

Α.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΣΤΕΦ

ΤΙΤΛΟΣ:

**«Αξιολόγηση αποτελεσμάτων μη καταστροφικών ελέγχων επιτόπου και στο εργαστήριο σε δομικά στοιχεία του φέροντος οργανισμού.»**

**«The evaluation of the results of non-destructive testing procedure on-site and under a controlled laboratory environment of the structural components of any given bearing structure. »**



**ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ**

---

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία αφορά τον ποιοτικό έλεγχο οπλισμένου σκυροδέματος. Στις ενότητες της, αναφέρονται περιληπτικά οι κανονισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, οι μέθοδοι καταστροφικών ελέγχων που χρησιμοποιήθηκαν, οι δοκιμές που εφαρμόστηκαν, οι κατηγορίες αξιολόγησης των μεθόδων έλεγχου, τα στοιχεία του ποιοτικού Ελέγχου των Υλικών και αποτύπωσης των οπλισμών. Στα τελευταία κεφάλαια περιγράφονται αναλυτικά οι αποτυπώσεις των οπλισμών και οι επιμέρους αντοχές των στοιχείων που ελέγχθηκαν στο σύνολο τους μαζί με όλο το φωτογραφικό υλικό καθώς και συνοπτικοί τρόποι αναβάθμισης της κατασκευής.

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε μια κατασκευή προ τους έτους 1975 στην Σαλαμίνα και τα αποτελέσματα εξήχθησαν από τα εργαστήρια του Ε.Μ.Π και από την εταιρία που ανέλαβε την μελέτη μέσω την μηχανισμών που χρησιμοποιήθηκαν.

This thesis concerns the quality control of reinforced concrete. Its sections summarize the regulations used to export the results, the methods of non-destructive testing used, the tests that were applied, the categories of evaluation of the control methods, the elements of the Quality Control of Materials and the stamping of the reinforcements. The last chapters describe the replicas of the reinforcements in detail and the individual strengths of the items that were checked together with all the photographic material as well as means of upgrading the construction.

The study was carried out in a building before 1975 in Salamina and the results were extracted from the laboratories of N.T.U.A and from the company that undertook the study through the mechanisms used.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την εκπόνηση της εν λόγω διπλωματικής εργασίας, αλλά και την ηθική υποστήριξη καθόλη την διάρκεια αυτής της ακαδημαϊκής περιήγησης, αξίζουν θερμές ευχαριστίες σε μια σειρά από πρόσωπα, των καθηγητών και λοιπών εμπλεκόμενων στην προηγηθείσα εκπαιδευτική διαδικασία.

Ωστόσο θερμή και ξεχωριστή μνεία χρίζουν οι:

Ο Δρ. Κωνσταντίνος Δημάκος για την ηθική υποστήριξη καθόλη την διάρκεια της εκπαίδευσης.

Ο Δρ. Κωνσταντίνος Καλκάνης τον οποίο ξεχώρισα κατά την διάρκεια των διαλέξεων για τον τρόπο μεταδοτικότητας του και αυτό το στοιχείο με ώθησε να απευθυνθώ σε εκείνον για την καθοδήγηση και την εποπτεία της διπλωματικής μου εργασίας.

Τους Δρ. Κωνσταντίνος Ρεπαπής & Χρήστος Γιαρλέλης που με δίδαξαν ουσιαστικά θέματα επί του αντικειμένου και για την υποστήριξή τους σε κάθε απορία και δυσκολία που αντιμετώπισα.

Τέλος ευχαριστώ θερμά τους συμφοιτητές μου για τις ωραίες στιγμές που μοιρασθήκαμε κατά την διάρκεια των φοιτητικών χρόνων.

**ΣΤΑΜΑΤΗΣ Δ. ΛΟΥΚΑΣ**

# **ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ**

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ  
ΕΛΕΓΧΩΝ ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ.**

Ημερομηνία ανάληψης έργου:

27 / 4 / 2016 (Τετάρτη)

Ημερομηνία πραγματοποίησης ελέγχων :

28 / 4 / 2016 (Πέμπτη)

## Περιεχόμενα

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.1.Γενικά.....	8
1.1.1.Συγκέντρωση Πληροφοριών για το Κτίριο.....	8
2.ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ.....	9
2.1.Εφαρμογές των Μεθόδων ΜΚΕ.....	9
2.2.Οι Μέθοδοι ΜΚΕ και οι Τεχνικές τους.....	10
2.3.ΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	11
2.3.1.Οπτικός Έλεγχος (Visual Inspection).....	11
2.3.2.Οπτικός Έλεγχος με Μικροσκόπιο.....	11
2.3.3.Οπτικός Έλεγχος με Βιντεοσκόπηση (Video Inspection).....	11
2.4.ΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕ LASER.....	12
2.4.1.Ολογραφία (Holography).....	12
2.4.2.Συμβολομετρία (ESP Interferometry).....	12
2.4.3.Δυναμικός Έλεγχος Επιφανείας (Dynamic Surface-Inspection).....	13
2.5.ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ (RADIOGRAPHIC TESTING).....	14
2.5.1.ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΕΡΗΧΩΝ (ULTRASONIC INSPECTION).....	14
2.5.2.Αρχή Λειτουργίας.....	14
2.5.3.Χρόνος Περιθλάσης (Time of Flight Diffraction ultrasonics – TOFD).....	15
2.5.4.Συστοιχία Φάσης με Υπερήχους (Phased Array ultrasonics).....	15
2.5.5.Περιστρεφόμενο σύστημα για αγωγούς (Internal Rotary Inspection System - IRIS).....	16
2.5.6.Οι Ιονίζουσες Ακτινοβολίες.....	18
2.5.7.Οι Πηγές Ακτίνων-Χ & Γάμα.....	18
2.5.8.Κίνδυνοι και Προφύλαξη.....	19
2.5.9.Ψηφιακή Ραδιογραφία – Τομογραφία (Computed Tomography).....	19
2.5.10.Υποατομικά Σωματίδια (νετρόνια, πρωτόνια, κλπ.) (Neutron radiography).....	20
2.6.ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ (ΑΕ).....	20
2.6.1.Υπέρ και Κατά της Μεθόδου ΑΕ.....	23
2.6.2.Μέθοδοι Ακουστικής Πρόσκρουσης (Acoustic Impact).....	24
2.7.ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	25
2.7.1.Ηλεκτρικές μέθοδοι.....	25
2.7.2.Μέθοδος της Πτώσης Δυναμικού (Potential Drop).....	25
2.7.3.Ρεύματα Eddy (Eddy-Current).....	26

2.7.4.ΜακρινόπεδιοΡευμάτων Eddy (Remote field testing - RFT).....	27
2.7.5.Μαγνητικές μέθοδοι .....	27
2.7.6.Έλεγχος με Μαγνητικά Ρινίδια (Magnetic Particles).....	27
2.7.7.Μαγνητογραφία (Magnetography).....	28
2.7.8.Εντοπισμός Απωλειών Μαγνητικής Ροής (Magnetic flux leakage - MFL).....	28
2.7.9.ΈλεγχοςΘορύβου Barkhausen (Barkhausen Noise).....	29
2.8.ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΑΥΓΡΑ (LIQUID PENETRANT FLAW) .....	29
2.8.1.Συνδυασμός Διεισδυτικού υγρού και Ραδιογραφίας .....	30
2.8.2.Έλεγχοι Διαρροής (Leak Detection).....	31
3.ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ.....	32
3.1.Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης .....	32
3.1.1.Σκοπός Ίδρυσης και Λειτουργίας .....	32
3.1.2.Δράση .....	33
3.1.3.Τομείς Δραστηριότητας ΕΛ.Ο.Τ.....	33
3.1.4.Τυποποίηση.....	33
3.1.5.Θέσπιση Προτύπων.....	33
3.1.6.Θέσπιση Προδιαγραφών.....	33
3.1.7.Πιστοποίηση.....	34
3.1.8.Θέσπιση Συστημάτων πιστοποίησης .....	34
3.1.9.Απονομή Σημάτων Συμμόρφωσης .....	34
3.1.10.Απονομή Πιστοποιητικού Συμμόρφωσης.....	34
3.2.ΕΚΩΣ 2000 .....	35
4.ΔΟΚΙΜΕΣ.....	36
4.1.Δοκιμές Θλίψης Δοκιμών Σκυροδέματος .....	36
4.1.1.Αντοχή σε Θλίψη .....	37
4.2.Δοκιμή Κάθισης.....	38
4.3.Έλεγχος Αντλησιμότητας - Πλαστιμότητας .....	38
4.4.Λήψεις Δοκιμών .....	38
5.ΣΤΑΘΜΕΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	40
5.1.Γενικά .....	40
5.2.Επιπτώσεις της Σ.Α.Δ. στην αποτίμηση και τον .....	41
5.3.Ανασχεδιασμό .....	41
5.4.ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΑ.....	42
5.5.ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	42

5.6.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ Σ.Α.Δ.....	42
5.7.Σκυρόδεμα.....	42
5.7.1.Μέθοδοι εκτίμησης της αντοχής .....	42
5.7.2.Απαιτούμενο πλήθος δοκιμών - Σ.Α.Δ. ....	43
5.8.Χάλυβας.....	44
5.8.1.Χάλυβας οπλισμού.....	44
5.8.2.Χάλυβας προεντάσεως.....	44
5.8.3.Τοίχοι πλήρωσης.....	45
6.ΤΟ ΚΤΙΡΙΟ.....	46
6.1.Μεθοδολογία .....	46
6.2.ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΥΛΙΚΩΝ.....	47
6.3.ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ .....	49
6.4.ΣΤΑΘΜΕΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	51
7.ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ, ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ .....	52
7.1.ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ .....	59
8.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	69
8.1.ΜΕΘΟΔΟΙ Μ.Κ.Ε ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ .....	69
8.1.1.Μέθοδος πυρηνοληψίας-γενικά.....	69
8.1.2.Προγραμματισμός της πυρηνοληψίας.....	69
8.1.3.Μέθοδος μεταβολής ηλεκτρομαγνητικού πεδίου-γενικά.....	70
8.1.4.Αποτίμηση χρησιμότητας Μ.Κ.Ε.....	70
9.ΤΡΟΠΟΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ.....	70
10.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	72

# 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1Γενικά

### 1.1.1.Συγκέντρωση Πληροφοριών για το Κτίριο

Πρόκειται για Ισόγειο Κατοικία με Υπόγειο η οποία έχει ανεγερθεί προ το 1975 και είναι κατασκευασμένη από οπλισμένο σκυρόδεμα και πλάκα από μπετόν. Ο φέρων οργανισμός αποτελείται από 4 τοιχοκολωνες 25\*100cm και 8 κολώνες 25\*50cm με 3 πλάκες επί δοκού. Η πλάκες έχουν πάχος 15cm.

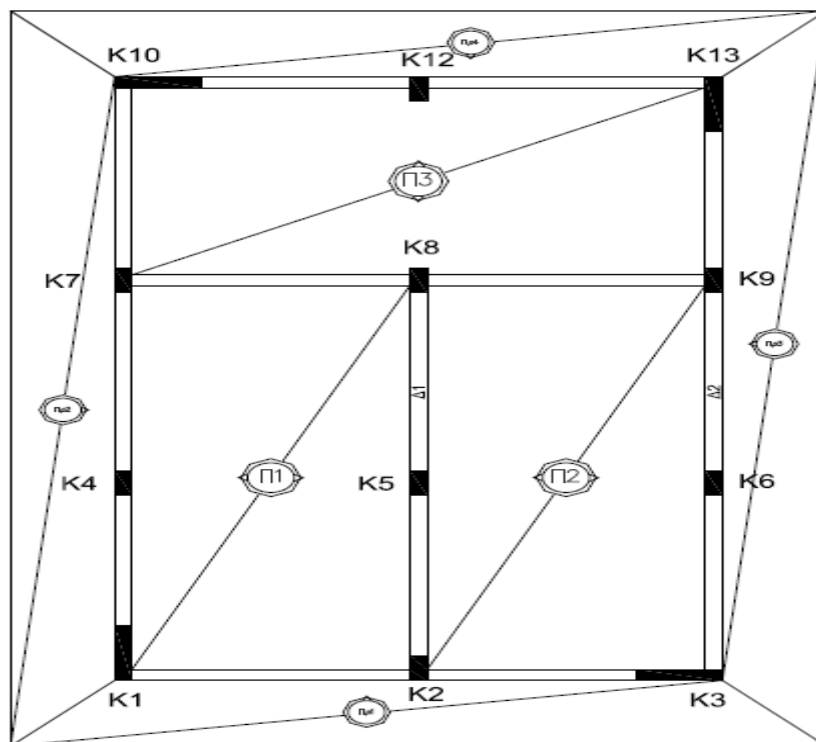
Το ισόγειο εμβαδού 144m<sup>2</sup> και το υπόγειο εμβαδού 144 m<sup>2</sup> θεμελιώνονται με πεδιλοδοκούς και η στέγη πάνω από το ισόγειο είναι πλάκα από μπετόν. Τα δύο επίπεδα συνδέονται με εξωτερική σκάλα από οπλισμένο σκυρόδεμα και τα μέσο ύψος των ορόφων είναι 2.80 m.

Παρακάτω θα γίνει ανάλυση ποιότητας του σκυροδέματος και του οπλισμού.

Η κατασκευή βρίσκεται στην θέση Αιάντειο - Δήμος Σαλαμίνας (Αττική).

#### Παθολογία

Γενικά ο φ.ο βρέθηκε σε καλή κατάσταση. Αν και η ηλικία του φτάνει τα 40 έτη και έχει υποβληθεί και σε σεισμικές διεγέρσεις δεν εντοπίστηκαν βλάβες ή παραμορφώσεις που να μαρτυρούν την καταπόνηση των φερόντων δομικών στοιχείων της ανωδομής. Εντοπίστηκαν μόνο ρηγματώσεις μικρού εύρους στις πλάκες στην στάθμη του ισογείου και της οροφής, ενδεχομένως της απουσίας ικανοποιητικού οπλισμού διανομής.



Εικόνα 1. Σκαρίφημα κτιρίου



## 2.ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ

### 2.1.Εφαρμογές των Μεθόδων ΜΚΕ

Πολλές κατασκευές, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους, χρειάζονται περιοδικούς Μη-Καταστροφικούς Ελέγχους ώστε να εντοπιστούν πιθανές ζημιές που δεν θα γίνονταν αντιληπτές με τις απλές καθημερινές μεθόδους. Παραδείγματα τέτοιων κατασκευών είναι: οι κατασκευές από σκυρόδεμα και στον οπλισμό τους, τα πιεστικά δοχεία χημικών αντιδραστηρίων, τα συρματόσχοινα γεφυρών, κ.ά.[4]

Οι εφαρμογές των ΜΚΕ, σήμερα, καλύπτουν ένα τεράστιο φάσμα βιομηχανικών και κατασκευαστικών δραστηριοτήτων και τις συναντάμε σχεδόν παντού:

- στην αυτοκινητοβιομηχανία (μηχανή, πλαίσιο),
  - στην αεροδιαστημική (Πλαίσια αεροπλάνων & διαστημοπλοίων, πύραυλοι, κινητήρες τζετ)
  - στις κατασκευές (κτίρια, γέφυρες)
  - στη βιομηχανία (μηχανικά εξαρτήματα, καλούπια, πρέσες)
  - σε εγκαταστάσεις πετροχημικές, πυρηνικές, παραγωγής ρεύματος, ορυχεία (πιεστικά δοχεία, δεξαμενές, λέβητες, εναλλάκτες, τουρμπίνες, σωληνώσεις, συγκολλήσεις)
  - στο σιδηρόδρομο (σιδηροτροχιές, τροχοί και άξονες)
  - σε αγωγούς αερίου και πετρελαιοαγωγούς
  - στα πάρκα αναψυχής (παιχνίδια και τραίνα μεγάλης ταχύτητας)
  - στην ιατρική (τομογραφίες, υπέρηχοι, ακτινογραφίες, καρδιογραφήματα, εγκεφαλογραφήματα, κλπ.).Οι μέθοδοι ΜΚΕ αναπτύχθηκαν τα τελευταία 100 χρόνια. Μερικά αξιοσημείωτα γεγονότα που άνοιξαν το δρόμο για την ανάπτυξή τους ήταν:
- 1854: Δυστύχημα από αστοχία πιεστικού δοχείου με 21 θύματα και 50 τραυματίες στο Hartford του Connecticut. 10 χρόνια μετά ψηφίζεται νόμος για υποχρεωτικούς ετήσιους ελέγχους.
  - 1895: Ο Wilhelm Conrad Röntgen ανακαλύπτει τις γνωστές πλέον Ακτίνες-X και στην ανακοίνωσή του αναφέρει τη δυνατότητα εντοπισμού ελαττωμάτων.
  - 1880 – 1920: Εφαρμόζεται ο πρόδρομος της μεθόδου ελέγχου με Διεισδυτικό Υγρό με τη χρήση λαδιού και λευκού χρώματος (το εξάρτημα βυθίζεται σε λεπτόρρευστο λάδι και μετά βάφεται με λευκό χρώμα το οποίο μετατρέπεται σε καφέ όταν το λάδι που παράμεινε σε τυχόν ρωγμές βγαίνει προς τα έξω).
  - 1920: Ο Δρ. H. H. Lester αναπτύσσει τη βιομηχανική Ραδιογραφία των μετάλλων.
  - 1926: Διατίθεται το πρώτο όργανο Ρευμάτων Eddy που μετρά το πάχος υλικού.
  - 1927 – 1928: Το πρώτο σύστημα Μαγνητικής Επαγωγής εφαρμόζεται σε σιδηροδρομικές γραμμές.
  - 1940 – 1944: Αναπτύσσεται η μέθοδος Υπερήχων από τον Δρ. Floyd Firestone.
  - 1950: Ο J. Kaiser εισάγει την μέθοδο ΜΚΕ των Ακουστικών Εκπομπών.

## 2.2.Οι Μέθοδοι ΜΚΕ και οι Τεχνικές τους

Ο ΜΚΕ χρησιμοποιεί διάφορες μεθόδους, κάθε μια από τις οποίες βασίζεται σε συγκεκριμένη επιστημονική παραδοχή ή αρχή λειτουργίας, επίσης μπορεί να διακρίνεται σε περισσότερες από μια τεχνικές.

Η αξία κάθε μεθόδου εξαρτάται από το είδος του προβλήματος. Μια μέθοδος ή τεχνική, λόγω της φύσης και της λειτουργίας της, μπορεί να είναι από ιδανική έως και εντελώς μη εφαρμόσιμη για την εφαρμογή που έχουμε υπ' όψιν μας. Για το λόγο αυτό η σωστή επιλογή είναι σημαντική για την τελική απόδοση του ΜΚΕ.

Οι κυριότερες κατηγορίες μεθόδων και τεχνικές ΜΚΕ περιέχονται στον πίνακα που ακολουθεί:

### Οπτικές Μέθοδοι

Οπτικός έλεγχος (Visual Inspection)

Οπτικός έλεγχος με μικροσκόπιο

Οπτικός έλεγχος με Βιντεοσκόπηση (Video Inspection)

Οπτικές μέθοδοι με Laser:

Ολογραφία (Holography)

Συμβολομετρία (ESP Interferometry)

Δυναμικός Έλεγχος Επιφανείας (Dynamic Surface-Inspection)

Ραδιογραφικές μέθοδοι (Radiographic testing) όπως:

Ακτίνες X (X-rays) και Ακτίνες Γάμα (Gamma rays)

Ψηφιακή Τομογραφία (Computed Tomography)

Υποατομικά Σωματίδια (νετρόνια, πρωτόνια) (Neutron Radiography)

Μέθοδοι Υπερήχων (Ultrasonic inspection)

Τεχνικές Ανάκλασης

Τεχνικές Περίθλασης (Time of Flight Diffraction ultrasonics – TOFD)

Συστοιχίες Φάσης Υπερήχων (Phased Array ultrasonics)

Περιστρεφόμενα συστήματα (Internal Rotary Inspection System - IRIS)

Έλεγχος με Διεισδυτικά Υγρά (Liquid Penetrant Flaw testing)

Μέθοδοι Ακουστικών Εκπομπών (Acoustic Emission, AE) – (φάσμα υπερήχων)

Μέθοδος Θερμικών Εκπομπών (Thermal Emission)

Ηλεκτρικές μέθοδοι

Ρεύματα Eddy (Eddy-Current & Remote field testing - RFT)

Μέθοδος Πτώσης Δυναμικού (Potential Drop)

Μαγνητικές μέθοδοι

Έλεγχος Μαγνητικό Μελάνι/Σκόνη (Magnetic Ink/Powder)

Έλεγχος με Μαγνητικά σωματίδια (Magnetic Particles)

Μαγνητογραφία (Magnetography)

Απώλεια Μαγνητικής Ροής (Magnetic flux leakage - MFL)

Έλεγχος θορύβου Barkhausen.

Μηχανικοί Έλεγχοι

Μέθοδος Ακουστικής Πρόσκρουσης (Acoustic-Impact) – (ηχητικό φάσμα)

Θερμογραφικός Έλεγχος (Thermographic inspection) (υπέρυθροι έλεγχοι)

Μέθοδοι Μηχανικής Αντίστασης (Mechanical Impedance)

Μικροκυματικές μέθοδοι (Microwave)

## 2.3.ΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.3.1.Οπτικός Έλεγχος (*Visual Inspection*)

Ο πιο απλός τρόπος ελέγχου που δεν καταστρέφει μια κατασκευή είναι ο οπτικός έλεγχος. Ο οπτικός έλεγχος καταδεικνύει τα εμφανή ελαττώματα μιας κατασκευής, δηλαδή αυτά που βρίσκονται στην επιφάνεια του υλικού και έχουν ορατό μέγεθος. Ο οπτικός έλεγχος μπορεί να γίνει και με το μάτι αλλά συχνότερα γίνεται με μεγεθύνσεις x2-x4. Βέβαια στις περισσότερες περιπτώσεις, όταν ένα ελάττωμα είναι ορατό με γυμνό οφθαλμό είναι πολύ αργά. [4]

### 2.3.2.Οπτικός Έλεγχος με Μικροσκόπιο

Σήμερα, χάρις στην κατασκευή ισχυρών μικροσκοπίων, μπορούμε να παρατηρήσουμε ακόμη και τη δημιουργία των μικρορωγμών σε κρυσταλλικό επίπεδο. Με την προϋπόθεση λοιπόν ότι μια ρωγμή βρίσκεται στην επιφάνεια του υλικού και χρησιμοποιώντας την κατάλληλη οπτική συσκευή μπορούμε να την παρατηρήσουμε με μεγάλη ακρίβεια και να παρακολουθήσουμε τη διάδοσή της.

