



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

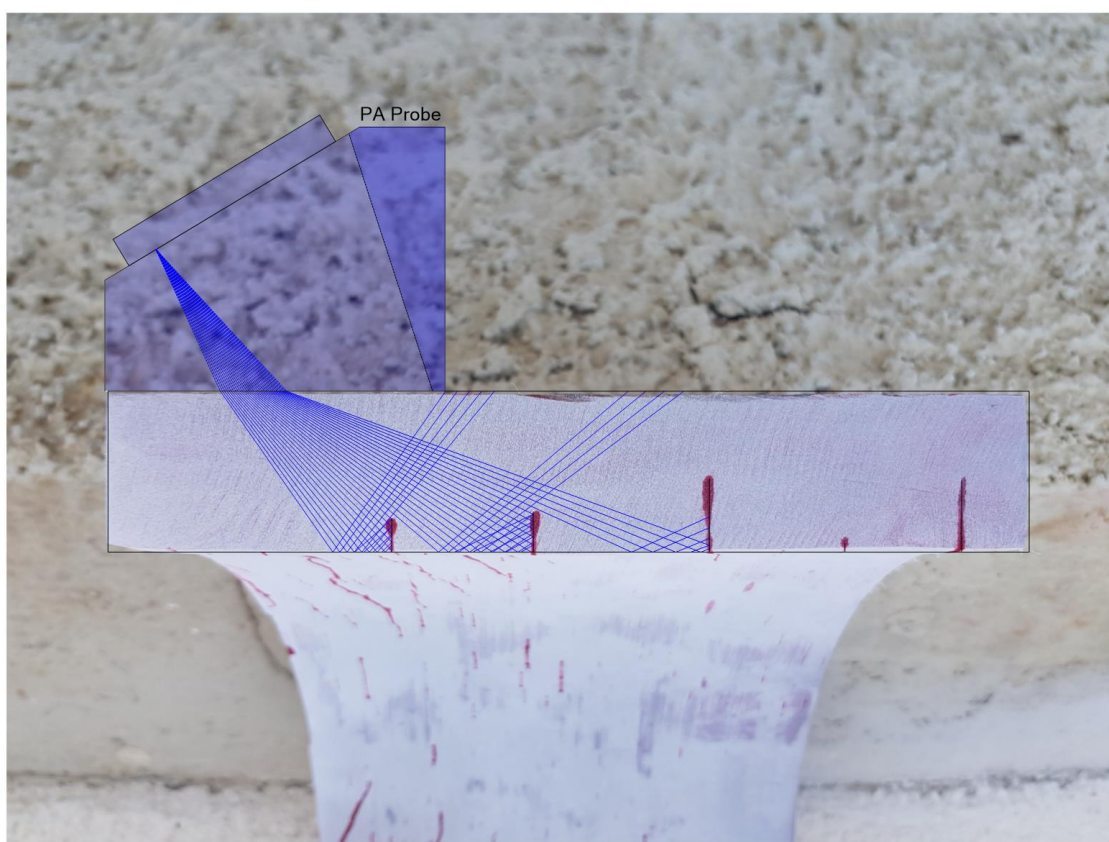
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΟΓΝΩΣΙΑΣ

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

Διπλωματική Εργασία

Νικόλαου Ρούσσου



Επιβλέπων: Dr. – Ing. Σπύρος Παπαευθυμίου, Αναπληρωτής Καθηγητής

Αθήνα, Ιούνιος 2022



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΟΓΝΩΣΙΑΣ

**Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες
παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη
αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων**

Διπλωματική Εργασία

Νικόλαου Ρούσσου

Επιβλέπων: Dr. – Ing. Σπύρος Παπαευθυμίου, Αναπληρωτής Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 26/7/22

Γ. Φούρλαρης, Καθηγητής(Υπογραφή)

Π. Τσακιρίδης, Επίκ. Καθηγητής(Υπογραφή)

Σπ. Παπαευθυμίου, Αν. Καθηγητής(Υπογραφή)

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Μηχανικών, Μεταλλουργικών Δοκιμών & Ελέγχων της Διεύθυνσης Κέντρου Καινοτομίας της ΔΕΗ Α.Ε. Η υπόδειξη του θέματος έγινε από τον αναπληρωτή καθηγητή Dr. – Ing. Σπύρο Παπαευθυμίου, στον οποίο θέλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες για τις γνώσεις που μου μετέδωσε, τις υποδείξεις και συμβουλές που μου έδωσε και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στην ολοκλήρωση της συνέβαλλε με καίριες υποδείξεις και συμβουλές ο υποψήφιος διδάκτορας του εργαστηρίου φυσικής μεταλλουργίας Βασίλης Λουκαδάκης τον οποίο ευχαριστώ θερμά.

Ιδιαίτερα θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στον συνάδελφο μου Μεταλλειολόγο Μεταλλουργό Μηχανικό Dr. Αριστείδη Αρβανίτη για τις πολύτιμες συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ για την κόρη μου Μελίνα που αποτέλεσε πηγή έμπνευσης και ελπίδας, δίνοντας μου κουράγιο ώστε να μπορέσω να ολοκληρώσω αυτόν το δύσκολο στόχο.

Πρόλογος

Οι μη καταστροφικοί έλεγχοι αποτελούν μια ομάδα δοκιμών που επιτρέπει την επιθεώρηση υλικών διατηρώντας την δομική ακεραιότητά τους στην κατάσταση που ήταν και πριν τον έλεγχο. Πρόκειται για έναν κλάδο με συνεχή ανάπτυξη και μεγάλο επιστημονικό αντικείμενο. Οι εξελίξεις στον τομέα των ηλεκτρονικών έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη συσκευών που δίνουν στον χρήστη μεγάλες δυνατότητες εντοπισμού και απεικόνισης ασυνεχειών και ατελειών κατά τον έλεγχο. Το μεγάλο εύρος εφαρμογής καθώς και το γεγονός ότι δεν επηρεάζουν το υλικό που ελέγχεται καθιστά τις μεθόδους μη καταστροφικού ελέγχου απαραίτητες στους περισσότερους τομείς κατασκευής ή παραγωγής υλικών και αντικειμένων. Στο πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας μεταξύ άλλων παρουσιάζεται και η αξία που αποκτούν οι μη καταστροφικοί μέθοδοι ελέγχου κατά την σύμπραξη με άλλες εργαστηριακές μεθόδους όπως η μικροσκοπία και οι δοκιμές αντοχής υλικών. Από την παρούσα εργασία γίνεται αντιληπτό ότι οι μη καταστροφικοί μέθοδοι ελέγχου (ΜΚΕ) αφορούν έναν κλάδο με σπουδαίο επιστημονικό αντικείμενο τόσο σε εύρος όσο και σε ενδιαφέρον αλλά και επίσης με ευρύ φάσμα εφαρμογής.

Περίληψη

Η διενέργεια μη καταστρεπτικών ελέγχων (ΜΚΕ), η ανάλυση και η διαρκής αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, που πραγματοποιούνται στις εγκαταστάσεις και στον εξοπλισμό των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ Α.Ε. αποτελεί διαρκή πρόκληση. Σε συνεργασία με τη ΔΕΗ Α.Ε., η οποία υποστήριξε την παρούσα Διπλωματική Εργασία (ΔΕ) προσεγγίστηκε το θέμα του προσδιορισμού του κατάλληλου συνδυασμού ΜΚΕ για τον περιοδικό έλεγχο κρίσιμων εγκαταστάσεων (πχ. σωληνώσεων υπερκρίσιμου ατμού). Για τον σκοπό αυτό αξιοποιήθηκε τμήμα από σχετικό αγωγό, που αστόχησε, ώστε να προσδιοριστούν πειραματικά οι βέλτιστες συνθήκες και μέθοδοι ΜΚΕ προς εφαρμογή σε περιοδικούς ελέγχους. Η αξιοποίηση του τμήματος του θραυσμένου αγωγού ήταν πολύτιμη, καθώς ήταν εφικτός ο ενδεδειγμένος έλεγχος με μεθόδους ΜΚΕ, καθώς και ο συμπληρωματικός καταστρεπτικός έλεγχος με σκοπό την επιβεβαίωση και την πλήρη καταγραφή και ανάδειξη της αξίας των ευρημάτων ΜΚΕ.

Στο πλαίσιο της ΔΕ γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των μεθόδων που χρησιμοποιούνται υπογραμμίζοντας τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε μίας, καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Αναλύονται τα στάδια που ακολουθούνται κατά την εκτέλεσή τους και τα είδη των σφαλμάτων, που αναμένεται να εντοπιστούν. Παρουσιάζονται χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογής της κάθε μεθόδου αναδεικνύοντας πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Στο πειραματικό μέρος της εργασίας εξετάζεται δοκίμιο προερχόμενο από διερρηγμένο ατμαγωγό λέβητα και εφαρμόζονται μη καταστροφικοί έλεγχοι για να αναδειχθεί το μέγεθος της αστοχίας. Στη συνέχεια, προκειμένου να διαπιστωθεί αν είναι δυνατό να εντοπισθεί εγκαίρως η ύπαρξη του ίδιου προβλήματος σε παρόμοιους λέβητες, πραγματοποιείται μελέτη του φαινομένου σε κατάλληλο λογισμικό, το οποίο αναδεικνύει και απεικονίζει για καλύτερη κατανόηση την πορεία που διαγράφει ο ήχος εντός του ελεγχόμενου δοκιμίου, επιλέγονται οι βέλτιστες ρυθμίσεις και τεχνικές και εκτελούνται δοκιμαστικοί έλεγχοι στο δοκίμιο. Τα επιτυχή αποτελέσματα αυτών των ελέγχων επέτρεψαν την εφαρμογή της μεθόδου σε άλλους δύο παρόμοιους λέβητες, όπου στον έναν από αυτούς εντοπίστηκε το ίδιο φαινόμενο στο ξεκίνημα του και επισκευάστηκε.

Abstract

The execution of non-destructive testing (NDT), the analysis and continuous evaluation of the results, carried out in the facilities and equipment of the power generation units of PPC S.A. is a constant challenge. In collaboration with PPC S.A., which supported this diploma thesis, the identification and determination of the appropriate NDT combination for the periodic control of critical facilities (eg supercritical steam pipelines) was researched. For this purpose, a sample of a related pipeline, which failed, was utilized in order to determine experimentally the optimal conditions and NDT methods to be applied in periodic inspections. The utilization of the failed pipeline sample was valuable, as it was possible to conduct a thorough inspection with NDT methods, as well as the additional destructive tests in order to confirm, to fully record and highlight the value of the NDT findings.

In the context of the thesis, a brief presentation of the applied methods is being made, highlighting the special characteristics of each one, as well as their advantages and disadvantages. The steps followed during their execution and the types of expected defects are analyzed. Typical examples of the application of each method are presented, highlighting advantages and disadvantages.

In the experimental part of this thesis, a sample from a ruptured boiler steam pipe is examined and non-destructive tests are applied to reveal the size of the failure. Next, in order to determine whether it is possible to detect on time the existence of the same problem in similar boilers, a study of the phenomenon is carried out for a better understanding in suitable software, which highlights and depicts the path that the sound takes within the tested specimen, the optimal settings and techniques are selected and trial tests are performed on the specimen. The successful results of these tests allowed the application of the method to two other similar boilers, in one of which the same phenomenon was detected at its start and was repaired.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	7
Πρόλογος.....	9
Περίληψη.....	11
Abstract	13
Περιεχόμενα.....	15
1 Εισαγωγή.....	17
2 Θεωρητικό μέρος	19
2.1 Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι.....	19
2.2 Μέθοδοι Μη Καταστροφικών ελέγχων	21
2.3 Εκπαίδευση – Πιστοποίηση	21
2.4 Οπτικός έλεγχος	24
2.5 Διεσδυτικά υγρά.....	28
2.6 Μαγνητικά σωματίδια.....	34
2.7 Δινορρεύματα.....	38
2.8 Υπέρηχος.....	42
2.8.1 Phased array	46
2.8.2 TOFD (Time Of Flight Diffraction)	48
2.9 Βιομηχανική Ραδιογραφία	50
3 Πειραματικό μέρος	56
3.1 Περιγραφή προβλήματος.....	56
3.2 Πειραματική διαδικασία στο εργαστήριο.....	57
3.2.1 Διενέργεια οπτικού ελέγχου	57
3.2.2 Διενέργεια διεσδυτικών υγρών	58
3.2.3 Διενέργεια μαγνητικών σωματιδίων.....	60
3.2.4 Διενέργεια ελέγχων με συμβατικό υπέρηχο και Phased Array	62
3.2.5 Χρήση λογισμικού BeamTool	63

3.3	Διενέργεια επιτόπιων ελέγχων με συνδυασμένη προσέγγιση ΜΚΕ	69
3.3.1	Έλεγχος με Phased Array	69
3.3.2	Οπτικός έλεγχος με ενδοσκόπιο	71
4	Συζήτηση για τα αποτελέσματα.....	73
5	Συμπεράσματα.....	74
6	Βιβλιογραφία	76
7	Παράρτημα.....	80
7.1	Τεχνικά χαρακτηριστικά αναλωσίμων και εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκαν 80	
7.1.1	Οπτικός Έλεγχος	80
7.1.2	Διεισδυτικά υγρά.....	81
7.1.3	Μαγνητικά σωματίδια.....	85
7.1.4	Συμβατικός υπέρηχος.....	94
7.1.5	Phased Array.....	96
7.2	Μηχανικές δοκιμές και μεταλλογραφικός έλεγχος	97
7.2.1	Αποτελέσματα - Συμπεράσματα	97

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

1 Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσης διπλωματική εργασίας είναι η παρουσίαση των μη καταστροφικών ελέγχων που διενεργούνται στις μονάδες παραγωγής ενέργειας της ΔΕΗ Α.Ε. και της μελέτης που έγινε για να διερευνηθεί η δυνατότητα πραγματοποίησης προληπτικών ΜΚΕ σε εξοπλισμό της επιχείρησης.

Η διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Κέντρο Δοκιμών Ερευνών και Προτύπων (ΚΔΕΠ) της ΔΕΗ όπου τα τελευταία 35 χρόνια λειτουργεί εργαστήριο μη καταστροφικών ελέγχων. Προσωπικό του εργαστηρίου εκτελεί όλα αυτά τα χρόνια ελέγχους σε εξοπλισμό μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ορυχείων.

Τυπικός εξοπλισμός που επιθεωρείται όλα αυτά τα χρόνια είναι τα στροφέια των ατμοστροβίλων, τα κινητά πτερύγια, στα σταθερά πτερύγια, τα κελύφη των μονάδων, τα έδρανα των αξόνων οι βαλβίδες κ.α.

Η συνεισφορά στην ασφάλεια και στην μείωση των ατυχημάτων είναι τόσο μεγάλη που η ΔΕΗ Α.Ε. επιλέγει να στηρίζει την λειτουργία αυτού του εργαστηρίου κόντρα στη τάση που θέλει άλλες εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργεια να προτιμούν τη συνεργασία με εξωτερικούς συνεργάτες.

Στο θεωρητικό τμήμα της εργασίας παρουσιάζονται οι μη καταστροφικοί έλεγχοι, οι βασικότερες μέθοδοι και οι διαδικασίες εκπαίδευσης και πιστοποίησης. Ο οπτικός έλεγχος, τα διεισδυτικά υγρά, τα μαγνητικά σωματίδια, τα δινορρέυματα, ο υπέρηχος και η ραδιογραφία είναι αναλύονται στην συνέχεια ξεχωριστά. Παρουσιάζονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, το πεδίο εφαρμογής τους, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

Στο πειραματικό μέρος παρουσιάζονται πέντε διαφορετικές περιπτώσεις αστοχίας υλικών και η μελέτη που έγινε από τα εργαστήρια του ΚΔΕΠ προκειμένου να βρεθούν τα αίτια τής. Αναφέρονται τα αποτελέσματα των μηχανικών δοκιμών που έγιναν, οι μεταλλογραφικές μελέτες και συλλογιστική που οδήγησε στο αίτιο της αστοχίας.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και
μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

2 Θεωρητικό μέρος

2.1 Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι

Οι μη καταστροφικοί έλεγχοι, αποκαλύπτουν “κρυφές” ασυνέχειες και ελαττώματα χωρίς να επηρεάζουν την ακεραιότητα του δείγματος. Αυτός ο κλάδος είναι ζωτικής σημασίας τόσο για την παραγωγή τεχνικών υλικών όσο και για την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία των μηχανικών κατασκευών^[2].

Οι μη καταστροφικοί έλεγχοι αναφέρονται με πολλά διαφορετικά ονόματα ανάλογα με τον χώρο εφαρμογή τους. Οι διάφορες ονομασίες με τις οποίες απαντώνται αναλύονται παρακάτω.

- Η μη καταστρεπτική επιθεώρηση (NDI: Non-destructive inspection), είναι ο όρος που χρησιμοποιείται συνήθως στον στρατό, την αεροπορία και ορισμένες βιομηχανίες κοινής ωφέλειας, επειδή σε αυτές τις ομάδες πιστεύουν ότι η «επιθεώρηση» ενισχύει την ιδέα ότι η συντήρηση εκτελείται σε κάτι που βρίσκεται επί του παρόντος σε υπηρεσία.
- Ο όρος μη καταστροφική αξιολόγηση (NDE: Non-destructive evaluation), προτιμάται στην έρευνα και τον ακαδημαϊκό τομέα, επειδή σε αυτούς τους χώρους ερμηνεύουν δεδομένα δοκιμών υψηλότερου επιπέδου ή αναπτύσσουν νέες τεχνικές.
- Ο όρος μη καταστροφική δοκιμή (NDT: Non-destructive testing), χρησιμοποιείται στην πυρηνική και σε ορισμένες άλλες βιομηχανίες, επειδή ο όρος «δοκιμή» φέρει μια έννοια δοκιμών απόδοσης εξοπλισμού^[1].

Ανεξάρτητα από την προτιμώμενη ορολογία, όλες αναφέρονται στις ίδιες μεθόδους επιθεώρησης.

Οι μη καταστροφικοί έλεγχοι (ΜΚΕ) διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ασφάλεια πολλών προϊόντων, μέσων μεταφοράς και υποδομών σε όλο τον κόσμο. Παρέχουν ουσιαστική επικύρωση της ποιότητας ενός προϊόντος και προσθέτουν οικονομική αξία στη παραγωγική του διαδικασία, καθώς βοηθούν τους κατασκευαστές να αποφύγουν τις δαπανηρές επιπτώσεις ενός προϊόντος κακής ποιότητας που φτάνει στον καταναλωτή.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

Παρόλο που το ζητούμενο της ασφάλειας με την ανίχνευση ελαττωμάτων κρίσιμου μεγέθους αποτελεί την ουσιαστική επιδίωξη των ΜΚΕ, τα πλεονεκτήματά τους είναι πολύ περισσότερα:

- Εξασφαλίζουν την αξιοπιστία των προϊόντων
- Αποφεύγονται ατυχήματα και σώζονται ανθρώπινες ζωές
- Εξασφαλίζουν την ικανοποίηση των πελατών και διατηρείται "καλό όνομα" του κατασκευαστή
- Βοηθούν στον καλύτερο σχεδιασμό των προϊόντων
- Βοηθούν στον έλεγχο των διαδικασιών παραγωγής
- Μειώνουν το κόστος κατασκευής
- Διατηρούν ένα ομοιόμορφο επίπεδο ποιότητας

Συχνά, αντιμετωπίζονται οι επιθεωρητές ΜΚΕ ως "κυνηγοί ελαττωμάτων" που απορρίπτουν εξαρτήματα. Δίνοντας τους αυτόν τον ρόλο, οι μηχανικοί της παραγωγικής αλυσίδας συχνά διαμαρτύρονται για τον αντίκτυπο των ΜΚΕ στα χρονοδιαγράμματα και στο κόστος παραγωγής θεωρώντας ότι είναι ένα στάδιο "μη προστιθέμενης αξίας". Ωστόσο, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των ΜΚΕ στα εργαλεία ελέγχου στατιστικών διεργασιών που παρακολουθούν την απόδοση παραγωγικής διαδικασίας, μετατρέπονται σε ένα ουσιαστικό στάδιο προστιθέμενης αξίας στην αλυσίδα της παραγωγής^[29].

Ο συνδυασμός των ΜΚΕ με δοκιμές μηχανικής αντοχής και μεταλλογραφικούς ελέγχους αποκαλύπτει τους λόγους και τις αιτίες που οδήγησαν στην αστοχία ενός υλικού. Η γνώση αυτή είναι παραπάνω από σημαντική σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον. Προστατεύει το προσωπικό, μειώνει τις ώρες μη λειτουργίας ενός εργοστασίου, αυξάνει την εμπιστοσύνη του καταναλωτή για το προϊόν, δημιουργεί ένα αίσθημα ασφάλειας που διαφοροποιεί μια μικρή εταιρεία από μία μεγάλη στα μάτια των καταναλωτών.

Οι αστοχίες σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον δεν είναι δυνατό να εξαλειφθούν. Όταν συμβαίνει όμως ο μηχανικός οφείλει να εξετάσει και να ανακαλύψει τα αίτια που οδήγησαν στην αστοχία και να φροντίσει να μην συμβεί ξανά. Στο δεύτερο κομμάτι αυτής της αποστολής συμβάλλουν καθορίστηκα οι μη καταστροφικοί έλεγχοι. Στις σύγχρονες βιομηχανίες οι ΜΚΕ εφαρμόζονται σε όλα τα στάδια ενός προϊόντος:

- Κατασκευή

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

- Παραλαβή
- Λειτουργίας

2.2 Μέθοδοι Μη Καταστροφικών ελέγχων

Οι κυριότερες μέθοδοι μη καταστροφικών ελέγχων που χρησιμοποιούνται σήμερα στην βιομηχανία είναι^[3]:

- Οπτικός έλεγχος (Visual Testing, VT)
- Διεισδυτικά υγρά (Penetrant Testing, PT)
- Μαγνητικά σωματίδια (Magnetic Particle Testing, MT)
- Βιομηχανική Ραδιογραφία (Radiography, RT)
- Παχυμετρήσεις με υπερήχους (Ultrasonic Thickness Measurement, USTM)
- Υπέρηχος (Ultrasonic Testing, UT)
- Δινορρεύματα (Eddy Current Testing, ET)

Κάθε μία από αυτές έχει πλεονεκτήματα και αδυναμίες. Η σωστή επιλογή της μεθόδου ή των μεθόδων αυξάνει την πιθανότητα ανίχνευσης (POD: probability of detection) ενός πιθανού ελαττώματος^[21].

Η επιλογή των μεθόδων που θα χρησιμοποιηθούν γίνεται συνυπολογίζοντας κάθε φορά παράγοντες όπως:

- Τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες του εξεταζόμενου στοιχείου
- Ο διαθέσιμος χρόνος
- Οι καιρικές συνθήκες και η δυνατότητα πρόσβασης
- Η επικινδυνότητα και οι επιπτώσεις μιας αστοχίας
- Η τεχνική επάρκεια και η εμπειρία των επιθεωρητών
- Ο διαθέσιμος εξοπλισμός

2.3 Εκπαίδευση – Πιστοποίηση

Η τρόπος εκπαίδευσης και πιστοποίησης του προσωπικού που εκτελεί μη καταστροφικούς ελέγχους καθορίζεται από το διεθνές πρότυπο ISO 9712. Σε αυτό καθορίζονται οι προϋποθέσεις που πρέπει να πληροί ένα εκπαιδευτικό κέντρο, ένας υποψήφιος επιθεωρητής, οι ελάχιστες ώρες εκπαιδεύσεις, η ελάχιστη εμπειρία του υποψηφίου και άλλοι παράγοντες.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

Αφού ολοκληρώσει την εκπαίδευση του ο υποψήφιος, εξετάζεται στο θεωρητικό κομμάτι της μεθόδου με ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών και στο πρακτικό κομμάτι εφαρμόζοντας τη μέθοδο σε ορισμένα άγνωστα δοκίμια.

