθωθούν οι ενδείξεις του βελομέτρου του επενεργητή, τοποθετήθηκε βελόμετρο στη βάση..

Τα αποτελέσματα για τα διαγράμματα φορτίου – μετατόπισης προέρχονται από τρεις πηγές. Η μία είναι η απ' ευθείας μέτρηση της μετατόπισης του τοιχίου. Η άλλη είναι η εύρεση της μετατόπισης του τοιχίου αν συνυπολογιστεί και μετατόπιση της βάσης του επενεργητή, και η τρίτη συνυπολογίζοντας και τη μετατόπιση της βάσης του θεμελίου.

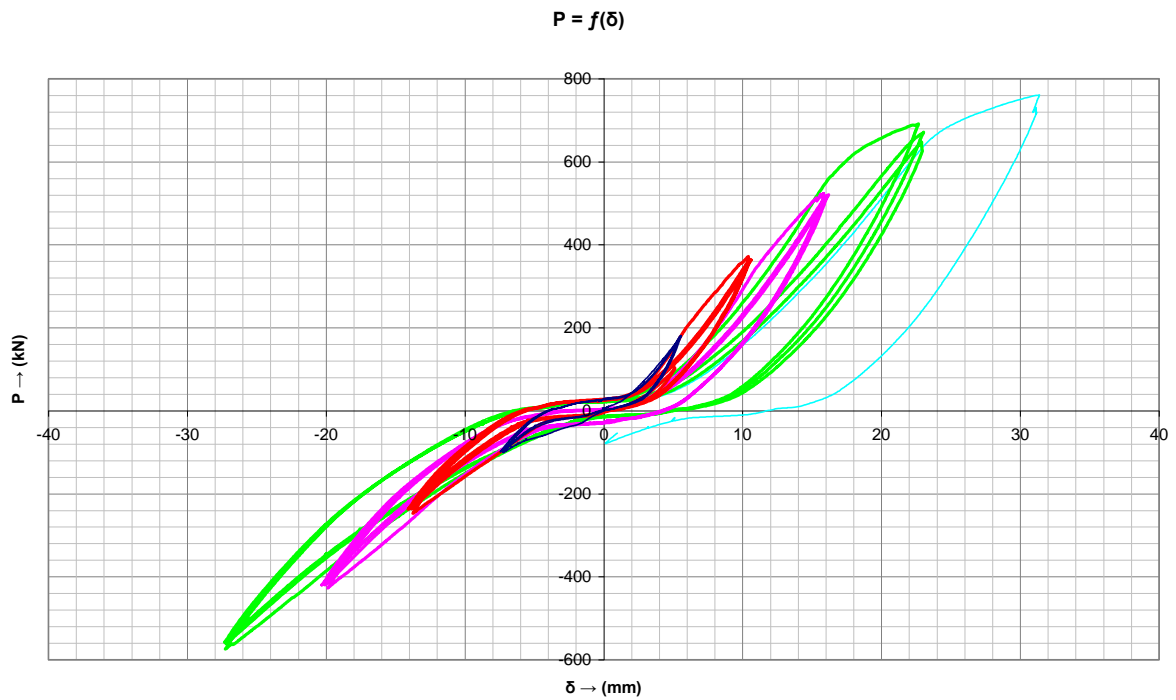
Τα διαγράμματα παρουσιάζονται παρακάτω.