Σε εργαστηριακό επίπεδο, ο οπτικός έλεγχος αποτελεί τη κύρια μέθοδο αναφοράς για όλες τις άλλες μεθόδους ΜΚΕ. Τα εργαστηριακά δοκίμια σχεδιάζονται έτσι ώστε η ρωγμή να είναι ορατή από το μικροσκόπιο του οποίου οι μετρήσεις θεωρούνται ακριβέστερες των άλλων μεθόδων. Με τη μέθοδο αυτή αξιολογούνται και ρυθμίζονται όλες οι άλλες μέθοδοι ΜΚΕ πριν εφαρμοστούν.[4]

### 2.3.3.Οπτικός Έλεγχος με Βιντεοσκόπηση (*Video Inspection*)

Αγωγοί υγρών και αερίων, αποχετεύσεις και αγωγοί όμβριων υδάτων μπορούν να εξεταστούν οπτικά στο εσωτερικό τους με τη χρήση βιντεοκάμερας η οποία εισάγεται και μετακινείται μέσα στον αγωγό. Με τον τρόπο αυτό ελέγχεται η κατάστασή τους χωρίς να χρειαστούν εκσκαφές ή διακοπή της παροχής.



Εικόνα 2 : Η κάμερα με τους προβολείς («rig») και η οθόνη παρατήρησης.[4]

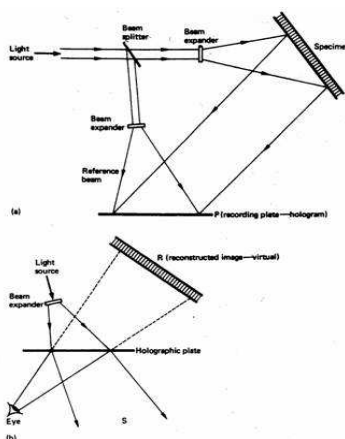
## 2.4.ΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕ LASER

### 2.4.1.Ολογραφία (Holography)

Όταν ένα αντικείμενο φωτίζεται με ακτίνες φωτός, η επιφάνειά του το αντανακλά παράγοντας κύματα διαφορετικού πλάτους και φάσης από το προσπίπτον φως. Τα κανονικά φιλμ καταγράφουν την ένταση του φωτός (πλάτος<sup>2</sup>) που ανακλάται αλλά δεν χρησιμοποιούν πληροφορίες από τη μεταβολή της φάσης του.

Στην ολογραφία χρησιμοποιούμε το Laser ώστε το φως να έχει σταθερή φάση. Το ανακλώμενο φως και ένα μέρος της αρχικής ακτίνας συναντώνται και συνδυάζονται έτσι ώστε η μεταβολές της φάσης να μετατραπούν σε μεταβολές έντασης και μαζί με το πλάτος να αποτυπωθούν σε φιλμ (ολογράφημα). Όταν περάσει ξανά η αρχική ακτίνα μέσα από το ολογράφημα διαθλάται και δημιουργεί μια 3-διάστατη εικόνα του αντικειμένου.

Όταν το αντικείμενο παραμένει στη θέση του η εκ νεου δημιουργούμενη εικόνα και το αντικείμενο συμπίπτουν ακριβώς. Αν όμως το αντικείμενο έχει μετακινηθεί ελάχιστα ή καταπονείται και έχει τοπικά παραμορφωθεί, τότε ο παρατηρητής βλέπει στην επιφάνεια κροσσούς συμβολής των οποίων το πλήθος και η απόσταση εξαρτώνται από τις μεταβολές στο αντικείμενο. Σε αυτό το φαινόμενο βασίζεται η ολογραφική συμβολομετρία.[4]



Εικόνα 3 : Ολογραφία. (α) Δημιουργία ολογράμματος. (β) Ανακατασκευή εικόνας.[4]

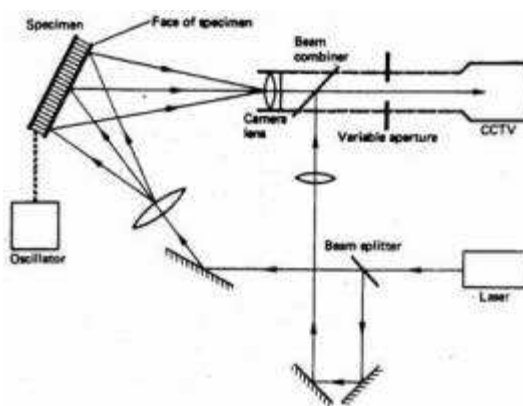
### 2.4.2.Συμβολομετρία (ESP Interferometry)

Η ολογραφική συμβολομετρία απαιτεί πολύ υψηλή ανάλυση που να φτάνει τις 1000 γραμμές ανά mm και πολύ υψηλή ένταση ώστε να έχει λογικούς χρόνους έκθεσης. Η τεχνική βασίζεται στη διπλή απεικόνιση του αντικειμένου πριν και μετά τη φόρτιση του.

Αφού σχηματίσουμε το ολόγραμμα του αντικειμένου, το προβάλλουμε επάνω του και στη συνέχεια παρατηρούμε τους κροσσούς συμβολής που σχηματίζονται καθώς το αντικείμενο καταπονείται ή δονείται. Αυτό λέγεται και φαινόμενο «ζωντανών κροσσών». Χρησιμοποιώντας επιπλέον ένα είδος στροβοσκοπίου μπορούμε να απομονώσουμε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή του κύκλου καταπόνησης την οποία θέλουμε να παρατηρήσουμε.

Για την αποτύπωση της τελικής εικόνας, εκθέτουμε αρχικά το αντικείμενο στην ολογραφική πλάκα αφόρτιστο για το μισό του χρόνου έκθεσης και στη συνέχεια εφαρμόζουμε την τάση και το εκθέτουμε για τον υπόλοιπο χρόνο έκθεσης. Όλες οι τοπικές παραμορφώσεις θα εμφανιστούν στην τελική εικόνα σαν κροσσοί. [4]

Η ολογραφική συμβολομετρία είναι κατάλληλη για το εντοπισμό παραμορφώσεων με τη μορφή εξογκωμάτων περισσότερο παρά τεντωμάτων. Χρησιμοποιώντας μάλιστα μια τηλεοπτική κάμερα και ψηφιακή εγγραφή οι αποτυπώσεις γίνονται σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Η σύνθετη αυτή τεχνική ονομάζεται και «ηλεκτροπτική ολογραφία».

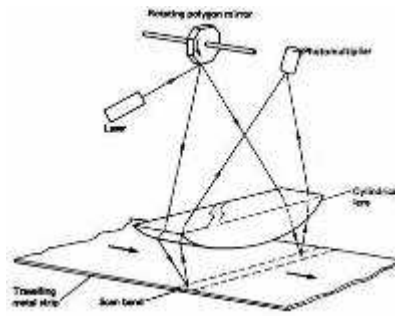


Εικόνα 4 : Ολογραφική Συμβολομετρία

#### 2.4.3. Δυναμικός Έλεγχος Επιφανείας (Dynamic Surface-Inspection)

Σε πολλά εξαρτήματα η παρουσία επιφανειακών ανωμαλιών, ρωγμών ακόμα και σκόνης μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στη λειτουργία τους. Ο χειρωνακτικός έλεγχος παρόμοιων ελαττωμάτων παρουσιάζει σοβαρά μειονεκτήματα καθώς είναι υποκειμενικός, πολύ αργός και πολύ ακριβός.

Ο δυναμικός έλεγχος επιφανείας χρησιμοποιεί τηλεοπτική κάμερα για να καταγράψει τη σάρωση της επιφάνειας από μια ακτίνα Laser σε πολύ υψηλές ταχύτητες. Το σήμα ψηφιοποιείται και οδηγείται σε κατάλληλο πρόγραμμα σε Η/Υ για επεξεργασία. Το πρόγραμμα ελέγχει το ψηφιακό τηλεοπτικό σήμα για «ανωμαλίες» που θα οφείλονται σε επιφανειακά ελαττώματα του υλικού.



**Εικόνα 5 :** Δυναμικός έλεγχος επιφανείας σε μεταλλική πλάκα.

Σε ειδικές περιπτώσεις, για μέγιστη ανάλυση και ταχύτητα, αντί της κάμερας χρησιμοποιούνται συστοιχίες φωτοδιόδων με οπτικές ίνες (π.χ. με 800x800 στοιχεία και διάκενο 25μm) και επιτυγχάνονται ταχύτητες έως και 60000 τεμάχια την ώρα.

## **2.5.ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ (RADIOGRAPHIC TESTING)**

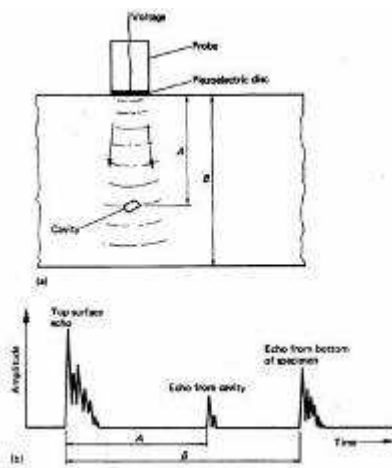
### **2.5.1.ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΕΡΗΧΩΝ (ULTRASONIC INSPECTION)**

Οι μηχανικές δονήσεις διαδίδονται μέσα από στερεά, υγρά και αέρια καθώς η δόνηση μεταφέρεται από το ένα σωματίδιο της ύλης στο διπλανό του. Όταν τα σωματίδια της ύλης ταλαντώνουν και η κίνησή τους είναι κανονική τότε μετριέται σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο ( $\text{Hz} = \text{sec}^{-1}$ ). Όταν μάλιστα η συχνότητα της δόνησης είναι μεταξύ 10 και 20000 Hz, ο ήχος ακούγεται από το ανθρώπινο αυτί. Οι δονήσεις με συχνότητα πάνω από 20000 Hz οι «ήχοι» δεν ακούγονται και ονομάζονται υπέρηχοι (ultrasound ή ultrasonic). [4]

Τα ηχητικά κύματα δεν είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, αλλά είναι κύματα κίνησης παρόμοια με τα θαλάσσια κύματα. Τα κύματα των ήχων και υπερήχων διαδίδονται μέσα στα υλικά, υφίστανται απόσβεση και ανακλώνται, διαθλώνται ή σκεδάζονται όταν συναντούν εμπόδια ή ασυνέχειες, ανάλογα με τη συχνότητά τους. Την ιδιότητα αυτή τη χρησιμοποιούμε για να εντοπίσουμε τυχόν ατέλειες στο εσωτερικό ενός σώματος χωρίς να το τεμαχίσουμε (ΜΚΕ). [4]

### **2.5.2.Αρχή Λειτουργίας**

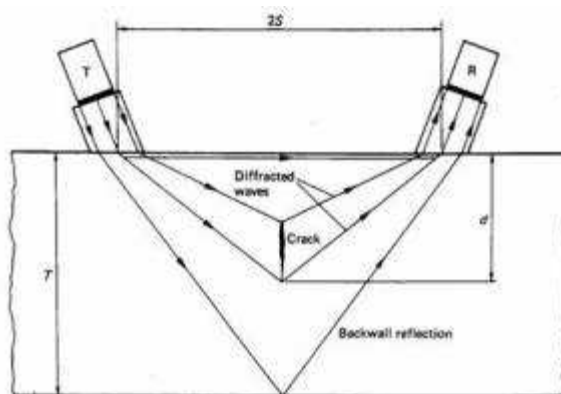
Η λειτουργία της μεθόδου βασίζεται στην εκπομπή ενός παλμού υπερήχων μέσα στο υλικό και την καταγραφή των ανακλάσεων που επιστρέφουν. Ο παλμός υπερήχων δημιουργείται με την εφαρμογή ενός παλμού υψηλής τάσης σε ένα πιεζοηλεκτρικό δίσκο. Οι ανακλάσεις δονούν τον ίδιο ή άλλο πιεζοηλεκτρικό δίσκο ο οποίος τις μετατρέπει πάλι σε τάσεις. Κάθε επιφάνεια ανακλά μια ηχώ του παλμού, με πρώτη απ' όλες την επιφάνεια στην οποία εφάπτεται ο δίσκος και τελευταία την απέναντι επιφάνεια του υλικού. Ανάμεσα στις δύο ανακλάσεις θα βρίσκεται η ηχώ από οποιοδήποτε ατέλεια υπάρχει μέσα στο υλικό και με εύρος που εξαρτάται από το μέγεθος κάθε ατέλειας.



Εικόνα 6 : Αρχή λειτουργίας Ελέγχου με Υπερήχους. [4]

### 2.5.3.ΧρόνοςΠερίθλασης (Time of Flight Diffraction ultrasonics – TOFD)

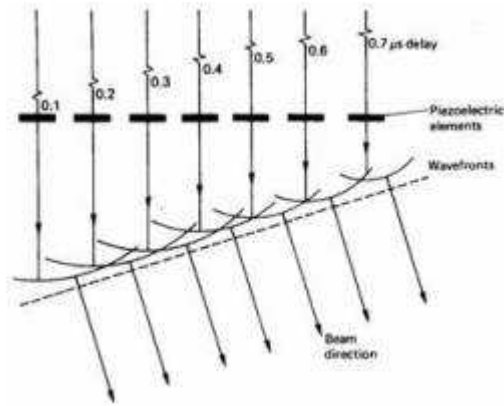
Μια παραλλαγή της κλασικής μεθόδου που μετρά το χρόνο ανάκλασης είναι η μέτρηση του χρόνου διάθλασης του παλμού υπερήχων. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί τα κύματα που διαθλούνται στα χείλη των ρωγμών και βάσει της γεωμετρίας του δοκιμίου και των θέσεων του πομπού και του δέκτη υπολογίζει το βάθος και μήκος των ατελειών.



Εικόνα 7 : Μέτρηση ρωγμής με την διάθλαση των υπερήχων (TOFD)[4]

### 2.5.4.Συστοιχία Φάσης με Υπερήχους (Phased Array ultrasonics)

Οι σύγχρονες τεχνικές που είχαν επιτυχία σε παρόμοιους επιστημονικούς κλάδους, εφαρμόζονται και στις μεθόδους υπερήχων. Η συστοιχία φάσης, γνωστή από τα ραντάρ και σόναρ, υλοποιείται και εδώ με μια συστοιχία από πιεζοηλεκτρικά στοιχεία και μας δίνει τη δυνατότητα να κατευθύνουμε τη δέσμη των παλμών με μεγάλη ακρίβεια χωρίς τη παρεμβολή μηχανικών ή άλλων μέσων.



**Εικόνα 8 :** Συστοιχία φάσης υπερήχων. [4]

### 2.5.5.Περιστρεφόμενο σύστημα για αγωγούς (*Internal Rotary Inspection System - IRIS*)

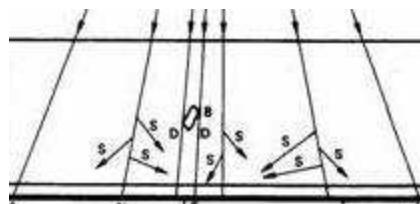
Για την εφαρμογή των μεθόδων σε ειδικές κατασκευές έχουν αναπτυχθεί επί μέρους τεχνικές. Ειδικά για το εσωτερικό των αγωγών έχουν αναπτυχθεί συστήματα όπως το περιστρεφόμενο σύστημα ελέγχου (*IRIS*) που τοποθετείται μέσα στον αγωγό και τον σαρώνει κυκλικά και κατά μήκος για τον εντοπισμό ρωγμών και διαβρώσεων.[4]

### 2.5.6.Ακτίνες X (*X-rays*) και Ακτίνες Γάμα (*Gamma rays*)

Από την ανακάλυψή τους το 1895 μέχρι σήμερα, οι ακτίνες-Χ χρησιμοποιούνται για τον μη επεμβατικό και μη καταστροφικό έλεγχο ανθρώπων και υλικών αντίστοιχα. Οι ακτίνες-Χ έχουν τέτοιο μήκος κύματος που τους επιτρέπει να διαπερνούν όλα τα υλικά με κάποιο ποσοστό απορρόφησης που εξαρτάται από το υλικό. Το μήκος κύματος ποικίλει από τα 10nm (*Grenz* ή «απαλές» ακτίνες-Χ) έως τα 10-4nm («σκληρές» ακτίνες-Χ) που μπορούν να διαπεράσουν ακόμη και ατσάλι πάχους μισού μέτρου!

Οι ακτίνες-Γάμα εκπέμπονται από ραδιενεργές πηγές σε παρόμοια μήκη κύματος, είναι και αυτές ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, έχουν τις ίδιες ιδιότητες με τις ακτίνες-Χ και χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανική ραδιογραφία.

Οι ακτίνες-Χ και Γάμα ταξιδεύουν πάντα σε ευθείες γραμμές και δεν εστιάζονται γι' αυτό και η διάταξη λειτουργίας είναι πάντοτε: πηγή-εξεταζόμενο δείγμα-ραδιογραφική πλάκα.

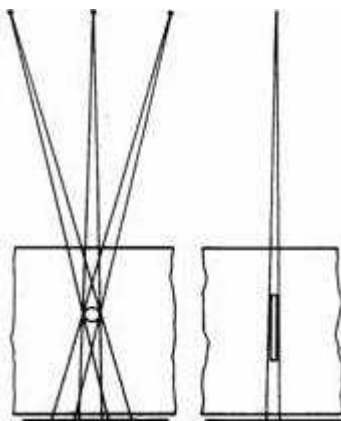


**Εικόνα 9 :** Ραδιογραφική απεικόνιση σε φιλμ. [4]



Μια σημαντική παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν είναι ότι η πηγή της ακτινοβολίας αν και μικρή δεν είναι σημειακή. Το αποτέλεσμα είναι μια ελαφρά θολή εικόνα στα όρια των ελαττωμάτων και ιδιαίτερα αυτών που είναι μικρότερα σε μέγεθος από την πηγή. Το τελικό αποτέλεσμα μπορεί συχνά να βελτιωθεί με την ψηφιακή επεξεργασία των εικόνων.

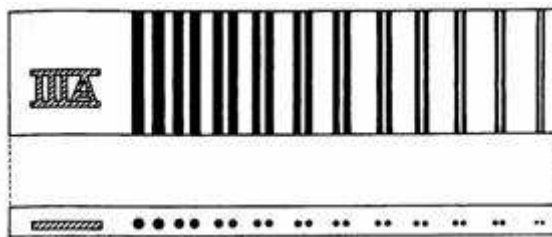
Οι ραδιογραφικές μέθοδοι, όπως και όλες οι αποτυπώσεις σε φιλμ, αποτελούν την 2-διάστατη προβολή 3-διάστατων αντικειμένων. Αυτό σημαίνει ότι το σχήμα που προκύπτει εξαρτάται από τη κατεύθυνση των ακτίνων και την θέση του ελαττώματος στο υλικό. Για να μπορούμε να έχουμε δεδομένα σχετικά με τη 3η διάσταση απαιτούνται δυο αποτυπώσεις από διαφορετική γωνία για να δημιουργηθεί μια στερεοσκοπική εικόνα του υλικού.



**Εικόνα 10:** Απλή (2-διάστατη) προβολή σε ραδιογραφία.[4]

Όταν μελετάμε την παρουσία ατελειών σε ένα υλικό η μεγαλύτερη «ποιότητα» ή «ευαισθησία» μιας ραδιογραφικής μεθόδου σημαίνει την ικανότητα της να διακρίνει μια μικρότερων διαστάσεων ατέλεια.

Για να μετρηθεί αυτή η ικανότητα της μεθόδου χρησιμοποιούνται κατάλληλοι δείκτες που είναι σύρματα ή ελάσματα, διαφορετικού πάχους και διαμέτρου, με συγκεκριμένη βαθμονόμηση και τυποποίηση. Η ραδιογραφία αυτών των δεικτών μας δείχνει απ' ευθείας την ικανότητα κάθε μεθόδου ή συσκευής.



**Εικόνα 11 :** Δείκτες μέτρησης της ευαισθησίας των Ραδιογραφικών μεθόδων. [4]

### 2.5.7. Οι Ιονίζουσες Ακτινοβολίες

Οι ακτίνες-Χ δημιουργούνται όταν ηλεκτρόνια υψηλής ενέργειας χτυπούν ένα μεταλλικό αντικείμενο. Οι ακτίνες-Γάμα προέρχονται από τον πυρήνα ραδιενεργών στοιχείων. Και οι δυο ακτινοβολίες ταξιδεύουν με ταχύτητα φωτός, σε ευθείες γραμμές και είναι άρατες.

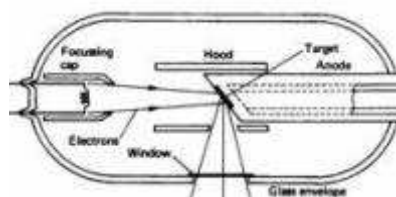
Οι ηλεκτρομαγνητικές αυτές ακτινοβολίες δεν είναι συνεχείς (θεωρία Planck) αλλά εκπέμπονται σε μικρά πακέτα ενέργειας που ονομάζονται φωτόνια ή κβάντα (quanta). Η ενέργεια ενός quantum μετριέται σε eV (electron-Volts). Η ενέργεια των ακτίνων-Χ και των ακτίνων-Γάμα εξαρτάται από το μήκος κύματος και αναφέρεται σε keV και MeV.[4]

Σήμερα συνυπάρχουν ακόμα το παλιό με το μετρικό σύστημα μονάδων. Με το παλαιότερο σύστημα η ποσότητα ή «έκθεση» σε ακτινοβολία μετριέται σε Roentgens ή mR, η μονάδα «αποροφούμενης δόσης» είναι το rad, και η μονάδα «ισοδύναμης αποροφούμενης δόσης» το rem. Στο μετρικό σύστημα η «έκθεση» σε ακτινοβολία σαν ενέργεια που είναι μετριέται σε Coulomb/kg ( $1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R}$ ), η μονάδα «αποροφούμενης δόσης» είναι το gray ( $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad}$ ), και η μονάδα «ισοδύναμης αποροφούμενης δόσης» το sievert ( $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ ).