Υπάρχουν τρία επίπεδα εκπαίδευσης και πιστοποίησης για κάθε μέθοδο, με διαφορετικές ώρες εκπαίδευσης, διαφορετικές αρμοδιότητες και διαφορετική ιεραρχική θέση^[10].

Επίπεδο 1 (Level 1):

- Βαθμονόμηση του εξοπλισμού
- Διενέργεια του ελέγχου
- Καταγραφή και αξιολόγηση των ενδείξεων
- Σύνταξη αναφοράς αποτελεσμάτων

Επίπεδο 2 (Level 2):

- Επιλογή της μεθόδου που θα χρησιμοποιήσει
- Καθορισμός περιορισμών στην εφαρμογή της μεθόδου
- Να συντάσσει οδηγίες εργασίας βασισμένες σε προδιαγραφές
- Να ρυθμίζει και να ελέγχει τον εξοπλισμό
- Να εκτελεί ελέγχους ή να επιθεωρεί άλλους
- Να ερμηνεύει και να αξιολογεί τα αποτελέσματα βάσει των σχετικών προτύπων, κωδίκων και προδιαγραφών
- Να φέρνει σε πέρας και να επιβλέπει/ καθοδηγεί εργασίες του προσωπικού με το ίδιο ή κατώτερο επίπεδο πιστοποίησης
- Σύνταξη αναφοράς αποτελεσμάτων

Επίπεδο 3 (Level 3):

- Πλήρη ευθύνη για τον έλεγχο, τις εγκαταστάσεις και το προσωπικό
- Συντάσσει και επικυρώνει οδηγίες εργασίας
- Ερμηνεύει κώδικες, πρότυπα και προδιαγραφές.
- Επιλέγει τις μεθόδους, τις διαδικασίες και τις οδηγίες εργασίας που θα χρησιμοποιηθούν
- Φέρνει σε πέρας και να επιβλέπει εργασίες του προσωπικού όλων των επιπέδων
- Παρέχει καθοδήγηση στο προσωπικό όλων των επιπέδων

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και
μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

Η πιστοποίηση που αποκτάται μετά τις εξετάσεις έχει διάρκεια 5 ετών. Μετά την πάροδο τους πρέπει το προσωπικό να δώσει ξανά πρακτικές εξετάσεις ώστε να εξακριβωθεί η επάρκεια του.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

2.4 Οπτικός έλεγχος

Πρόκειται για την παλαιότερη μέθοδο που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος στη προσπάθεια του να ελέγξει την κατάσταση και την ποιότητα των κατασκευών του. Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό και τη διαστασιολόγηση επιφανειακών ασυνεχειών, την ανίχνευση δομικών προβλημάτων, διαρροών καθώς και για την αξιολόγηση συμμόρφωσης με μια προδιαγραφή.

Το βασικό όργανο επιθεώρησης είναι ο ανθρώπινος οφθαλμός, γυμνός ή με την χρήση διαφόρων βοηθημάτων όπως^[9]:

- Φωτογραφική μηχανή
- Μεγεθυντικός φακός (βλ. Εικόνα 2.4), λούπα, φορητό μικροσκόπιο
- Χάρακας, μετροταινία, παχύμετρο, μικρόμετρο
- Τηλεσκοπικός καθρέπτης (βλ. Εικόνα 2.1)
- Ενδοσκόπιο, βιντεοσκόπιο (βλ. Εικόνα 2.2)
- Όργανα μέτρησης συγκολλήσεων (βλ. Εικόνα 2.3)



Εικόνα 2.1: Τηλεσκοπικοί καθρέπτες



Εικόνα 2.2: Βιντεοσκόπιο^[30]

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων



Εικόνα 2.3: Συλλογή εργαλείων επιθεώρησης συγκολλήσεων^[31]

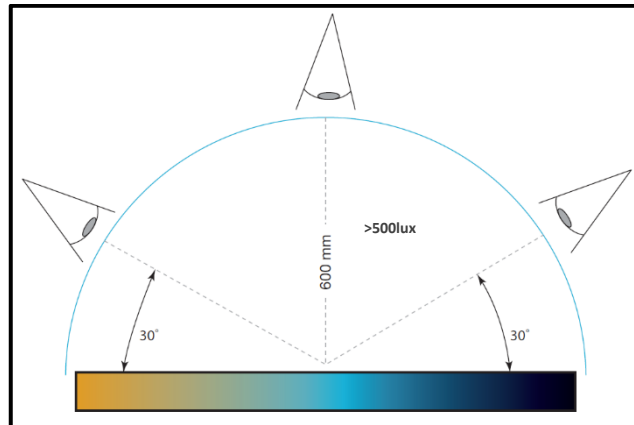


Εικόνα 2.4: Ψηφιακός μεγεθυντικός φακός^[32]

Με τον οπτικό έλεγχο μπορούμε να ανιχνεύσουμε επιφανειακά ελαττώματα και η επιτυχία της επιθεώρησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την οπτική οξύτητα του επιθεωρητή, την κατάσταση της επιφάνειας και τις συνθήκες φωτισμού. Επειδή δεν απαιτούνται ιδιαίτερες τεχνικές ικανότητες και εξοπλισμός συνήθως είναι η πρώτη μέθοδος που εφαρμόζουμε κατά την επιθεώρηση ενός υλικού αλλά τις περισσότερες φορές την συνδυάζουμε με τουλάχιστο άλλη μία μέθοδο.

Ανάλογα με την προδιαγραφή με την οποία διεξάγουμε τον έλεγχο καθορίζεται ο ελάχιστος φωτισμός και γωνία θέασης καθώς και η μέγιστη απόσταση από το αντικείμενο. Έτσι σύμφωνα με το την ευρωπαϊκή προδιαγραφή EN 13018 ο φωτισμός στην επιφάνεια του αντικειμένου πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 500lux, η γωνία θέασης μεγαλύτερη από 30° και η απόσταση μικρότερη από 600mm^[11] (βλ. Εικόνα 2.5).

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων



Εικόνα 2.5: Απαιτήσεις για τη διενέργεια οπτικού ελέγχου

Η πιθανότητα ανίχνευσης αυξάνεται όσο αυξάνεται η αντίθεση, ο φωτισμός και η μεγέθυνση. Ο οπτικός έλεγχος γίνεται αποτελεσματικότερος όταν διενεργείται σε καθαρισμένες επιφάνειες καθώς η παρουσία ξένων ουσιών όπως λάδια, γράσα, σκουριές ή οξειδώσεις μπορούν να μειώσουν σημαντικά την αποτελεσματικότητα της δοκιμής. Ωστόσο, μια λανθασμένη επιλογή τεχνικής καθαρισμού μπορεί να μειώσει την ορατότητα μιας ασυνέχειας. Η αυξημένη τραχύτητα της επιφάνειας είναι άλλος ένας παράγοντας που προκαλεί οπτική απόσπαση και μειώνει την ευαισθησία του ελέγχου.

Πίνακας 2.1: Συνοπτικά χαρακτηριστικά μεθόδου οπτικού ελέγχου^{[1], [2], [3]}

Οπτικός Έλεγχος			
Πεδίο εφαρμογής	Είδη σφαλμάτων	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Η μέθοδος εφαρμόζεται σε όλα τα προϊόντα.	Επιφανειακά σφάλματα που μπορεί να ανιχνεύσει ο ανθρώπινος οφθαλμός με ή χωρίς τη χρήση βοηθημάτων.	<ul style="list-style-type: none"> • Δεν επηρεάζεται από τις ηλεκτρικές ή μαγνητικές ιδιότητες του υλικού • Απλή και γρήγορη στην εφαρμογή της • Σχετικά φθηνός εξοπλισμός (εκτός του βιντεοσκοπίου) • Εύκολη εκπαίδευση και πιστοποίηση • Φορητότητα • Ελάχιστη προετοιμασία αντικειμένου • Εύκολη καταγραφή ενδείξεων με φωτογραφία • Δεν χρειάζεται ηλεκτρικό ρεύμα 	<ul style="list-style-type: none"> • Δεν μπορεί να εφαρμοσθεί πάνω από βαφές/επικαλύψεις • Εντοπίζει επιφανειακά ελαττώματα μόνο • Η ανίχνευση μικρών και κλειστών ασυνεχειών είναι δύσκολη • Η σωστή αξιολόγηση και ερμηνεία των ενδείξεων απαιτεί εμπειρία και βιομηχανική γνώση από τον επιθεωρητή. • Η οπτική οξύτητα του επιθεωρητή επηρεάζει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

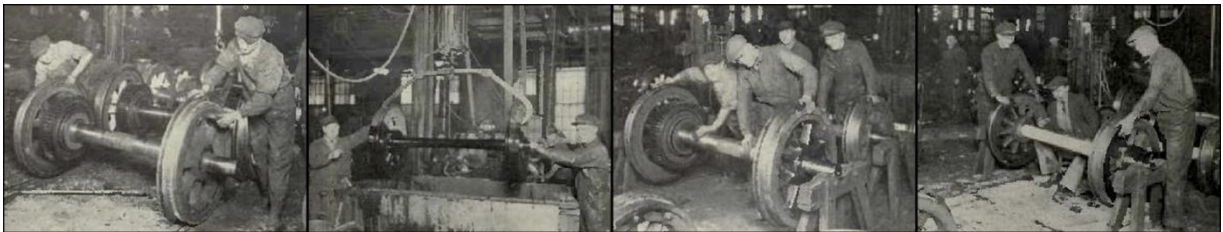
Η εφαρμογή της μεθόδου του οπτικού ελέγχου όπως και κάθε άλλης μεθόδου Μ.Κ.Ε. γίνεται χρησιμοποιώντας διεθνείς προδιαγραφές όπως:

- EN 13018: Non-destructive testing. Visual testing. General principles
- EN ISO 17637: Non-destructive testing of welds. Visual testing of fusion-welded joints

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

2.5 Διεισδυτικά υγρά

Η μέθοδος των διεισδυτικών εφαρμόσθηκε για πρώτη φορά στα μέσα του 19^{ου} αιώνα με την ονομασία «Oil and Whiting Method» για τον ποιοτικό έλεγχο εξαρτημάτων της βιομηχανίας των σιδηροδρόμων. Η εφαρμογή της μεθόδου την εποχή εκείνη γίνονταν βυθίζοντας τα εξαρτήματα σε δεξαμενές λαδιού ώστε να διεισδύσει το λάδι σε ασυνέχειες που ήταν ανοικτές στην επιφάνεια του αντικειμένου. Στην συνέχεια, αφού άφηναν το αντικείμενο εκτός λαδιού και το καθάριζαν, εφάρμοζαν στην επιφάνεια τού πούδρα λευκής κιμωλίας η οποία αφενός δημιουργούσε την επιθυμητή χρωματική αντίθεση και αφετέρου βοηθούσε το λάδι που ήταν παγιδευμένο σε επιφανειακά ελαττώματα να βγει στην επιφάνεια υποδεικνύοντας τη θέση τους.^[2]



Εικόνα 2.6: Τα στάδια εφαρμογής της μεθόδου «Oil and Whiting»^[33]

Στη σημερινή εποχή η μέθοδος των διεισδυτικών υγρών πραγματοποιείται με τη χρήση ενός σετ τριών συστατικών σε συσκευασία δοχείων ψεκασμού (βλ. Εικόνα 2.7):

- Καθαριστικό (Cleaner)
- Διεισδυτή (Penetrant)
- Εμφανιστής (Developer)



Εικόνα 2.7: Σετ διεισδυτικών υγρών: καθαριστικό, διεισδυτής και εμφανιστής

Η διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου περιλαμβάνει τα εξής στάδια^[12]:

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

1^ο στάδιο – Προ-καθαρισμός: Για να έχει αποτελεσματικότητα η μέθοδος θα πρέπει οι ασυνέχειες να είναι ανοικτές και ελεύθερες από ακαθαρσίες έτσι ώστε να μπορέσει να εισχωρήσει σε αυτές ο διεισδυτής. Για τον λόγο αυτό καθαρίζουμε καλά τις προς έλεγχο επιφάνειες με το καθαριστικό σπρέι (Cleaner). Εάν οι επιφάνειες είναι οξειδωμένες ή οι ακαθαρσίες δεν απομακρύνονται με το καθαριστικό μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ανάλογα με το εξεταζόμενο υλικό και άλλες μεθόδους όπως:

- Βούρτσισμα
- Ελαφρύ τρόχισμα
- Χρήση λουτρού υπερήχων
- Χρήση ατμών διαλύτη

2^ο στάδιο – Εφαρμογή διεισδυτή: Εφόσον η επιφάνεια που θέλουμε να ελέγξουμε είναι καθαρή και στεγνή εφαρμόζουμε ένα λεπτό φιλμ διεισδυτή. Η εφαρμογή του μπορεί να γίνει με ψεκασμό, με πινέλο ή με ειδικούς μαρκαδόρους. Ο διεισδυτής όντας ένα υγρό διάλυμα με υψηλή επιφανειακή τάση, εκμεταλλεύεται το τριχοειδές φαινόμενο και εισχωρεί μέσα στις ανοικτές ασυνέχειες του υλικού. Ανάλογα την περίπτωση αφήνουμε τον διεισδυτή να δράσει για 15 έως 60 λεπτά. Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται δύο ειδών διεισδυτές, οι ορατοί ή οι φθορίζοντες. Στην πρώτη περίπτωση έχουν έντονο κόκκινο χρώμα και η επιθεώρηση πραγματοποιείται σε ορατό φως ενώ στη δεύτερη έχουν πράσινο χρώμα και η επιθεώρηση γίνεται με την χρήση ειδικών λαμπτήρων υπεριώδους ακτινοβολίας UV-A. Τα φθορίζοντα διεισδυτικά έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία από τα ορατά και χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο κρίσιμου εξοπλισμού.

3^ο στάδιο – Καθαρισμός πλεονάζοντος διεισδυτή: Αφού περάσει ο απαιτούμενος χρόνος δράσης του διεισδυτή καθαρίζουμε την επιφάνεια του αντικειμένου με καθαρά πανιά που δεν αφήνουν χνούδια ή με χαρτί. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία έχοντας νοτίσει ελαφρά καθαρά πανιά με νερό ή με καθαριστικό έτσι ώστε να απομακρυνθεί όλος ο πλεονάζον διεισδυτής από την επιφάνεια του αντικειμένου. Σε περιπτώσεις μεγάλων αντικειμένων με πολύπλοκη γεωμετρία ο καθαρισμός μπορεί να γίνει με χρήση τρεχούμενου νερού με χαμηλή πίεση. Μόλις στεγνώσει καλά η επιφάνεια συνεχίζουμε στο επόμενο στάδιο.

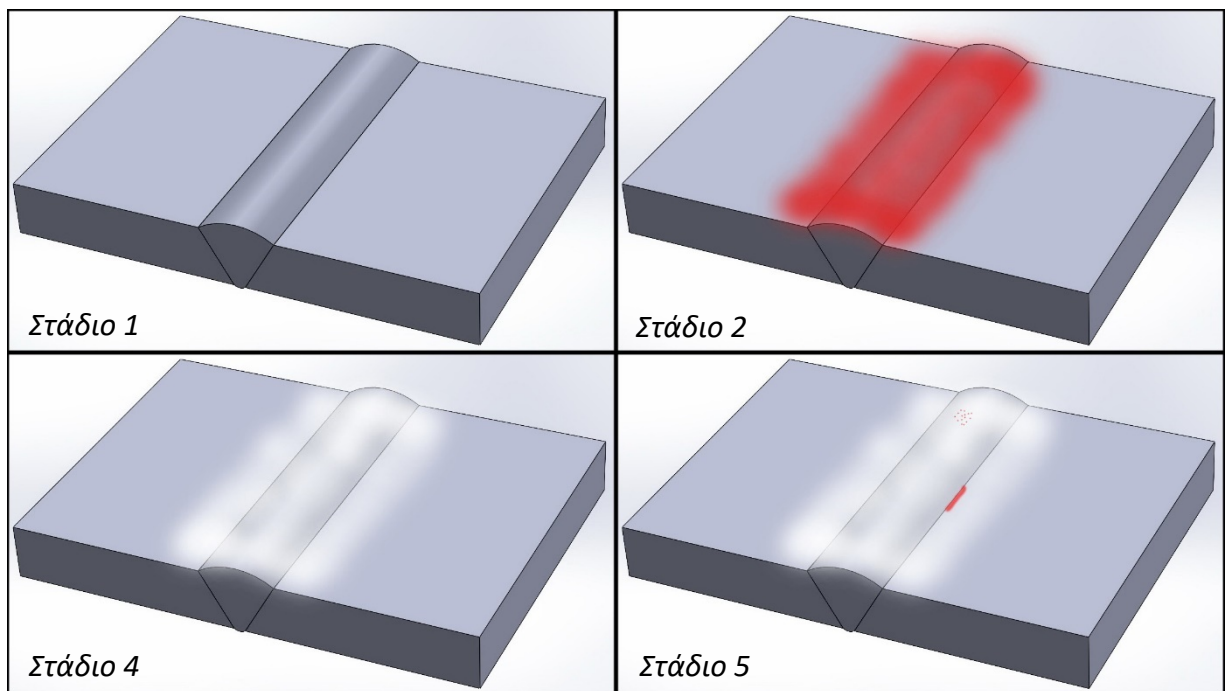
4^ο στάδιο – Εφαρμογή εμφανιστή: Αφού στεγνώσει καλά η επιφάνεια του αντικειμένου που επιθεωρούμε εφαρμόζουμε με ψεκασμό ένα ομοιόμορφο λεπτό φιλμ εμφανιστή και

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

αφήνουμε να δράσει 5 έως 10 λεπτά. Ο εμφανιστής είναι μία πούδρα λευκού χρώματος που χρησιμοποιείται για την δημιουργία ενός κατάλληλου υπόβαθρου λευκού χρώματος και για την εξολκύση του διεισδυτή από τις ασυνέχειες. Αποτέλεσμα της δράσης του είναι η εμφάνιση με έντονο κόκκινο χρώμα (ή πράσινο αν πρόκειται για φθορίζοντα) των θέσεων που βρίσκονται οι ασυνέχειες.

5^ο στάδιο – Καταγραφή ενδείξεων: Σε αυτό το στάδιο καταγράφουμε σχολαστικά τη θέση και τις διαστάσεις των ασυνεχειών και ελέγχουμε αν κάποιες από αυτές ξεπερνούν τα αποδοχής/απόρριψης που έχουμε στη διάθεση μας είτε από κάποια προδιαγραφή είτε από απαίτηση του πελάτη.

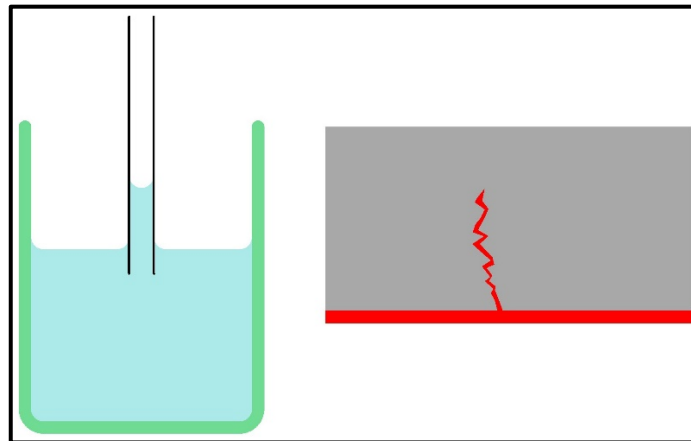
6^ο στάδιο – Μετά-καθαρισμός: Στο τελευταίο στάδιο πρέπει να καθαριστεί το ελεγχόμενο αντικείμενο με τη χρήση πανιών, καθαριστικού και νερού.



Εικόνα 2.8: Στάδια της μεθόδου των διεισδυτικών υγρών

Η βασική αρχή λειτουργίας της μεθόδου των διεισδυτικών υγρών είναι το τριχοειδές φαινόμενο, σύμφωνα με το οποίο όταν ένας λεπτός σωλήνας τοποθετηθεί μέσα σε ένα υγρό τότε η στάθμη του υγρού μέσα στον σωλήνα ανεβαίνει σε μεγαλύτερο ύψος από ότι έξω από αυτόν (όταν το υγρό έχει χαμηλό ιξώδες). Το φαινόμενο αυτό οφείλεται και εξαρτάται από τις δυνάμεις συνοχής μεταξύ των μορίων του υγρού, τις δυνάμεις συνάφειας μεταξύ των μορίων του υγρού και του σωλήνα και από την ατμοσφαιρική πίεση. Είναι δε τόσο

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων ισχυρό που επιτρέπει την χρήση της μεθόδου ακόμα και σε καταστάσεις που η δύναμη της βαρύτητας αντιτίθεται στη δράση του διεισδυτή^[22] (βλ. Εικόνα 2.9).



Εικόνα 2.9: Τριχοειδές φαινόμενο

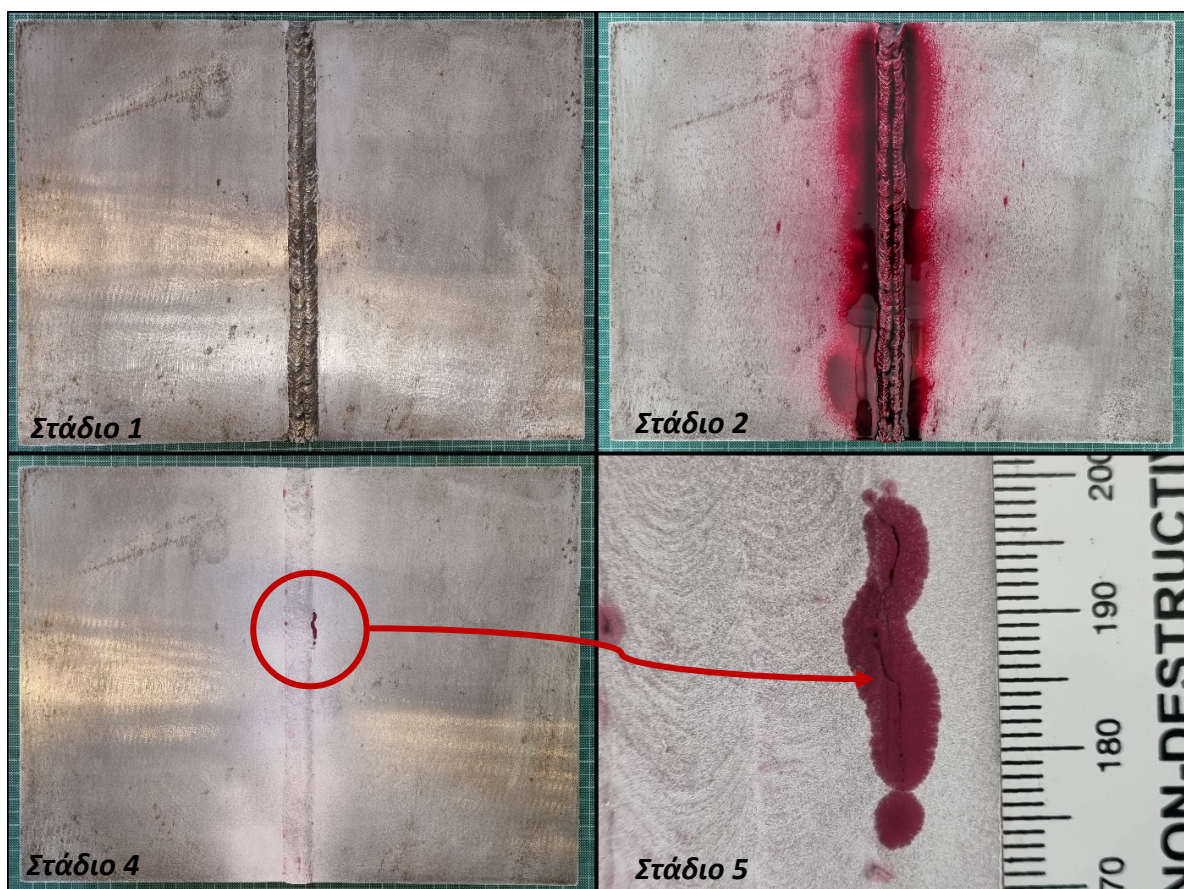
Η μέθοδος εφαρμόστηκε σε εκπαιδευτικό δοκίμιο με μετωπική συγκόλληση ελασμάτων (βλ. Εικόνα 2.10).