Διάγραμμα φορτίου – μετατόπισης από βελόμετρο στο τοιχίο

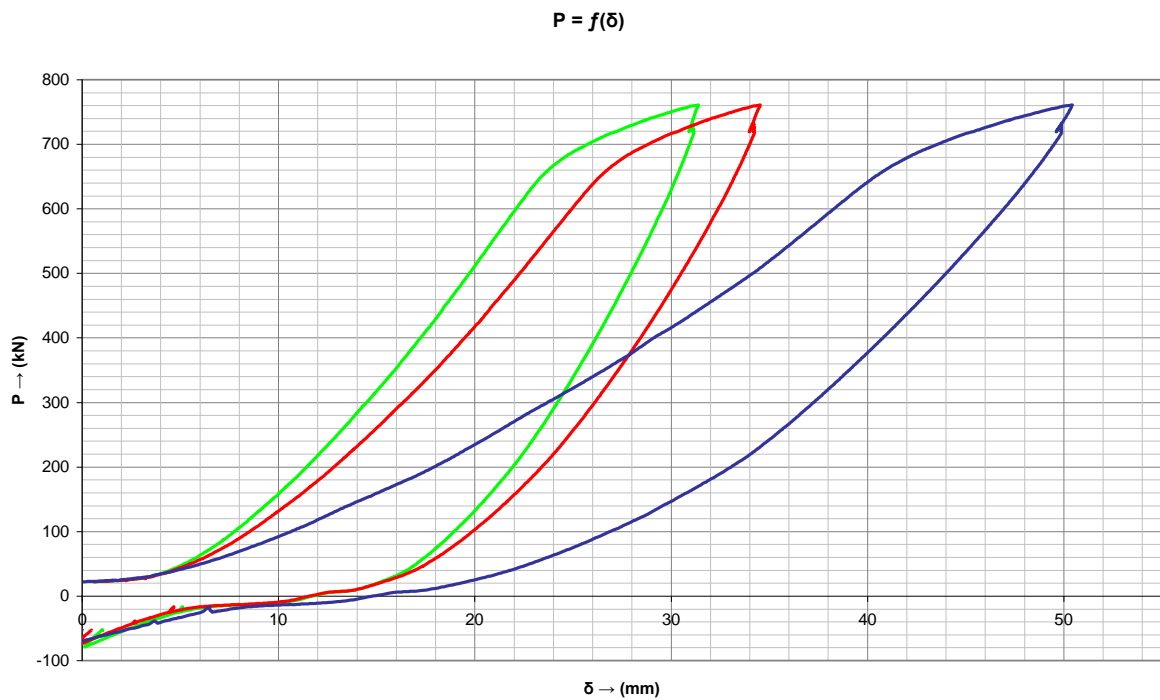


Διάγραμμα φορτίου – μετατόπισης από διόρθωση με βελόμετρο στον επενεργητή



Διάγραμμα φορτίου – μετατόπισης από διόρθωση με βελόμετρο στον επενεργητή και στη βάση του θεμελίου

Στο παραπάνω διάγραμμα αξίζει να σημειωθεί το μέγιστο φορτίο που ασκήθηκε στο τοίχιο που ήταν 760,982 kN.



Διάγραμμα φορτίου – μετατόπισης

- Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η ένδειξη του βελομέτρου που βρίσκεται στο ίδιο ύψος με το γρύλλο σε σχέση με το φορτίο του.

- Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η διόρθωση της ένδειξης του βελομέτρου του γρύλλου με τη βοήθεια βελομέτρου που μετράει τη υποχώρηση της βάσης του.
- Με πράσινο χρώμα απεικονίζεται η διόρθωση της ένδειξης του βελομέτρου του γρύλλου με τη βοήθεια βελομέτρου που μετράει τη υποχώρηση της βάσης του και την μετατόπιση της βάσης του θεμελίου.

Πλαστιμότητα

Μετά τον υπολογισμό το δοκίμιο διέρρευσε όταν η οριζόντια δύναμη ήταν περίπου 512,73 kN. Η μετατόπιση η οποία αντιστοιχούσε σε αυτή τη δύναμη ήταν 15,98 mm. Η μέγιστη μετατόπιση ήταν 31,40 mm. Επομένως, η πλαστιμότητα που ανέπτυξε το δοκίμιο είναι $31,40 : 15,98 = 1,96$. Εάν συνεχιζόταν το πείραμα για επίτευξη μεγαλύτερης πλαστιμότητας, τότε θα ενέδιδε το μεταλλικό πλαίσιο.