Στη πρακτική ραδιογραφία η έξοδος μιας συσκευής ακτίνων-Χ αναφέρεται σε mA και μιας ακτίνων-Γάμα σε curie (Ci). Στο μετρικό σύστημα το Ci θεωρήθηκε πολύ μεγάλο και αντικαταστάθηκε από το Becquerel (Bq) ( $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ ).[4]

### 2.5.8. Οι Πηγές Ακτίνων-Χ & Γάμα

Οι ακτίνες-Χ δημιουργούνται όταν ηλεκτρόνια υψηλής ενέργειας χτυπούν ένα μεταλλικό αντικείμενο. Οι λυχνίες ακτίνων-Χ περιέχουν τη κάθοδο που παράγει τα ηλεκτρόνια και την μεταλλική άνοδο στην οποία προσπίπτουν τοποθετημένες μέσα σε κενό αέρος και τροφοδοτούνται με υψηλή τάση (kV-MV).



Εικόνα 12 : Λυχνία ακτίνων-Χ.[4]

Οι πηγές των ακτίνων-Γάμα επιλέγονται μέσα από τα λίγα φυσικά ραδιενεργά υλικά και τις εκατοντάδες τεχνητά ραδιοϊσότοπα που εκπέμπουν συνδυασμούς από ακτίνες α, β, γ και νετρόνια. Μόνο λίγα από αυτά έχουν ιδιότητες που να τα κάνουν κατάλληλα για βιομηχανικές ραδιογραφικές εφαρμογές.

Μέχρι το 1955 χρησιμοποιούσαν φυσικές πηγές όπως το Ράδιο και το Ράδον τα οποία όμως ήταν επικίνδυνα και έχουν αντικατασταθεί σήμερα από ραδιοϊσότοπα όπως τα πλέον χρησιμοποιούμενα Cobalt-60, Iridium-192, ή, Ytterbium-169 και τα λιγότερο διαδεδομένα Caesium-137, Thulium-170, ή, Sodium-24. Ο αριθμός που ακολουθεί το

όνομα είναι η ατομική μάζα του ισότοπου. Τα τεχνητά ραδιοϊσότοπα κατασκευάζονται σε ατομικούς αντιδραστήρες ή εξάγονται από τα χρησιμοποιημένα πυρηνικά καύσιμα. Είναι σημαντικό να καταλάβουμε ότι όταν ένα τέτοιο υλικό αρχίσει να λειτουργεί δε μπορεί να σταματήσει ή να σβήσει. Το υλικό ακτινοβολεί συνέχεια μέχρι να εξαντληθεί. Τον ρυθμό εξάντλησης ενός ραδιενεργού υλικού τον μετράμε με το «χρόνο ημιζωής» που είναι ο χρόνος που απαιτείται για να μειωθεί στο μισό η ακτινοβολία του. Άλλα υλικά έχουν ημιζωή μερικές ώρες και άλλα μερικές εκατοντάδες χρόνια.

Οι πηγές ακτίνων-Γάμα απαιτούν αυστηρά προσεκτικό και ασφαλή χειρισμό. Αφού ενεργοποιηθούν σφραγίζονται σε ειδικές κάψουλες, οι κάψουλες περιβάλλονται από απορροφητικό υλικό, τηρούνται αποστάσεις ασφαλείας, και, όλες οι ενέργειες πρέπει να είναι σύντομες και ταχύτατες.

### **2.5.9. Κίνδυνοι και Προφύλαξη**

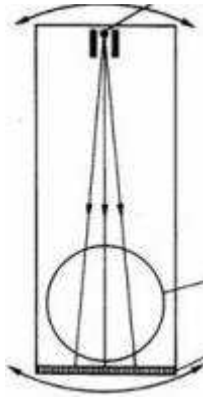
Η ιονίζουσα ακτινοβολία είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη και καταστρέφει τους ζωντανούς ιστούς, γι' αυτό απαιτεί τη λήψη κατάλληλων μέτρων προφύλαξης και ειδικές εγκαταστάσεις. Η ετήσια δόση ακτινοβολίας σε ολόκληρο το σώμα δεν πρέπει να ξεπερνά τα 5 mSv (= 0.5 rem) για το κοινό και τα 15 mSv για τους εργαζόμενους σε σχετικές εγκαταστάσεις.

Η κυριότερη αρχή που πρέπει να τηρείται είναι αυτή της ελάχιστης δυνατής έκθεσης (ALARP – As Low As Reasonably Possible). Οι οδηγίες προφύλαξης γίνονται όλο και πιο αυστηρές με τη πάροδο του χρόνου καθώς διαπιστώνεται το πραγματικό επίπεδο βλάβης που μπορούν να προξενήσουν οι ιονίζουσες ακτινοβολίες ακόμη και σε χαμηλές δόσεις.

### **2.5.10. Ψηφιακή Ραδιογραφία – Τομογραφία (Computed Tomography)**

Η τομογραφία είναι ένα σύνολο από ραδιογραφίες που αποτυπώνονται ψηφιακά και τις επεξεργαζόμαστε με Η/Υ. Αντί του ραδιογραφικού φιλμ, κάθε ραδιογραφία αποτυπώνεται σαν ψηφιακή πληροφορία μετατρέποντας τη φωτεινότητα κάθε κόκκου του φιλμ σε bytes.

Για να δημιουργηθεί η 3-διάστατη τομογραφία συνθέτουμε δεκάδες ψηφιακές ραδιογραφίες. Κάθε ραδιογραφία έχει ληφθεί από διαφορετικό σημείο, είτε περιστρέφοντας το αντικείμενο είτε περιστρέφοντας τη συσκευή ραδιογραφίας. Η σύνθεση γίνεται από τα πρόγραμμα του Η/Υ που ελέγχει τη συσκευή και γνωρίζει ακριβώς τις θέσεις και τις γωνίες λήψης των εικόνων.



Εικόνα 13 : Τομογραφία με περιστροφή της πηγής.

### 2.5.11. Υποατομικά Σωματίδια (νετρόνια, πρωτόνια, κλπ.) (Neutron radiography)

Νετρόνια κατάλληλης ενέργειας παρουσιάζουν παρόμοιες ιδιότητες απορρόφησης από τα υλικά, παρ' όλο που είναι ατομικά σωματίδια και όχι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η χρήση υποατομικών σωματιδίων (νετρονίων ή πρωτονίων) έχει καθιερωθεί ευρέως σαν τεχνική και συνήθως αναφέρεται με το όνομα «νετρονική ραδιογραφία».

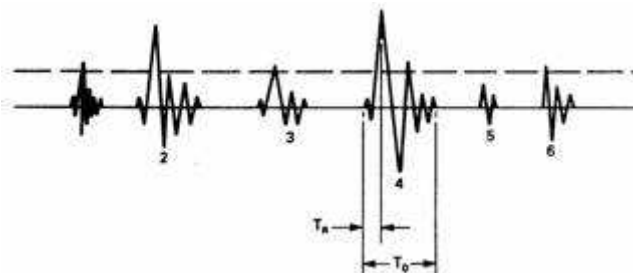
Η αξία της μεθόδου οφείλεται στο ότι η απορρόφηση των νετρονίων από τα υλικά δεν είναι ίδια με την απορρόφηση των ακτίνων-X που αυξάνει ομαλά με τον ατομικό αριθμό του στοιχείου. Υλικά όπως το Υδρογόνο και το Λίθιο έχουν πολύ μεγάλο συντελεστή απορρόφησης ενώ υλικά όπως το Αλουμίνιο και ο Σίδηρος έχουν 500-2000 φορές μικρότερο συντελεστή απορρόφησης. Η ιδιότητα αυτή κάνει τη μέθοδο πολύ αποτελεσματική στον εντοπισμό ατελειών, ειδικά όσων περιέχουν υδρογόνο όπως το νερό, λάδι, πλαστικό, κλπ., ακόμα και σε πολύ παχιές πλάκες μετάλλου ή άλλων υλικών.

Στη πράξη οι κύρια πηγή νετρονίων είναι ο πυρηνικός αντιδραστήρας. Άλλες πηγές που χρησιμοποιούνται είναι το ραδιοϊσότοπο Californium-252, ή, συνδυασμός ακτίνων-X με Uranium ή Beryllium.

## 2.6.ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ (ΑΕ)

Όταν ένα στερεό φορτίζεται με τάσεις αρκούντως υψηλές, τότε το υλικό παράγει ήχους με τη μορφή διακριτών παλμών. Το φαινόμενο αυτό το καλούμε Ακουστική Εκπομπή (Acoustic Emission – AE) ή Εκπομπή Κυμάτων Τάσης (Stress-Wave Emission – SWE). Η Ακουστική Εκπομπή μπορεί να καλύπτει και το ακουστικό φάσμα αλλά κυρίως πρόκειται για υπερήχους με συχνότητες από 30 kHz έως 30 MHz.

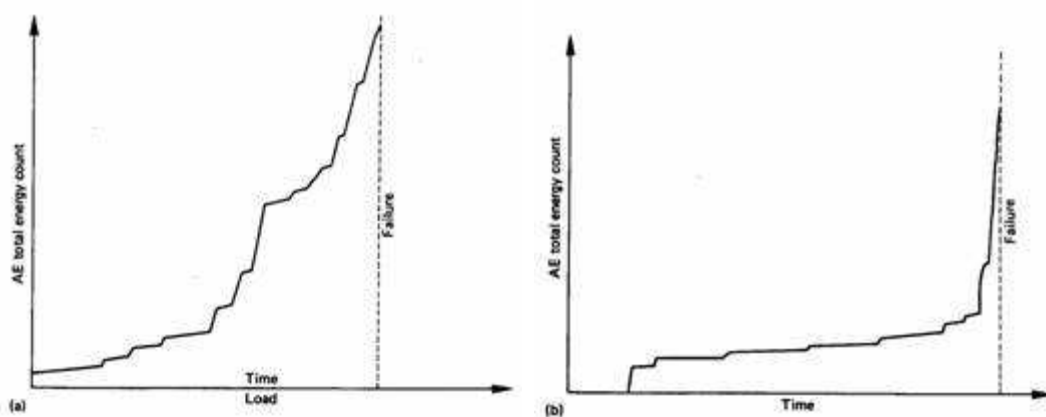
Κύρια χαρακτηριστικά των παλμών Ακουστικής Εκπομπής είναι ο χρόνος ανόδου TR, η συνολική διάρκεια TD και το πλάτος τους όταν ξεπερνά ένα ελάχιστο όριο (threshold). Η ρύθμιση του ελάχιστου ορίου είναι σημαντική για την επιλογή ή απόρριψη των παλμών (π.χ. στην επόμενη εικόνα, ο παλμός 5 αγνοείται ενώ ο 4 υπολογίζεται δυο φορές).



**Εικόνα 14 :** Σειρά παλμών Ακουστικής Εκπομπής.

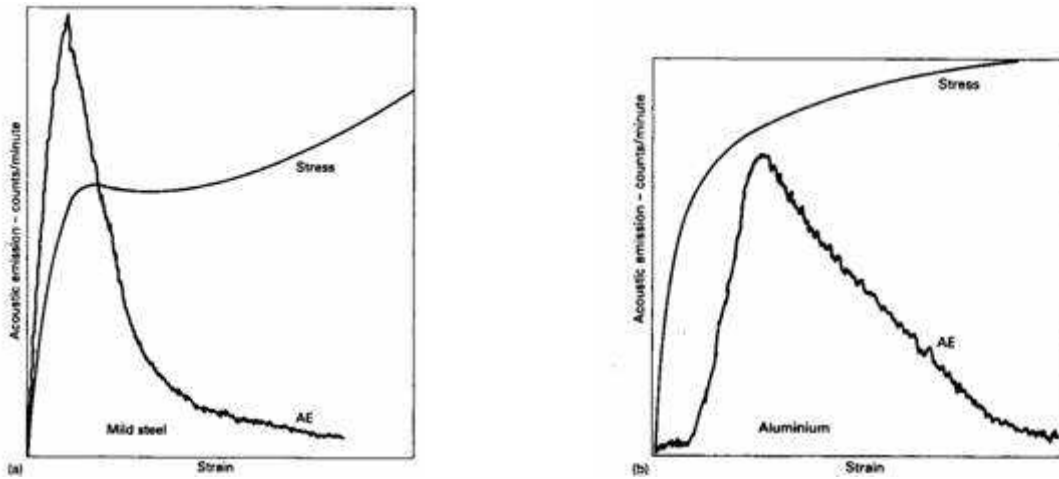
Η τελική επιλογή της παρουσίας ή όχι ενός παλμού είναι πιο πολύπλοκη διαδικασία και στην οποία συμμετέχουν εκτός από ειδικά κυκλώματα φίλτρων και προγράμματα Η/Υ που υλοποιούν τεχνικές Θεωρίας Αποφάσεων και Αναγνώρισης Προτύπων.

Οι πιο βασικές παράμετροι που μελετώνται γραφικά είναι η συνολική ενέργεια των παλμών και το πλήθος των αφικνούμενων παλμών στη μονάδα του χρόνου. Οι παράμετροι αυτοί της ΑΕ συγκρίνονται και συνδυάζονται με άλλες παραμέτρους της κόπωσης ώστε να προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα. Συσχετίζοντας π.χ., την συνολική ενέργεια των παλμών με τον χρόνο ή τους κύκλους φόρτισης προκύπτουν διαγράμματα τα οποία μπορούν αν συγκριθούν με τα διαγράμματα της μορφής  $\alpha-N$  (μήκους ρωγμής – κύκλων φόρτισης).



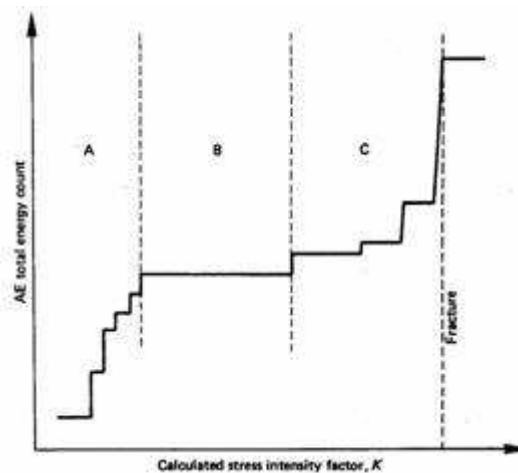
**Εικόνα 15 :** Διάγραμμα ενέργειας ΑΕ προς χρόνο φόρτισης (α) για «θορυβώδη» υλικά και (β) για «ήσυχα» υλικά. [4]

Αντίστοιχα, συσχετίζοντας το πλήθος των αφικνούμενων παλμών ανά λεπτό με τη παραμόρφωση του υλικού, μπορούμε να σχεδιάσουμε το διάγραμμα τους μαζί με το διάγραμμα  $\sigma-\epsilon$  (τάσης-παραμόρφωσης) όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 16 : Διάγραμμα πλήθους παλμών ΑΕ προς ανηγμένη παραμόρφωση  $\varepsilon$  : (α) για ατσάλι και (β) για αλουμίνιο.[4]

Τέλος, αν σχεδιάσουμε τη συνολική ενέργεια των παλμών ΑΕ ως προς τον συντελεστή έντασης τάσεων  $K$  προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα όπου φαίνεται ότι υπάρχει μια αύξηση των εκπομπών ΑΕ όταν το  $K$  πλησιάζει τη δυσθραυστότητα (fracture toughness  $K_{IC}$ ).



Εικόνα 17 : Διάγραμμα ενέργειας ΑΕ προς συντελεστή  $K$ . [4]

### 2.6.1. Εντοπισμός μιας πηγής ΑΕ

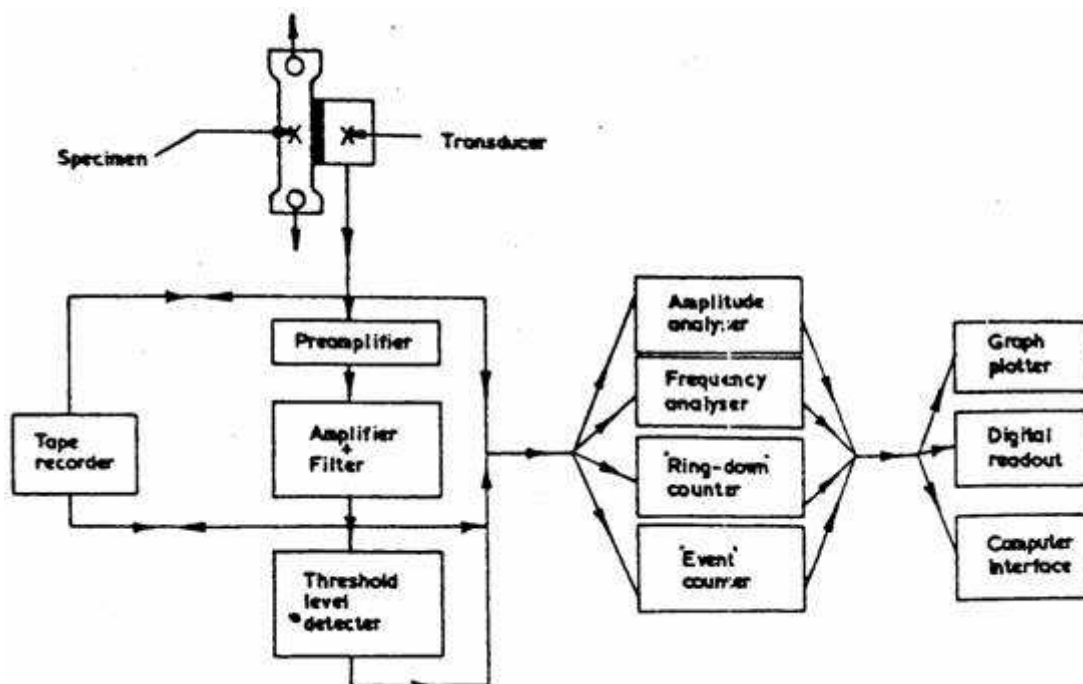
Μια από τις ευρύτερα διαδεδομένες εφαρμογές της ΑΕ είναι ο εντοπισμός της θέσης του ελαττώματος ή της ατέλειας που παράγει τους παλμούς ΑΕ. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί πολλούς αισθητήρες υπερήχων (10-20). Οι αισθητήρες τοποθετούνται στην επιφάνεια του υπό εξέταση αντικείμενου σε απόσταση μεταξύ τους ώστε να καλύπτουν όλο το αντικείμενο. Η χρονική συσχέτιση των σημάτων τους επιτρέπει τον γεωμετρικό προσδιορισμό της θέσης της πηγής κάθε παλμού ΑΕ. Για ατέλειες που βρίσκονται σε ακτίνα περίπου 1 m από τους αισθητήρες, μπορεί να εντοπιστεί η θέση τους με ακρίβεια εκατοστού (1 cm).

### 2.6.2. Υπέρ και Κατά της Μεθόδου ΑΕ

Η μέθοδος των ΑΕ είναι μια από τις νεότερες μεθόδους ΜΚΕ. Έχει ήδη περάσει τα βασικά στάδια ανάπτυξης και ήδη έχουν δοθεί οι πρώτες τυποποιήσεις από την ASTM με πιο σημαντικό το ASTM.E.750.

Τα κυριότερα προτερήματα της μεθόδου είναι ότι: μπορεί να καλύψει μεγάλες επιφάνειες και κατασκευές, μας δείχνει ότι υπάρχουν ατέλειες που επεκτείνονται, εντοπίζει τις ατέλειες, τις εντοπίζει ακόμη και σε απρόσιτα σημεία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ενώ η κατασκευή μας λειτουργεί (on-line). [4]

Η μέθοδος έχει φυσικά και μειονεκτήματα όπως: δεν εκπέμπονται παλμοί ΑΕ από όλες τις ατέλειες του υλικού, η απόδοσή της εξαρτάται από τη μέθοδο φόρτισης της κατασκευής και από την ύπαρξη θορύβου, δεν καθορίζει το μέγεθος της ατέλειας και δεν είναι ακόμη πλήρως τυποποιημένη.[4]



Εικόνα 18 : Συνδεσμολογία μεθόδου ΑΕ. [4]

### ***2.6.3.Μέθοδοι Ακουστικής Πρόσκρουσης (Acoustic Impact)***

Η μέθοδος αυτή έρχεται από τα πρώτα χρόνια του σιδηροδρόμου όταν, οι ελεγκτές των οχημάτων, χτυπούσαν με σφυριά τους τροχούς του τραίνου για να διαπιστώσουν από τον ήχο τυχόν βλάβες. Σήμερα το «χτύπημα» έχει τυποποιηθεί και αυτοματοποιηθεί και ο ήχος αναλύεται ηλεκτρονικά ώστε να εξαχθούν οι χρήσιμες πληροφορίες.

Υπάρχει μια σειρά τεχνικών που βασίζονται στην ίδια αρχή όπως είναι: η ηχητική μέθοδος (sonic), η ακουστική μέθοδος (acoustic), η μέθοδος μηχανικής εμπέδησης (mechanical impedance), και, η μέθοδος των δονήσεων (vibration).



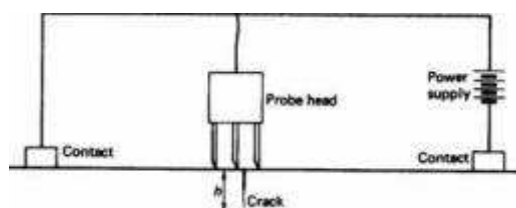
## 2.7. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.7.1. Ηλεκτρικές μέθοδοι

Υπάρχουν πολλές ηλεκτρικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στον ΜΚΕ όπως για παράδειγμα, η μέτρηση της αντίστασης του υλικού, η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, και η χρήση του τριβοηλεκτρικού, του θερμοηλεκτρικού ή του εξωηλεκτρονίου φαινομένου. Όμως, οι δύο κύριες κατηγορίες μεθόδων είναι η μέθοδος πτώσης δυναμικού για εντοπισμό ρωγμών, και, ο έλεγχος ρευμάτων eddy (Foucault).