Εικόνα 2.10: Εκπαιδευτικό δοκίμιο

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

- Αρχικά απομακρύνθηκαν με οι επιφανειακές οξειδώσεις και ολοκληρώθηκε ο προκαθαρισμός του δοκιμίου ψεκάζοντας με καθαριστικό σπρέι και σκουπίζοντας με καθαρό πανί (Στάδιο 1).
- Ακολούθησε η εφαρμογή του διεισδυτή σε όλο το μήκος της συγκόλλησης καθώς και σε 20mm δεξιά και αριστερά από αυτή. Αφέθηκε ο διεισδυτής να δράσει για 15 λεπτά περίπου (Στάδιο 2) και κατόπιν καθαρίστηκε με πανιά η επιφάνεια του δοκιμίου (Στάδιο 3).
- Στο επόμενο στάδιο του ελέγχου εφαρμόστηκε ο εμφανιστής στην ίδια περιοχή που είχε εφαρμοσθεί και ο διεισδυτής (Στάδιο 4). Πέντε λεπτά μετά την εφαρμογή του εμφανιστή ελέγχθηκε το δοκίμιο και διαπιστώθηκε η ύπαρξη της γραμμικής ένδειξης στην θερμικά επηρεασμένη ζώνη της συγκόλλησης.
- Με τη χρήση ενός χάρακα και μιας φωτογραφικής μηχανής καταγράφηκε η ένδειξη που όπως φαίνεται και από την παρακάτω φωτογραφία πρόκειται για ρωγμή στη θερμικά επηρεασμένη ζώνη, με αρχή τα 173mm και μήκος 26mm.



Εικόνα 2.11: Εφαρμογή της μεθόδου των διεισδυτικών υγρών

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

Πίνακας 2.2: Συνοπτικά χαρακτηριστικά μεθόδου διεισδυτικών υγρών^{[1], [2], [3]}

Διεισδυτικά Υγρά			
Πεδίο εφαρμογής	Είδη σφαλμάτων	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<p>Η μέθοδος εφαρμόζεται σε μη πορώδη προϊόντα όπως μέταλλα, πλαστικά, γυαλί, κεραμικά κτλ.</p>	<p>Επιφανειακά σφάλματα που δεν καλύπτονται από ακαθαρσίες, οξειδώσεις, λάδια κτλ.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ρωγμές • Πόροι • Ραφές • Αναδιπλώσεις 	<ul style="list-style-type: none"> • Ευαίσθητη μέθοδος • Η ανίχνευση των ασυνχειών γίνεται ανεξάρτητα από τον προσανατολισμό τους • Χαμηλό κόστος εξοπλισμού και αναλωσίμων • Φορητότητα • Εύκολη ερμηνεία αποτελεσμάτων • Δεν επηρεάζεται από τις ηλεκτρικές ή μαγνητικές ιδιότητες του υλικού • Εύκολη εκπαίδευση και πιστοποίηση • Εύκολη καταγραφή αποτελεσμάτων με φωτογραφία • Δεν χρειάζεται ηλεκτρικό ρεύμα 	<ul style="list-style-type: none"> • Δεν μπορεί να εφαρμοσθεί πάνω από βαφές/επικαλύψεις • Η ασυνέχεια πρέπει να είναι ανοικτή στην επιφάνεια για να επιτραπεί η διείσδυση • Στα αντικείμενα με μεγάλη επιφανειακή τραχύτητα ο καθαρισμός του πλεονάζον διεισδυτή είναι δύσκολος • Τα αναλώσιμα που χρησιμοποιούνται είναι εξαιρετικά ρυπογόνα

Το βασικό ευρωπαϊκό πρότυπο για την εφαρμογή της μεθόδου είναι το:

ISO 3452-1:2021 Non-destructive testing — Penetrant testing — Part 1: General principles

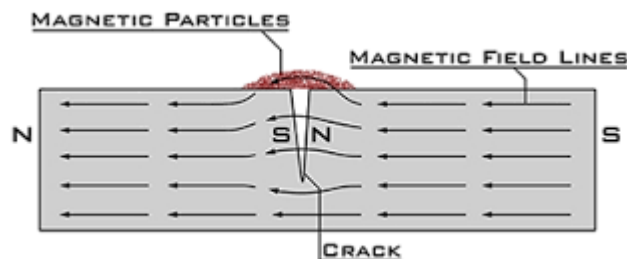
Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

2.6 Μαγνητικά σωματίδια

Πρόκειται για μια μέθοδο που χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία για την ανίχνευση ατελειών σε μεταλλικές κατασκευές. Πρώτη φορά εφαρμόστηκε το 1868 για την επιθεώρηση στρατιωτικού εξοπλισμού και πλαισίωσε την μέθοδο των διεισδυτικών υγρών στην ανίχνευση επιφανειακών ασυνεχειών. Με τη μέθοδο των μαγνητικών σωματιδίων μπορούμε να ανιχνεύσουμε και ελαφρώς υπο-επιφανειακά σφάλματα αλλά στην πράξη χρησιμοποιείται κυρίως για επιφανειακά.^[2]

Πρόκειται για μία μέθοδο που βασίζεται στις μαγνητικές ιδιότητες των υλικών και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε σιδηρομαγνητικά υλικά όπως ο σίδηρος, το νικέλιο, το κοβάλτιο και κράματα τους.

Όταν σε ένα σιδηρομαγνητικό υλικό εφαρμοσθεί μαγνητικό πεδίο τότε αυτό διαρρέεται από μαγνητικές γραμμές. Αν στην πορεία τους βρεθεί μία ασυνέχεια με κάθετη διεύθυνση προς αυτές δημιουργείται ένα τοπικό μαγνητικό δίπολο στις δύο πλευρές τις ασυνέχειας. Το δίπολο αυτό έλκει μαγνητικά σωματίδια και τα συγκεντρώνει πάνω από την ασυνέχεια δίνοντας τη δυνατότητα στον επιθεωρητή να αντιληφθεί την ύπαρξη της ασυνέχειας^[25] (βλ. Εικόνα 2.12).



Εικόνα 2.12: Αρχή λειτουργίας της μεθόδου

Στη μέθοδο των μαγνητικών σωματιδίων, σε αντίθεση με τη μέθοδο των διεισδυτικών υγρών, δεν είναι απαραίτητο οι ασυνέχειες να είναι καθαρές και ελεύθερες από ακαθαρσίες. Παρόλα αυτά ή παρουσία έντονης οξείδωσης, διαφόρων ακαθαρσιών, αποκολλημένων βαφών κτλ. δυσκολεύουν την οπτική παρατήρηση των ασυνεχειών καθιστώντας τον προ-καθαρισμό σημαντικό εφόδιο στη διαδικασία ελέγχου. Οι κύριες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι διαλύτες σε συσκευασία σπρέι, το βούρτσισμα και το τρόχισμα.

Στην συνέχεια εφαρμόζεται μαγνητικό πεδίο στο αντικείμενο που εξετάζεται και ταυτόχρονα ψεκάζονται μαγνητικά σωματίδια. Εάν υπάρχει κάποια ασυνέχεια στην περιοχή

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

που εφαρμόστηκε το μαγνητικό πεδίο και είναι προσανατολισμένη κατάλληλα, τότε το μαγνητικό δίπολο που δημιουργείται λόγω της διαρροής του μαγνητικού πεδίου έλκει τα σωματίδια και τα συσσωρεύει πάνω από την ασυνέχεια. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει η ασυνέχεια ιδανικά να είναι κάθετη στις δυναμικές γραμμές ή να σχηματίζει γωνία έως 45°.

Προκειμένου να εντοπισθούν οι ρωγμές όλων των κατευθύνσεων η μαγνήτιση του αντικείμενου γίνεται πάντα δύο φορές σε κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις.

Όπως και στη μέθοδο των διεισδυτικών υγρών υπάρχουν ορατά μαγνητικά σωματίδια μαύρου χρώματος που τα παρατηρούμε με ορατό φως (βλ. Εικόνα 2.13) και φθορίζοντα μαγνητικά σωματίδια που τα παρατηρούμε με χρήση λάμπας υπεριώδους ακτινοβολίας UV-A (βλ. Εικόνα 2.14). Κατά την εφαρμογή της μεθόδου με ορατά σωματίδια πριν την εφαρμογή του μαγνητικού πεδίου το αντικείμενο βάφετε με ένα προσωρινή λευκό υπόστρωμα για να επιτευχθεί καλύτερη χρωματική αντίθεση με τα σωματίδια. Το υπόστρωμα αυτό πρέπει να το απομακρυνθεί μετά τον έλεγχο.

Καταγράφονται οι ενδείξεις από τον έλεγχο (αρχή και μήκος σε σχέση με ένα σημείο αναφοράς πάνω στο αντικείμενο) και αξιολογούνται με βάση την προδιαγραφή που έχει συμφωνηθεί με τον πελάτη.

Τέλος ελέγχουμε με μαγνητόμετρο εάν έχει παραμείνει μαγνήτιση στο αντικείμενο μετά τον έλεγχο. Στην περίπτωση που υπάρχει παραμένουσα μαγνήτιση (>3 Gauss) πρέπει να απομαγνητίσουμε το αντικείμενο. Αυτό γίνεται συνήθως εφαρμόζοντας ένα συνεχώς μειούμενο μαγνητικό πεδίο αντίθετης φοράς στο αντικείμενο^[13].

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων



Εικόνα 2.13: Έλεγχος συγκόλλησης με ορατά μαγνητικά σωματίδια

Εικόνα 2.14: Έλεγχος συγκόλλησης με φθορίζοντα μαγνητικά σωματίδια

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές μαγνήτισης και η επιλογή τους εξαρτάται από παράγοντες όπως το σχήμα του αντικειμένου, το μέγεθος του αντικειμένου, τις αναμενόμενες ασυνέχειες κ.α. Οι συνηθέστερες τεχνικές μαγνήτισης που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία είναι:

- α. Με μόνιμο μαγνήτη
- β. Με ηλεκτρομαγνήτη (Yoke)
- γ. Με ακροδέκτες (Prods)
- δ. Τεχνική κεντρικού αγωγού
- ε. Τεχνική μετωπικής επαφής
- στ. Με άκαμπτο πηνίο
- ζ. Με εύκαμπτο πηνίο

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

Πίνακας 2.3: Συνοπτικά χαρακτηριστικά μεθόδου μαγνητικών σωματιδίων^{[1], [2], [3]}

Μαγνητικά Σωματίδια			
Πεδίο εφαρμογής	Είδη σφαλμάτων	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<p>Η μέθοδος εφαρμόζεται μόνο σε σιδηρομαγνητικά μεταλλικά προϊόντα.</p>	<p>Ανιχνεύονται επιφανειακά σφάλματα και ελαφρώς υπο-επιφανειακά.</p> <p>Τυπικά σφάλματα που ανιχνεύονται είναι:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ρωγμές • Ραφές • Αναδιπλώσεις • Διαστρωματώσεις 	<ul style="list-style-type: none"> • Πολύ ευαίσθητη μέθοδος • Χαμηλό κόστος εξοπλισμού και αναλωσίμων • Φορητότητα • Εύκολη ερμηνεία αποτελεσμάτων • Εύκολη εκπαίδευση και πιστοποίηση • Ανιχνεύονται επιφανειακές ασυνέχειες ακόμα και αν είναι «γεμάτες» ακαθαρσίες, οξειδώσεις κτλ. • Εύκολη καταγραφή αποτελεσμάτων με φωτογραφία • Εύκολη η εφαρμογή της μεθόδου 	<ul style="list-style-type: none"> • Η ανίχνευση των ασυνεχειών εξαρτάται από τον προσανατολισμό τους • Εφαρμόζεται μόνο σε σιδηρομαγνητικά προϊόντα • Σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται απομαγνήτιση του δοκιμίου μετά τον έλεγχο

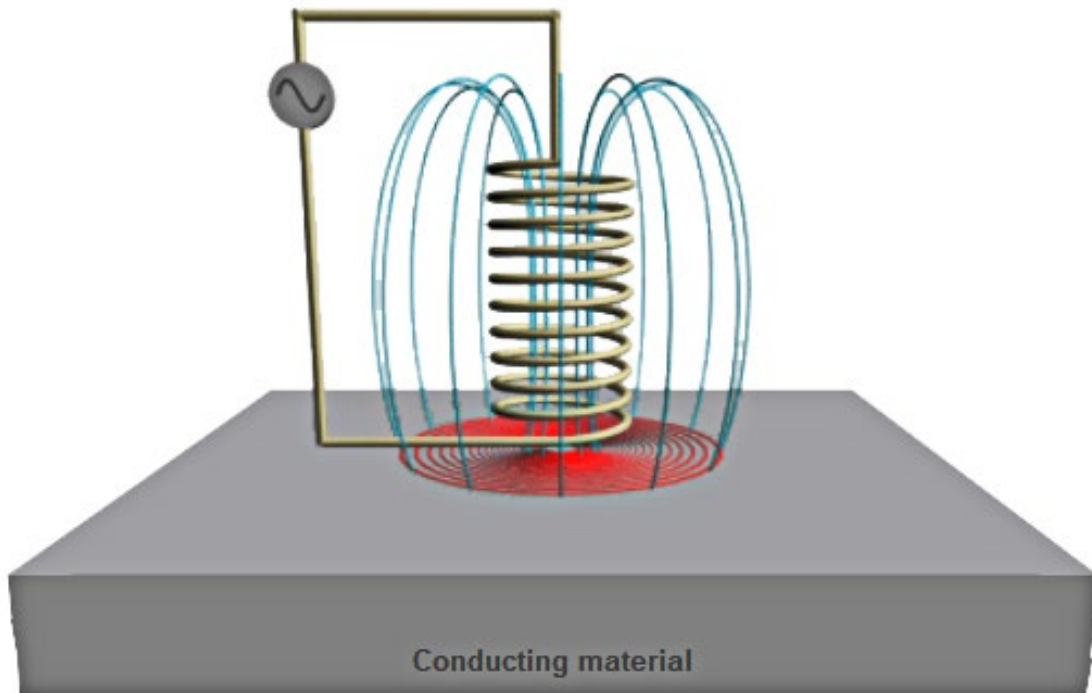
Το βασικό ευρωπαϊκό πρότυπο για την εφαρμογή της μεθόδου είναι το:

EN ISO 9934-1:2016 Non-destructive testing — Magnetic particle testing – General principles

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

2.7 Δινορρεύματα

Η μέθοδος των δινορρευμάτων είναι μια προχωρημένη μέθοδος ανίχνευσης κυρίως επιφανειακών ασυνεχειών. Σε αντίθεση με τα διεισδυτικά υγρά και τα μαγνητικά σωματίδια έχουν σαφώς δυσκολότερο επίπεδο εκπαίδευσης και πιστοποίησης.^[1]



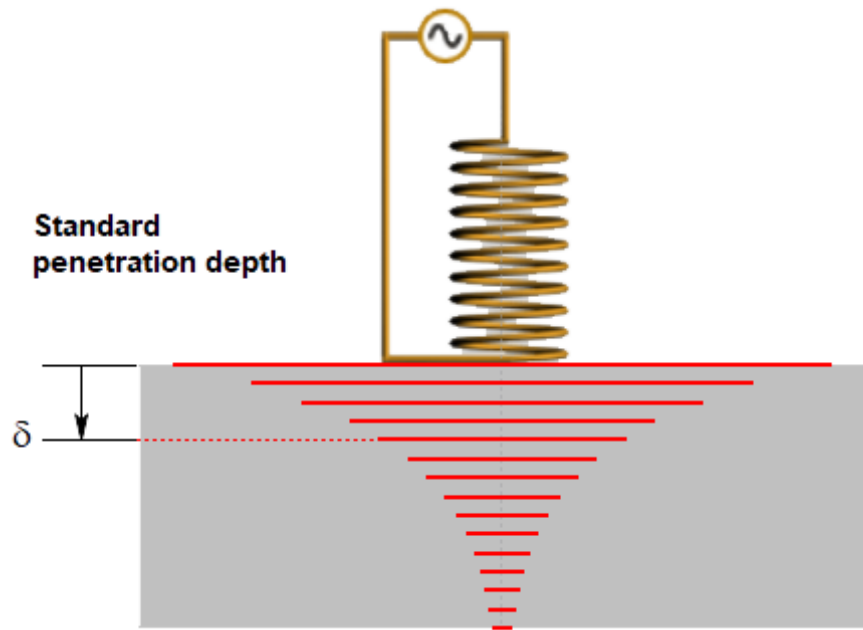
Εικόνα 2.15: Αρχή λειτουργίας δινορρευμάτων^[34]

Εάν θεωρήσουμε ότι ένα πηνίο διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα, τότε δημιουργείται ένα πρωτεύων συνεχώς μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο (βλ. Εικόνα 2.15). Πλησιάζοντας το πηνίο σε μια ηλεκτρικά αγώγιμη επιφάνεια δημιουργούνται στο αντικείμενο επαγωγικά ρεύματα που έχουν την μορφή δινών (δινορρεύματα). Τα δινορρεύματα δημιουργούν ένα δευτερεύων μαγνητικό πεδίο αντίθετης φοράς με το πρωτεύων και το σύστημα τελικώς ισορροπεί. Αν κινούμενο το πηνίο πλησιάσει κάποια ασυνέχεια, επιφανειακή ή ελαφρώς υποεπιφανειακή, διαταράσσονται τα δινορρεύματα, αλλάζει το δευτερεύων και το πρωτεύων μαγνητικό πεδίο και τελικά το όργανο αντιλαμβάνεται μια αλλαγή στην σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος την οποία μετατρέπει σε σήμα (ένδειξη) στο όργανο^[27].

Τα παρουσία των δινορρευμάτων δεν είναι μόνο επιφανειακή. Εκτείνονται και μέσα στο αντικείμενο (βλ. Εικόνα 2.16) και για αυτό το λόγο μπορούμε να ανιχνεύσουμε και υποεπιφανειακές ασυνέχειες. Το βάθος διείσδυσης των δινορρευμάτων μέσα σε ένα

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων αντικείμενο εξαρτάται από την ηλεκτρική του αγωγιμότητα σ , τη μαγνητική του διαπερατότητα μ και την συχνότητα ελέγχου f . Ορίζουμε λοιπόν το πρότυπο βάθος διείσδυσης δ ως το βάθος εκείνο όπου η πυκνότητα των δινορρευμάτων μειώνεται στο 37% ($=\frac{1}{e}$) της τιμής που είχε στην επιφάνεια του αντικειμένου και δίνεται από τη σχέση^[18]:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi f \sigma \mu}}$$

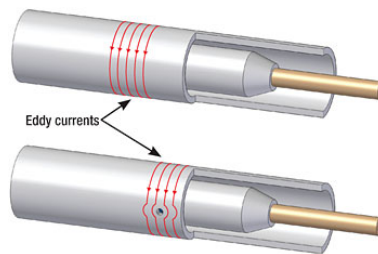


Εικόνα 2.16: Πρότυπο βάθος διείσδυσης δινορρευμάτων^[34]

Ανάλογα με την εφαρμογή υπάρχουν διάφοροι τύποι κεφαλών (πηνίων) που χρησιμοποιούμε (βλ. Εικόνα 2.17)



Κεφαλές ελέγχου επιφανειών



Κεφαλές ελέγχου σωλήνων^[35]



Κεφαλή ελέγχου συγκολλήσεων^[36]

Εικόνα 2.17: Διάφοροι τύποι συμβατικών κεφαλών δινορρευμάτων

Στην οθόνη του οργάνου τού ο χειριστής λαμβάνει και καλείται να ερμηνεύσει σήματα σαν αυτό που απεικονίζεται στην Εικόνα 2.18.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

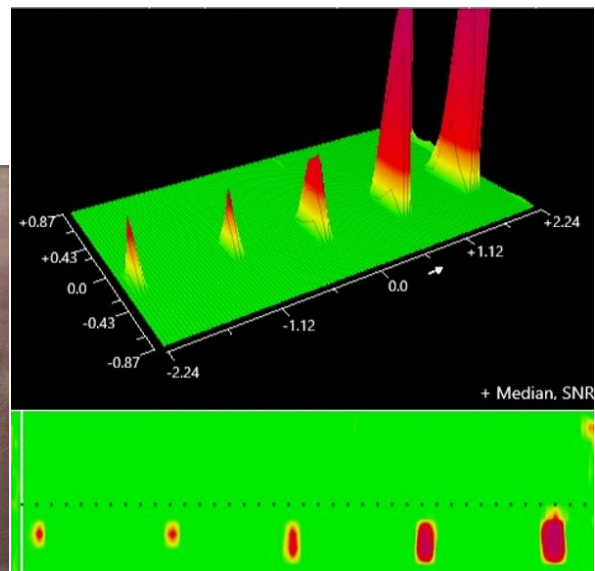


Εικόνα 2.18: Τυπικά σήματα ασυνεχειών σε όργανο δινορρευμάτων^[37]

Μεγάλο μειονέκτημα των κεφαλών δινορρευμάτων είναι το μικρό τους μέγεθος και συνεπώς η μικρή επιφάνεια κάλυψης. Τα τελευταία χρόνια αυτό έχει αλλάξει με την εμφάνιση σύγχρονων οργάνων που διαθέτουν κεφαλές με συστοιχίες πηνίων (array) έτσι ώστε να καλύπτουν μεγάλες επιφάνειες^[8] (βλ. Εικόνα 2.19). Με την τεχνολογία array αλλάζει και η απεικόνιση των σημάτων όπου πλέον στην οθόνη του οργάνου μπορούμε να δούμε το σχήμα της ασυνέχειας (βλ. Εικόνα 2.20).