Ελαστική Γραμμή

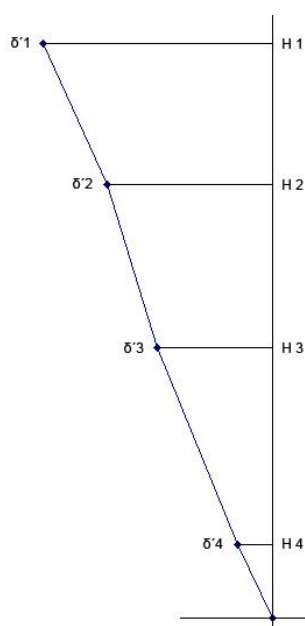
i	δ_i (mm)	h_i (m)	δ'_i (mm)
1	29,013	1,73	20,85477
2	21,958	1,305	15,03036
3	15,985	0,815	10,47616
4	6,924	0,22	3,137988

δ_i : μετατόπιση βελομέτρων 1,2,3,4, που αντιστοιχεί σε $\delta_{max} = 50,436$ mm

δ_θ : μετατόπιση θεμελίου, $\delta_\theta = 3,149$ mm

φ : στροφή βάσης θεμελίου, $\varphi = 0,1659^\circ$

δ'_i : διορθωμένη μετατόπιση, $\delta'_i = \delta_i - \delta_{\theta\mu.} - h_i * \tan\varphi$



Ελαστική γραμμή που αντιστοιχεί στην μέγιστη μετατόπιση

Αντοχή – ακαμψία του δοκιμίου

Η θεωρητική αντοχή του δοκιμίου όπως αυτή υπολογίστηκε λαμβανομένης υπ' όψη της κράτυνσης και της πραγματικής αντοχής του σκυροδέματος αντιστοιχούσε σε δύναμη του επενεργητή ίση με 715,13 kN. Η μέγιστη δύναμη στην οποία υποβλήθηκε το τοιχίο ήταν 760,98 kN. Αυτό σημαίνει ότι υπήρξε σφάλμα στον υπολογισμό της ροπής αντοχής περίπου 6%.

Σύμφωνα με τον Ε.Κ.Ω.Σ. η ακαμψία είναι ίση με $\frac{2}{3} \cdot \frac{3EI}{h^3}$ (πρόκειται για πρόβολο και θεωρώντας ότι $h=2m$, αφού σε αυτό το ύψος εφαρμόζεται η δύναμη). Η σχέση αυτή δίνει ακαμψία ίση με 491,300 kN/m.

Για να υπολογιστεί θεωρητικά η ακαμψία βρέθηκε η τιμή της δύναμης και τις μετατόπισης σε 5 σημεία. Το καθένα από αυτά τα σημεία ήταν εκείνο με τη μεγαλύτερη δύναμη για κάθε «ομάδα ανακυκλίσεων» με θετικές μετατοπίσεις.

	1	2	3	4	5
P (kN)	179,287	370,604	523,468	690,12	760,982
δ (mm)	5,586	10,412	15,83	22,681	31,398
K (kN/m)	32,1	35,6	33,1	30,4	24,2

Πίνακας 16. Θεωρητική τιμή ακαμψίας

Παρατηρούμε ότι η θεωρητική τιμή της ακαμψίας που προτείνει ο Ε.Κ.Ω.Σ. είναι μεγαλύτερη από την πειραματική.

Παρακάτω παρατίθενται δύο φωτογραφίες (Φωτογραφίες 19 και 20) του τοιχίου πριν και μετά τη διεξαγωγή του πειράματος. Παρατηρούμε ότι μετά και τη μέγιστη μετατόπιση των 50 mm, η μορφή του φορέα έχει αλλάξει. Εμφανίστηκαν επίσης και ρωγμές (Φωτογραφίες 21).



Φωτογραφίες 19 και 20: το τοιχίο πριν και μετά το πείραμα



Φωτογραφία 21: εμφάνιση ρωγμών στο τοιχίο

Βιβλιογραφία

1. Σπανός Χ., Σπιθάκης Μ., Τρέζος Κ., (2002) «Μέθοδοι για την επί τόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών υλικών» Τ.Ε.Ε – Αθήνα
 2. Neville A. M., (1999) «Properties of Concrete – Fourth Edition» Pearson Education Ltd
 3. Τριανταφύλλου Θ. Χ., «Δομικά Υλικά» Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών – Πάτρα 1997
 4. «Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος» Εκδοτικός Οργανισμός Γ. Φούντας
 5. Καπετανάκης Σ., Διπλωματική εργασία «Αποτίμηση καταστάσεως κατασκευών με ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους»
-