### 2.7.2. Μέθοδος της Πτώσης Δυναμικού (Potential Drop)

Η μέθοδος λειτουργεί με τη μέτρηση της τάσης στην επιφάνεια του μετάλλου, το οποίο διαρρέεται από σταθερό DC ή εναλλασσόμενο AC ρεύμα. Η παρουσία ρωγμών, ή άλλων ατελειών, προκαλεί μεταβολές στη αγωγιμότητα του υλικού και αντίστοιχα στη μετρούμενη τάση.

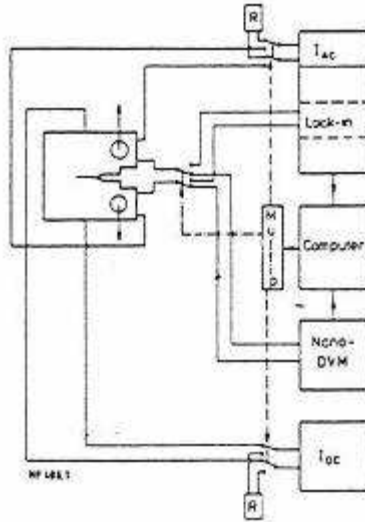


Εικόνα 19 : Μέθοδος Πτώσης Δυναμικού[4]

Η ίδια συσκευή που χρησιμοποιείται για την παροχή του ρεύματος και τη μέτρηση της τάσης μπορεί να μετατρέψει τις μεταβολές της πτώσης δυναμικού σε μεταβολές του μήκους της ρωγμής, εφόσον φυσικά έχει προηγηθεί η κατάλληλη ρύθμιση.

Η χρήση DC ρεύματος προσφέρει ευκολότερη τοποθέτηση και ρύθμιση, καθώς και μεγαλύτερη συσχέτιση τάσης και μήκους ρωγμής. Από την άλλη η χρήση AC ρεύματος απαιτεί πολύ μικρότερη ισχύ, διότι χάρις στο επιδερμικό φαινόμενο το ρεύμα κυκλοφορεί μόνο στην επιφάνεια του μετάλλου, έτσι δεν επηρεάζει την θερμοκρασία του δοκιμίου και επιπλέον επιτρέπει τη χρήση μιας πληθώρας τεχνικών για τη μείωση του θορύβου.

Οι δύο τεχνικές των DC και AC ρευμάτων μπορούν επίσης να εφαρμοστούν ταυτόχρονα ώστε να συνδυάζονται τα προτερήματά τους και να βελτιώνονται τα αποτελέσματα.

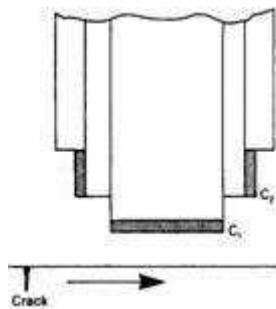


**Εικόνα 20 :** Χοντρικό διάγραμμα συνδεσμολογίας της μεθόδου πτώσης δυναμικού[4]

### 2.7.3. Ρεύματα Eddy (Eddy-Current)

Στην μέθοδο ρευμάτων eddy χρησιμοποιείται ένα ζεύγος πηνίων που τροφοδοτείται από εναλλασσόμενο ρεύμα συγκεκριμένης συχνότητας. Όταν αυτά βρεθούν κοντά στην επιφάνεια του μεταλλικού υλικού παράγουν σε αυτήν ρεύματα eddy τα οποία με τη σειρά τους δημιουργούν πεδίο που επιδρά στα πηνία και επηρεάζει το ρεύμα που τα διαρρέει. Οι αλλαγές αυτές μας πληροφορούν για την κατάσταση της επιφανείας του υλικού.

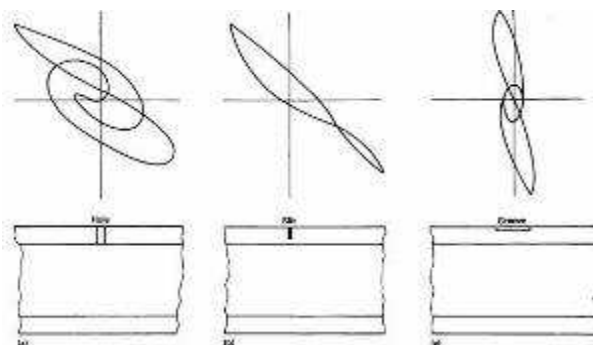
Η βασική τεχνική είναι να μετακινείται η κεφαλή με τα πηνία πάνω από την επιφάνεια του δοκιμίου και να καταγράφεται κάθε αλλαγή στο ρεύμα και τη τάση των πηνίων. Όταν στην επιφάνεια υπάρχουν ατέλειες, τα πεδία των ρευμάτων eddy αλλοιώνονται και επηρεάζουν διαφορετικά το ρεύμα των πηνίων. [4]



**Εικόνα 21:** Μέθοδος δινορευμάτων (eddy currents).

#### 2.7.4.Μακρινόπεδίο Δινορευμάτων (Remote field testing - RFT)

Μια παραλλαγή της μεθόδου είναι η μέτρηση του μακρινού πεδίου των ρευμάτων eddy που αναπτύχθηκε για τον έλεγχο μικρών μεταλλικών σωλήνων με εσωτερικό καθετήρα. Η τεχνική παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα καθώς εντοπίζει με την ίδια ευαισθησία εσωτερικά και εξωτερικά ελαττώματα του τοιχώματος του σωλήνα. Χαρακτηριστικό της τεχνικής είναι ότι τα δύο πηνία είναι απομακρυσμένα, και, το ένα χρησιμοποιείται σαν πομπός και το άλλο σαν δέκτης.



**Εικόνα 22 :** Σήματα ρευμάτων eddy από εσωτερικό καθετήρα στα 250 kHz: (α) διαμετρής οπή 2 mm, (β) λεπτή επιφανειακή σχισμή, (γ) επιφανειακή διαμήκης εγκοπή.[4]

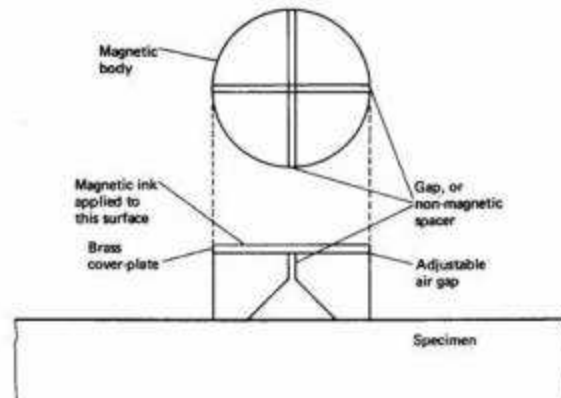
#### 2.7.5.Μαγνητικές μέθοδοι

Οι μαγνητικές μέθοδοι ΜΚΕ βασίζονται στον εντοπισμό των απωλειών της μαγνητικής ροής λόγω ατελειών του υλικού. Όταν ένα δοκίμιο μαγνητίζεται και περιέχει μια ασυνέχεια στην επιφάνειά του ή κάτω από αυτήν, δημιουργείται μια παραμόρφωση στη μαγνητική ροή η οποία προκαλεί ένα τοπικό πεδίο απώλειας μαγνητικής ροής. Οι μέθοδοι βασίζονται στους νόμους του Maxwell (1873) και χρησιμοποιούν σύγχρονες μεθόδους ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων και πολύ ισχυρούς υπολογιστές.

Οι μαγνητικές μέθοδοι ΜΚΕ μπορούν να εφαρμοστούν μόνο σε υλικά που μαγνητίζονται. Η πλέον χρησιμοποιούμενη μαγνητική μέθοδος ελέγχου είναι η τεχνική των μαγνητικών ρινιδίων σε μελάνι ή σκόνη.

#### 2.7.6.Έλεγχος με Μαγνητικά Ρινίδια (Magnetic Particles)

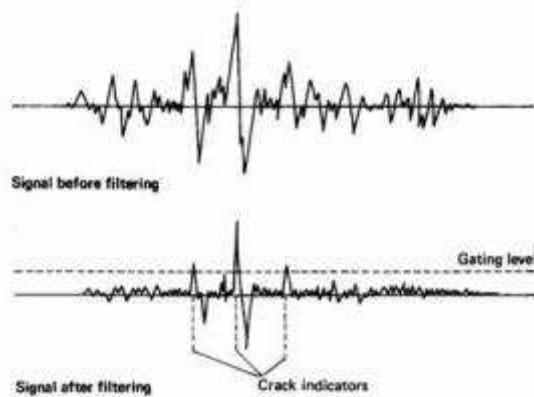
Τα υπό έλεγχο δοκίμια μαγνητίζονται κατάλληλα και στην επιφάνειά τους τοποθετούνται σιδηρομαγνητικά ρινίδια. Τα ρινίδια έλκονται και συγκεντρώνονται στα σημεία απώλειας της ροής, κάνοντας τις ατέλειες ορατές με γυμνό μάτι. Τα ρινίδια τοποθετούνται στην επιφάνεια ελέγχου είτε σαν χρωματιστό μαγνητικό μελάνι (magnetic ink) ή σαν μαγνητική σκόνη (magnetic particles). [4]



Εικόνα 23 : Έλεγχος με Μαγνητικά Ρινίδια[4]

### 2.7.7.Μαγνητογραφία (Magnetography)

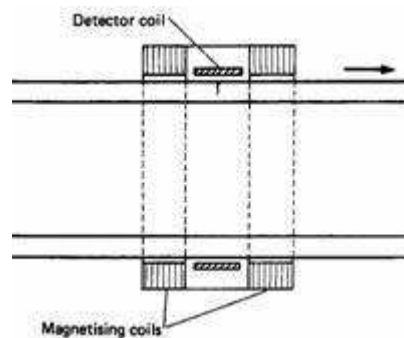
Εναλλακτικά η μέτρηση της μαγνητικής ροής μπορεί να γίνει με ένα είδος μαγνητοταινίας η οποία πιέζεται στην επιφάνεια του μαγνητισμένου υλικού. Στη συνέχεια η ταινία αφαιρείται για επεξεργασία και ανάλυση των ενδείξεων. Η διαδικασία αυτή λέγεται μαγνητογραφία αλλά δεν είναι ακόμα ιδιαίτερα διαδεδομένη.



Εικόνα 24 : Μαγνητογραφικά σήματα πριν και μετά το φιλτράρισμά τους.[4]

### 2.7.8.Εντοπισμός Απωλειών Μαγνητικής Ροής (Magnetic flux leakage - MFL)

Οι απώλειες μαγνητικής ροής μπορούν να καταγραφούν και με αισθητήρες που φέρουν πηνία ή μαγνητοδιόδους. Η τεχνική αυτή είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για σωλήνες, αγωγούς, δεξαμενές και συρματόσχοινα.



Εικόνα 25 : Μέτρηση μαγνητικών απωλειών κατά μήκος αγωγού.[4]

### **2.7.9. Έλεγχος Θορύβου Barkhausen (Barkhausen Noise)**

Οι ατέλειες στη κρυσταλλική δομή ενός υλικού, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τις μηχανικές ιδιότητές του, είναι οι ίδιες που επηρεάζουν και τις μαγνητικές του ιδιότητες. Η μεταξύ τους σχέση δεν έχει γίνει ακόμη πλήρως κατανοητή αλλά διαπιστώθηκε ότι οι μετρήσεις του μαγνητικού θορύβου Barkhausen και των βημάτων Barkhausen παρέχουν πληροφορίες για τις μηχανικές ιδιότητες.

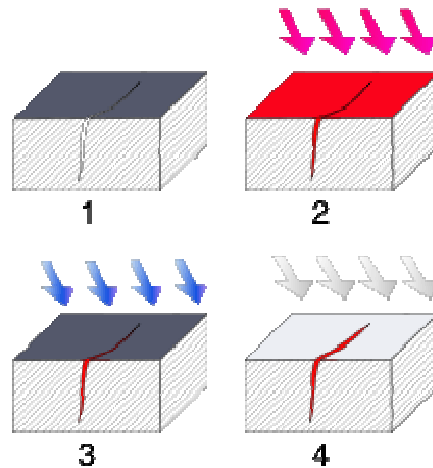
Ο μαγνητισμός των υλικών συμβαίνει με μια σειρά μικρών βημάτων από τον ένα κόκκο στον άλλο. Αν συνδέσουμε το πηνίο μαγνητισμού με ένα μεγάρφωνο, τα βήματα αυτά ακούγονται σαν μια σειρά από κλικ και συνθέτουν ένα θόρυβο (ένα ανάλογο φαινόμενο είναι η μαγνητοακουστική εκπομπή). Ο θόρυβος Barkhausen είναι ευαίσθητος στη παρουσία τάσεων, ρωγμών, μικρο-ατελειών, θερμικής κατεργασίας και πλαστικής παραμόρφωσης, και παρουσιάζει αιχμές και ακραίες τιμές που βοηθούν στον εντοπισμό τους.

## **2.8. ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΑ ΥΓΡΑ (LIQUID PENETRANT FLAW)**

Ο έλεγχος με διεισδυτικό υγρό ή χρωστική ουσία χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό επιφανειακών ρωγμών σε μη σιδηρούχα κράματα ή σε σιδηρούχα κράματα στα οποία δεν μπορεί να εφαρμοστεί κάποια αντίστοιχη ηλεκτρική ή μαγνητική μέθοδος. Μερικές φορές εφαρμόζεται και σε μη μεταλλικά υλικά.

Τα βασικά στάδια της μεθόδου είναι τα εξής:

1. Το υπό εξέταση υλικό, το οποίο περιέχει ρωγμές, μη ορατές με γυμνό οφθαλμό, καθαρίζεται επιμελώς.
2. Το διεισδυτικό υγρό απλώνεται στην επιφάνειά του υλικού ώστε να εισχωρήσει μέσα στις ρωγμές. Μικρότερα αντικείμενα βυθίζονται και ολόκληρα μέσα στο υγρό.
3. Στη συνέχεια το πλεονάζον υγρό αφαιρείται και η επιφάνεια καθαρίζεται ώστε στο υλικό να παραμείνει μόνο το υγρό που έχει εισχωρήσει στις ρωγμές.
4. Τέλος, στην επιφάνεια του υλικού απλώνεται ένα υγρό ή σκόνη «εμφάνισης» (developer), η οποία όταν έρχεται σε επαφή με το διεισδυτικό υγρό δημιουργεί έντονη χρωματική αντίθεση. Η έντονη αλλαγή στο χρώμα κάνει τις επιφανειακές ρωγμές ορατές.[4]



**Εικόνα 26 :** Τα στάδια της μεθόδου: 1) Καθαρισμός επιφάνειας, 2) Εφαρμογή διεισδυτικού υγρού, 3) Καθαρισμός από το υγρό, 4) Εφαρμογή της ουσίας εμφάνισης (developer).[4]

Η επιλογή του κατάλληλου διεισδυτικού υγρού καθορίζεται από την ευκολία διείσδυσής του στις ρωγμές και φυσικά την ευκολία εξαγωγής του από αυτές μετά τον έλεγχο. Η απλούστερη και παλαιότερη μέθοδος χρησιμοποιεί για διεισδυτικό λεπτόρρευστο λάδι και για την εμφάνιση λευκή σκόνη ανθρακικού ασβεστίου, η οποία χρωματίζεται έντονα από το λάδι των ρωγμών. Παραλλαγές της μεθόδου περιλαμβάνουν φωσφορίζουσες χρωστικές που γίνονται εύκολα ορατές με τη χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας.

### **2.8.1.Συνδυασμός Διεισδυτικού υγρού και Ραδιογραφίας**

Μια πιο ενδιαφέρουσα παραλλαγή είναι ο συνδυασμός διεισδυτικού υγρού και ραδιογραφίας. Στις ραδιογραφίες δεν εντοπίζονται εύκολα οι επιφανειακές ρωγμές και τα διεισδυτικά υγρά δεν μας πληροφορούν για το τι γίνεται κάτω από την επιφάνεια. Ο συνδυασμός των δύο μεθόδων αφ' ενός αυξάνει την ποιότητα των ραδιογραφιών (contrast) με την επιλογή του κατάλληλου υγρού, και εφ' ετέρου μας πληροφορεί για το βάθος της επιφανειακής ρωγμής. Στη τεχνική αυτή χρησιμοποιούνται οι διεισδυτικές ουσίες: νιτρικός άργυρος (silver nitrate), ιωδιούχος ψευδάργυρος (zinc iodide), χλωροφόρμιο (chloroform), και κυρίως, διωδιούχο μεθάνιο (diiodomethane).

### 2.8.2. Έλεγχοι Διαρροής (Leak Detection)

Πολλές συσκευές σχεδιάζονται να λειτουργούν με υψηλή εσωτερική πίεση και κατά συνέπεια πρέπει να ελέγχονται για τυχόν διαρροές. Με τη μέθοδο εντοπισμού διαρροών διοχετεύεται αέριο ή υγρό υπό πίεση στη συσκευή και ελέγχουμε την παρουσία του στην άλλη πλευρά του τοιχώματος καθώς και τυχόν μειώσεις στη πίεση του.[4]

Υπάρχουν πολλές τεχνικές, σε άλλες διοχετεύεται αέριο ενώ το σώμα είναι βυθισμένο σε υγρό οπότε δημιουργούνται φυσαλίδες (bubble testing), και σε άλλες διοχετεύεται χρωματιστό ή φωσφορίζον υγρό το οποίο εντοπίζεται στην άλλη πλευρά με ειδικό φωτισμό π.χ. υπέρυθρες λυχνίες. Το αέριο που χρησιμοποιείται σήμερα είναι το ήλιο, λόγω της αδρανούς του φύσης. Κάθε τεχνική έχει διαφορετικές προδιαγραφές, ευαισθησία αλλά και κόστος. Ο επόμενος πίνακας παραθέτει μερικές από τις μεθόδους ελέγχου διαρροής.

Πίνακας 1. Μέθοδοι Διαρροής

Method	Probe	Minimum detectable leak (cm <sup>3</sup> /s)	Comment
Water immersion	air/He	10 <sup>-3</sup>	low cost
Dye penetrant	—	10 <sup>-4</sup>	low cost
Pressure changes	—	10 <sup>-5</sup>	low cost
Ionisation gauge	H, He, O	10 <sup>-7</sup>	—
Ultrasonic	air	10 <sup>-2</sup>	—
Radioisotope K-85	counter	10 <sup>-10</sup>	special safety precautions needed
Mass spectrometer	He	10 <sup>-10</sup>	versatile; very costly
Sniffer	He	10 <sup>-6</sup>	versatile; costly

## 3.ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

### 3.1.Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης



**Εικόνα 27.** Το λογότυπο του ΕΛΟΤ[16]

Ο **Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης Ανώνυμη Εταιρεία (ΕΛ.Ο.Τ. Α.Ε.)** (αγγλ. Hellenic Organization for Standardization S.A.) είναι Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου και ιδρύθηκε το 1976 με έδρα την Αθήνα σύμφωνα με το άρθρο 1 του Νόμου 372/1976. Από το 1997, ο ΕΛ.Ο.Τ. λειτουργεί ως Ανώνυμη Εταιρεία βάσει του Νόμου 414/96 και του Προεδρικού Διατάγματος 155/1997. Ο ΕΛ.Ο.Τ. χρηματοδοτείται από το κράτος, εποπτεύεται από το Υπουργείο Ανάπτυξης και διοικείται από Διοικητικό Συμβούλιο, το οποίο απαρτίζουν ο Πρόεδρος, ο Αντιπρόεδρος, ο Διευθύνων Σύμβουλος και πέντε μέλη. Το έργο του Διοικητικού Συμβουλίου υποστηρίζεται από τη δράση των Τεχνικών Επιτροπών και Ομάδων Εργασίας που έχουν συσταθεί και λειτουργούν επικουρικά προς το έργο του ΕΛ.Ο.Τ. και αριθμούν περισσότερα από 1000 μέλη.

#### **3.1.1.Σκοπός Ίδρυσης και Λειτουργίας**

Σκοπός του ΕΛΟΤ είναι η προαγωγή και εφαρμογή της τυποποίησης και των δραστηριοτήτων που είναι συναφείς και απορρέουν από αυτή (π.χ. πιστοποίηση, πληροφόρηση, έλεγχοι και δοκιμές). Συγκεκριμένα, οι δραστηριότητες του ΕΛΟΤ είναι:

- α) Η σύνταξη, έκδοση και διάθεση προτύπων και προδιαγραφών που αναφέρονται σε προϊόντα, με εξαίρεση τα γεωργικά προϊόντα, και σε διεργασίες, δραστηριότητες, οργανισμούς, συστήματα, πρόσωπα ή συνδυασμούς αυτών, τα οποία μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο τυποποίησης.
- β) Η σύσταση και υποστήριξη επιτροπών ή ομάδων εργασίας για τη μελέτη θεμάτων που εμπίπτουν στο σκοπό και στις αρμοδιότητές του, η ανάθεση τέτοιων μελετών σε υφιστάμενες επιτροπές, ομάδες εργασίας ή πρόσωπα, καθώς και ο συντονισμός και η αξιοποίηση όλων των σχετικών εργασιών και μελετών που αφορούν την τυποποίηση στην Ελλάδα.
- γ) Η δημιουργία αρχείου ελληνικών, διεθνών και εν γένει αλλοδαπών προτύπων και προδιαγραφών, καθώς και η συγκέντρωση, ανταλλαγή και διάδοση με κάθε πρόσφορο μέσο δημοσιευμάτων και πληροφοριών σχετικών με το σκοπό και τις αρμοδιότητές του.
- δ) Η έκδοση κάθε είδους εργασιών, μελετών και περιοδικών σχετικών με το σκοπό και τις αρμοδιότητές του.
- ε) Η καθιέρωση και απονομή σημάτων συμμόρφωσης.
- στ) Η καθιέρωση και χορήγηση πιστοποιητικών συμμόρφωσης.
- ζ) Η ίδρυση και λειτουργία ινστιτούτων και εργαστηρίων και η διενέργεια δοκιμών και ελέγχων.