Εικόνα 2.19: Έλεγχος συγκολλήσεων με κεφαλή array^[38]



Εικόνα 2.20: Τυπική απεικόνιση σφαλμάτων οργάνου δινορρευμάτων με τεχνολογία array^[39]

Πέρα από την ανίχνευση ασυνεχειών η μέθοδος των δινορρευμάτων είναι εξαιρετικά χρήσιμη:

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

- στη μέτρηση μη αγώγιμων επικαλύψεων και βαφών πάνω από μη μαγνητικά αλλά αγώγιμα υλικά και
- στη μέτρηση της αγωγιμότητας των υλικών

Πίνακας 2.4: Συνοπτικά χαρακτηριστικά μεθόδου δινορρευμάτων^{[1], [3]}

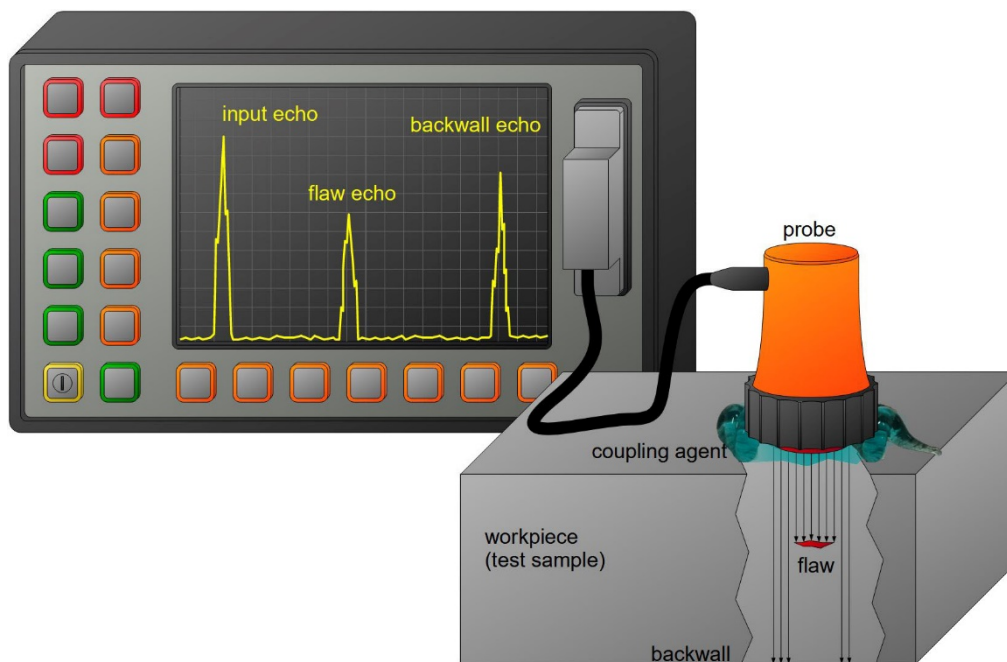
Δινορρεύματα			
Πεδίο εφαρμογής	Είδη σφαλμάτων	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<p>Η μέθοδος εφαρμόζεται μόνο σε αγώγιμα μεταλλικά προϊόντα.</p> <p>Αποτελεί μονόδρομο στον έλεγχο των αυλών σε εναλλάκτες θερμότητας.</p>	<p>Ανιχνεύονται επιφανειακά σφάλματα και ελαφρώς υπο-επιφανειακά.</p> <p>Τυπικά σφάλματα που ανιχνεύονται είναι:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ρωγμές • Ραφές • Αναδιπλώσεις • Διαστρωματώσεις • Απομείωση πάχους • Τρηματική διάβρωση 	<ul style="list-style-type: none"> • Πολύ ευαίσθητη μέθοδος • Ανιχνεύονται επιφανειακές ασυνέχειες ακόμα και αν είναι «γεμάτες» ακαθαρσίες, οξειδώσεις κτλ. • Η μέθοδος εφαρμόζεται πάνω από βαφές. • Δεν χρειάζεται ιδιαίτερη προετοιμασία η επιφάνεια. • Μέτρηση πάχους επικάλυψης / βαφής • Μπορεί να αυτοματοποιηθεί σε γραμμή παραγωγής 	<ul style="list-style-type: none"> • Η ανίχνευση των ασυνεχειών εξαρτάται από τον προσανατολισμό τους • Εφαρμόζεται μόνο σε αγώγιμα προϊόντα • Ακριβό κόστος εξοπλισμού • Δύσκολη ερμηνεία αποτελεσμάτων • Δύσκολη εκπαίδευση και πιστοποίηση • Η καταγραφή αποτελεσμάτων δεν μπορεί να γίνει οπτικά • Δεν ενδείκνυται για μεγάλα αντικείμενα

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

2.8 Υπέρηχος

Η μέθοδος των υπερήχων ξεκίνησε να εφαρμόζεται στη βιομηχανία στις αρχές του 1950 με σκοπό την ανίχνευση εσωτερικών ελαττωμάτων σε μεταλλικά προϊόντα. Βασίζεται στο γεγονός ότι ένα εσωτερικό ελάττωμα όταν βρεθεί στην διεύθυνση διάδοσης ενός ηχητικού κύματος δρα ως ανακλαστήρας.

Οι αισθητήρες (ή αλλιώς κεφαλές) υπερήχων περιέχουν έναν πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο συγκεκριμένων διαστάσεων έτσι ώστε όταν εφαρμοσθεί στα άκρα του τάση από τη συσκευή υπερήχων να πάλλεται παράγοντας κύματα γνωστής συχνότητας f . Φέρνοντας σε επαφή τον αισθητήρα με το αντικείμενο που θέλουμε να ελέγξουμε, μεταφέρονται τα κύματα στο εσωτερικό του^[49]. Αν στην διεύθυνση διάδοσης τους συναντήσουν κάποιο ελάττωμα όπως ρωγμή, ατελή τήξη, πόρους κτλ., ένα μέρος των κυμάτων ανακλάται και επιστρέφει στον αισθητήρα. Το επιστραφέν κύμα διεγείρει τον πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο παράγοντας μία τάση στα άκρα του η οποία τελικά μεταφράζεται σε μία ένδειξη στην οθόνη της συσκευής υπερήχων^[4] (βλ. Εικόνα 2.21).



Εικόνα 2.21: Τυπικές ενδείξεις συσκευών υπερήχων.^[40]

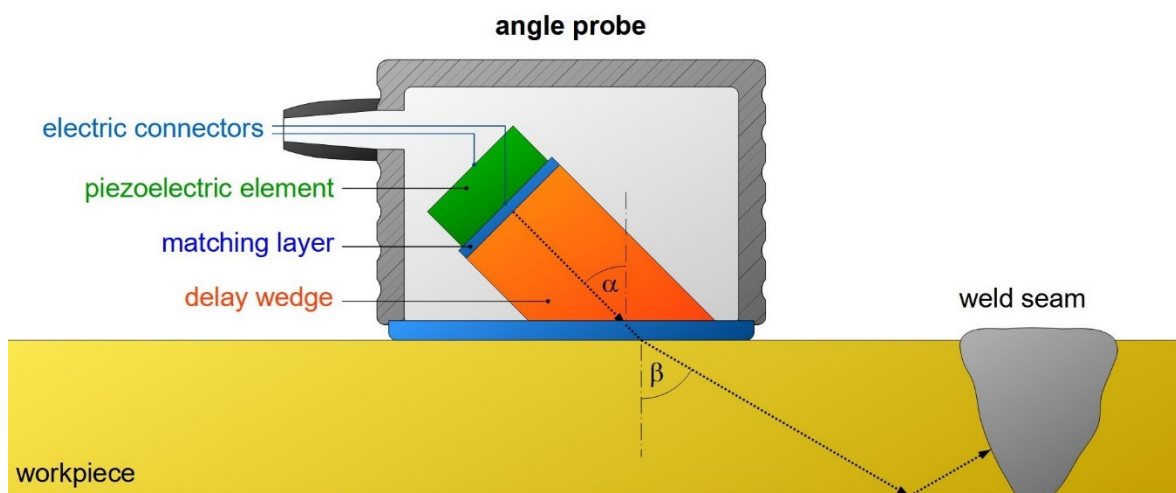
Οι πιο συνηθισμένες συχνότητες που χρησιμοποιούνται στους ελέγχους μεταλλικών προϊόντων είναι 4MHz και 2MHz και λιγότερο συχνά συχνότητες από 1MHz έως 10MHz. Η συχνότητα ελέγχου είναι χαρακτηριστική για κάθε αισθητήρα και αλλάζει μόνο αλλάζοντας αισθητήρα.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

Υπάρχουν κάθετοι αισθητήρες όπου η γωνία εισόδου των κυμάτων με την κάθετη στην επιφάνεια εισόδου είναι 0° (βλ. Εικόνα 2.21), και γωνιακές όπου η γωνία μεταξύ του κύματος και της κάθετης στην επιφάνεια εισόδου είναι 45° , 60° ή 70° (βλ. Εικόνα 2.22).

Επειδή ο ήχος δεν διαδίδεται εξίσου καλά στο αέρα όπως στα υγρά και τα στερεά, μεταξύ του αισθητήρα και του αντικειμένου προς δοκιμή παρεμβάλλουμε ένα μέσο πρόσφυσης που συνήθως είναι νερό, ειδικό gel, λάδι, γράσο κτλ.^[15]

Η μέθοδος των υπερήχων είναι από τις πλέον δύσκολες στην εφαρμογή τους και απαιτούν προσωπικό υψηλών δεξιοτήτων. Η ερμηνεία των σημάτων που λαμβάνει στην οθόνη του οργάνου του ο τεχνικός ΜΚΕ πρέπει να γίνεται προσεκτικά και λαμβάνοντας υπόψη πιθανές εσωτερικές γεωμετρίες του αντικειμένου που μπορούν να λειτουργήσουν ως ανακλαστήρες και να δώσουν ένδειξη στο όργανο.



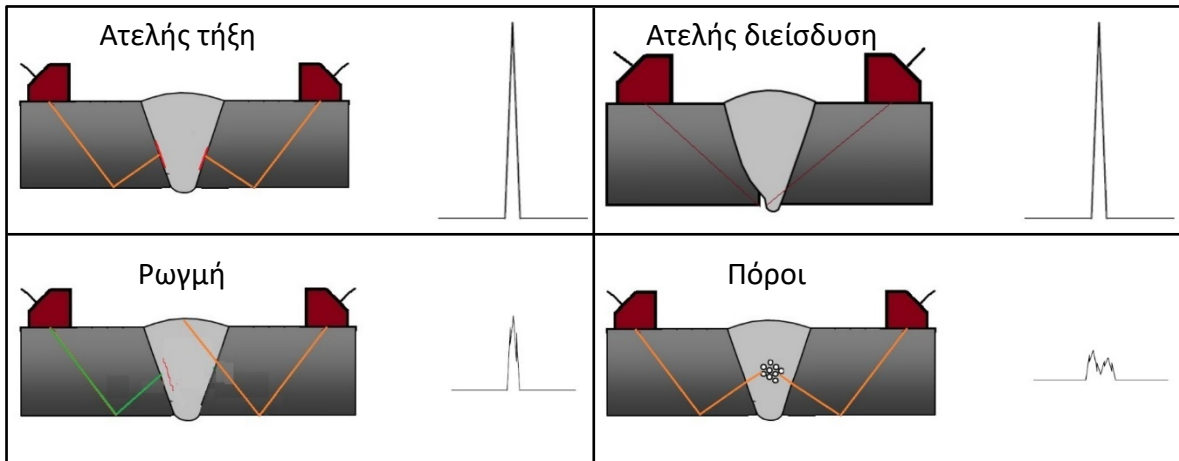
Εικόνα 2.22: Γωνιακή κεφαλή υπερήχων^[40]

Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων (ενδείξεων) ο χειριστής πρέπει να λάβει υπόψη του παράγοντες όπως:

- Μέθοδος κατασκευής
- Ιστορικό
- Θέση ένδειξης
- Μορφή ένδειξης

Στην Εικόνα 2.23 παρουσιάζονται ενδεικτικές μορφές σημάτων από ασυνέχειες σε συγκολλήσεις.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων



Εικόνα 2.23: Ενδεικτικές μορφές σημάτων από σφάλματα σε συγκολλήσεις

Σημαντική εφαρμογή της μεθόδου των υπερήχων είναι οι παχυμετρήσεις. Με τα παχύμετρα υπερήχων μπορούν να γίνουν μετρήσεις ακριβείας σε μεγάλες μεταλλικές κατασκευές και σε κατασκευές όπου έχουμε πρόσβαση μόνο στη μία πλευρά^[14].

Ένα από τα μειονεκτήματα το υπερήχου, για την ακρίβεια του συμβατικού υπερήχου που περιγράψαμε παραπάνω, είναι η αδυναμία ουσιαστικής καταγραφής του ελέγχου. Αυτό ξεπεράστηκε με την εμφάνιση δύο εξελιγμένων μορφών υπερήχων, της μεθόδου Phased Array και της μεθόδου TOFD.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

Πίνακας 2.5: Συνοπτικά χαρακτηριστικά συμβατικού υπερήχου^{[1], [2], [3]}

Συμβατικός Υπέρηχος			
Πεδίο εφαρμογής	Είδη σφαλμάτων	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Η μέθοδος εφαρμόζεται σε όλα τα μεταλλικά προϊόντα.	Ανιχνεύονται εσωτερικά σφάλματα κυρίως αλλά και επιφανειακά. Τυπικά σφάλματα που ανιχνεύονται είναι: <ul style="list-style-type: none"> • Ρωγμές • Ατελής τήξεις • Διαστρωματώσεις • Απομείωση πάχους • Πόροι • Εγκλείσματα • Ατελής διείδυση 	<ul style="list-style-type: none"> • Ανίχνευση εσωτερικών και επιφανειακών σφαλμάτων • Φορητότητα • Δεν επηρεάζεται από μαγνητικές ή ηλεκτρικές ιδιότητες του μετάλλου. • Μπορούν να ελεγχθούν μεγάλα αντικείμενα • Μπορεί να αυτοματοποιηθεί σε γραμμή παραγωγής 	<ul style="list-style-type: none"> • Η ανίχνευση των ασυμφεπειών εξαρτάται από τον προσανατολισμό της • Ακριβό κόστος εξοπλισμού • Δύσκολη ερμηνεία αποτελεσμάτων • Δύσκολη εκπαίδευση και πιστοποίηση • Αδυναμία ουσιαστικής καταγραφής του ελέγχου

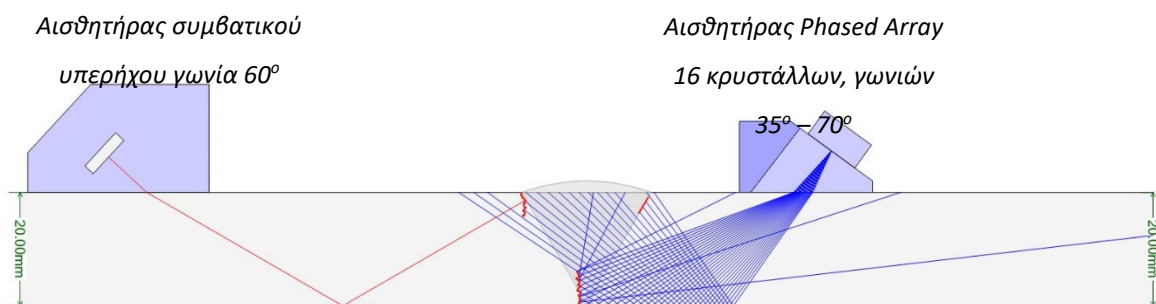
Το βασικό ευρωπαϊκό πρότυπο για την εφαρμογή της μεθόδου είναι το:

EN ISO 16810:2014, Non-destructive testing. Ultrasonic testing. General principles

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

2.8.1 Phased array

Στη μέθοδο ελέγχου με Phased Array, όπως και στον συμβατικό υπέρηχο, χρησιμοποιούμε αισθητήρες (κεφαλές) με πιεζοηλεκτρικούς κρυστάλλους. Η μεγάλη διαφορά στις δύο μεθόδους είναι ότι σε έναν αισθητήρα ενσωματώνονται πλέον πολλοί κρύσταλλοι οι οποίοι μπορούν να διεγείρονται σε διαφορετικούς χρόνους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή ηχητικού κύματος μέσα στο αντικείμενο σε εύρος γωνιών, συνήθως από 35° έως 75° , και όχι σε μία γωνία^[16] (βλ. Εικόνα 2.24).

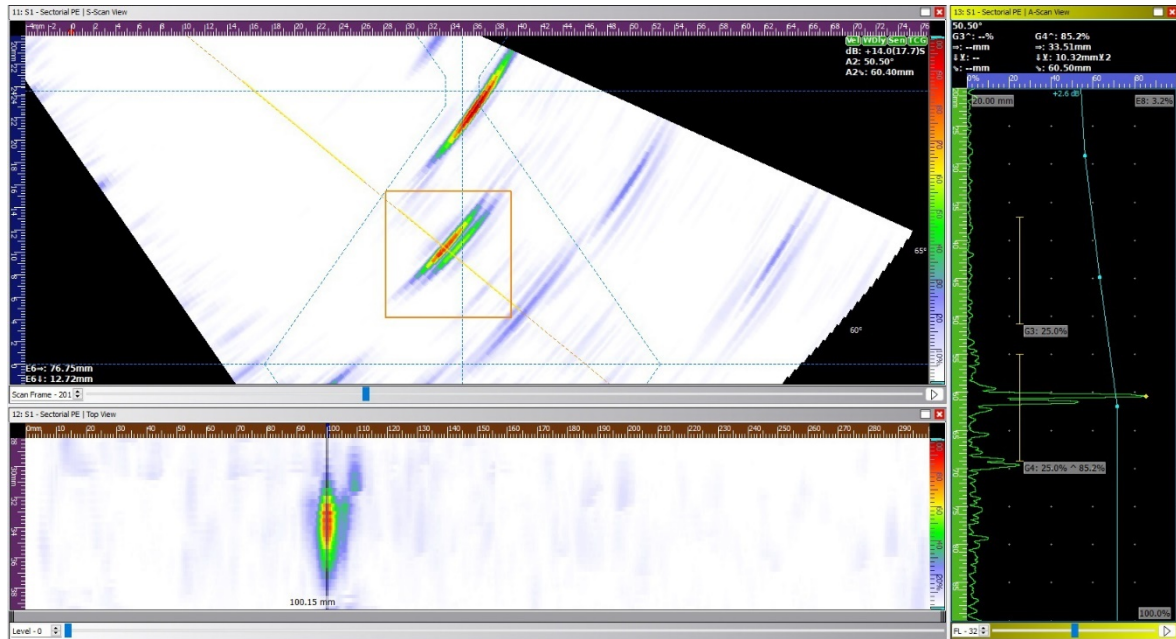


Εικόνα 2.24: Διαφορά συμβατικού υπέρηχου με Phased Array

Με αυτόν τον τρόπο καταφέρνουμε να ελέγξουμε από την ίδια θέση μεγαλύτερο τμήμα της κατασκευής που μας ενδιαφέρει. Για παράδειγμα με το συμβατικό υπέρηχο για να ελέγξουμε όλο το σώμα της συγκόλλησης την Εικόνα 2.24 πρέπει να κινήσουμε τον αισθητήρα προς τη συγκόλληση ενώ αντίθετα με τη μέθοδο Phased Array από μία θέση πετυχαίνουμε πλήρη έλεγχο^[47].

Στη μέθοδο Phased Array αλλάζει και ο τρόπος απεικόνισης των σφαλμάτων. Από τους απλούς παλμούς που έχουμε στον συμβατικό υπέρηχο καταφέρνουμε να έχουμε τομές, όψεις από πάνω ή από το πλάι βοηθώντας σε μεγάλο βαθμό να αξιολογήσουμε ένα σήμα^[23] (βλ. Εικόνα 2.25).

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων



Εικόνα 2.25: Απεικόνιση εγκλείσματος σε συγκόλληση με τη μέθοδο της sed Array

Μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι η συλλογή των δεδομένων μπορεί να αποθηκευτεί σε αρχείο, δίνοντας τη δυνατότητα η αξιολόγηση να γίνει σε προσωπικό υπολογιστή και να αρχειοθετηθεί ως τεκμηρίωση ή για μελλοντική χρήση.

Πίνακας 2.6: Συνοπτικά χαρακτηριστικά Phased Array^[1]

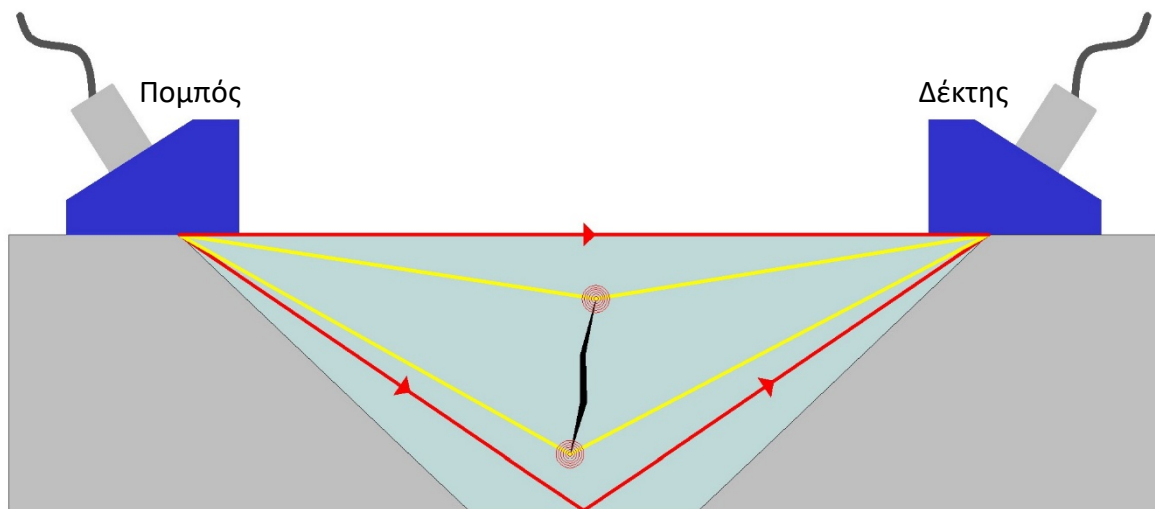
Υπέρηχος: Phased Array			
Πεδίο εφαρμογής	Είδη σφαλμάτων	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Η μέθοδος εφαρμόζεται μόνο σε όλα τα μεταλλικά προϊόντα.	Ανιχνεύονται εσωτερικά σφάλματα κυρίως αλλά και επιφανειακά. Τυπικά σφάλματα που ανιχνεύονται είναι: <ul style="list-style-type: none"> Ρωγμές Ατελής τήξεις Διαστρωματώσεις Απομείωση πάχους Πόροι Εγκλείσματα Ατελής διείσδυση 	<ul style="list-style-type: none"> Ανίχνευση εσωτερικών και επιφανειακών σφαλμάτων Φορητότητα Δεν επηρεάζεται από μαγνητικές ή ηλεκτρικές ιδιότητες του μετάλλου. Μπορούν να ελεγχθούν μεγάλα αντικείμενα Μπορεί να αυτοματοποιηθεί σε γραμμή παραγωγής Δυνατότητα μόνιμης καταγραφής Διαφορετικές απεικονίσεις βοηθούν στην ερμηνεία των σημάτων. 	<ul style="list-style-type: none"> Η ανίχνευση των ασυνεχειών εξαρτάται από τον προσανατολισμό της Ακριβό κόστος εξοπλισμού Δύσκολη εκπαίδευση και πιστοποίηση

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

Το Ευρωπαϊκό πρότυπο για τον έλεγχο συγκολλήσεων με την μέθοδο Phased Array είναι: EN ISO 13588:2019, Non-destructive testing of welds. Ultrasonic testing. Use of automated phased array technology

2.8.2 TOFD (Time Of Flight Diffraction)

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου TOFD διαφοροποιείται σε σχέση με τον συμβατικό υπέρηχο και τη μέθοδο Phased Array. Στην TOFD χρησιμοποιούμε δύο αισθητήρες, έναν πομπό και ένα δέκτη, με σκοπό να «πλημμυρήσουμε» την περιοχή ανάμεσα τους με διαμήκη κύματα και να καταφέρουμε να ανιχνεύσουμε τα κύματα περίθλασης που δημιουργούνται στα άκρα των ασυνεχειών^[17] (βλ. Εικόνα 2.26).

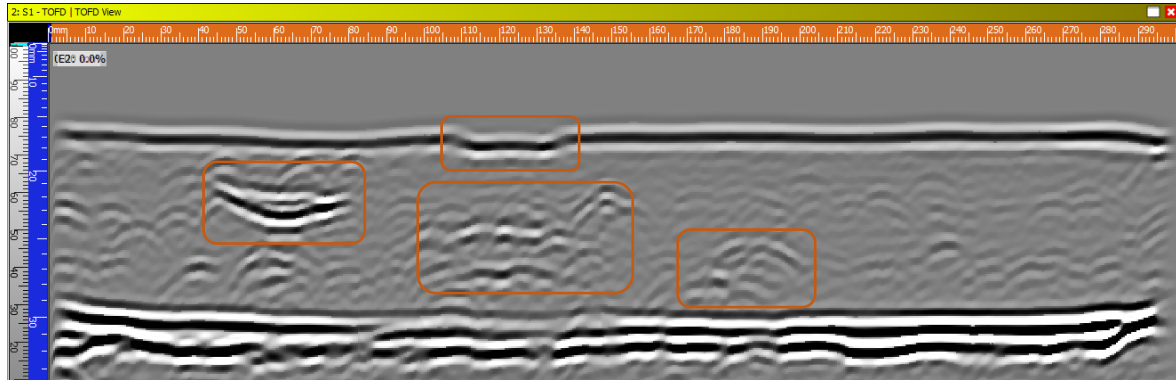


Εικόνα 2.26: Αρχή λειτουργίας μεθόδου TOFD

Η διαστασιολόγηση των ευρημάτων γίνεται με βάση το χρόνο άφιξης των κυμάτων περίθλασης στο δέκτη του συστήματος. Πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι μεγάλη ακρίβεια που παρέχει στη διαστασιολόγηση των ευρημάτων. Όπως όλες οι μέθοδοι έτσι και αυτή έχει μειονεκτήματα με βασικότερο την ύπαρξη δύο νεκρών ζωνών, μία στην επιφάνεια του δοκιμίου και μία στον πυθμένα της. Σε αυτές τις ζώνες που ανάλογα με το πάχος του δοκιμίου έχουν ύψος μερικών χιλιοστών δεν μπορούμε να ανιχνεύσουμε και να αξιολογήσουμε ασυνέχειες^[24].

Είναι απλούστερη από την Phased Array και λόγω της μεγάλης ακρίβειας στη διαστασιολόγηση των σφαλμάτων χρησιμοποιείται πολύ συχνά σε ελέγχους σε πυρηνικές εγκαταστάσεις. Μας παρέχει μόνιμη καταγραφή του ελέγχου για αξιολόγηση σε προσωπικό υπολογιστή και οπτική αναπαράσταση των σφαλμάτων (βλ. Εικόνα 2.27).

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων



Εικόνα 2.27: Απεικόνιση ασυνεχειών σε έλεγχο με TOFD

Οι σύγχρονες συσκευές υπερήχων μπορούν να εκτελέσουν ταυτόχρονα ελέγχους με συμβατικούς υπερήχους, Phased Array και TOFD προσδίδοντας στον επιθεωρητή τις απαιτούμενες πληροφορίες για σωστή αξιολόγηση της κατάστασης του εξοπλισμού που επιθεωρεί.

Πίνακας 2.7: Συνοπτικά χαρακτηριστικά TOFD^[1]

Υπέρηχος: TOFD			
Πεδίο εφαρμογής	Είδη σφαλμάτων	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Η μέθοδος εφαρμόζεται σε όλα τα μεταλλικά προϊόντα.	Ανιχνεύονται κυρίως εσωτερικά σφάλματα. Τυπικά σφάλματα που ανιχνεύονται είναι: <ul style="list-style-type: none"> • Ρωγμές • Ατελής τήξεις • Πόροι • Εγκλείσματα 	<ul style="list-style-type: none"> • Γρήγορος έλεγχος • Μεγάλη ακρίβεια στη διαστασιολόγηση • Φορητότητα • Δεν επηρεάζεται από μαγνητικές ή ηλεκτρικές ιδιότητες του μετάλλου. • Δεν επηρεάζεται από τον προσανατολισμό της ασυνέχειας. • Μπορεί να αυτοματοποιηθεί σε γραμμή παραγωγής • Δυνατότητα μόνιμης καταγραφής • Διαφορετικές απεικονίσεις βοηθούν στην ερμηνεία των σημμάτων 	<ul style="list-style-type: none"> • Έχει δύο νεκρές ζώνες • Ακριβό κόστος εξοπλισμού • Δύσκολη εκπαίδευση και πιστοποίηση

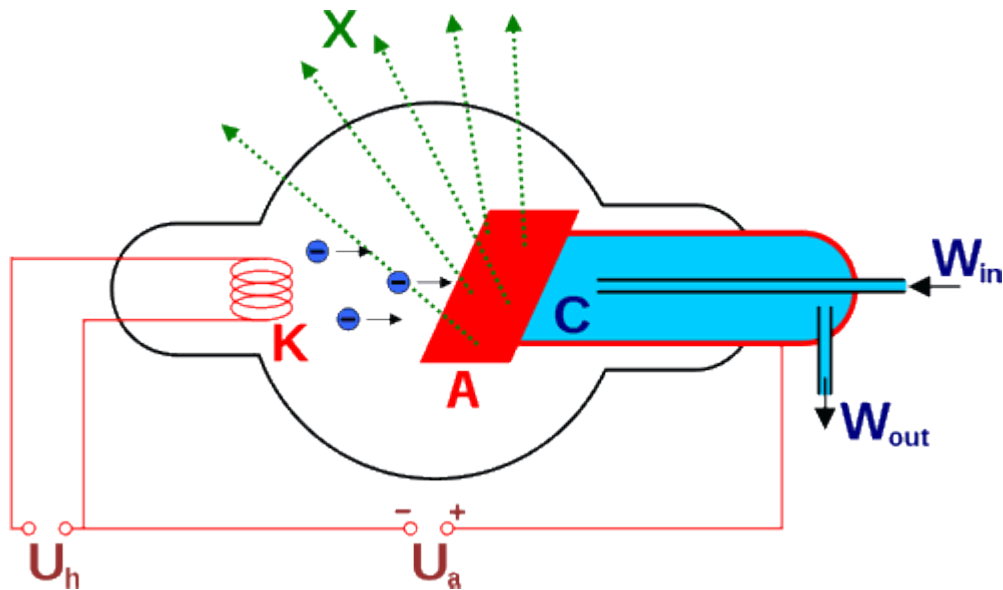
Το Ευρωπαϊκό πρότυπο για τον έλεγχο συγκολλήσεων με την μέθοδο TOFD είναι:

EN ISO 10863:2020, Non-destructive testing of welds. Ultrasonic testing. Use of time-of-flight diffraction technique (TOFD)

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

2.9 Βιομηχανική Ραδιογραφία

Στη βιομηχανική ραδιογραφία χρησιμοποιούμε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία για να αποτυπώσουμε σε ένα φιλμ το εσωτερικό ενός αντικειμένου. Σαν πηγές ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται ραδιενεργά ισότοπα για την παραγωγή ακτινοβολίας γ ή συσκευές παραγωγής ακτίνων X ^[26].



Εικόνα 2.28: Λυχνία παραγωγής ακτίνων X ^[41]

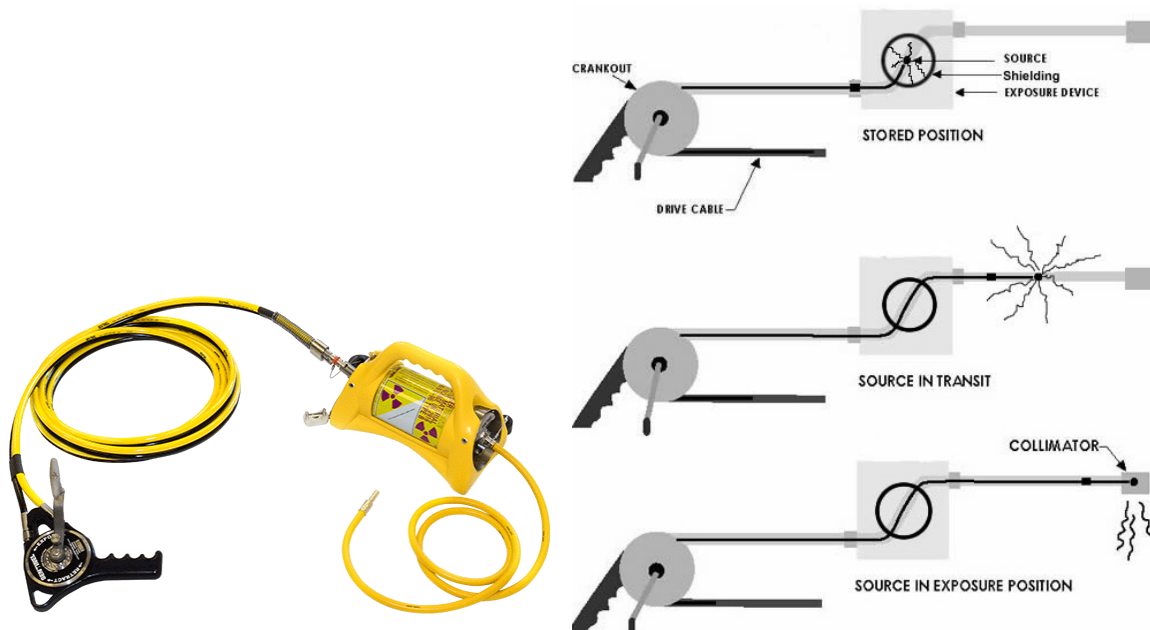
Οι ακτίνες X παράγονται με τη βοήθεια σωλήνων Coolidge, δηλαδή μίας γυάλινης λυχνίας υψηλού κενού αέρος που περιέχει δύο ηλεκτρόδια, μια άνοδο και μία κάθοδο (βλ. Εικόνα 2.28). Εφαρμόζοντας υψηλή τάση στο νήμα τη καθόδου, που συνήθως είναι από βολφράμιο, εκπέμπονται ηλεκτρόνια υψηλής ενέργειας που προσπίπτουν στην άνοδο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εκπομπή ακτίνων X (δηλαδή φωτονίων) από την άνοδο που είναι από υλικό μεγάλου ατομικού αριθμού (συνήθως βολφράμιο). Η ένταση των ακτίνων X εξαρτάται από την τάση που εφαρμόζεται μεταξύ της ανόδου και της καθόδου^[50].

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων



Εικόνα 2.29: Συσκευή παραγωγής ακτίνων X

Τα φωτόνια της ακτινοβολίας γ παράγονται από τεχνητά ραδιενεργά ισότοπα που φυλάσσονται σε ειδικές συσκευές φύλαξης και έκθεσης (βλ. Εικόνα 2.30). Στη βιομηχανία τα δύο συχνότερα χρησιμοποιούμενα ισότοπα είναι ιρίδιο 192 και το κοβάλτιο 60 και λιγότερο το καίσιο 137 και το σελήνιο 75^[28].



Εικόνα 2.30: Συσκευή φύλαξης και έκθεσης ραδιενεργών πηγών

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

Μια πηγή ακτινοβολίας γ χαρακτηρίζεται από την ενεργότητά της, δηλαδή τον αριθμό των πυρήνων του στοιχείου που διασπώνται στη μονάδα του χρόνου. Η ενεργότητα όλων των ραδιενεργών στοιχείων μειώνεται με την πάροδο του χρόνου και κάποια στιγμή η ένταση της ακτινοβολίας πηγής δεν είναι αρκετή για να διαπεράσει τα αντικείμενα που προορίζονται για έλεγχο. Τότε οι εξασθενημένες πηγές αποσύρονται ασφαλώς σύμφωνα με την νομοθεσία της κάθε χώρας και αντικαθίστανται με νέες υψηλότερης ενεργότητας.

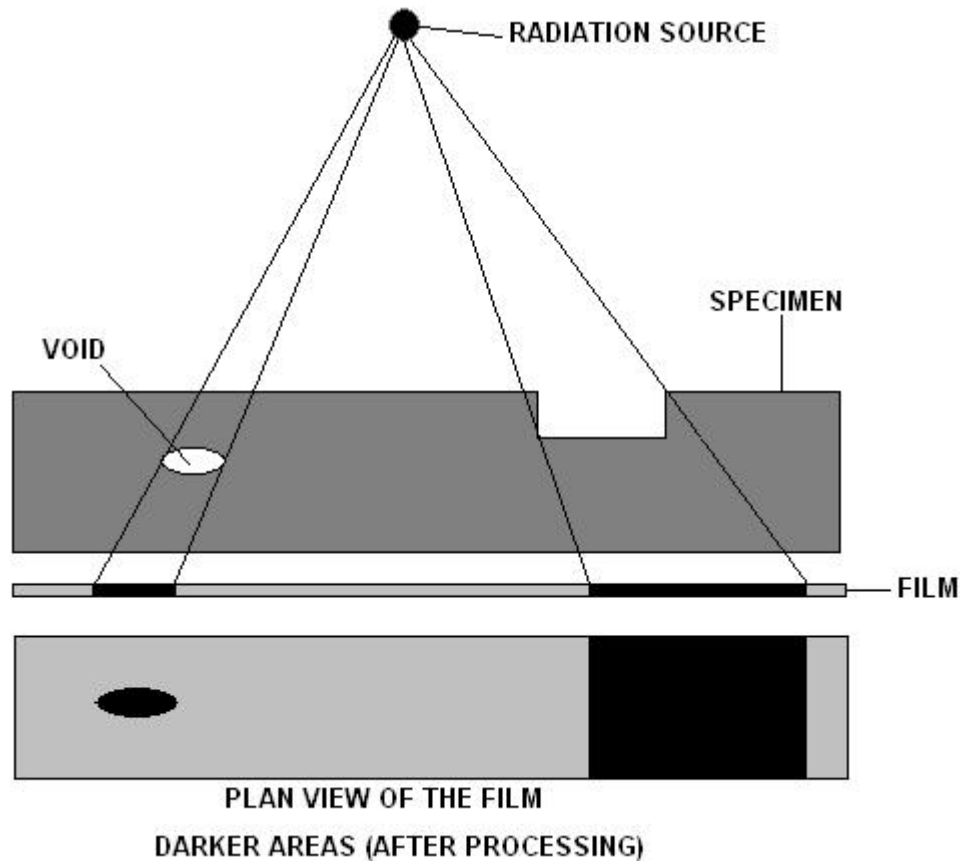
Το πόσο γρήγορα εξασθενεί μια πηγή καθορίζεται από το χρόνο ημιζωής που είναι ο χρόνος που απαιτείται για να μειωθεί στο μισό η ενεργότητα ενός ισότοπου. Στον Πίνακα 2.8 αναφέρονται οι χρόνοι ημιζωής και το πάχος διείσδυσης των βασικών ισωτόπων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία.

Πίνακας 2.8: Χρόνος ημίσειας ζωής και πάχος διείσδυσης ισωτόπων

Ισότοπο	Χρόνο ημίσειας ζωής	Τυπικό πάχος διείσδυσης σε χάλυβα (mm)
Ιρίδιο 192	74 ημέρες	10 - 50
Κοβάλτιο 60	5,26 χρόνια	25 - 200
Υττερβίο 169	32 ημέρες	< 10
Θούλιο 170	128 ημέρες	< 10
Σελήνιο 75	119 ημέρες	5 - 20
Καίσιο 137	30 χρόνια	20 - 80

Προκειμένου να ραδιογραφήσουμε ένα αντικείμενο τοποθετούμε από την μία του πλευρά σε απόσταση μία πηγή ακτινοβολίας και από την άλλη πλευρά σε επαφή με το αντικείμενο ένα ραδιογραφικό φιλμ. Η απόσταση της πηγής από το φιλμ, η ενεργότητα της πηγής ή η ενέργεια της συσκευής ακτίνων Χ, το πάχος του ραδιογραφούμενου αντικειμένου και η ποιότητα του φιλμ καθορίζουν το χρόνο έκθεσης, δηλαδή το χρόνο που θα διαρκέσει η ακτινοβολήση του αντικειμένου (βλ. Εικόνα 2.31).

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων



Εικόνα 2.31: Ραδιογράφιση αντικειμένου^[42]

Το ποσό της ακτινοβολίας που τελικά θα φθάσει στο φιλμ καθορίζει και την αμαύρωση του και εξαρτάται από το πάχος και την πυκνότητα του αντικειμένου. Έτσι αν υπάρχει ένα κενό στο αντικείμενο στο φιλμ θα φθάσει περισσότερη ακτινοβολία και θα προκαλέσει μεγαλύτερη αμαύρωση^[19].

Αυτή η ιδιότητα καθιστά τον έλεγχο με βιομηχανική ραδιογραφία ιδανικό για την ανίχνευση ογκομετρικών εσωτερικών ελαττωμάτων. Το μεγάλο μειονέκτημα της μεθόδου είναι φυσικά η επικινδυνότητα της. Το προσωπικό που εμπλέκεται με τους ραδιογραφικούς ελέγχους οφείλει να τηρεί όλα τα απαραίτητα μέτρα προστασίας για τον εαυτό του και για τους υπολοίπους. Η αποθήκευση των ραδιενεργών πηγών, η μεταφορά τους, η ώρα που γίνονται οι έλεγχοι, οι χώροι που αποκλείονται, ο τρόπος ενημέρωσης των εργαζομένων είναι μερικά θέματα που απασχολούν και οφείλουν επιλυθούν με τρόπο που ορίζετε από του διεθνείς κανονισμούς και τη νομοθεσία της κάθε χώρας.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

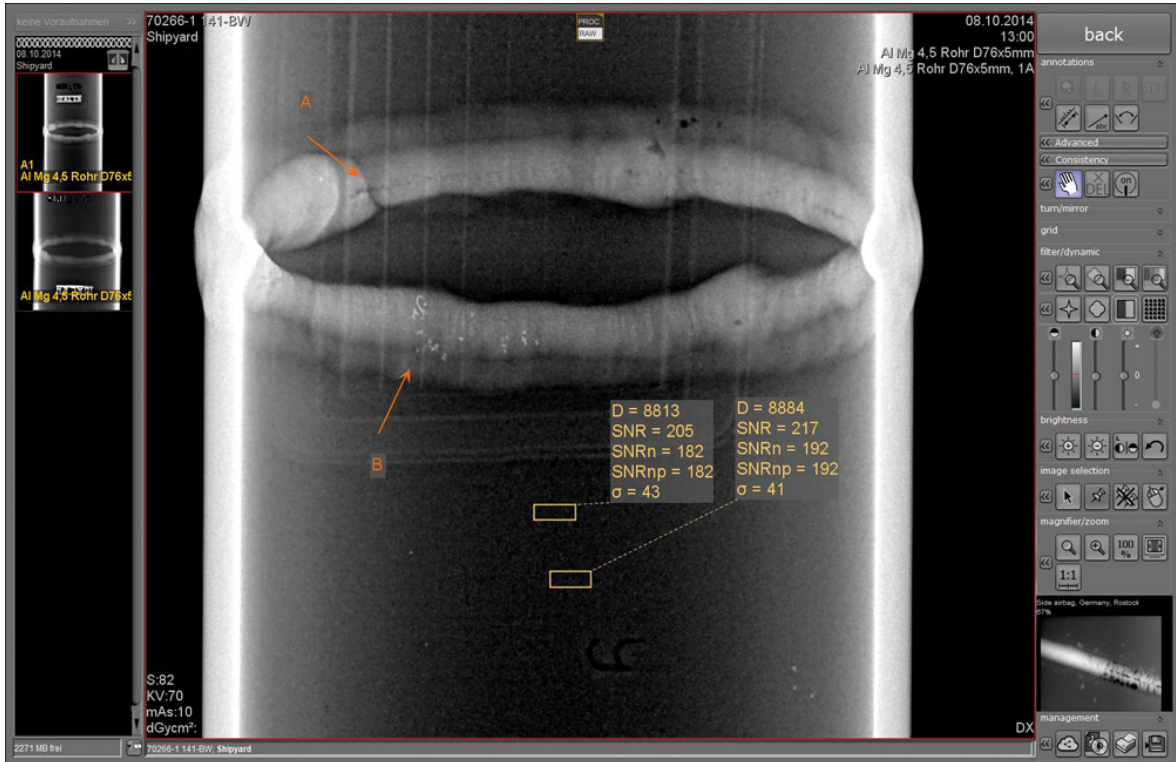
Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται όλο και συχνότερα τεχνικές ψηφιακής ραδιογρά- φησης. Σε αυτές τις τεχνικές το παραδοσιακή φιλμ αντικαθίσταται από πλάκες φωσφόρου ή πυριτίου και επιθεώρηση γίνεται μέσω προσωπικού υπολογιστή^[48] (βλ. Εικόνα 2.32) .

Πίνακας 2.9: Συνοπτικά χαρακτηριστικά βιομηχανικής ραδιογραφίας

Βιομηχανική Ραδιογραφία			
Πεδίο εφαρμογής	Είδη σφαλμάτων	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Η μέθοδος εφαρμόζεται μόνο σε πληθώρα υλικών όπως μεταλλικά προϊόντα, αρχαιότητες, πλαστικά κ.α.	Ανιχνεύονται κυρίως εσωτερικά ογκομετρικά σφάλματα. Τυπικά σφάλματα που ανιχνεύονται είναι: <ul style="list-style-type: none"> • Πόροι • Εγκλείσματα • Σπηλαιώσεις • Ρωγμές • Ατελής τήξη 	<ul style="list-style-type: none"> • Δεν επηρεάζεται από μαγνητικές ή ηλεκτρικές ιδιότητες του μετάλλου. • Δυνατότητα μόνιμης καταγραφής • Δεν απαιτείται προετοιμασία της επιφάνειας • Φορητότητα (ειδικά των πηγών ακτινοβολίας γ) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ακριβό κόστος εξοπλισμού • Δύσκολη εκπαίδευση και πιστοποίηση • Μεγάλη επικινδυνότητα λόγω της ιονίζουσας ακτινοβολίας • Χρονοβόρα διαδικασία • Ο προσανατολισμός γραμμικών ασυνεχειών επηρεάζει το ποσοστό ανίχνευσης τους • Αδύνατος ο προσδιορισμός του βάθους του σφάλματος με μία λήψη

Το Ευρωπαϊκό πρότυπο για τον έλεγχο συγκολλήσεων με βιομηχανική ραδιογραφία είναι: EN ISO 17636-1:2013, Non-destructive testing of welds. Radiographic testing. X – and gamma ray techniques with film

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων



Εικόνα 2.32: Ψηφιακή βιομηχανική ραδιογραφία^[43]

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

3 Πειραματικό μέρος

3.1 Περιγραφή προβλήματος

Σε αγωγό υπέρθερμου ατμού κοντά σε θέση ψεκασμού νερού παρουσιάστηκε διαρροή ατμού. Ο αγωγός έχει διάμετρο 324mm, πάχος 25mm και το υλικό κατασκευής του είναι 10CrMo910. Στον αγωγό πραγματοποιήθηκαν έλεγχοι με φθορίζοντα μαγνητικά σωματίδια και διαπιστώθηκε η ύπαρξη διαμπερούς ρωγμής μήκους 20mm (βλ. Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1: Ρωγμή μήκους 20mm

Αποφασίσθηκε η αφαίρεση τμήματος του αγωγού και οι αντικατάσταση του με νέο ενώ μέρος το παλαιού στάλθηκε στα εργαστήρια του ΚΔΕΠ με σκοπό να διερευνηθεί η δυνατότητα ελέγχου των ίδιων σημείων σε παρόμοιους λέβητες προτού αστοχήσουν (βλ. Εικόνα 3.2) μέσω ανάπτυξης κατάλληλης προσέγγισης και μεθοδολογίας μη καταστρεπτικών ελέγχων (ΜΚΕ).