η) Η παροχή κάθε μορφής υπηρεσιών πληροφόρησης και εκπαίδευσης σχετικών με το σκοπό και τις αρμοδιότητές του.

θ) Η υλοποίηση ερευνητικών εργασιών και προγραμμάτων σχετικών με το σκοπό του.[16]

### **3.1.2. Δράση**

Από τα πρώτα χρόνια της λειτουργίας του ο ΕΛ.Ο.Τ. είχε αναπτύξει και συνεχίζει να αναπτύσσει προγράμματα και ποικίλες δραστηριότητες, οι οποίες ενισχύουν και προωθούν το έργο του σε εθνικό και διεθνές επίπεδο. Αναλυτικότερα, διοργανώνει κύκλους σεμιναρίων και αναγνωρισμένα εργαστήρια Τυποποίησης και παρέχει ευκαιρίες κατάρτισης και ενημέρωσης, μέσω εκπαιδευτικών προγραμμάτων και υπηρεσιών. Επιπλέον, ο ΕΛ.Ο.Τ. συμμετέχει σε ευρωπαϊκές και διεθνείς ενώσεις και οργανισμούς Τυποποίησης και πιστοποιεί πρότυπα, τα οποία πληρούν τα καθιερωμένα και αναγνωρισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά.[16]

### **3.1.3. Τομείς Δραστηριότητας ΕΛ.Ο.Τ.**

Σύμφωνα με το σκοπό ίδρυσης και λειτουργίας του ΕΛ.Ο.Τ. και το νόμο 372/1976, οι δραστηριότητες του οργανισμού αφορούν την τυποποίηση σχετικά με προϊόντα. Ως προϊόν νοείται το αποτέλεσμα δραστηριοτήτων ή διεργασιών, το οποίο μπορεί να είναι υλικό (π.χ. υλικά, εξοπλισμός) ή άυλο (π.χ. υπηρεσίες, λογισμικό, γνώσεις) ή συνδυασμός αυτών. Οι δραστηριότητες του ΕΛΟΤ εντάσσονται στους παρακάτω τομείς.[16]

### **3.1.4. Τυποποίηση**

Τυποποίηση (*Standardization, Normalisation*) είναι η δραστηριότητα με την οποία θεσπίζονται διατάξεις, οι οποίες προορίζονται να εφαρμοστούν γενικά και κατ'επανάληψη, προκειμένου να αντιμετωπιστούν υπαρκτά ή εν δυνάμει προβλήματα και να επιτευχθεί ο καλύτερος δυνατός βαθμός τάξης σε ένα δεδομένο πλαίσιο εφαρμογής.[16]

### **3.1.5. Θέσπιση Προτύπων**

Πρότυπο (*Standardization, Normalisation*) είναι το έγγραφο στο οποίο περιλαμβάνονται, για γενική και επαναλαμβανόμενη χρήση, κανόνες, κατευθυντήριες γραμμές ή χαρακτηριστικά για δραστηριότητες ή τα αποτελέσματά τους και το οποίο έχει καταρτιστεί, μετά από συναίνεση, έναν αναγνωρισμένο φορέα, προκειμένου να επιτευχθεί ο καλύτερος δυνατός βαθμός τάξης σε ένα δεδομένο πλαίσιο εφαρμογής. Τα πρότυπα, τα οποία εγκρίνονται από τον ΕΛ.Ο.Τ., χαρακτηρίζονται **ελληνικά πρότυπα**. [16]

### **3.1.6. Θέσπιση Προδιαγραφών**

Προδιαγραφή (*Specification*) είναι το έγγραφο, το οποίο καθορίζει τις απαιτήσεις που πρέπει να πληρεί ένα προϊόν, διεργασία, δραστηριότητα, οργανισμός, σύστημα, πρόσωπο ή συνδυασμός αυτών. Οι προδιαγραφές οι οποίες εγκρίνονται από τον

ΕΛ.Ο.Τ. χαρακτηρίζονται **ελληνικές προδιαγραφές**, εξαιρουμένων των γεωργικών προϊόντων.[16]

### **3.1.7.Πιστοποίηση**

Πιστοποίηση (*Certification*) είναι η διαδικασία, μέσω της οποίας ένας ανεξάρτητος οργανισμός βεβαιώνει ότι ένα προϊόν, μια διεργασία, μια δραστηριότητα, ένας οργανισμός, ένα σύστημα, ένα πρόσωπο ή συνδυασμός αυτών συμμορφώνεται προς καθορισμένες απαιτήσεις που θέτει κάποιο **Πρότυπο**. [16]

### **3.1.8.Θέσπιση Συστημάτων πιστοποίησης**

Σύστημα Πιστοποίησης (*Certification System, Systeme de Certification*) είναι το σύνολο κανόνων, οι οποίοι καθορίζουν τη διαδικασία και τη διαχείριση της πιστοποίησης. [16]

### **3.1.9.Απονομή Σημάτων Συμμόρφωσης**

Σήμα συμμόρφωσης (*Certification of Conformity, Marque de Conformite*) είναι το προστατευόμενο σήμα, το οποίο απονέμεται από εθνικές ή διεθνείς αρχές ή οργανισμούς σύμφωνα με τους κανόνες ενός συστήματος πιστοποίησης. Το σήμα αυτό υποδηλώνει ότι παρέχεται επαρκής εμπιστοσύνη ότι ένα προϊόν, διεργασία, δραστηριότητα, οργανισμός, σύστημα, πρόσωπο ή συνδυασμός αυτών συμμορφώνεται προς ένα πρότυπο ή προδιαγραφή ή κανονισμό. Το σήμα συμμόρφωσης, το οποίο απονέμεται από τον ΕΛ.Ο.Τ. Α.Ε. βάσει των ελληνικών προτύπων, χαρακτηρίζεται **ελληνικό σήμα συμμόρφωσης**. [16]

### **3.1.10.Απονομή Πιστοποιητικού Συμμόρφωσης**

Πιστοποιητικό συμμόρφωσης (*Certificate of Conformity, Marque de Conformite*) είναι το έγγραφο, το οποίο εκδίδεται από εθνικές ή διεθνείς αρχές ή οργανισμούς σύμφωνα με τους κανόνες ενός συστήματος πιστοποίησης και υποδηλώνει ότι παρέχεται επαρκής εμπιστοσύνη ότι ένα προϊόν, διεργασία, δραστηριότητα, οργανισμός, σύστημα, πρόσωπο ή συνδυασμός αυτών συμμορφώνεται προς ένα πρότυπο ή προδιαγραφή και κανονισμό. [16]

## 3.2.ΕΚΩΣ 2000

Ο Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος-Έκδοση 2000 (ΕΚΩΣ2000) αποτελεί μια διεξοδική αναθεώρηση του κανονισμού που, με βελτιώσεις το 1995, ουσιαστικά ισχύει από το 1991.[13]

Είναι βέβαια παγκόσμια πρακτική οι Δομικοί Κανονισμοί να αναθεωρούνται κατά τακτά χρονικά διαστήματα με βάση την εμπειρία από την εφαρμογή τους στην πράξη και την πρόοδο της επιστήμης. Στην προκειμένη περίπτωση υπήρχαν, πέραν των παραπάνω και ειδικότεροι λόγοι που επέβαλαν την ουσιαστική αναθεώρηση του κανονισμού ωπλισμένου σκυροδέματος.[13]

Συγκεκριμένα:

-Ο ΕΚΩΣ έπρεπε να προσαρμοστεί σε ότι αφορά στην πληθώρα των αντισεισμικών διατάξεων που περιέχει, στον πρόσφατα εγκριθέντα Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό έκδοση 2000 (ΕΑΚ 2000).

-Σε ότι αφορά στα υλικά που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, ο ΕΚΩΣ όφειλε να προσαρμοστεί στους αντιστοιχούς κανονισμούς σε θέματα υλικών, που εγκρίθηκαν τα τελευταία χρόνια και ειδικότερα στον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-1997) και στον Κανονισμό Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμένου Σκυροδέματος (ΚΤΧ-2000)

Κατόπιν αυτών, στον ΕΚΩΣ 2000 έχουν αναθεωρηθεί όλα τα Κεφάλαια του προγενέστερου κανονισμού, τόσο εκείνα που αφορούν στα Υλικά, όσο και εκείνα που αφορούν στους Υπολογισμούς και στις Κατασκευαστικές Διατάξεις.

Ειδικότερα σε ότι αφορά στα υλικά, και κυρίως τον χάλυβα, εισηχθησαν ειδικές απαιτήσεις άμεσα συνδεδεμένες με την αντισεισμική συμπεριφορά.

Σε ότι αφορά στους υπολογισμούς οι κυριότερες τροποήσεις αφορούν στην αντιμετώπιση της διάτμησης υπό συνθήκες σεισμικής καταπόνησης και στην ρηγμάτωση. Αλλά και οι κατασκευαστικές διατάξεις έχουν γίνει συγκεκριμένες και απαιτητικές, κυρίως σε ότι αφορά στην αντισεισμική ικανότητα, με αποτέλεσμα να οδηγούν, σχεδόν μονοσήμαντα, σε αυξημένη χρήση αντισεισμικών τοιχωμάτων.

## 4.ΔΟΚΙΜΕΣ

Οι συνήθεις δοκιμές που πραγματοποιούνται στο σκυρόδεμα είναι οι εξής:

- Δοκιμή θλίψης
- Δοκιμή κάθισης
- Έλεγχος αντλησιμότητας – πλαστιμότητας
- Λήψεις δοκιμίων

### 4.1.Δοκιμές Θλίψης Δοκιμίων Σκυροδέματος

Σήμερα το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι το *δημοφιλέστερο δομικό υλικό*, καθώς παρουσιάζει τα εξής βασικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλα:

- Είναι *οικονομικό*. Τα υλικά του (νερό - αδρανή - τσιμέντο) είναι φθηνά και προμηθεύονται εύκολα. Επίσης, κατά κανόνα δεν απαιτείται συντήρηση.
- Είναι *εύπλαστο και εύχρηστο*. Το νωπό σκυρόδεμα μπορεί να προσαρμοστεί σε οποιαδήποτε μορφή ξυλότυπου και να καλύψει σχεδόν όλες τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις.
- Είναι *ανθεκτικό* στη μηχανική φθορά και στη φωτιά.
- Προσφέρεται για *μονολιθικές κατασκευές* (χωρίς αρμούς), οι οποίες σαν πολλαπλά στατικά αόριστες έχουν μεγάλα περιθώρια αντοχής και ασφάλειας, ιδιαίτερα σε σεισμικές δράσεις.



**Εικόνα 27.** Μηχανή ελέγχου αντοχής σε θλίψη[17]

Η σημαντικότερη ιδιότητα του σκυροδέματος είναι **η θλιπτική του αντοχή**. Το σκυρόδεμα, ακόμα και άοπλο, εμφανίζει μεγάλη αντοχή σε θλίψη γεγονός στο οποίο οφείλεται σε μεγάλο βαθμό η χρήση του υλικού στις κατασκευές. Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του μετράται στις 28 ημέρες σε κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 150mm και ύψους 300mm ή κυβικά δοκίμια ακμής 150mm, σύμφωνα με τις διατάξεις του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος.

*Οπότε, η εργαστηριακή δοκιμή δοκιμίων σκυροδέματος είναι απαραίτητη και πολύ χρήσιμη, λόγω των αποτελεσμάτων που εξάγονται.* Με λίγα λόγια, η εργαστηριακή δοκιμή κατά την οποία δοκίμια σκυροδέματος που έχουν ληφθεί κατά τη διάρκεια σκυροδέτησης (ή παραγωγής σκυροδέματος) από νωπό σκυρόδεμα με κατάλληλες μήτρες θλίβονται μέχρι θραύσεως σε κατάλληλη διάταξη («μηχανή θραύσης» ή «πρέσα»), ώστε να προσδιοριστεί η αντοχή τους και να εξαχθούν συμπεράσματα για την αντοχή της κατασκευής γενικότερα.[17]

#### **4.2.Αντοχή σε Θλίψη**

Οι αποκοπόμενοι πυρήνες έχουν διάμετρο 10 cm περίπου. Μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο αφού διαμορφώθηκαν με αδιατάρακτη κοπή (αποκόποντας τα άκρατους και ιδίως το ενανθρακωμένο τμήμα, ούτως ώστε οι επιφάνειες φορτίσεως να είναι επίπεδες, παράλληλες μεταξύ-τους και κάθετες προς τον διαμήκη άξονα) και υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοαξονικής θλίψης σύμφωνα με το αντίστοιχο πρότυπο.

Η αντοχή του πυρήνα σε μονοαξονική θλίψη υπολογίζεται από την σχέση

$$\sigma = \frac{P}{\left(\frac{\pi \cdot d^2}{4}\right)} \quad [24]$$

όπου :

P : μέγιστο θλιπτικό φορτίο

d : διάμετρος δοκιμίου

$\sigma$  : τάση θραύσεως

### 4.3.Δοκιμή Κάθισης

Αφού ολοκληρωθεί η συμπύκνωση της 3ης στρώσης, μορφώνεται και επιπεδώνεται η επιφάνεια της κορυφής του κώνου και ο κώνος αφαιρείται αργά και σταθερά εντός χρόνου 5 s (μέγιστο). Ο κώνος αναστρέφεται και τοποθετείται δίπλα από το νωπό σωρό σκυροδέματος. Στην επιφάνεια της κορυφής του κώνου κάθισης τοποθετείται η πρότυπη ράβδος Φ16 και μετράται η ελεύθερη απόσταση ανάμεσα σε αυτή και το υψηλότερο σημείο του νωπού σκυροδέματος με ακρίβεια cm. Προσδιορίζεται από τον Κ.Τ.Σ.-97 η κατηγορία κάθισης του σκυροδέματος. [21]

### 4.4.Έλεγχος Αντλησιμότητας -Πλαστιμότητας

Το μόνιμο του νωπού σκυροδέματος που έχει προκύψει από την απομάκρυνση του κώνου κάθισης χτυπάται με την πρότυπη ράβδο διαμέτρου Φ16, με κατεύθυνση από το πλάι προς το κέντρο του κώνου. Αν η ράβδος εισέρχεται στο μόνιμο και απλώς το παραμορφώνει, τότε το σκυρόδεμα θεωρείται αντλήσιμο και πλάστιμο. Αν πάλι η ράβδος αποκόπτει τεμάχια σκυροδέματος και αδρανών, τότε θεωρείται μη αντλήσιμο.[21]

### 4.6.Λήψεις Δοκιμίων

Λαμβάνονται τουλάχιστον 2 δοκίμια με ποσότητες σκυροδέματος που φέρονται εντός χυτοσιδηρών μητρών με την εξής διαδικασία:

Η μήτρα γεμίζεται με σκυρόδεμα έως το 1/2 του ύψους της και αυτό συμπυκνώνεται με 25 χτυπήματα με την πρότυπη ράβδο διαμέτρου Φ16. Το ίδιο γίνεται και για το υλικό της 2<sup>ης</sup>. [21]

στρώσης. Ακολούθως επιπεδώνεται η επιφάνεια της μήτρας με μυστρί και τοποθετείται ετικέτα με τον κωδικό και τα χαρακτηριστικά του δοκιμίου (ημερομηνία, κατηγορία σκυροδέματος, αύξων αριθμός δείγματος). Τα δοκίμια μετά τη λήψη τους παραμένουν για  $24\pm 4$  ώρες στις μήτρες και στη συνέχεια τοποθετούνται για συντήρηση εντός υγρού θαλάμου, θερμοκρασίας  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  και σχετικής υγρασίας μεγαλύτερης του 95% για 28 ημέρες.[21]

## 5.ΣΤΑΘΜΕΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### 5.1.Γενικά

A) Η στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων (Σ.Α.Δ.) που αφορούν δράσεις ή αντιστάσεις, εκφράζει την επάρκεια των πληροφοριών περί του υφισταμένου κτιρίου και λαμβάνεται υπόψη κατά την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό.[22]

B) Η Σ.Α.Δ. δεν είναι αναγκαστικώς ενιαία για ολόκληρο το κτίριο. Προσδιορίζονται επιμέρους Σ.Α.Δ. για τις διάφορες επιμέρους κατηγορίες πληροφοριών. Για την επιλογή των μεθόδων ανάλυσης θα χρησιμοποιείται η δυσμενέστερη από τις επιμέρους Σ.Α.Δ.[22]

Η Σ.Α.Δ. δεν ορίζεται με βάση τη διασπορά των αποτελεσμάτων των διερευνητικών εργασιών. Η διασπορά αυτή λαμβάνεται ήδη υπόψη κατά τη φάση αξιολόγησης, και επηρεάζει την «αντιπροσωπευτική τιμή» κάθε μεγέθους.

Η έννοια της Σ.Α.Δ. εφαρμόζεται και για την πληρότητα της αποτύπωσης του φέροντος οργανισμού και των τοιχοπληρώσεων, ιδίως στις περιπτώσεις αφανών στοιχείων. Οι επιπτώσεις της αβεβαιότητας μπορεί να ληφθούν υπόψη στις δράσεις ή στις αντιστάσεις κατά περίπτωση (π.χ. αβεβαιότητα στο πάχος της επικάλυψης της πλάκας θα ληφθεί υπόψη στις δράσεις, αβεβαιότητα στο πάχος της ίδιας της πλάκας θα ληφθεί υπόψη κυρίως στις αντιστάσεις).[22]

i. Επιλέγονται οι κατάλληλοι συντελεστές ασφαλείας γ<sub>f</sub> για ορισμένες δράσεις με αβέβαιες τιμές, σε συνδυασμό με τους κατάλληλους γ<sub>Sd</sub>.

Στα δεδομένα των υλικών νοούνται οι διαστάσεις και οι αντοχές του σκυροδέματος και του χάλυβα των σιδηροπλισμών, αλλά και οι πραγματικές λεπτομέρειες όπλισης, οι αγκυρώσεις, οι αναμονές κλπ. που διαμορφώνουν τις αντιστάσεις.

Τέτοια ενδέχεται να είναι η περίπτωση των αντιπροσωπευτικών τιμών ορισμένων έμμεσων δράσεων (πιέσεων ή ωθήσεων), καθώς και του βάρους δυσπροσπέλαστων επικαλύψεων ή τοιχοπληρώσεων. Σε ορισμένες περιπτώσεις αυξημένων αμφιβολιών, (και ανεκτιμάται ότι η επιρροή του μεγέθους της αντίστοιχης δράσης είναι σημαντική), συνιστάται η θεώρηση δύο «ευλόγως ακραίων» αντιπροσωπευτικών τιμών ( $S_{k,min}$  και  $S_{k,max}$ ).



## Κατηγορίες Σ.Α.Δ

Διακρίνονται τρεις Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων:

- i. «Υψηλή»
- ii. «Ικανοποιητική»
- iii. «Ανεκτή».

Για δευτερεύοντα φέροντα στοιχεία ως ανεπαρκέστερα δεδομένα θα μπορούσαν να θεωρηθούν:

Σε ό,τι αφορά τα ίδια βάρη, η χαρακτηριστική τους τιμή πρέπει να λαμβάνεται με τη δυσμενέστερη τιμή που είναι συμβατή με τη γεωμετρία του δομήματος ή/και προβλέπεται για παρόμοιες κατασκευές.[22]

Σε ό,τι αφορά τις αντιστάσεις, οι τιμές τους μπορούν να προσδιορίζονται με βάση τις διαστάσεις, τους σπλισμούς και τα χαρακτηριστικά υλικών τα οποία οδηγούν στην αιτιολόγηση της προηγούμενης συμπεριφοράς του φέροντος οργανισμού. Έτσι λ.χ. μπορεί να χρησιμοποιηθεί τιμή αντοχής που να δίνει την οριακή αντίσταση διατομών υπό τις δράσεις που προϋπήρχαν. Ομοίως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατ' εκτίμηση διαστάσεις δυσκόλως προσπελάσιμων θεμελίων οι οποίες να δίνουν οριακή φέρουσα ικανότητα, κ.λπ.[22]

## 5.2.Επιπτώσεις της Σ.Α.Δ. στην αποτίμηση και τον

### Ανασχεδιασμό

Ανάλογα με την αξιοπιστία των δεδομένων:

- i. Επιλέγονται οι κατάλληλοι συντελεστές ασφαλείας γ<sub>f</sub> για ορισμένες δράσεις με αβέβαιες τιμές, σε συνδυασμό με τους κατάλληλους γ<sub>Sd</sub>.
- ii. Επιλέγονται οι κατάλληλοι συντελεστές ασφαλείας γ<sub>m</sub> για τα δεδομένα των υφιστάμενων υλικών, σε συνδυασμό με τους κατάλληλους γ<sub>Rd</sub>.

## **5.3.ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΑ**

### **ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ**

#### **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ Σ.Α.Δ**

Οι ελάχιστες απαιτήσεις διερεύνησης για τα χαρακτηριστικά των υλικών ορίζονται ως ακολούθως:

##### **5.3.1.Σκυρόδεμα**

Η διερεύνηση του σκυροδέματος σκοπεί, κυρίως, στον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής, για κάθε περιοχή του φέροντος οργανισμού.

Για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό υφιστάμενης κατασκευής, θα χρησιμοποιείται η επιτόπου αντοχή σκυροδέματος σε κάθε κρίσιμη περιοχή κάθε δομικού στοιχείου.

Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η αναμενόμενη συστηματική διαφοροποίηση αντοχής σκυροδέματος, ανάλογα με τη χαρακτηριστική θέση-του στον φορέα, και ανάλογα με τις συνθήκες σκυροδέτησης, συμπύκνωσης και συντήρησης.

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

Η εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος σε κάθε κρίσιμη περιοχή δομικού στοιχείου γίνεται με αξιόπιστες έμμεσες (μη καταστροφικές) μεθόδους, η επιτόπου βαθμονόμηση των οποίων πρέπει να γίνεται όπως ορίζεται στην § 3.7.1.2.γ. Το πλήθος των χαρακτηριστικών θέσεων στις οποίες θα γίνονται τέτοιες μετρήσεις ανά όροφο και είδος δομικού στοιχείου πρέπει να είναι αρκετό για την επιζητούμενη αξιοπιστία, επηρεάζεται δε και απ' το μέγεθος της από θέση σε θέση διαφοράς τιμών που θα παρατηρηθούν. Πάντως, το πλήθος αυτό δεν μπορεί να είναι μικρότερο των ελαχίστων απαιτήσεων της

##### **5.3.1.1.Μέθοδοι εκτίμησης της αντοχής**

Θα γίνεται συνδυασμός έμμεσων μεθόδων και πυρηνοληψίας, ώστε να δίνεται η δυνατότητα ελέγχου σε περισσότερες θέσεις, με μεγαλύτερη αξιοπιστία.