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων



Εικόνα 3.2: Αρχικό δείγμα και δοκίμια για ελέγχους

3.2 Πειραματική διαδικασία στο εργαστήριο

3.2.1 Διενέργεια οπτικού ελέγχου

Προκειμένου να διαπιστωθεί η έκταση του προβλήματος πραγματοποιήθηκαν μια σειρά μη καταστροφικών ελέγχων στην εσωτερική επιφάνεια του δοκιμίου με διαστάσεις 225x150mm. Αρχικά τροχίσθηκε η εσωτερική επιφάνεια του αγωγού για να απομακρυνθεί το εσωτερικό οξείδιο. Από την οπτική παρατήρηση που ακολούθησε παρατηρήθηκε η ύπαρξη μεγάλου πλήθους ρωγμών που εκκινούσαν από το εσωτερικό του δοκιμίου και αναπτύσσονταν κάθετα προς το εξωτερικό του με μήκος έως 110mm (βλ. Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3: Ύπαρξη μεγάλου πλήθους ρωγμών στην εσωτερική επιφάνεια του δοκιμίου

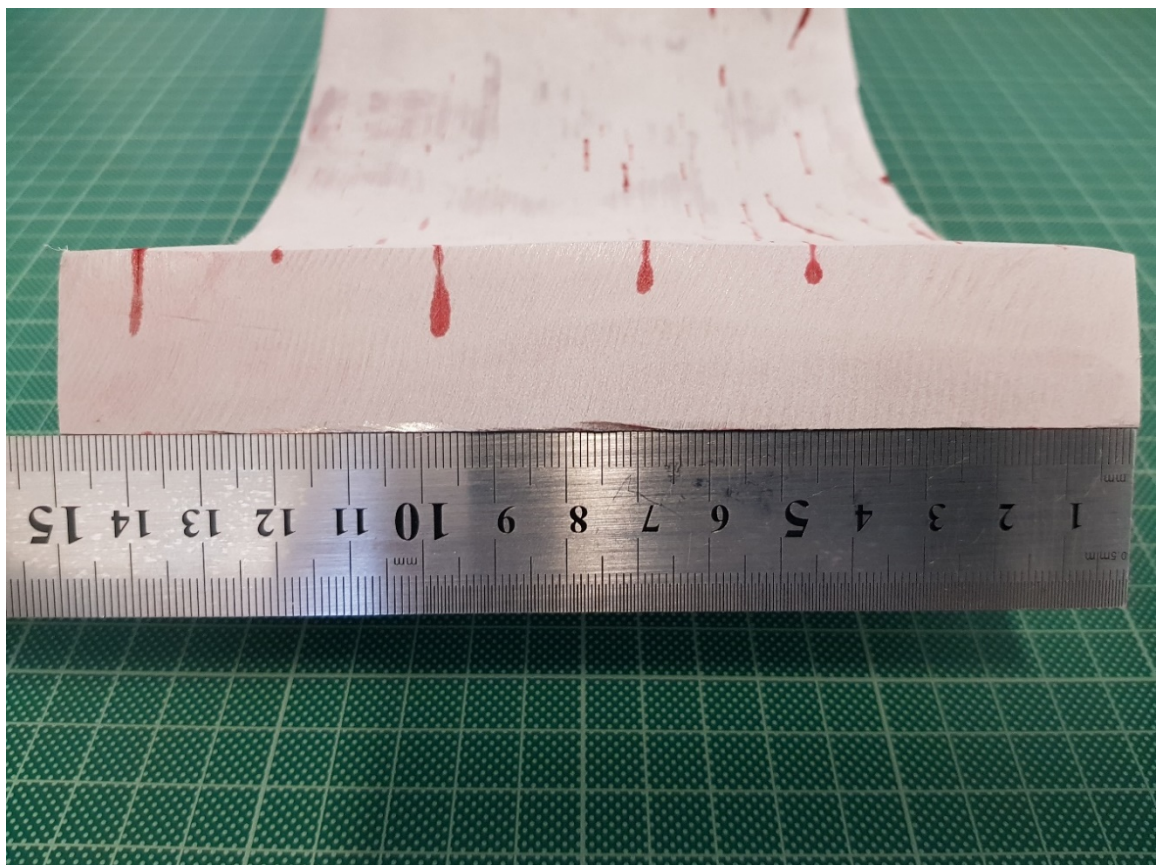
3.2.2 Διενέργεια διεισδυτικών υγρών

Προκειμένου να διενεργηθεί δοκιμή με διεισδυτικά υγρά, πραγματοποιήθηκε καθαρισμός της επιφάνειας του δοκιμίου με cleaner PFINDER 890. Κατόπιν εφαρμόσθηκε ο διεισδυτής PFINDER 860, αφέθηκε για 20 λεπτά στην επιφάνεια και απομακρύνθηκε με τη χρήση νερού. Τέλος εφαρμόσθηκε ο εμφανιστής PFINDER 871 και μετά από πέντε λεπτά έγινε η καταγραφή των ενδείξεων. Όπως φαίνεται και από τις Εικόνες 3.4 & 3.5, η χρήση των διεισδυτικών υγρών βοήθησε να εντοπισθούν μικρές ρωγμές που δεν ήταν ορατές κατά τον οπτικό έλεγχο. Συνολικά μετρήθηκαν περισσότερες από 35 ρωγμές. Το λευκό υπόστρωμα του εμφανιστή δημιούργησε τη κατάλληλη χρωματική αντίθεση ώστε να τονισθούν καλύτερα οι ασυνέχειες στην επιφάνεια του δοκιμίου.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων



Εικόνα 3.4: Αποτελέσματα ελέγχων με ορατά διεισδυτικά υγρά



Εικόνα 3.5: Αποτελέσματα ελέγχων με ορατά διεισδυτικά υγρά

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

3.2.3 Διενέργεια μαγνητικών σωματιδίων

Επόμενη μέθοδος που εφαρμόστηκε ήταν αυτή των μαγνητικών σωματιδίων. Η μαγνήτιση του δοκιμίου έγινε φορητό ηλεκτρομαγνήτη (Yoke). Προτού ξεκινήσει ο έλεγχος ελέγχθηκε η ελκτική δύναμη του ηλεκτρομαγνήτη σηκώνοντας με επιτυχία χαλύβδινο έλασμα μάζας 4,5kg και μετρήθηκε η ένταση του επαπτόμενου πεδίου στην επιφάνεια του δοκιμίου ίση με 2,8kA/m.

Ο έλεγχος έγινε με φθορίζοντα μαγνητικά σωματίδια αρχικά και στη συνέχεια με ορατά μαγνητικά σωματίδια. Για του ελέγχους χρησιμοποιήθηκε λευκό υπόστρωμα PFINDER 280, ορατά μαγνητικά σωματίδια PFINDER 251 και φθορίζοντα μαγνητικά σωματίδια PFINDER 150.

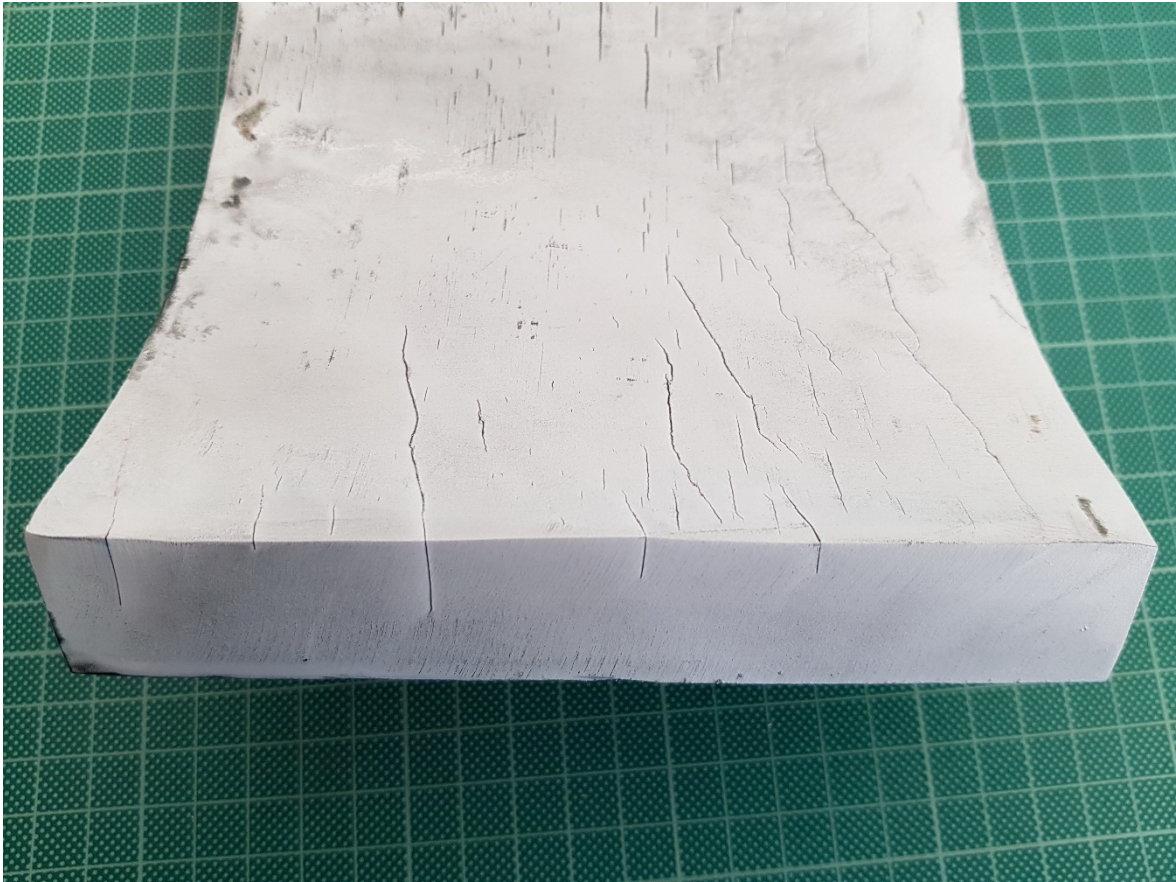
Η ένταση της ορατής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της επιθεώρησης των ορατών μαγνητικών σωματιδίων ήταν 1870lux ενώ η ένταση της UVA ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της επιθεώρησης των φθορίζόντων μαγνητικών σωματιδίων ήταν 28W/m².

Ο έλεγχος με τα μαγνητικά σωματίδια και στις δύο περιπτώσεις φανέρωσε ελαφρώς περισσότερες ασυνέχειες σε σχέση με τα διεισδυτικά υγρά. Στην τομή του δοκιμίου μετρήθηκε το βάθος της μεγαλύτερης ρωγμής σε 13mm (βλ. Εικόνες 3.6 – 3.9).

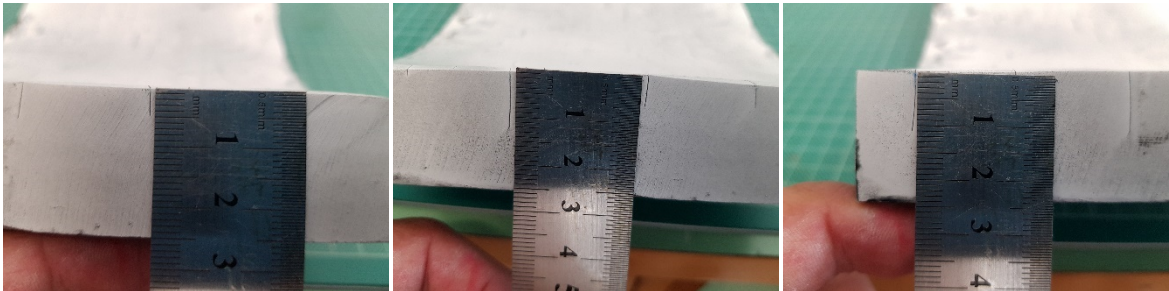


Εικόνα 3.6: Έλεγχος με ορατά μαγνητικά σωματίδια

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και
μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

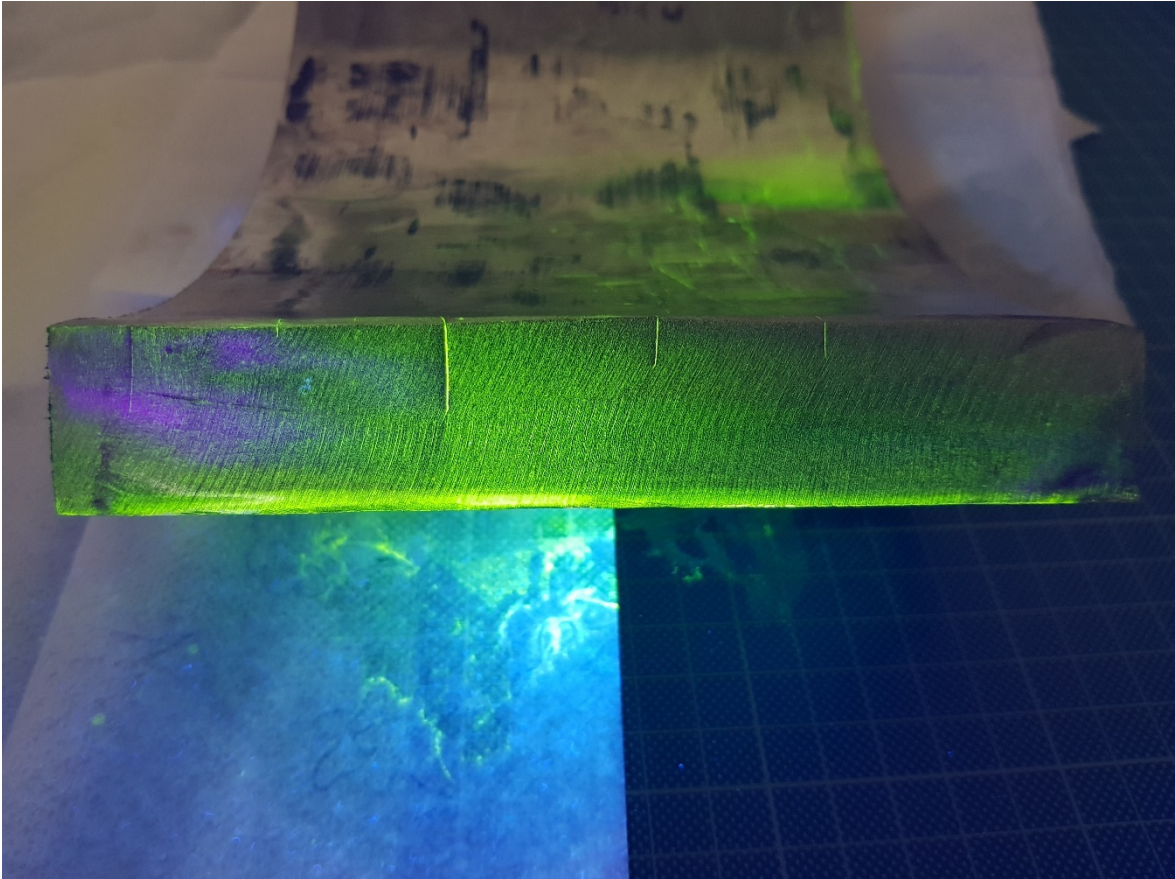


Εικόνα 3.7: Έλεγχος με ορατά μαγνητικά σωματίδια



Εικόνα 3.8: Μέτρηση βάθους ρωγμών στην τομή

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων



Εικόνα 3.9: Έλεγχος με φθορίζοντα μαγνητικά σωματίδια

3.2.4 Διενέργεια ελέγχων με συμβατικό υπέρηχο και Phased Array

Πραγματοποιήθηκαν έλεγχοι με υπερήχους και Phased Array για να επικυρωθεί η δυνατότητα ανίχνευσης των ρωγμών πριν την τελική αστοχία του αυλού, ώστε να ελεγχθούν δύο πανομοιότυποι λέβητες με αυτόν στον οποία εμφανίστηκε η αστοχία^[5].

Για τον έλεγχο με συμβατικό υπέρηχο χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω εξοπλισμός:

- Συσκευή υπερήχων: General Electric USM GO
- Γωνιακός αισθητήρας 45°: WK45PB4
- Συχνότητα ελέγχου: 4MHz
- Υλικό σύζευξης: Gel
- Δοκίμιο βαθμονόμησης V1

Για να γίνει η βαθμονόμηση της ευαισθησίας του οργάνου ρυθμίστηκε η ενίσχυση έτσι ώστε το ύψος του σήματος από τη μικρότερη ρωγμή στην τομή του δοκιμίου να είναι στο 80% του ύψους της οθόνης.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

Από τον έλεγχο που έγινε ανιχνεύτηκε η θέση και το μέγεθος των ρωγμών με μεγάλη ακρίβεια, γεγονός που έδειξε πως η τεχνική μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και στους άλλους δύο λέβητες που δεν είχαν την ίδια αστοχία^[45].

3.2.5 Χρήση λογισμικού BeamTool

Προτού γίνουν οι έλεγχοι στο πεδίο στους υπόλοιπους λέβητες, πραγματοποιήθηκε ανάλυση του προβλήματος χρησιμοποιώντας το λογισμικό BeamTool, ώστε να οπτικοποιηθεί η διάδοση των ηχητικών κυμάτων στο εσωτερικό του δοκιμίου και να επικυρωθεί η διαδικασία που θα εφαρμοσθεί.

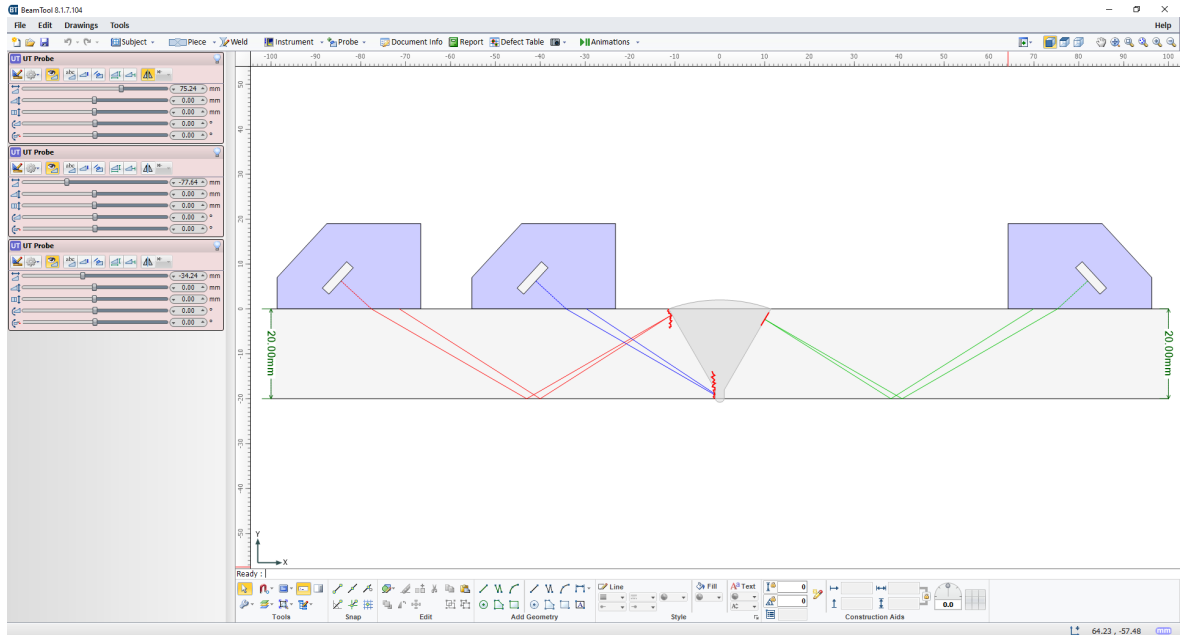
Το λογισμικό BeamTool χρησιμοποιείται για την ανάλυση, την επικύρωση και την καταγραφή ελέγχων που γίνονται με υπερήχους (συμβατικός υπέρηχος, Phased Array και TOFD). Μέσα από το γραφικό του περιβάλλον μπορεί να σχεδιαστεί το προς εξέταση αντικείμενο, να εισαχθούν από τις βιβλιοθήκες που διαθέτει τα όργανα και οι αισθητήρες που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν και κατόπιν να εξεταστεί η διάδοση του ήχου μέσα στο αντικείμενο, ανάλογα με τις ρυθμίσεις του εξοπλισμού που εισήχθη και της θέσης των αισθητήρων.

Το λογισμικό διαθέτει πληθώρα εργαλείων που δίνουν την δυνατότητα να:

- σχεδιαστούν αντικείμενα και συγκολλήσεις
- εισαχθούν σφάλματα μέσα στα σχέδια
- οπτικοποιηθεί η συμπεριφορά των ηχητικών κυμάτων
- δημιουργηθούν σχέδια κατασκευής δοκιμίων βαθμονόμησης υπερήχων
- υπολογισθούν κρίσιμες παράμετροι των ελέγχων
- μελετηθεί επαρκώς ο έλεγχος

Η έκδοση του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε ήταν η 8.1.7.104^[44].

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

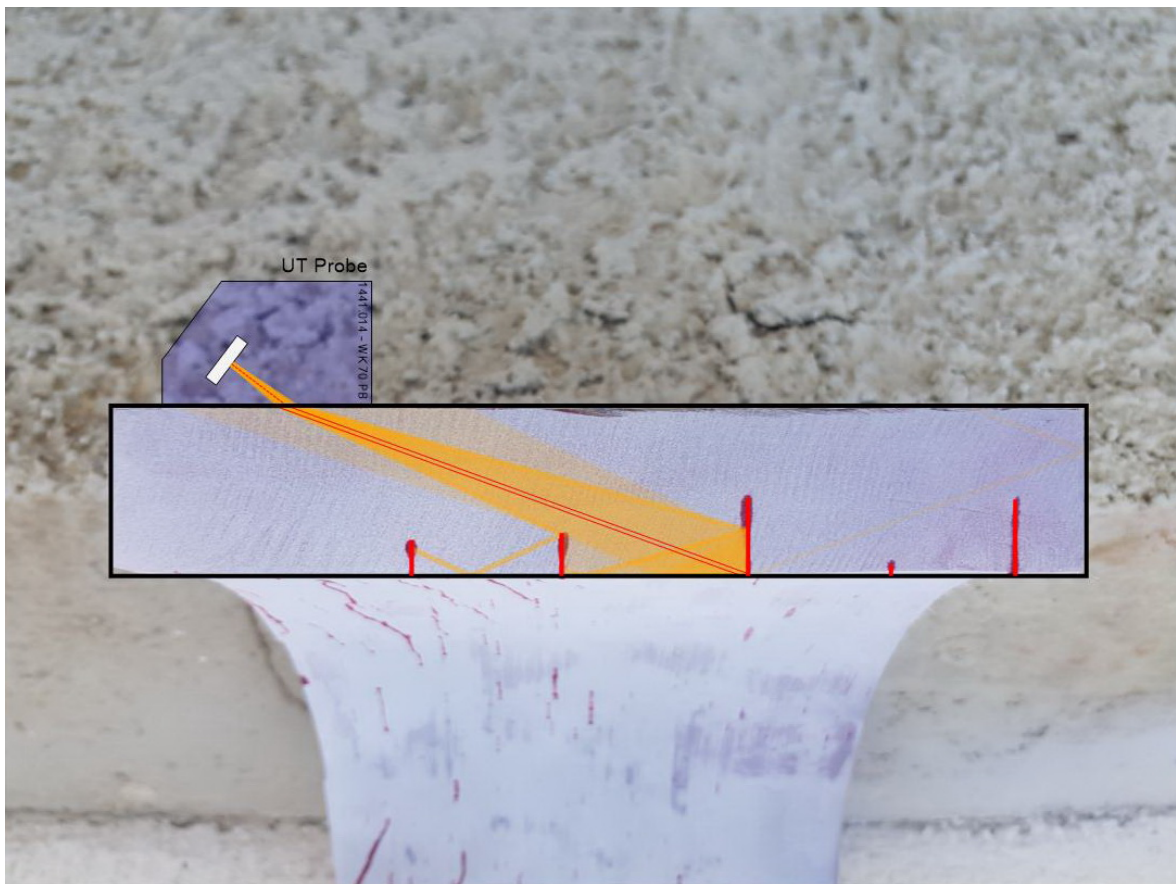


Εικόνα 3.10: Γραφικό περιβάλλον λογισμικού BeamTool

Για να απεικονιστεί η πορεία του ήχου κατά τη διάρκεια του ελέγχου εισήχθη στο λογισμικό κατάλληλη φωτογραφία της τομής του δοκιμίου και ορίστηκαν επάνω στην φωτογραφία τα όρια τού και οι 5 ρωγμές.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

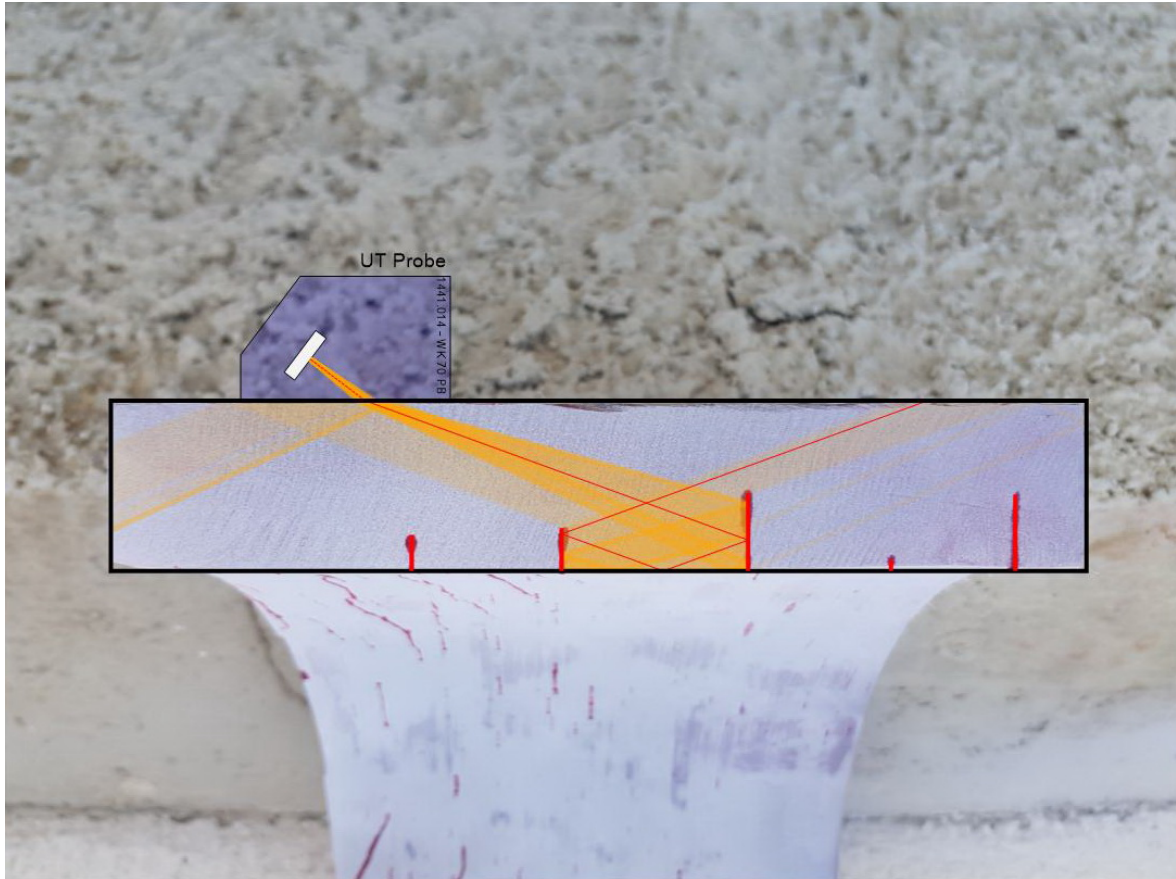
Στην πρώτη φάση η προσέγγιση έγινε με χρήση συμβατικού υπερήχου. Επιλέχθηκε γωνιακός αισθητήρας 70° , με διαστάσεις κρυστάλλου $8 \times 9 \text{ mm}$ και συχνότητα 4 MHz . Από τη μελέτη φάνηκε πως όταν η θέση του αισθητήρα ήταν τέτοια, ώστε τα ηχητικά κύματα να συναντούν την ρωγμή στο ξεκίνημα της, το ανακλώμενο ηχητικό σήμα επέστρεφε στον αισθητήρα και μετατρέπονταν σε ένδειξη στην οθόνη του οργάνου (βλ. Εικόνα 3.11).



Εικόνα 3.11: Μελέτη και ανίχνευση ρωγμών με αισθητήρα 70°

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

Ένα δεύτερο συμπέρασμα της μελέτης ήταν ότι υπήρχε περίπτωση ο υπέρηχος να συναντήσει την ασυνέχεια με τέτοιο τρόπο, ώστε μετά από πολλαπλές ανακλάσεις να «χαθεί» μέσα στο δοκίμιο (Βλ. Εικόνα 3.12). Σε αυτή την περίπτωση δεν λαμβάναμε στην οθόνη του οργάνου μας ένδειξη από την ασυνέχεια.

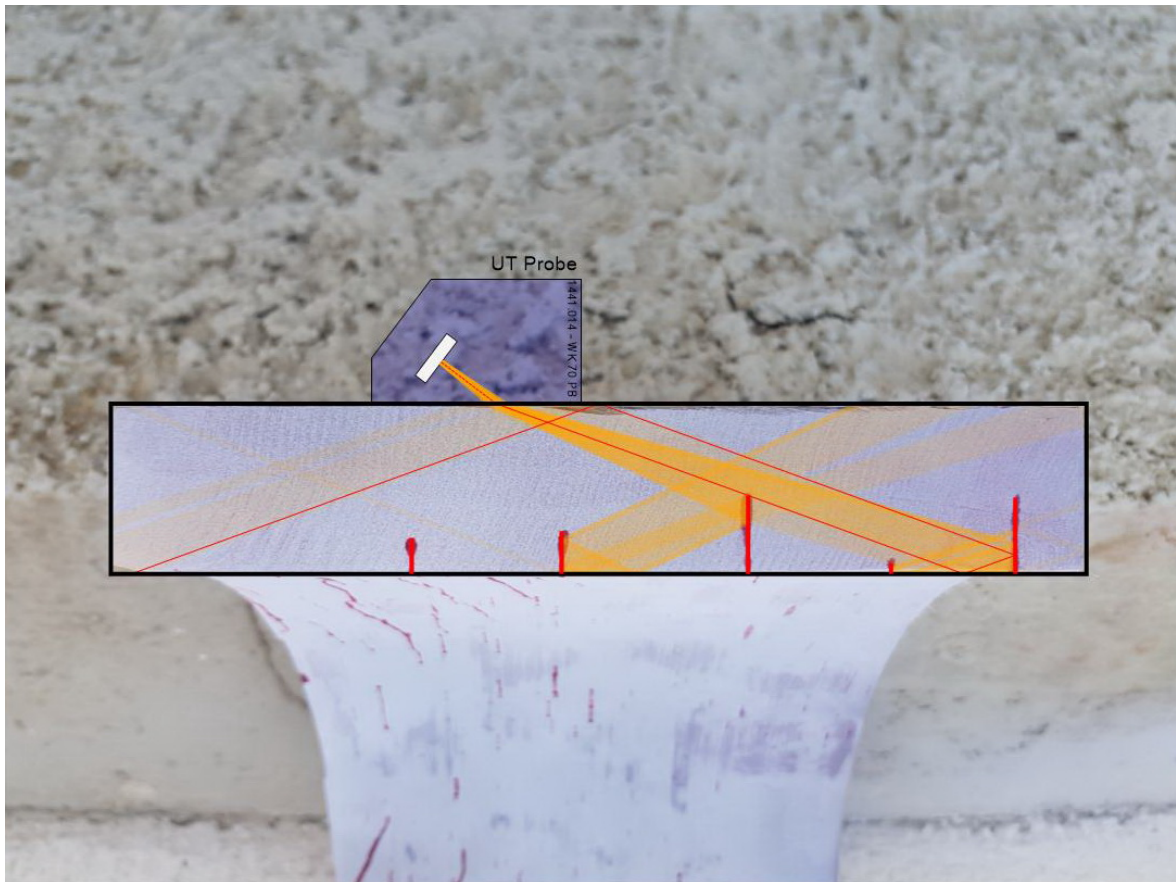


Εικόνα 3.12: Αδυναμία ανίχνευσης μεγάλης ρωγμής με αισθητήρα 70°

Τέλος, διαπιστώθηκε ότι υπήρχε η περίπτωση να μην ανιχνευθεί μία μικρή ρωγμή γιατί βρισκόταν πολύ κοντά σε μία μεγαλύτερη (Βλ. Εικόνα 3.13) και ο υπέρηχος δεν την συναντούσε.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

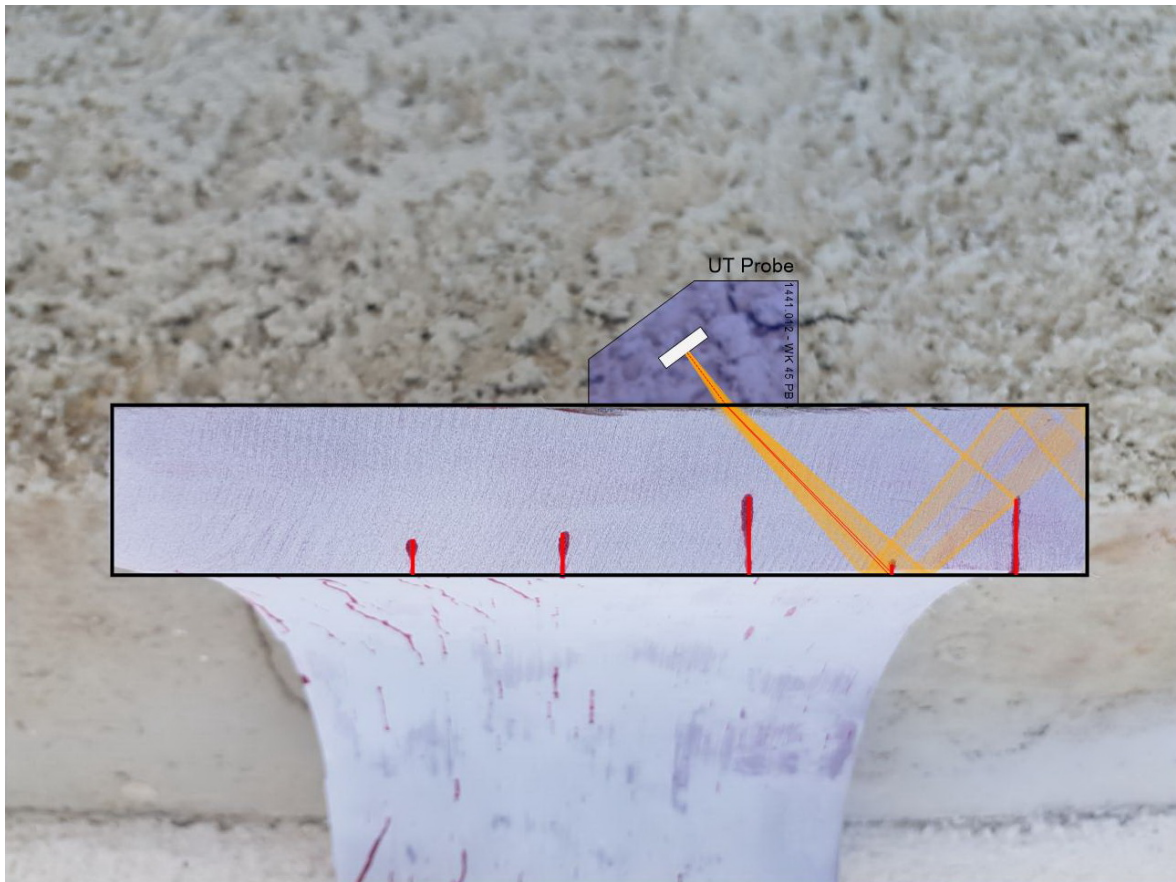
Διαπιστώθηκε ότι υπήρχε η περίπτωση να μην ανιχνευθεί μία μικρή ρωγμή γιατί βρισκόταν πολύ κοντά σε μία μεγαλύτερη (βλ. Εικόνα 3.13) και ο υπέρηχος δεν την συναντούσε.



Εικόνα 3.13: Αδυναμία ανίχνευσης μικρής ρωγμής με αισθητήρα 70°

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

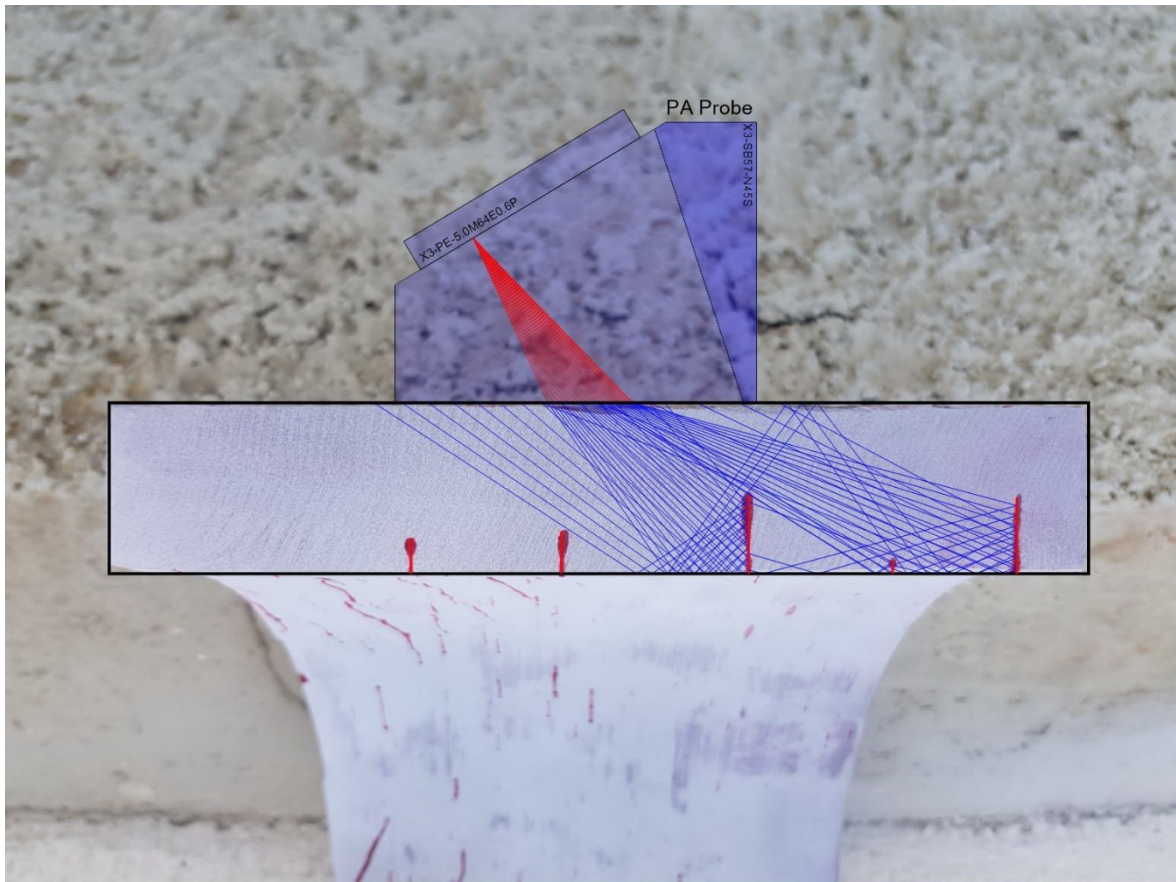
Για να αντιμετωπισθεί η αδυναμία εντοπισμού των ρωγμών των δύο προηγούμενων περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε νέα ρύθμιση του ελέγχου με αισθητήρα 45°. Με αυτή την επιλογή αισθητήρα το πρόβλημα μειώθηκε σε μεγάλο βαθμό αποφασίσθηκε ο επιτόπιος έλεγχος με συμβατικό υπέρηχο να γίνει με χρήση αυτού του αισθητήρα (βλ. Εικόνα 3.14).



Εικόνα 3.14: Εντοπισμός μικρής ρωγμής με αισθητήρα 45°

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

Στη συνέχεια έγινε απεικόνιση του ελέγχου με χρήση της μεθόδου Phased Array. Επιλέχθηκε αισθητήρας 64 στοιχείων, συχνότητας 5MHz και με εύρος γωνιών από 35° έως 75°. Όπως ήταν αναμενόμενο και φαίνεται καθαρά και από την Εικόνα 3.15, με αυτή τη διάταξη μπορούμε από μία θέση να εντοπίσουμε περισσότερες από μία ρωγμές.



Εικόνα 3.15: Εντοπισμός τριών ρωγμών από μία θέση με τη μέθοδο Phased Array

3.3 Διενέργεια επιτόπιων ελέγχων με συνδυασμένη προσέγγιση ΜΚΕ

3.3.1 Έλεγχος με Phased Array

Προκειμένου να διαπιστωθεί εάν είχε κάνει την εμφάνιση του το φαινόμενο στους δύο άλλους ίδιους λέβητες του σταθμού, διενεργήθηκαν έλεγχοι με τη μέθοδο Phased Array στη ίδια θέση με αυτή που είχε αστοχήσει ο πρώτος λέβητας.

Για τους ελέγχους χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Sonatest Prisma με αισθητήρα 64 στοιχείων, η οποία βαθμονομήθηκε με δοκίμια V1. Για την ρύθμιση της ευαισθησίας χρησιμοποιήθηκε δοκίμιο βαθμονόμησης DAC με πλευρικές οπές $\varnothing 3\text{mm}^{[6]}$.

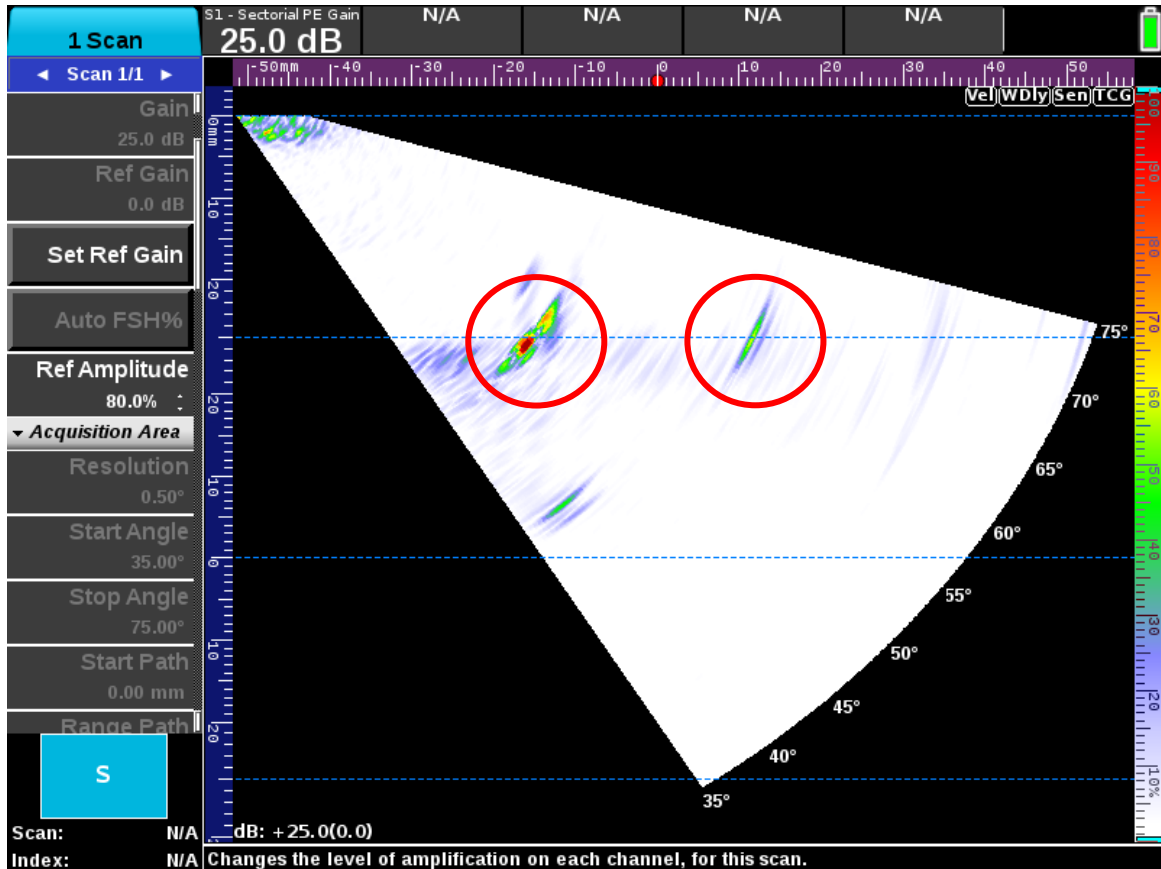
Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

Έχοντας ρυθμίσει και βαθμονομήσει το όργανο μας πραγματοποιήθηκαν οι έλεγχοι στο ίδιο σημείο στους άλλους δύο πανομοιότυπους λέβητες του σταθμού. Από τους ελέγχους αυτούς διαπιστώθηκε η ύπαρξη παρόμοιων ρωγμών στον έναν από τους δύο λέβητες (βλ. Εικόνες 3.15 & 3.16).



Εικόνα 3.16: Διενέργεια επιτόπιων ΜΚΕ με τη μέθοδο Phased Array

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων



Εικόνα 3.17: Ενδείξεις δύο ρωγμών

3.3.2 Οπτικός έλεγχος με ενδοσκόπιο

Προκειμένου να διαπιστωθεί και οπτικά η ύπαρξη των ρωγμών αφαιρέθηκε ο ψεκασμός και από την δίοδο που δημιουργήθηκε πραγματοποιήθηκε οπτικός έλεγχος με ενδοσκόπιο. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε είναι το Everest Mentor Visual iQ VideoProbe.

Η χρήση του ενδοσκοπίου επιβεβαίωσε και με οπτικό τρόπο την ύπαρξη των ασυνεχειών (βλ. Εικόνες 3.17 & 3.18).

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και
μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων



Εικόνα 3.18: Παρατήρηση ρωγμών με ενδοσκόπιο



Εικόνα 3.19: Παρατήρηση ρωγμής με ενδοσκόπιο

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

4 Συζήτηση για τα αποτελέσματα

Στο πλαίσιο της ΔΕ πραγματοποιήθηκαν έξι διαφορετικοί ΜΚΕ με χρήση διαφορετικών μεθόδων σε δοκίμιο στο εργαστήριο και δύο ΜΚΕ σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις ενέργειας της ΔΕΗ Α.Ε. στο πεδίο:

Πίνακας 4.1: Είδη δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν

Έλεγχοι στο εργαστήριο	Έλεγχοι στο πεδίο
Οπτικός έλεγχος (απ' ευθείας)	Phased Array
Ορατά διεισδυτικά υγρά	Οπτικός έλεγχος με ενδοσκόπιο
Ορατά μαγνητικά σωματίδια	
Φθορίζοντα μαγνητικά σωματίδια	
Συμβατικός υπέρηχος	
Phased Array	

Η αξιοποίηση του δοκιμίου από την αστοχία αποτέλεσε κρίσιμη παράμετρο, για την ανάπτυξη της βέλτιστης προσέγγισης και μεθοδολογίας ΜΚΕ για τον περιοδικό έλεγχο αντίστοιχων κρίσιμων εξαρτημάτων επιτόπου κατά τη λειτουργία.

Εργαστηριακά, ο οπτικός έλεγχος που πραγματοποιήθηκε χωρίς τη χρήση βοηθητικού εξοπλισμού ανέδειξε τις μεγαλύτερες σε μήκος και άνοιγμα ρωγμές, που υπήρχαν στην εσωτερική επιφάνεια του αγωγού. Κατόπιν, ο έλεγχος με τα ορατά διεισδυτικά υγρά αποκάλυψε όλες τις μεγάλες και ανοικτές ρωγμές, που είχαν παρατηρηθεί με γυμνό οφθαλμό, αλλά και πολλές ακόμα μικρότερες ρωγμές που λόγω του μεγέθους τους δεν ήταν ορατές.