Η μετατροπή της αντοχής των πυρήνων στην πραγματική επιτόπου αντοχή, γίνεται μέσω διορθωτικών συντελεστών, με τους οποίους λαμβάνονται υπόψη:

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

Επειδή η ακρίβεια των έμμεσων μεθόδων εξαρτάται και από πλήθος τοπικών συνθηκών, επιβάλλεται η παράλληλη λήψη πυρήνων, προκειμένου να γίνεται βαθμονόμηση των μεθόδων αυτών στο υπόψη δόμημα. Με βάση τα αποτελέσματα των ως άνω δοκιμών, ο μελετητής Μηχανικός υποχρεούται να αιτιολογήσει τις παραδοχές για τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος που θα χρησιμοποιηθούν κατά την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό, λαμβάνοντας υπόψη και συνεκτιμώντας και άλλες τυχόν διαθέσιμες πληροφορίες.[22]

### **5.3.1.2.παιτούμενο πλήθος δοκιμών - Σ.Α.Δ.**

Για μικρά (μέχρι διώροφα) κτίρια, το απολύτως ελάχιστο απαιτούμενο πλήθος πυρήνων, είναι  $n = 3$ , από ομοειδή δομικά στοιχεία. Για μεγαλύτερα κτίρια, απαιτούνται τουλάχιστον 3 πυρήνες ανά δύο ορόφους, οπωσδήποτε όμως 3 πυρήνες στον «κρίσιμο» όροφο. Για να μπορεί η Σ.Α.+, για την αντοχή του σκυροδέματος, να θεωρείται «υψηλή» πρέπει οι θέσεις εφαρμογής των εμμέσων μεθόδων να καλύπτουν σε κάθε όροφο επαρκές ποσοστό για κάθε είδος δομικού στοιχείου και ειδικότερα:

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

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

- Το 30% των κατακορύφων στοιχείων
- Το 15% των οριζοντίων στοιχείων (δοκοί ή πλάκες).

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

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

Σε ειδικές περιπτώσεις κτιρίων για τα οποία διατίθενται υπεύθυνες και αξιόπιστες πληροφορίες για τον τρόπο κατασκευής τους, οι δοκιμές για την επαλήθευση των διατιθέμενων πληροφοριών μπορούν να περιορίζονται στην ελάχιστη πυρηνοληψία όπως προβλέπεται στο πιο πάνω εδάφιο (α), από ομοειδή δομικά στοιχεία κάθε ορόφου. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η επαρκής σύγκλιση των αποτελεσμάτων (η απόκλιση αντοχής κάθε πυρήνα να είναι μικρότερη από το 15% της μέσης τιμής). Στις περιπτώσεις αυτές η Σ.Α.Δ. θεωρείται «ικανοποιητική». Είναι όμως δυνατόν, εάν εκτελεστούν οι δοκιμές του εδαφίου (γ), η Σ.Α.Δ. να θεωρείται «υψηλή». Εάν η σύγκλιση των αποτελεσμάτων της πυρηνοληψίας δεν είναι ικανοποιητική, τότε επιβάλλεται η εφαρμογή των πιο πάνω .

## 5.3.2.Χάλυβας

### 5.3.2.1.Χάλυβαςοπλισμού

Ο προσδιορισμός της κατηγορίας του χάλυβα οπλισμού υφισταμένου κτιρίου αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό. Η κατάταξη του χάλυβα μπορεί να γίνει με οπτική αναγνώριση (επιφάνεια λεία ή με νευρώσεις, τυχόν αναγνώσιμες σημάνσεις στην επιφάνεια των ράβδων), σε συνδυασμό και με την εποχή κατασκευής του κτιρίου. Στην περίπτωση αυτή η Σ.Α.+ για την αντοχή του χάλυβα θεωρείται «ικανοποιητική».

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του χάλυβα που θα χρησιμοποιούνται κατά τον έλεγχο της συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων, επιτρέπεται να λαμβάνονται από τα προβλεπόμενα στους αντίστοιχους Κανονισμούς για την κατηγορία χάλυβα που προσδιορίστηκε κατά το εδάφιο (α) παραπάνω. Στην περίπτωση που υπάρχουν αμφιβολίες για την αξιοπιστία της κατάταξης του χάλυβα με οπτική αναγνώριση, θα χρησιμοποιούνται τα χαρακτηριστικά που θα προκύπτουν από κατάλληλη διερεύνηση, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο εδάφιο (γ) πιο κάτω.

Η διερεύνηση για τον προσδιορισμό των «πραγματικών» χαρακτηριστικών του χάλυβα (όριο διαρροής, αντοχή, ολκιμότητα) πρέπει να περιλαμβάνει τη δοκιμή σε τρία (3) τουλάχιστον δείγματα περίπου ίδιας διαμέτρου από δομικά στοιχεία του κρισίμου ορόφου. Αν από τα δείγματα αυτά, διαπιστωθεί η παρουσία χαλύβων που κατατάσσονται σε διαφορετικές κατηγορίες, τότε η έρευνα πρέπει να επεκταθεί, ώστε να προσδιοριστούν τα δομικά στοιχεία στα οποία έχει εφαρμοστεί κάθε κατηγορία. Μόνον στην περίπτωση αυτή η Σ.Α.Δ. για την αντοχή του χάλυβα θα θεωρείται «υψηλή».

Όταν από τον ανασχεδιασμό προβλέπεται συγκόλληση νέων με παλιούς οπλισμούς, πρέπει να γίνεται έρευνα για τη «συγκολλησιμότητά» τους.[18]

### 5.3.2.2.Χάλυβας προεντάσεως

Όταν διατίθεται η εγκεκριμένη μελέτη, κατά την φάση της αποτύπωσης διαπιστώνεται ότι η μελέτη αυτή έχει πράγματι εφαρμοστεί, η διερεύνηση μπορεί να περιοριστεί:

- Στην αναγνώριση του συστήματος προεντάσεως
- Στην επιβεβαίωση του πλήθους των τενόντων
- Στην επιθεώρηση της «κατάστασης» τενόντων και αγκυρώσεων.

Στις περιπτώσεις κατά τις οποίες δεν διατίθενται επαρκείς πληροφορίες, επιβάλλεται η συστηματική διερεύνηση για:

- Την αναγνώριση του συστήματος προεντάσεως και του τύπου τενόντων και αγκυρώσεων
- Την καταγραφή του πλήθους των τενόντων και της χάραξής τους
- Την επιθεώρηση της «καταστάσεως» τενόντων και αγκυρώσεων.

Για τον προσδιορισμό της κατηγορίας του χάλυβα προεντάσεως, της αντοχής του και την επιλογή της Σ.Α.Δ., ισχύουν γενικώς τα αναφερόμενα στην § 3.7.2.1.[18]

### 5.3.3. Τοίχοι πλήρωσης

Σε ότι αφορά τους τοίχους πλήρωσης, και στις περιπτώσεις που αυτοί συνεκτιμώνται στην ανάληψη σεισμικών δράσεων, προβλέπονται τα εξής:

α. Οι εργασίες αποτύπωσης περιλαμβάνουν κατ' ελάχιστο αποκαλύψεις της τοιχοποιίας σε δύο θέσεις σε κάθε όροφο, διαστάσεων περίπου 0,7x0,7m.[22]

Κατά την αποτύπωση λαμβάνονται πληροφορίες που αφορούν:

- i. Το σύστημα και την ποιότητα δόμησης
- ii. Το πάχος του τοίχου
- iii. Το είδος και την ποιότητα των υλικών δόμησης (τούβλα και κονίαμα)
- iv. Το πάχος των αρμών και τον βαθμό πλήρωσης με κονίαμα, τόσο για τους οριζόντιους όσο και για τους κατακόρυφους αρμούς
- v. Τη σφήνωση της τοιχοποιίας στην περίμετρο
- vi. Τα διαζώματα (κάθε είδους).

β. Για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς των τοιχοποιιών ενδιαφέρουν κυρίως η θλιπτική αντοχή, η διατμητική αντοχή και τα αντίστοιχα μέτρα ελαστικότητας. Όταν δεν διατίθενται ακριβέστερα στοιχεία, τα ως άνω χαρακτηριστικά μπορούν να προσδιοριστούν έμμεσα από ημι εμπειρικές σχέσεις, με βάση τα επιμέρους χαρακτηριστικά όπως την αντοχή των λιθοσωμάτων, την αντοχή του κονιάματος, το πάχος των αρμών, το πάχος και την αντοχή του επιχρίσματος κ.λ.π., σύμφωνα με όσα αναφέρονται στην § 7.4. Στην περίπτωση αυτή η Σ.Α.Δ. για τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας θεωρείται «ικανοποιητική», ενώ απλώς «ανεκτή» Σ.Α.Δ. δεν επιτρέπεται.[22]

γ. Στις περιπτώσεις όπου τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας προκύπτουν από διερεύνηση και επιτόπου ή/και εργαστηριακές δοκιμές επαρκούς αριθμού δοκιμίων, η Σ.Α.Δ. μπορεί να θεωρείται «υψηλή».[22]

## 6.ΤΟ ΚΤΙΡΙΟ

### 6.1.Μεθοδολογία

Για τους ελέγχους και την εκτίμηση της αντοχής χρησιμοποιήθηκαν ενδείξεις από έμμεσες (Μη Καταστροφικές) και άμεσες Μεθόδους.

Αυτές είναι \*:

1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΟΠΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ (άμεση)
2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ (έμμεση)
3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΥΡΗΝΟΛΗΨΙΑΣ (άμεση)

## 6.2.ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΥΛΙΚΩΝ

Για το σκυρόδεμα της κατασκευής για έλεγχο :

- ✓ Με ΚΑΝ.ΕΠΕ. (ΦΕΚ 42/Β/20-01-2012 & ΦΕΚ 2187/Β/5-09-2013), η μέση θλιπτική και χαρακτηριστική αντοχή αντίστοιχα, πρότυπου κύβου (15x15x15 cm) εκτιμήθηκε σε :

$$f_{cm,cube} = \mathbf{16.0MPa} \quad (\text{Τυπική απόκλιση: } s=5.0 \text{ MPa}),$$

$$f_{ck,cube} = \mathbf{11.0 MPa} \quad (f_{cm,cube} - s)$$

- ✓ Ενώ οι αντίστοιχες του πρότυπου κυλίνδρου (d=15cm, h=30cm)  $\div 1.25$  :

$$f_{cm,cyl} = \mathbf{12.8MPa} \quad (\text{Τυπική απόκλιση: } s=4.0 \text{ MPa}),$$

$$f_{ck,cyl} = \mathbf{8.8 MPa} \quad (f_{cm,cyl} - s)$$

- ✓ Με ΕΚΟΣ η ποιότητα είναι **C8/10**. { $f_{ck,cube} =$   
 $f_{cm,cube} - 8MPa \rightarrow f_{ck,cube} \approx 10.0MPa \leq 15MPa \text{ (C12/15)}$

- ✓ Με παλιό κανονισμό (βδ) η ποιότητα αντιστοιχεί σε **B160**.

**Πίνακας 2.** Ενδεικτικές τιμές από τους πυρήνες που λήφθηκαν

<b>Κωδικός Δοκιμίων</b>	<b>Βάθος Ενανθράκω σης (cm)</b>	<b>PH (μετρήθηκε σε βάθος της επικάλυψη του οπλισμού)</b>	<b>Φορτίο Θραύσης με αναγωγή σε <math>f_{c, cube 15x15x15}</math> (MPa)</b>	<b>Φαινόμενο Βάρος (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
ΠΙ (Υποστόλωμα K12)	3.0 – 3.5	8.0	20.9	2240
ΠΙ (Υποστόλωμα K10)	3.5 – 4.0	8.5	16.4	2280
ΠΙ (Τοιχίο K6→K9)	5.0 – 6.0	7.5	10.4	2240

Για τον οπλισμό :

Για τα στοιχεία σκυροδέματος της κατασκευής έχει χρησιμοποιηθεί λείος χάλυβας StI (κατά DIN) ή S220 (κατά ΕΛΟΤ) τόσο για τον διαμήκη όσο και για τον εγκάρσιο/συνδετήρες οπλισμό.

Σχετικά με την διάταξη του στο σκυρόδεμα βλ. αντίστοιχες ενότητες (Παράρτημα Β και σελίδες 9-10).



### 6.3.ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Στάθμη Ισογείου

**Πίνακας 3.** Αποτελέσματα αποτύπωσης οπλισμού Υποστυλωμάτων/Τοιχίων

<b>Υποστυλώματα / Τοιχία</b>				
<i>Στοιχείο</i>	<i>Διαμήκης οπλισμός x παρειάς: Αριθμός Φmm</i>	<i>Διαμήκης οπλισμός y παρειάς: Αριθμός Φmm</i>	<i>Συνολικός Διαμήκης οπλισμός: Αριθμός Φmm</i>	<i>Εγκάρσιος οπλισμός-Συνδετήρες: Φmm/cm</i>
K1	2 Φ18	2 Φ18 + 3 Φ10	4 Φ18 + 6 Φ10	-
K2	2 Φ18	2 Φ18	4 Φ18	-
K3	2 Φ18 + 3 Φ10	2 Φ18	4 Φ18 + 6 Φ10	Φ8/35
K4	2 Φ18	2 Φ18	4 Φ18	-
K5	2 Φ18	2 Φ18	4 Φ18	Φ8/35
K6	2 Φ18	2 Φ18	4 Φ18	-
K7	2 Φ18	2 Φ18	4 Φ18	-
K8	2 Φ18	2 Φ18	4 Φ18	-
K9	2 Φ18	2 Φ18	4 Φ18	-
K10	2 Φ18 + 3 Φ10	2 Φ18	4 Φ18 + 6 Φ10	Φ8/35
K11	2 Φ18	2 Φ18	4 Φ18	Φ8/35
K12	2 Φ18	2 Φ18 + 3 Φ10	4 Φ18 + 6 Φ10	-

**Πίνακας 4.** Αποτελέσματα αποτύπωσης οπλισμού Δοκών

<b>Δοκοί / E.Z.</b>		
<i>Στοιχείο</i>	<i>Διαμήκης οπλισμός: Αριθμός <math>\Phi mm</math></i>	<i>Εγκάρσιος οπλισμός- Συνδετήρες: <math>\Phi mm/cm</math></i>
Δ1	Φ18 κ	Φ8/20
Δ2	Φ18 κ	Φ8/20

**Πίνακας 5.** Αποτελέσματα αποτύπωσης οπλισμού Πλακών

<b>Πλάκες</b>		
<i>Στοιχείο</i>	<i>Οπλισμός κατά <math>x - x'</math> : Αριθμός <math>\Phi mm/cm</math></i>	<i>Οπλισμός κατά <math>y - y'</math> : Αριθμός <math>\Phi mm/cm</math></i>
Π1	Φ10/10	Φ6/50
Π2	Φ10/10	Φ6/50
Π3	Φ6/50	Φ10/10
Πρ.1	Φ6/50	Φ10/20

Παρατηρήσεις :

- ✓ Η μέθοδος των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που χρησιμοποιήθηκε για την ανίχνευση του οπλισμού είναι ενδεικτική και μπορεί να περιέχει ποσοστό σφάλματος.

## 6.4.ΣΤΑΘΜΕΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Με βάση τους προσεισμικούς ελέγχους που πραγματοποιήθηκαν στο συγκεκριμένο κτίριο (Μακροσκοπικός/οπτικός Έλεγχος, πυρηνοληψίες κτλ) προκύπτει ότι σε περίπτωση εκπόνησης στατικής μελέτης επάρκειας αποτίμησης ή ανασχεδιασμού οι Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων (Σ.Α.Δ.) μπορούν να ληφθούν ως εξής :

- Όσον αφορά την Σ.Α.Δ των γεωμετρικών δεδομένων αυτή μπορεί να ληφθεί ως «**Ικανοποιητική**» για το είδος και τη γεωμετρία του φορέα, ενώ αντίστοιχα «**Ικανοποιητική**» μπορεί να χαρακτηριστεί η Σ.Α.Δ. για τη διάταξη και τις λεπτομέρειες όπλισης.
  
- Όσον αφορά την Σ.Α.Δ των μηχανικών χαρακτηριστικών των στοιχείων σκυροδέματος της κατασκευής, αυτή μπορεί να ληφθεί ως «**Ικανοποιητική**», ενώ αντίστοιχα «**Ικανοποιητική**» για τα μηχανικά χαρακτηριστικά του χάλυβα οπλισμού (Η κατάταξη του χάλυβα οπλισμού έγινε με οπτική αναγνώριση).

## 7.ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ, ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ



**Εικόνα 28.** Αποκοπή πυρήνων σκυροδέματος

**Πίνακας 6.** Πυρήνες Π1,Π2,Π3

<i>A/a</i>	<i>Στοιχείο</i>
Π1	Υποστύλωμα Κ12 Ισόγειο
Π2	Υποστύλωμα Κ10 Ισόγειο
Π3	Τοιχίο (Κ6→Κ9) Υπόγειο

Έγινε αποκοπή τριών (3) πυρήνων σκυροδέματος Π1-Π3, από διάφορα στοιχεία, όπως παρουσιάζονται στον διπλανό πίνακα.

## Αποκατάσταση των οπών

Την πλήρωση των οπών, για την αποκατάσταση, που δημιουργήθηκαν από τις εργασίες της πυρηνοληψίας, την ανέλαβε το συνεργείο μας, όπως είχε συμφωνηθεί.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν :

- Τσιμεντοκονίαμα ταχείας πήξης SUPERFASTD-11 (DUROSTICK) –  
*Μηχανικά Χαρακτηριστικά :*

Αντοχή σε κάμψη 28 ημέρες κατά EN 196-1 : 7.5 N/mm<sup>2</sup>

Αντοχή σε θλίψη 28 ημέρες κατά EN 196-1 : 35.0 N/mm<sup>2</sup>

- Εποξειδική ρητίνη (2 συστατικών) D-33 (DUROSTICK) - *Μηχανικά Χαρακτηριστικά :*

Αντοχή σε κάμψη κατά EN 196-1 : 37.0 N/mm<sup>2</sup>

Αντοχή σε θλίψη κατά EN 196-1 : 72.0 N/mm<sup>2</sup>

Αντοχή σε εφελκυσμό κατά EN 196-1 : 4.0 N/mm<sup>2</sup>

Τα δοκίμια μόλις λήφθηκαν καθαρίστηκαν και στη συνέχεια ψεκάστηκαν με διάλυμα φαινολοφθαλεΐνης (2%κ.ο) για να βρεθεί το βάθος ενανθράκωσης. Η επιφάνεια που απέκτησε βυσσινή χρώμα, είναι η υγιής, ενώ αυτή που δεν άλλαξε χρώμα είναι η ενανθρακωμένη. Ακολούθως μετρήθηκε το βάθος ενανθράκωσης και παρουσιάζεται σε πίνακα παρακάτω.



**Εικόνα 29.** Έλεγχος βάθους ενανθράκωσης

Έπειτα αφαιρέθηκε μικρό τμήμα από τις παράλληλες επιφάνειες των δοκιμίων με αδιατάρακτη εγκάρσια κοπή με σκοπό να αποκτήσουν λείες επιφάνειες για το πείραμα της θλίψης, να απομακρυνθούν τμήματα ενανθρακωμένης επιφάνειας, καθώς και να αποκτήσουν τις επιθυμητές διαστάσεις.



**Εικόνα 30.** Λείανση επιφάνειας δοκιμίων

Εν συνεχεία γίνεται η μεταφορά τους στο εργαστήριο Αντοχής των Υλικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ), όπου και συντηρούνται σε ιδανικές συνθήκες μέχρι την ώρα των δοκιμών τους, για τον προσδιορισμό της αντοχής τους. Ακολούθως τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά τα πειράματα φαίνονται στους πίνακες των επόμενων σελίδων.



Εικόνα 31. Εργαστήριο αντοχής των υλικών

Πίνακας 7. Χαρακτηριστικά δοκιμίων

<i>Κωδικός Δοκιμίων</i>	<i>Χαρακτηριστικά Δοκιμίων</i>		
	<i>Ύψος (cm)</i>	<i>Βάρος (gr)</i>	<i>Διάμετρος (cm)</i>
<i>Π1</i>	10.6	1663	9.45
<i>Π2</i>	12.4	1987	9.45
<i>Π3</i>	11.7	1837	9.45

### Μετρήθηκε/υπολογίστηκε

(για  $d=9.45$  cm)

**Πίνακας 8.** Αποτελέσματα μετρήσεων

<b>Κωδικός Δοκιμίων</b>	<b><math>RH</math> (στον οπλισμό)</b>	<b>Βάθος Ενανθράκωσ ης (cm)</b>	<b>Φορτίο Θραύσης <math>f_{c,core}(KNt)</math></b>	<b>Φορτίο Θραύσης <math>f_{c,core}(MPa)</math></b>
<i>Π1</i>	8.0	3.0 – 3.5	125.1	17.8
<i>Π2</i>	8.5	3.5 – 4.0	85.8	12.3
<i>Π3</i>	7.5	5.0 – 6.0	50.8	7.3



Αναγωγή της αντοχής των δοκιμίων σκυροδέματος στην αντίστοιχη του πρότυπου κυβικού δοκιμίου (15\*15\*15cm) :

**Πίνακας 9.** Υπολογισμός θλιπτικής αντοχής δοκιμίου (πυρήνα)

<i>Κωδικός Δοκιμίων</i>	<i>Φορτίο Θραύσης <math>f_{c,core}(MPa)</math></i>	<i>Φορτίο Θραύσης με αναγωγή <math>f_{c, cube 15x15x15}(MPa)</math></i>
<i>Π1</i>	17.8	20.9
<i>Π2</i>	12.3	16.4
<i>Π3</i>	7.3	10.4

Μέση τιμή των αποτελεσμάτων των αντοχών που προέκυψαν με βάση το τυπολόγιο του πρότυπου ΕΛΟΤ 344 που χρησιμοποιήθηκε.



**Εικόνα 32.** Μέση τιμή των αποτελεσμάτων των αντοχών

## ΕΛΟΤ 344

$$F_{C,Cube} = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3}{K_\phi \cdot K_c \cdot K_d} f_{c,core}$$

Π1:  $\lambda_1=0.87, \lambda_2=0.95, \lambda_3=1.21, K_\phi=0.85, K_c=1.0, K_d=1.0$

Π2:  $\lambda_1=0.92, \lambda_2=0.95, \lambda_3=1.30, K_\phi=0.85, K_c=1.0, K_d=1.0$

Π3:  $\lambda_1=0.91, \lambda_2=0.95, \lambda_3=1.40, K_\phi=0.85, K_c=1.0, K_d=1.0$

Οπότε:

$$F_{C,Cube,\Pi 1} = 20.9 \text{ MPa}$$

$$F_{C,Cube,\Pi 2} = 16.4 \text{ MPa}$$

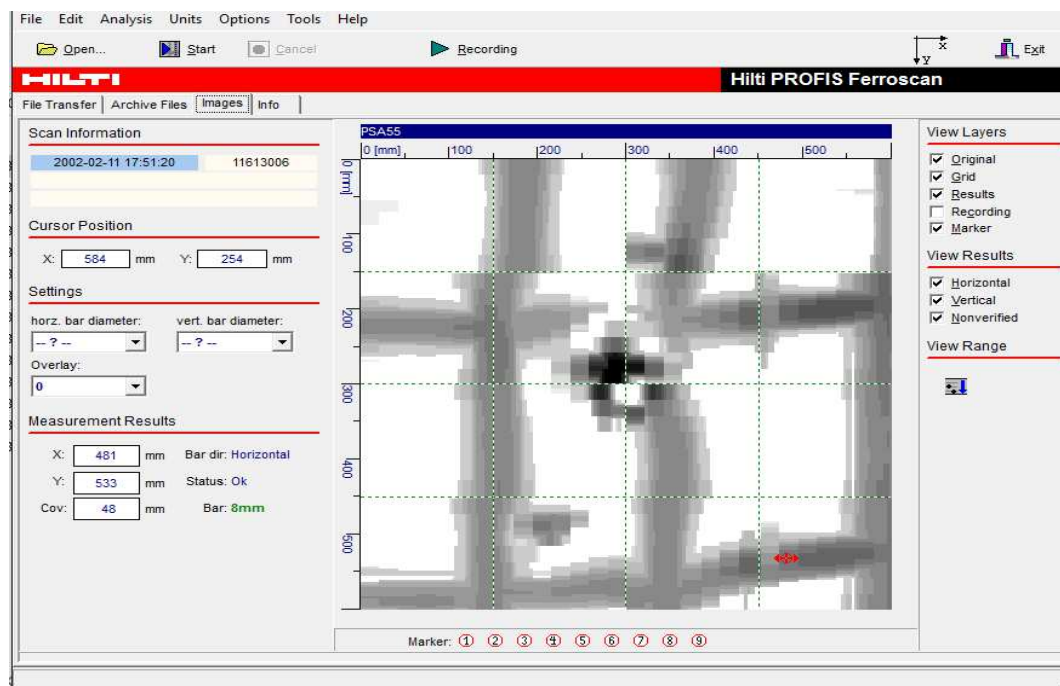
$$F_{C,Cube,\Pi 3} = 10.4 \text{ MPa}$$

## 7.1. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ (ΙΣΟΓΕΙΟ)

### Υποστύλωμα Κ3 – x παρειά (τμήμα παρειάς)



Εικόνα 33. Μεμβράνη αποτύπωσης οπλισμού στο Κ3



Εικόνα 34. Αποτελέσματα οπλισμού

Εκτιμώμενος Διαμήκης οπλισμός: **2 Φ18 + 3 Φ10** (επικάλυψη με σοβά 6.0 cm)

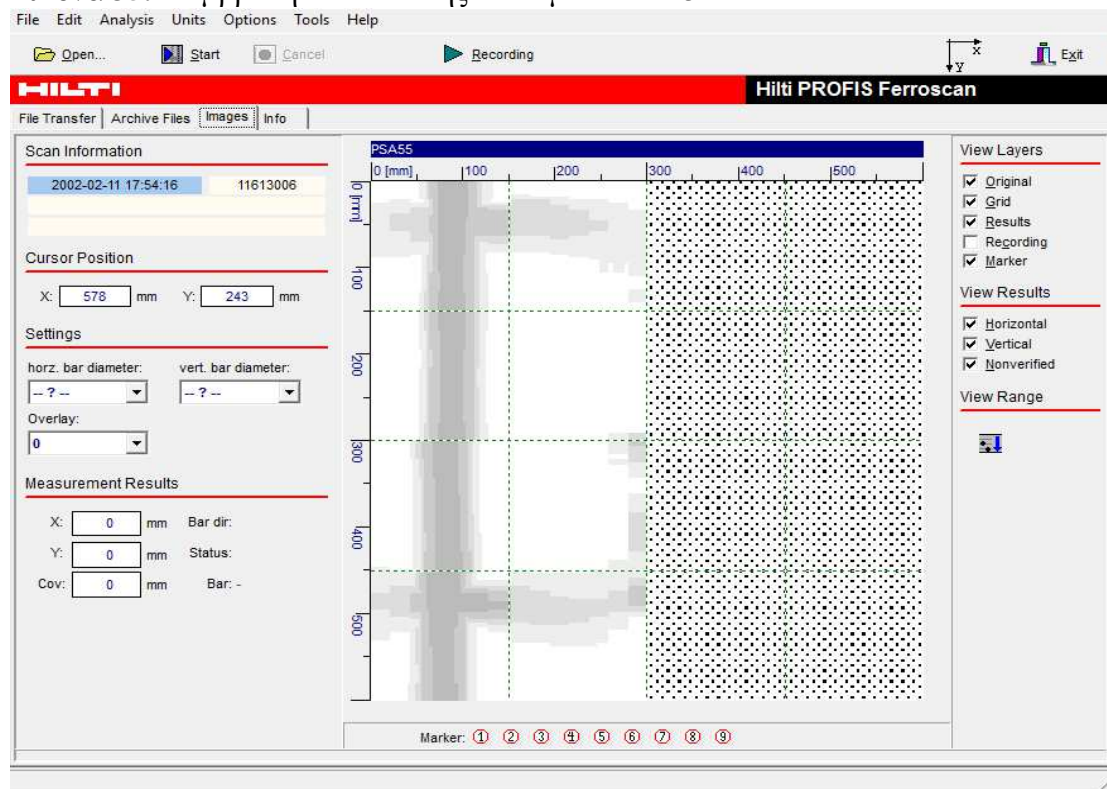
Εκτιμώμενος Εγκάρσιος οπλισμός: **Φ8/35** (επικάλυψη με σοβά 5.0 cm)

Η αποτύπωση αντιστοιχεί σε μέτρηση εμβαδού παρειάς πλάτους 60 cm και ύψους 60 cm.

## Υποστύλωμα K5 – y παρειά



Εικόνα 35. Μεμβράνη αποτύπωσης οπλισμού στο K5



Εικόνα 36. Αποτελέσματα οπλισμού

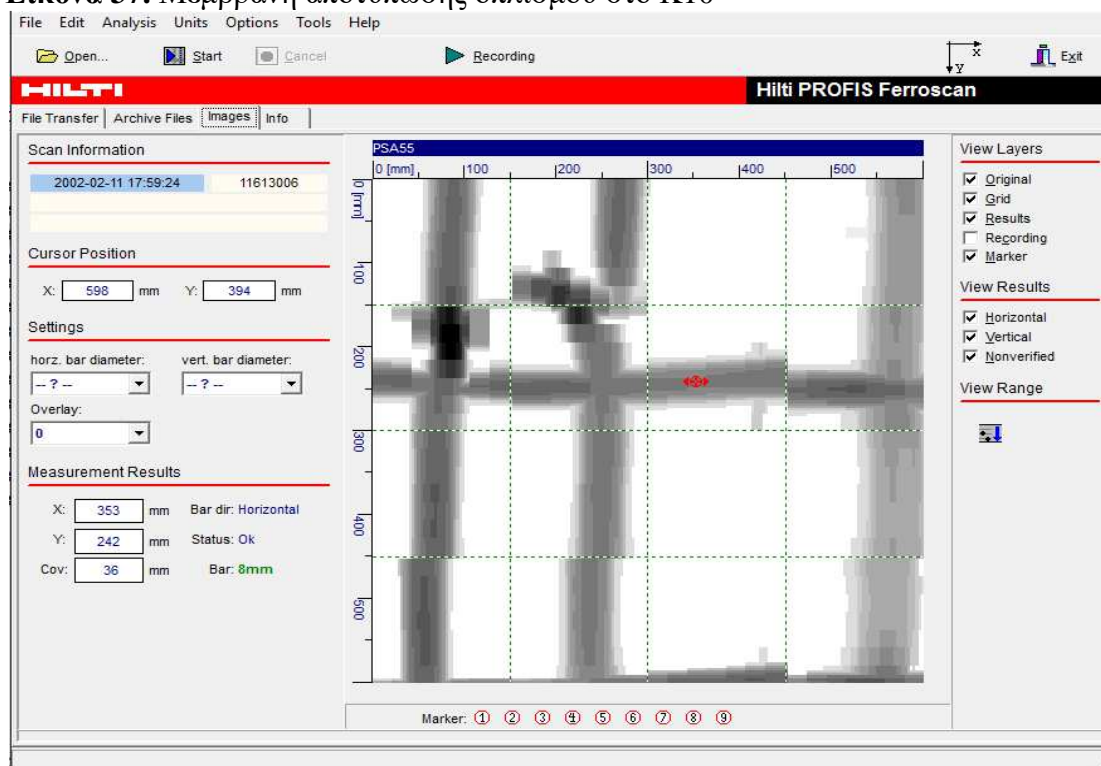
Εκτιμώμενος Διαμήκης οπλισμός: **2 Φ18** (επικάλυψη με σοβά 6.0 cm)  
Εκτιμώμενος Εγκάρσιος οπλισμός: **Φ8/35** (επικάλυψη με σοβά 5.0 cm)

Η αποτύπωση αντιστοιχεί σε μέτρηση εμβαδού παρειάς πλάτους 30 cm και ύψους 60 cm.

## Υποστύλωμα K10 – x παρειά



Εικόνα 37. Μembrάνη αποτύπωσης οπλισμού στο K10



Εικόνα 38. Αποτελέσματα οπλισμού

Εκτιμώμενος Διαμήκης οπλισμός: **2 Φ18 + 3 Φ10** (επικάλυψη με σοβά 4.5 cm)

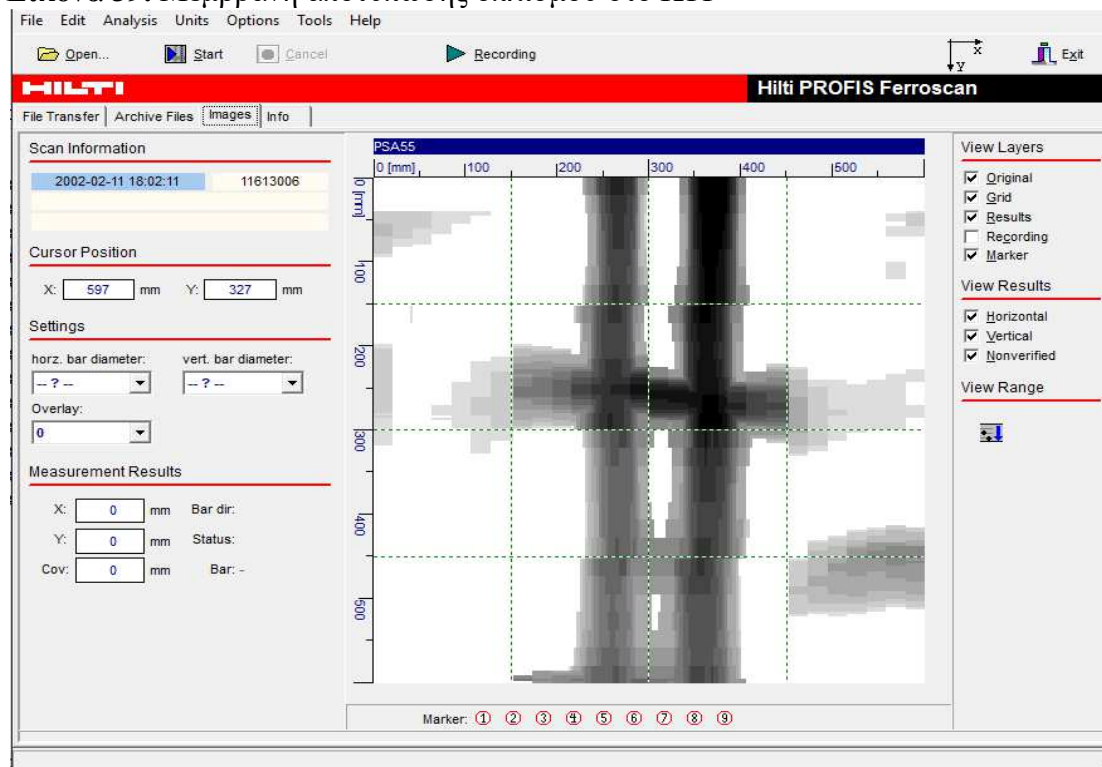
Εκτιμώμενος Εγκάρσιος οπλισμός: **Φ8/35** (επικάλυψη με σοβά 3.5 cm)

Η αποτύπωση αντιστοιχεί σε μέτρηση εμβαδού παρειάς πλάτους 60 cm και ύψους 60 cm.

## Υποστύλωμα K11 – x παρειά



Εικόνα 39. Μembrάνη αποτύπωσης οπλισμού στο K11



Εικόνα 40. Αποτελέσματα οπλισμού

Εκτιμώμενος Διαμήκης οπλισμός: **2 Φ18** (επικάλυψη με σοβά 6.0 cm)

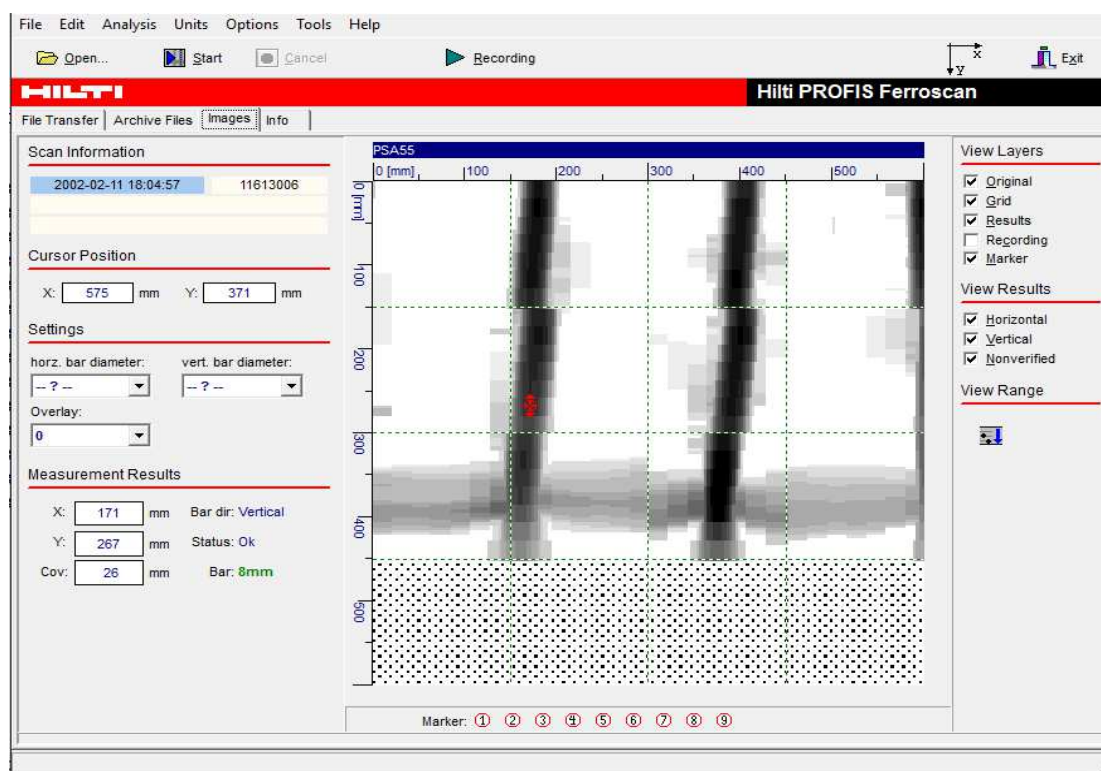
Εκτιμώμενος Εγκάρσιος οπλισμός: **Φ8/35** (επικάλυψη με σοβά 5.0 cm)

Η αποτύπωση αντιστοιχεί σε μέτρηση εμβαδού παρειάς πλάτους 25 cm και ύψους 60 cm.

## Δοκός Δ1– Παρειά Όψης



Εικόνα 41. Μembrάνη αποτύπωσης οπλισμού στο Δ1



Εικόνα 42. Αποτελέσματα οπλισμού

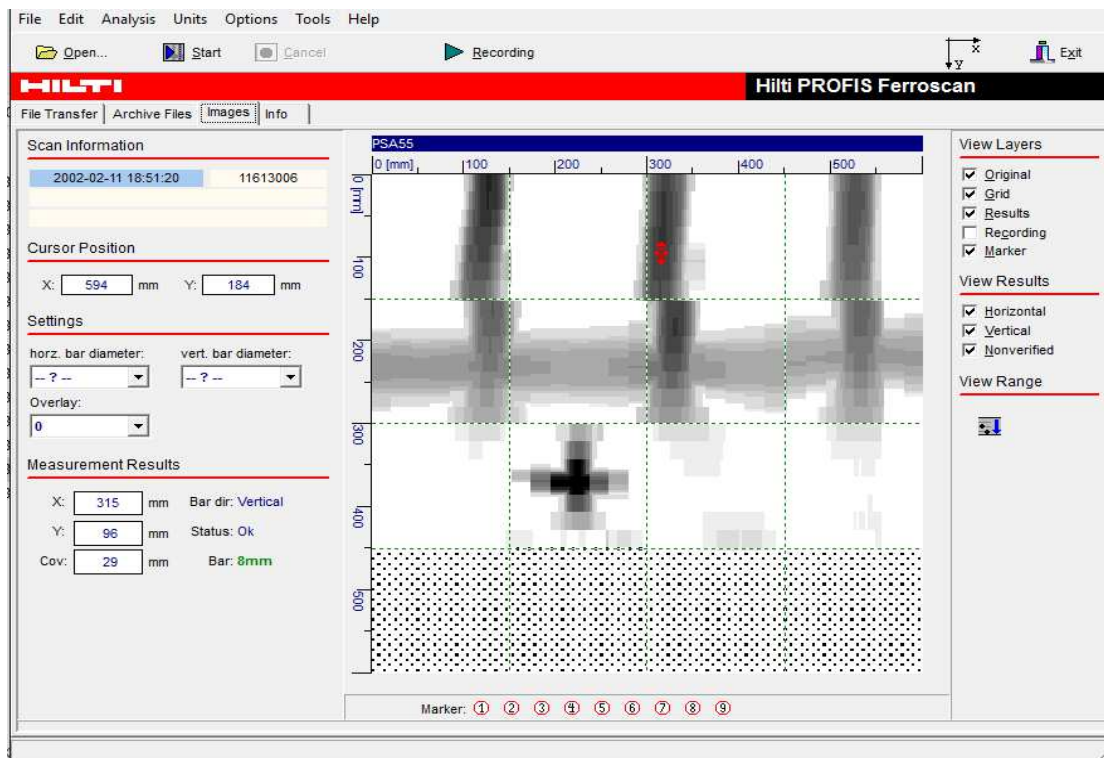
Εκτιμώμενος Διαμήκης οπλισμός: **Φ18** (επικάλυψη με σοβά 4.0 cm)  
Εκτιμώμενος Εγκάρσιος οπλισμός: **Φ8/20** (επικάλυψη με σοβά 2.5 cm)

Η αποτύπωση αντιστοιχεί σε μέτρηση εμβαδού παρειάς ύψους 45 cm και μήκους 60 cm.

## Δοκός Δ2– Παρειά Όψης



Εικόνα 43. Μεμβράνη αποτύπωσης οπλισμού στο Δ2



Εικόνα 44. Αποτελέσματα οπλισμού

Εκτιμώμενος Διαμήκης οπλισμός: **Φ18** (επικάλυψη με σοβά 5.0 cm)

Εκτιμώμενος Εγκάρσιος οπλισμός: **Φ8/20** (επικάλυψη με σοβά 3.5 cm)

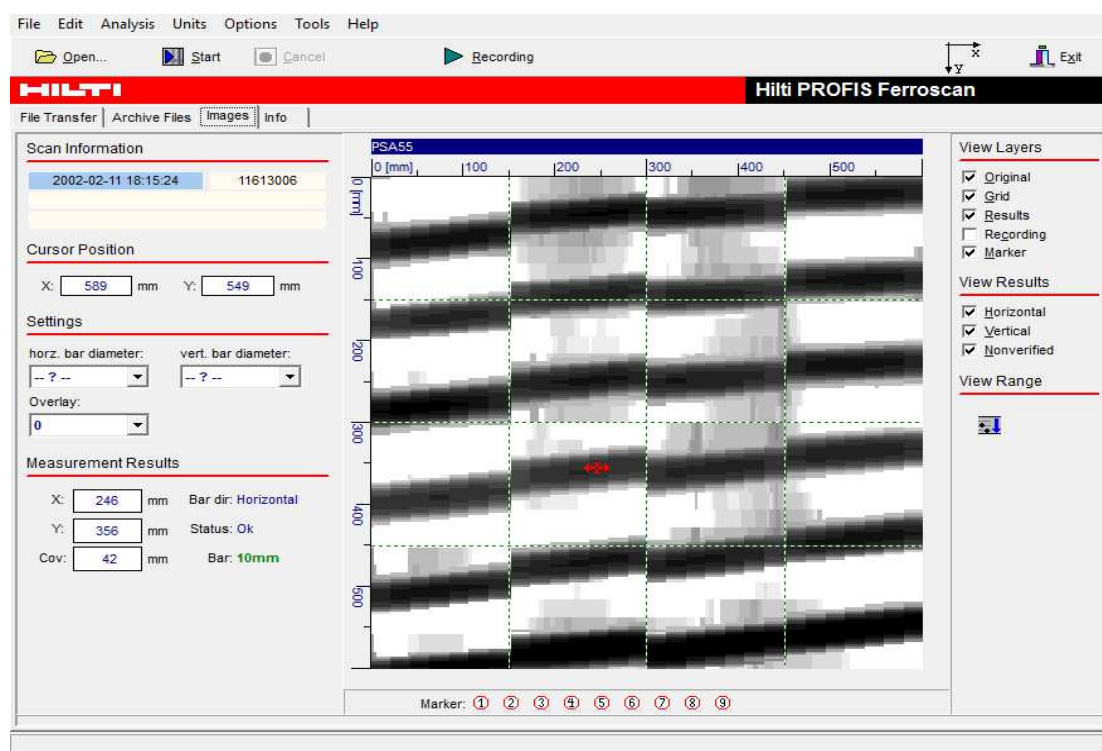
Η αποτύπωση αντιστοιχεί σε μέτρηση εμβαδού παρειάς ύψους 35 cm και μήκους 60 cm.



## Πλάκα Π1- Άνοιγμα



Εικόνα 45. Μεμβράνη αποτύπωσης οπλισμού στην Π1



Εικόνα 46. Αποτελέσματα οπλισμού

Εκτιμώμενος οπλισμός x-x':            **Φ10/10**            (επικάλυψη με σοβά 4.0 cm)

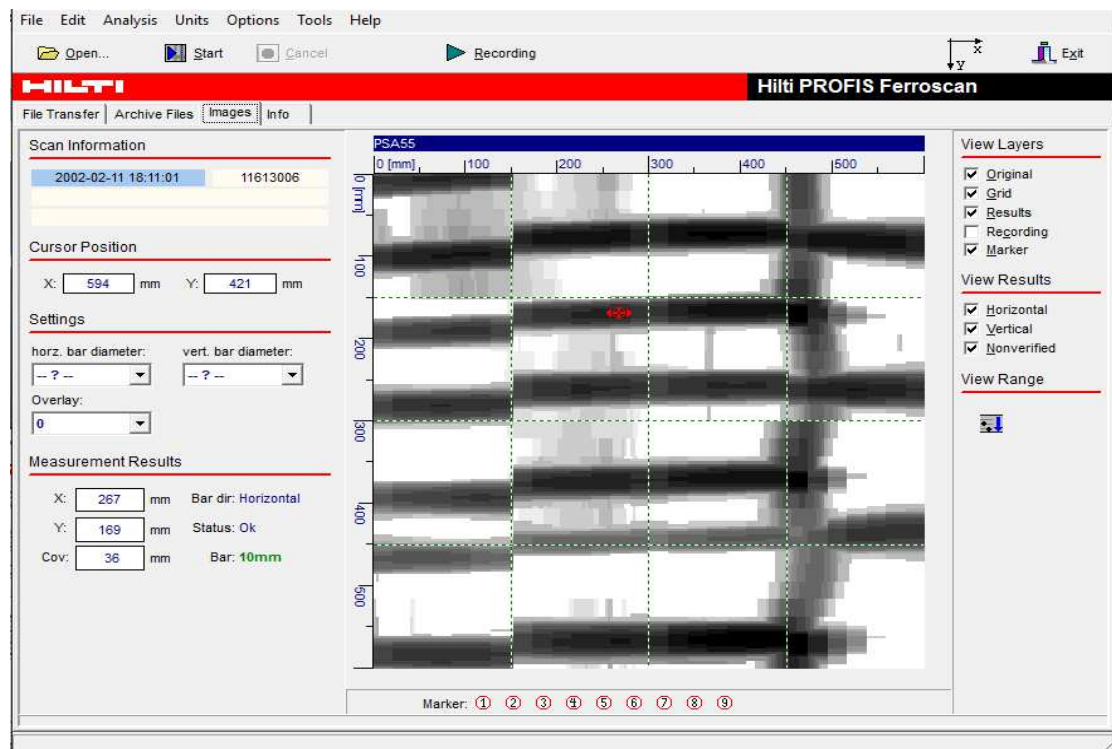
Εκτιμώμενος οπλισμός γ-γ':        -

Η αποτύπωση αντιστοιχεί σε μέτρηση εμβαδού πλάκας 60 cm x 60 cm.

## Πλάκα Π2 – Πλησίον Στήριξης με Δ1



Εικόνα 47. Μεμβράνη αποτύπωσης οπλισμού στην Π2



Εικόνα 48. Αποτελέσματα οπλισμού

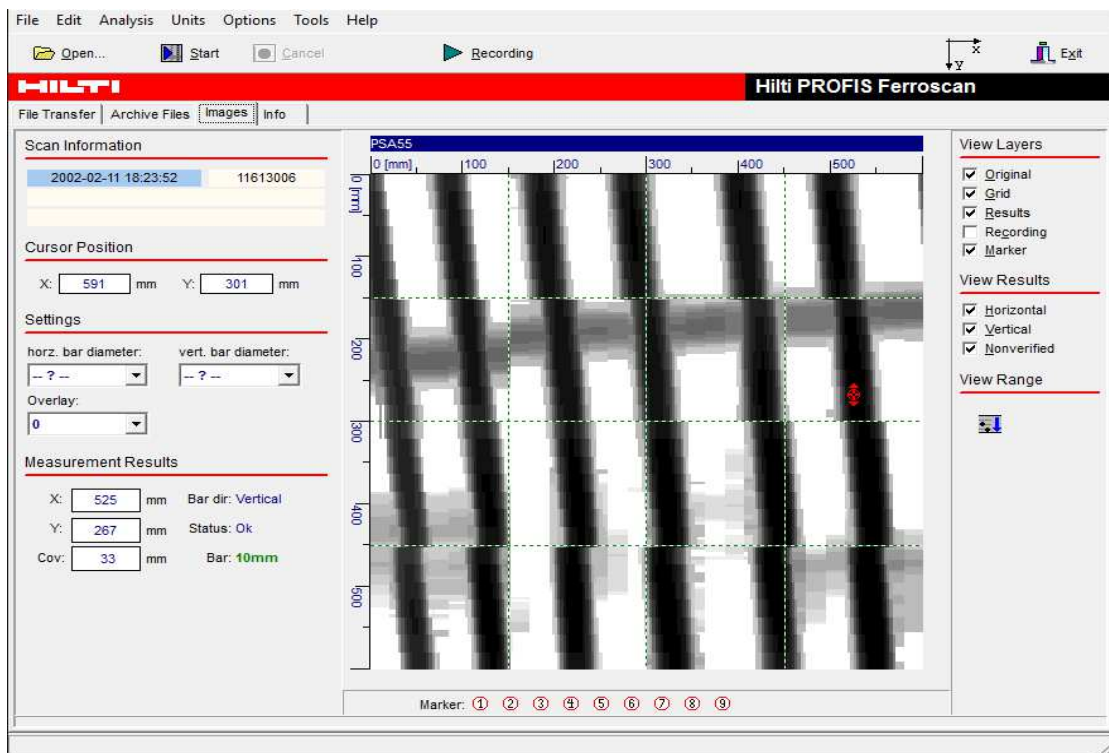
Εκτιμώμενος οπλισμός x-x': **Φ10/10** (επικάλυψη με σοβά 3.5 cm)  
Εκτιμώμενος οπλισμός y-y': **Φ6/50** (επικάλυψη με σοβά 4.5 cm)

Η αποτύπωση αντιστοιχεί σε μέτρηση εμβαδού πλάκας 60 cm x 60 cm.

## Πλάκα Π3– Πλησίον Στήριξης



Εικόνα 49. Μεμβράνη αποτύπωσης οπλισμού στην Π3



Εικόνα 50. Αποτελέσματα οπλισμού

Εκτιμώμενος οπλισμός x-x':      **Φ6/50**      (επικάλυψη με σοβά 4.5 cm)

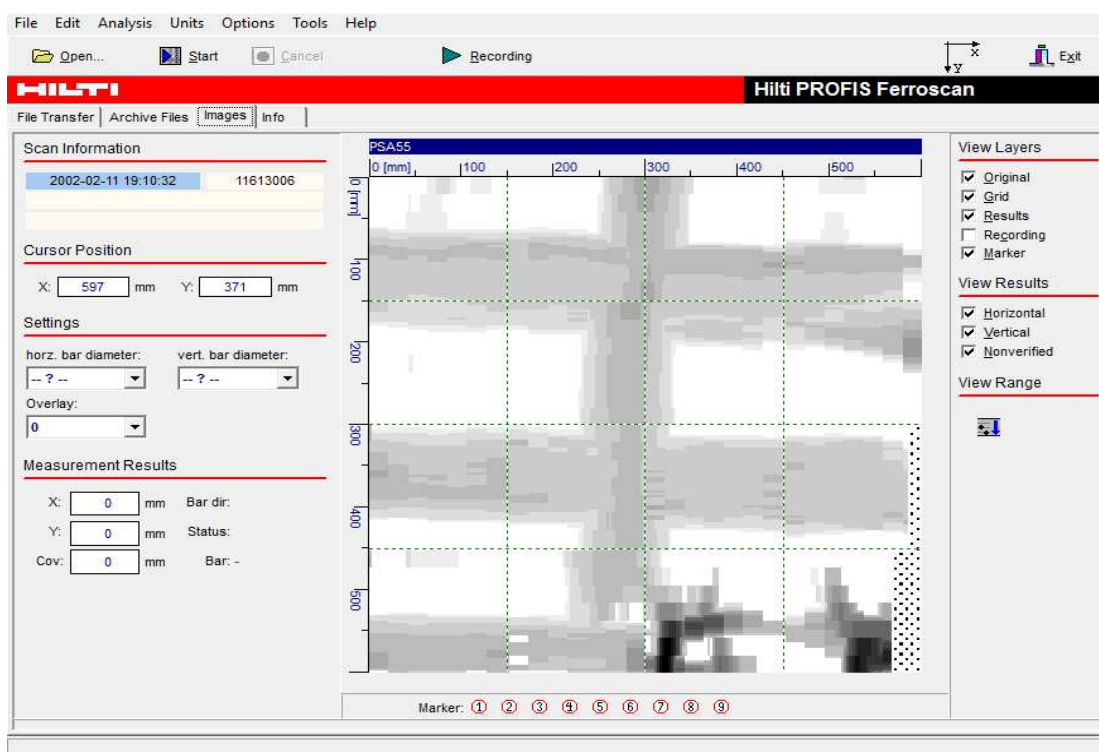
Εκτιμώμενος οπλισμός y-y':      **Φ10/10**      (επικάλυψη με σοβά 3.5 cm)

*Η αποτύπωση αντιστοιχεί σε μέτρηση εμβαδού πλάκας 60 cm x 60 cm.*

## Πρόβολος Πρ.1- Άνοιγμα



Εικόνα 51. Μεμβράνη αποτύπωσης οπλισμού στον Πρ.1



Εικόνα 52. Αποτελέσματα οπλισμού

Εκτιμώμενος οπλισμός x-x':      **Φ6/50**      (επικάλυψη με σοβά 8.5 cm)

Εκτιμώμενος οπλισμός y-y':      **Φ10/20**      (επικάλυψη με σοβά 9.5 cm)

Η αποτύπωση αντιστοιχεί σε μέτρηση εμβαδού πλάκας 60 cm x 60 cm.

## 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 8.1. ΜΕΘΟΔΟΙ Μ.Κ.Ε ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

#### 8.1.1. Μέθοδος πυρηνοληψίας-γενικά

Με τους πυρήνες εξετάσαμε με πολύ μεγάλη ακρίβεια α) την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος καθώς όμως και β) γενικότερα την ποιότητα του σκυροδέματος γ) το βάθος ενανθράκωσης, ρΗ κτλ.

Το βασικό πλεονέκτημα των πυρηνοληψιών είναι η αμεσότητα του προσδιορισμού της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, καθώς οι πυρήνες υποβλήθηκαν σε δοκιμή μονοαξονικής θραύσης στο εργαστήριο

#### 8.1.2. Προγραμματισμός της πυρηνοληψίας

Αποφασίστηκε 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. Ακολουθήσαμε τις συστάσεις της διεθνούς βιβλιογραφίας δηλαδή η διάμετρος των αποκοπτόμενων πυρήνων, για τον έλεγχο της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, να είναι 10 (έως 15) cm (ISO DIS7034, Petersons 1971, Plowman et al 1974, Campbell-Tobin 1967, BS 6089). Η αντοχή των πυρήνων διαμέτρου 10cm παρουσιάζεται 20% περίπου αυξημένη σε σχέση με την αντοχή των πυρήνων διαμέτρου 5cm.

Επειδή 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, πήραμε αντίστοιχους λόγους. Η απόσταση των αποκοπτόμενων πυρήνων απ' τις ακμές των εξεταζόμενων στοιχείων φροντίσαμε να είναι τουλάχιστον 8cm (Malhotra – Carette 1980).

Παρά ότι οι πυρήνες μετά την κοπή συνηθίζεται να καλύπτονται (καπέλωμα) με διάφορα υλικά (high alumina cement mortar, sulphur-sand mixture), για την διόρθωση των ατελειών τους, στην περίπτωση μας έγινε εγκάρσια αδιατάρακτη κοπή. Εξάλλου όπως συνιστάται (Petersons 1971), να αποφεύγεται το καπέλωμα και η απαραίτητη επιπέδωση των επιφανειών να γίνεται με ειδικά μηχανήματα λειάνσεως.

### **8.1.3. Μέθοδος μεταβολής ηλεκτρομαγνητικού πεδίου-γενικά**

Ο έλεγχος της θέσης των οπλισμών έγινε με όργανο τύπου ferroskan της εταιρείας HILTI το PS 200 s.

Η συσκευή στηρίζεται στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο του χάλυβα των οπλισμών. Περιλαμβάνει πομποδέκτη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ο οποίος κινείται επί επίπεδης επιφάνειας σε παράλληλες λωρίδες πλάτους 15cm οριζοντίως και καθέτως. Η συσκευή φέρει ενσωματωμένο Η/Υ όπου υπολογίζει τον οπλισμό στο σκυρόδεμα, το πάχος επικάλυψης του οπλισμού και την διάμετρο του οπλισμού. Η μέγιστη επιφάνεια κάθε εικόνας είναι 60cmx 60 cm. Οι περιοχές ελέγχου οριοθετούνται από το σημείο 0,0 (imageorigin) που είναι το άνω αριστερό σημείο.

### **8.1.4. Αποτίμηση χρησιμότητας M.K.E**

Με την μέθοδο των Μη Καταστρεπτικών Ελέγχων ορίζεται η αντοχή και η πυκνότητα του σιδηρο-οπλισμού όπως και του μπετόν της παλαιάς κατασκευής ώστε να μελετηθεί μοντέλο αυτού και να ενισχυθούν τα εκάστοτε υποστυλώματα είτε δοκοί που χρήζουν ενισχύσεων.

## **8.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΜΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ**

Όπως προαναφέρθηκε, το κτίριο έχει κατασκευαστεί προ του 1970 βασιζόμενο στους τότε ισχύοντες κανονισμούς (ΕΚΩΣ\_1954). Κάθε επίπεδο έχει ύψος 3,00 μέτρα και καταλαμβάνει σε κάτοψη περίπου 144 τ.μ. και οι ξυλότυποι οροφής είναι ίδιοι.

Εφόσον εκτιμήθηκε η αντοχή του κτιρίου το οποίο χρίζει ενίσχυσης, αναφέρεται πώς δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί προσθήκη ορόφου καθώς αυτό θα προκαλέσει σημαντικές ζημιές στις κολώνες και στα δοκάρια του ισογείου και υπογείου.

Το κτίριο με την πάροδο του χρόνου έχει φυσικές φθορές στα τοιχώματα και στην οροφή καθώς και ρηγματώσεις στα δομικά στοιχεία οι οποίες χαρακτηρίζονται «απλές ρηγματώσεις» λόγω του μικρού εύρους (< 2 mm). Αυτές προήλθαν λόγω της έλλειψης συντήρησης του κτιρίου και συνεπώς αυτό μείωσε την αντοχή του ώστε να παραλάβει σεισμικά φορτία.

## 9. ΤΡΟΠΟΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

Για το Ισόγειο θα πραγματοποιηθούν εργασίες ενισχύσεων με μανδύες εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε όλα τα υποστυλώματα του και σε όλο το ύψος τους. Επίσης θα πραγματοποιηθεί ενίσχυση δοκών στην στάθμη του ισογείου και του Υπογείου με την εφαρμογή σύνθετων υλικών από ίνες υάλου. Θα πραγματοποιηθούν αποκαταστάσεις σαθρών σκυροδεμάτων με την εφαρμογή επισκευαστικών κονιαμάτων σε όλες τις περιοχές του φέροντος οργανισμού που έχριζαν επισκευής και σε σημεία που υπάρχουν ρηγματώσεις θα ενισχυθούν με ειδική ρητίνη , η οποία θα εισχωρήσει τις ρωγμές και στην συνέχεια θα γίνει επικάλυψη πάχους 3 χιλιοστών από ασβεστοκονίαμα.

Αυτή η ενίσχυση έχει στόχο την μείωση βλαβών έπειτα από σεισμικές φορτίσεις και την αποφυγή κατάρρευσης μετά από μεγαλύτερη συχνότητα.

Οι τρόποι ενίσχυσης κτιρίων ποικίλουν και δεν υπάρχει μόνος ένας για κάθε περίπτωση βλάβης. Το ερώτημα που γίνεται συνήθως για τον καταλληλότερο τρόπο έχει ως απάντηση πρώτα την ασφάλεια και έπειτα την οικονομία. Οπότε «σωστή» είναι η λύση που εκφράζει και τα δύο κριτήρια.

## 10.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Παναγιώτης Α. Βουθούνης (1993): ‘Αντοχή των Υλικών’, Αθήνα
2. Prof. Dr.-Ing. Ralf Avak (1993): ‘Euro-Stahlbetonbau in Beispielen’, Verlag GmbH, Dusseldorf
3. Γ.Γ.ΠΕΝΕΛΗΣ, Α.Ι.ΚΑΠΠΟΣ (1990), ‘Αντισεισμικές Κατασκευές από Σκυρόδεμα’, Θεσσαλονίκη
4. D.M McCann and M.C. Forde(2001) “Review of NDT methods in the assessment of concrete and masonry structures” NDT & E International, Vol. 34
5. Ch. Maierhofer et al.(2005) “Quantitative impulse-thermography as non-destructive testing method in civil engineering – Experimental results and numerical simulations” Construction and Building Materials, Vol. 19
6. Ν.Δ. Δερμιτζάκης (2006) “Υπέρυθρη θερμογραφία ως εργαλείο μη καταστροφικού ελέγχου σε θέματα ενδιαφέροντος πολιτικού μηχανικού”, Παν. Πατρών
7. Α. Γ. Κορωναίος, Γ. Φ. Σαργέντης (2003)“ Θερμογραφία” ΕΜΠ, Δημοσιεύσεις Εργαστηρίου Τεχνικών Υλικών, Τεύχος 2
8. Ralf Beutel · Hans-Wolf Reinhardt · Christian U. Grosse · André Glaubitt · Martin Krause · Christiane Maierhofer · Daniel Algernon · HerbertWiggenhauser · Martin Schickert (2008)“ Comparative Performance Tests and Validation of NDT Methods for Concrete Testing”,J Nondestruct Eval
9. Στέφανος Η. Δρίτσος (2007) ‘Στρατηγικές και σχεδιασμός αντισεισμικών κατασκευών’, Παν Πατρών
10. Τάσιος Θ., (2004) “Θεωρία Σχεδιασμού Επισκευών και Ενισχύσεων”, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Ε.Μ.Π.
11. Α.Ι. Κάππος, Λ.Α. Σ. Κουρής, (2006) ‘Παραμετρική διερεύνηση της επιρροής της στάθμης αξιοπιστίας των δεδομένων στην αναλυτική αποτίμηση των κατασκευών’ 5ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ
12. ΟΑΣΠ– Ομάδα μελέτης για τη σύνταξη Κανονισμού Επεμβάσεων σε κτίρια από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα,( 2005) ‘Ελληνικός Κανονισμός Επεμβάσεων’,
13. ΕΛΟΤ-ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ, Πληροφορίες στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://www.elot.gr/>
14. ΥΑ Δ14/19164, Έγκριση του κανονισμού τεχνολογίας Σκυροδέματος (1997), ΦΕΚ 315Β/17.04.1997



15. Αθανάσιος Τριανταφύλλου (2008), ‘Δομικά Υλικά’, Πάτρα
16. Οπλισμένο Σκυρόδεμα –Μεταλλικές Κατασκευές, Υλικά Οπλισμένου Σκυροδέματος, Κεφάλαιο 2, Πληροφορίες στην ηλεκτρονική διεύθυνση [http://www.metal.ntua.gr/index.pl/notes1d1d51d7\\_gr\\_os](http://www.metal.ntua.gr/index.pl/notes1d1d51d7_gr_os)
17. ΕΚΕΤΑ-ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ, Πληροφορίες στην ηλεκτρονική διεύθυνση <https://www.certh.gr>
18. ΚΑΝ.ΕΠΕ 1<sup>η</sup> αναθεώρηση Ιούλιος 2013
19. ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗΣ ΑΝΑΣΥΓΚΡΟΤΗΣΗ (ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΥΓΕΙΑ) , Πληροφορίες στην ηλεκτρονική διεύθυνση <https://diavgeia.gov.gr>
20. Holst, H. Wichmann, H. Budelmann (2009) “ Novel NDT-Techniques for Corrosion Monitoring and Fracture Detection of Prestressed Concrete Structures”, NDTCE’09, Non-Destructive Testing in Civil Engineering Nantes, France, June 30th – July 3rd