Στη συνέχεια, ο επακολουθούμενος έλεγχος με τα μαγνητικά σωματίδια (ορατά και φθορίζοντα) ανέδειξε ορισμένες ακόμη μικρές ρωγμές, που όπως αποδείχθηκε δεν ήταν δυνατόν να ανευρεθούν με τα διεισδυτικά υγρά. Αυτό συνέβη πιθανότατα γιατί επρόκειτο για πολύ κλειστές ρωγμές ή για ρωγμές γεμάτες με οξείδια, που δεν επέτρεψαν την διείσδυση του διεισδυτή. Αυτό το γεγονός αποδεικνύει και τη δυσκολία στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων των ΜΚΕ στο πεδίο.

Ολοκληρώνοντας τους ελέγχους από την εσωτερική επιφάνεια τους δοκιμίου για επιφανειακά ελαττώματα συνεχίστηκαν οι έλεγχοι από την εξωτερική πλευρά με υπέρηχους αντιμετωπίζοντας πλέον τα σφάλματα ως εσωτερικά. Στόχος ήταν να ερευνηθεί αν ήταν δυνατό να ανιχνευθούν οι ρωγμές στο ξεκίνημα τους προτού αστοχήσει ο αγωγός. Η αδυναμία εντοπισμού ορισμένων ρωγμών με τον αισθητήρα των 70° στον συμβατικό υπέρηχο

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

ξεπεράστηκε σε ικανοποιητικό βαθμός με αυτόν των 45°. Βέβαια, η δυνατότητα εντοπισμού περισσότερων ρωγμών από μία θέση, που προσέφερε η μέθοδος των Phased Array οδήγησε στην επιλογή αυτής της μεθόδου για τις δοκιμές στο πεδίο.

Είναι βέβαιο ότι η εφαρμογή μίας και μόνο μεθόδου δεν μπορεί να αποτελέσει ασφαλή βάση για ερμηνεία και προστασία κρίσιμου εξοπλισμού. Γι αυτό και η ενδεδειγμένη εργαστηριακή μελέτη στο κρίσιμο τμήμα του αγωγού, που αστόχησε έδωσε τη δυνατότητα για την ανάπτυξη της καταλληλότερης, της βέλτιστης μεθοδολογίας με χρήση των αποτελεσματικότερων για την περίπτωση ΜΚΕ για επιτόπιους ελέγχους. Τόσο η χρήση του λογισμικού απεικόνισης της πορείας του υπέρηχου, όσο και η επιβεβαίωση της εγκυρότητας των ευρημάτων των διενεργηθέντων ελέγχων με υπέρηχους, ειδικά αυτών με Phased Array, αποτέλεσε κρίσιμη παράμετρο για την επιλογή της καταλληλότερης προσέγγισης.

Η προσέγγιση, που επιλέχθηκε κατόπιν των ενδεδειγμένων εργαστηριακών ελέγχων, επιβεβαιώθηκε με δοκιμές στο πεδίο σε αντίστοιχο εξοπλισμό σε λειτουργία. Οι δοκιμές με Phased Array που έγιναν στο πεδίο ανέδειξαν την ύπαρξη ρωγμών στον έναν από τους δύο αγωγούς γεγονός που επιβεβαιώθηκε και από τον οπτικό έλεγχο με χρήση ενδοσκοπίου. Έτσι, κατέστη εφικτή η εύρυθμη λειτουργία με αντικατάσταση του εξαρτήματος πριν αυτό αστοχήσει.

5 Συμπεράσματα

Στην περίπτωση που εξετάστηκε, η αστοχία που συνέβη σε ένα λέβητα, αποτέλεσε αφορμή για τη διερεύνηση της αιτίας που οδήγησε σε αυτή και για την εκπόνηση ενός πλάνου ελέγχων που θα εφαρμόζονταν στους υπόλοιπους δύο λέβητες του σταθμού.

Από τους ελέγχους που έγιναν, διαπιστώθηκε ότι στον ένα από τους δύο λέβητες, είχε αρχίσει να εξελίσσεται το ίδιο φαινόμενο με εκτεταμένες ρωγμές να ξεκινούν από το εσωτερικό του ατμαγωγού και να αναπτύσσονται προς την εξωτερική του επιφάνεια. Ο σταθμός οργάνωσε τις διαδικασίες επισκευής οι οποίες εκτελέσθηκαν οργανωμένα με την πρώτη ευκαιρία. Αποφεύχθηκε δηλαδή οι συνέπειες ενός απρόσμενου και εκτός πλάνου κλεισίματος της μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Στον τελευταίο λέβητα δεν προέκυψαν ευρήματα από τους ελέγχους, που έγιναν και ο σταθμός δεν προέβη σε ενέργειες αντικατάστασης του τμήματος. Αντίθετα, η θέση αυτή

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

εντάχθηκε στο πρόγραμμα προληπτικών ΜΚΕ που εκτελούνται σε ετήσια βάση και παρακολουθούνται. Εάν σε κάποιο μελλοντικό έλεγχο παρατηρηθεί το ίδιο φαινόμενο θα ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα ανάλογα με την έκταση τού. Σύγχρονες τεχνικές της μεθόδου Phased Array (Total Focusing Method (TFM)) δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης της εξέλιξης μίας ρωγμής με μεγάλη ακρίβεια και συνεπώς η λήψη της απόφασης για τη χρονική στιγμή της επισκευής γίνεται ευκολότερη^[46].

Από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο, έγινε σαφές ότι ο οπτικός έλεγχος ήταν ικανός να αποκαλύψει τις περισσότερες από τις ρωγμές που είχε το δοκίμιο. Υπήρξαν και μικρότερες ρωγμές που εξαιτίας του μεγέθους, που είχαν αλλά και της έλλειψης χρωματικής αντίθεσης δοκιμίου – ασυνέχειας δεν κατέστη δυνατό να εντοπισθούν.

Η αδυναμία αυτή καλύφθηκε με τη διενέργεια επιπλέον ελέγχων με διεισδυτικά υγρά και μαγνητικά σωματίδια. Με αυτές τις δύο μεθόδους αποκαλύφθηκαν και ορισμένες μικρές επιπλέον ρωγμές που με το γυμνό οφθαλμό δεν έγιναν αντιληπτές.

Τέλος, διαπιστώθηκε πως με τη χρήση της μεθόδου των Phased Array θα μπορούσαμε να εντοπίσουμε περισσότερες ασυνέχειες και σε λιγότερο χρόνο από ότι με τον συμβατικό υπέρηχο.

6 Βιβλιογραφία

1. N. Fabris & R. D. Lopez, *Materials and Processes for NDT Technology*, ASNT, 2016
2. Β. Γράψας & Γ. Καπασσάς, *Αρχές και Μέθοδοι Μη Καταστροφικών Ελέγχων*, Welding & NDT Institute, 2015
3. Θ. Ματίκας & Δ. Αγγέλης, *Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι*, Σύνδεσμος ελληνικών ακαδημαϊκών βιβλιοθηκών, 2015
4. E. N. Barkanov & A. Dumitrescu & I. A. Parinov, *Non-destructive Testing and Repair of Pipelines*, Springer, 2018
5. Y. Kong & C.J. Bennett & C.J. Hyde, *A review of non-destructive testing techniques for the in-situ investigation of fretting fatigue cracks*, Materials and Design, 2020
6. S. Gunasekar & D. Sastikumar, *Comparison of Side Drilled Holes and Surface Notch response for Phased Array Sectorial Beams calibration process*, Journal of Non-Destructive Testing and Evaluation, ISNT, 2022
7. O. Volf, *Crack Growth Monitoring with Phased-array Total Focusing Method (TFM)*, The e-Journal of Nondestructive Testing,
8. M. Janovec & M. Bugaja & M. Smetana, *Eddy Current Array Inspection of Riveted Joints*, 8th International Conference on Air Transport – INAIR 2019 GLOBAL TRENDS IN AVIATION
9. A. Antonatos, *Visual Inspection*, A. Ahmad & L. J. Bond, *ASM Handbook, Volume 17, Nondestructive Evaluation of Materials*, ASM International, 2018
10. EN ISO 9712, *Non-destructive testing. Qualification and certification of NDT personnel*, 2022
11. EN 13018, *Non-destructive testing. Visual testing. General principles*, 2016
12. EN ISO 3452-1, *Non-destructive testing. Penetrant testing - General principles*, 2013
13. EN ISO 9934-1, *Non-destructive testing. Magnetic particle testing - General principles*, 2016
14. EN ISO 16809, *Non-destructive testing. Ultrasonic thickness measurement*, 2019
15. EN ISO 16810, *Non-destructive testing. Ultrasonic testing. General principles*, 2014
16. EN ISO 13588, *Non-destructive testing of welds. Ultrasonic testing. Use of automated phased array technology*, 2019

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και
μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

17. EN ISO 10863, *Non-destructive testing of welds. Ultrasonic testing. Use of time-of-flight diffraction technique (TOFD)*, 2020
18. EN ISO 15549, *Non-destructive testing. Eddy current testing. General principles*, 2019
19. EN ISO 17636-1, *Non-destructive testing of welds. Radiographic testing - Part 1. X- and gamma-ray techniques with film*, 2021
20. VGB-S-517-00-2014-11-DE-EN, *Guidelines for rating the microstructural composition and creep rupture damage of creep-resistant steel for high pressure pipelines and boiler components and their weld connections*, 2014
21. R. Baldev & T. Jayakumar & T. Thavasimuthu, *Practical Non-Destructive Testing*, Alpha Science International, 2007
22. R. Prakash, *Non-destructive Testing Techniques*, New Age Science, 2007
23. J. Blitz & G Simpson, *Ultrasonic Methods of Non-destructive Testing*, Chapman & Hall, 1996
24. P E. Mix, *Introduction to nondestructive testing*, Wiley, 1987
25. J. Prasad & C. G. K. Nair, *Non-Destructive Test And Evaluation Of Materials*, Tata McGraw-Hill Education, 2009
26. B. Raj & C. V. Subramanian & T. Jayakumar, *Non-Destructive Testing of Welds*, Woodhead Publishing, 2000
27. C. Hellier, *Handbook of Nondestructive Evaluation*, McGraw Hill, 2020
28. R. Halmshaw, *Introduction to the Non-Destructive Testing of Welded Joints*, Woodhead Publishing, 1997
29. R. H. Bossi, *The Importance of Nondestructive Testing*, The NDT Technician, ASNT, 2018
30. *Video Borescopes - Industrial Videoscope & Borescope Inspection Cameras*, URL = <https://www.bakerhughesds.com/remote-visual-inspection/video-borescopes>
(online: 26/03/2022)
31. *Large Brief Case Kit - 550276 - Test Equipment Distributors*, URL = <https://www.tedndt.com/large-brief-case-kit/>
(online: 12/02/2022)
32. *Loupe numérique Ash Ion 4.3 FI 800-102*, URL =

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

https://www.orion-industry.com/poste_travail/ash-ion-4.3-FI-800-102.html

(online: 17/01/2022)

33. *Oil and Whiting Method - American Welding Society Education Online*, URL =

<https://awo.aws.org/glossary/oil-and-whiting-method/>

(online: 19/03/2022)

34. *Λογισμικό εκμάθησης μη καταστροφικών ελέγχων Simula*, URL =

http://www.simula.it/simula_en/products

(online: 20/02/2022)

35. *Methods to Inspect Heat Exchanger Tubes - Blog Post - Olympus IMS*, URL =

<https://www.olympus-ims.com/en/insight/a-faster-way-to-inspect-heat-exchanger-tubes/>

(online: 07/06/2022)

36. *Eddy Current Flaw Detectors - INNOVIAtive solution for your measurement*, URL =

<https://www.innovia.bg/index.php?show=item&item=44&pid=100>

(online: 09/04/2022)

37. *What Is Eddy Current Testing - 2016-11-01 - Quality Magazine*, URL=

<https://www.qualitymag.com/articles/93652-what-is-eddy-current-testing>

(online: 06/03/2022)

38. *Eddy current probes add flexibility to wind turbine nondestructive testing*, URL =

<https://www.windpowerengineering.com/eddy-current-probes-add-flexibility-to-wind-turbine-nondestructive-testing/>

(online: 05/03/2022)

39. *OnDemand Webinar - Using Eddy Current Array for Large Areas in Place of Magnetic Particle and Liquid Penetrant Testing*, URL =

<https://www.ndt.net/search/docs.php3?id=25394&content=1>

(online: 03/02/2022)

40. *Ultrasonic testing (UT) - tec-science*, URL =

<https://www.tec-science.com/material-science/material-testing/ultrasonic-testing-ut/>

(online: 25/05/2022)

41. *Non Destructive Testing - Radiographic Testing (RT)*, URL =

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

https://www.wermac.org/others/ndt_rt.html

(online: 15/03/2022)

42. *Industrial radiography* – Wikipedia, URL =

https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_radiography

(online: 18/02/2022)

43. *Radiografía de END - software de adquisición y control*, URL =

<https://www.or-technology.com/es/products/content/orinspect.html>

(online: 20/03/2022)

44. NDT Ultrasonics Scanning Equipment Eclipse Scientific, URL =

<https://eclipsescientific.com/beamtool.html>

(Online: 18/01/2022)

45. H. Yang & P. Wang & H. Qian & S. Niu & P. Dong, *A Study of Fatigue Crack Propagation Paths at U-Rib Welds in Orthotropic Bridge Decks using a Phased-Array Imaging Technique*, Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 2022

46. M. Felice & A. Velichko & P. Wilcox, *Accurate depth measurement of small surface-breaking cracks using an ultrasonic array post-processing technique*, Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 2022

47. W. Lia & Z. Zhou & Y. Lia, *Inspection of butt welds for complex surface parts using ultrasonic phased array*, Ultrasonics, 2019

48. C. Galleguillos & S. Senck & C. Vilches & S. Rendl & F. Lasagni, *Comparison of defect detectability between Computed Tomography inspection and CT simulation using a calibrated defect phantom*, 11th Conference on Industrial Computed Tomograph, 2022

49. H. J. Salzburger, *EMAT's and its potential for modern NDE - State of the art and latest applications*, IEEE International Ultrasonics Symposium, 2009

50. R. K. Pitler & K. M. Zwilsky & W. G. Wood & R. D. Halverstadt, *Nondestructive Evaluation and Quality Control*, ASM International, 1989

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

7 Παράρτημα

7.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά αναλωσίμων και εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκαν

7.1.1 Οπτικός Έλεγχος

Για τη διενέργεια του οπτικού ελέγχου χρησιμοποιήθηκε το ενδοσκόπιο Everest Mentor Visual iQ VideoProbe.



Everest Mentor Visual iQ VideoProbe™

Intelligent inspection solutions.



Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

Operating Temperature

Tip	-25°C to 100°C (-13°F to 212°F). Reduced articulation below 0°C (32°F)
System	-25° to 46°C (-13°F to 115°F). LCD may require warm-up period below 0°C (32°F)
Storage Temperature	-25° to 60°C (-13°F to 140°F)
Relative Humidity	95% max, non-condensing
Waterproof	Insertion tube and tip to 14.7 psi (1 bar, 10.2 m of H ₂ O, 33.5 ft of H ₂ O)

Camera

Diameter Probe	4.0 mm (0.16"), 6.1 mm (0.24"), 6.2mm (0.24"), 8.4 mm (0.33")
Image Sensor	1/8" Color Super HAD CCD camera (6.1, 8.4mm), 1/10" Color Super HAD CCD camera (3.9mm, 4.0mm, 6.2mm)
Pixel Count	SD 3.9, 4.0, 6.1, 6.2, 8.4 mm – 440k pixels HD 6.1, 8.4 mm – 1200k pixels
Housing	Titanium

System

System Dimensions	17.1 x 19.7 x 38.1 cm (6.75 x 7.75 x 15")
Case Dimensions	Small carry-on case 54.9x 34.6x 23.6 cm (21.61x13.62x29") Medium size dual probe case 55.8 x 33.0 x 63.5 cm (22 x 13 x 25") Large workstation case 57.2 x 56.3 x 41.2 cm (22.52 x 22.16 x 16.22")
System Weight	In small case with contents: 10.2 kg (22.4 lbs). In medium case with contents: 10.9 kg (24 lbs). In large case with contents: 19.6 kg (43.2 lbs) Out of Case: 6120 system – 3.0 kg (6.7 lbs). 61100 system – 4.0 kg (8.7 lbs)
Construction	Magnesium and Polycarbonate housing with integrated elastomeric bumpers
LCD Monitor	Integrated (6.5") active matrix XGA color LCD, daylight readable display, with optically bonded, multipoint capacitive Dragontrail™ touchscreen (Pinch and zoom gesture support, on-screen radio and slider button activation)
Joystick Control	360° All-Way® tip articulation, menu access, and navigation
Button Set	Access user functions, measurement, and digital functions
Audio	Compatible with bluetooth headset/microphone
Internal Memory	16 GB (inspect mode) and 32 GB (Touch and Analyze mode) internal SSD for user data storage
Data I/O Ports	Two USB 3.0 host 'A' ports, one USB 3.0 client micro 'B' port
Video Out	DisplayPort
Brightness Control	Auto and Variable
Illumination Type	White LED
Long Exposure	Auto – up to 16 seconds
White Balance	Factory default or user defined

Power Supply

Lithium Ion Battery	10.8 V (nominal), 73 Wh, 6.8 Ah, two-hour typical run time
---------------------	--

Current

AC	100-240 VAC, 50-60 Hz, <1.5 A RMS
DC	18 V, 3.34 A

Standards Compliance and Classifications

MIL-STD-810G	United States Department of Defense Environment Tests Sections 501.5, 502.5, 506.5, 507.5, 509.5, 510.5, 511.5, 514.6, 516.6, 521.3
MIL-STD-461G	U.S. Department of Defense – Electromagnetic Compatibility with RE102, and RS103 – ABOVE DECK
Standards Compliance	Group 1 Class A; EN61326-1, IEC CB Scheme, UL/EN/CSA-C22.2 61010-1, IEC 62133, UN/DOT T1-T8, EU RoHS 2, EU RED Directive, ISTA 2G
IP Rating	IP65 (assembled), IP55 (disassembled)

7.1.2 Διεισδυτικά υγρά

Τα αναλώσιμα που χρησιμοποιήθηκαν για τους ελέγχους με διεισδυτικά υγρά και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται παρακάτω:

PFINDER 890

PRECLEANER AND REMOVER

FOR MAGNETIC PARTICLE AND PENETRANT TESTING

solvent based



Version 13 | 01.07.2022 | Page 1/1

DESCRIPTION

PFINDER 890 is a special cleaner based on isopropanol / acetone for penetrant and magnetic particle testing. PFINDER 890 is used as precleaner for removal of oils and greases from the surface to be tested, as approved remover of PFINDER penetrants or as remover of PFINDER contrast paint.

PFINDER 890 is particularly suitable for general cleaning and removal of oils and greases. Material compatibility (e.g. for plastics) has to be checked beforehand.

Remover method C according EN ISO 3452-1.

APPLICATION

For precleaning or as all-purpose cleaner: Apply PFINDER 890 to the surface to be cleaned, if necessary allow time to react and if required wipe off with a cloth.

For excess penetrant removal: Spray PFINDER 890 on a cloth and clean surface to be tested. Do not spray directly on the surface!

For removal of PFINDER contrast paint: Spray on surface to be cleaned, if necessary allow time to react and remove paint by wiping off with a cloth or by additional spraying.

The capability of the penetrant system should be checked regularly by means of own reference pieces or e.g. reference test block 2 according EN ISO 3452-3.



YOUR GREEN NDT BENEFITS

| Aerosol spray can with minimized carbon footprint



YOUR HANDLING + COST SAVING BENEFITS

| Powerful all-purpose cleaner
| Approved remover of PFINDER penetrants
| Particularly suitable remover of PFINDER contrast paint

APPROVALS & CONFORMITIES

The product conforms to these specifications / is suitable for the use according to:

EN ISO 3452-2 | ASTM E165 |
ASTM E1417 | ASME V Art.6 |
PMUC

Low content of sulfur and halogens
according to EN ISO 3452-2.

PACKAGING

500-ml-spray can (for 360° application) | 5-l-canister
These packages are on stock and instantly available. Other packages on demand.

SHELF-LIFE & STORAGE

2 years | spray cans: 3 years
Storage between + 5 °C and + 45 °C.

CHARACTERISTIC DATA	Specification	Unit	Value
Density/20°C*	DIN 51 757	kg/m ³	795 ± 15
Flash Point*	EN ISO 2719	°C	< 15

* Data of products packaged in aerosol spray cans might differ.

PFINDER KG | Rudolf-Diesel-Straße 14 | 71032 Böblingen/Germany
Telefon +49 (0) 70 31-27 01-999 | ndt@pfinder.de | www.pfinder.com

THINKING AHEAD SINCE 1884.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και
 μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

PFINDER 860
COLOR CONTRAST PENETRANT
 RED
 Type II | Sensitivity Level 2



Version 16 | 24.06.2022 | Page 1/1

DESCRIPTION

PFINDER 860 is a hydrocarbon-free, directly water-washable color contrast penetrant for crack detection of surfaces.
 PFINDER 860 is readily biodegradable according to ISO 9888 / Zahn-Wellens-EMPA test (OECD 302 B). Details and test report available on request.
 Due to its removability PFINDER 860 provides only a low residual background even on rough surfaces and therefore a user-friendly interpretability of the indications.
 PFINDER 860 is qualified for penetrant testing at temperatures between - 20 °C to + 90 °C (temperature of work part) according to EN ISO 3452-5 and EN ISO 3452-6.

Penetrant type II according DIN EN ISO 3452-1.
 Use: Type II, Method A + C, Form a, b, c, e, f.

APPLICATION

The capability of the penetrant system should be checked regularly by means of own reference pieces or e.g. reference test block 2 according EN ISO 3452-3.

Process description according DIN EN ISO 3452-1 see www.pfinder.com.

For applications at temperatures below + 10 °C and above + 50 °C, penetration time has to be adapted as follows:
 + 90 °C to + 50 °C: penetration time up to 10 minutes
 + 50 °C to + 10 °C: according DIN EN ISO 3452-1 and EN ISO 3452-2
 + 10 °C to 0 °C: usual penetration time x 2
 0 °C to - 10 °C: usual penetration time x 3
 - 10 °C to - 20 °C: usual penetration time x 4

Values are referring to the temperature of the working part. Aerosol spray cans must not be warmed up above + 50 °C.



YOUR GREEN NDT BENEFITS

- | Readily biodegradable – no waste water treatment required
- | Nearly odourless
- | Free of aromatics and azo compounds



YOUR HANDLING + COST SAVING BENEFITS

- | Bright, sharp indications with high contrast
- | Easy rinsability = low background
- | Reduced consumption due to low viscosity

APPROVALS & CONFORMITIES

The product conforms to these specifications / is suitable for the use according to:

EN ISO 3452-2 | 3452-5 | 3452-6 |
 VDA236-150 | ASTM E165 |
 ASTM E1417 | ASME V Art. 6 |
 PMUC

Low content of sulfur and halogens according to EN ISO 3452-2.

PACKAGING

500-ml-spray can (for 360° application) | 5-l-canister | 200-l-drum
 These packages are on stock and instantly available. Other packages on demand.

SHELF-LIFE & STORAGE

3 years
 Storage between + 5 °C and + 45 °C.
 Shake or stir well before use!

CHARACTERISTIC DATA	Specification	Unit	Value
Density/20 °C*	DIN 51757	kg/mm ³	approx. 929
Viscosity/20 °C*	ASTM D7042	mm ² /s	approx. 11,13
Flash Point*	EN ISO 2719	°C	> 97
Productivity	500ml Aerosol spray can	m ²	up to 10

* Data of products packaged in aerosol spray cans might differ.

PFINDER KG | Rudolf-Diesel-Straße 14 | 71032 Böblingen/Germany
 Telefon +49 (0) 70 31-27 01-999 | ndt@pfinder.de | www.pfinder.com

THINKING AHEAD SINCE 1884.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

PFINDER 871 DEVELOPER FOR PENETRANT TESTING solvent based



Version 11 | 23.02.2022 | Page 1/1

DESCRIPTION

PFINDER 871 is a solvent-based developer for penetrant testing. It is suitable for colour contrast and fluorescent penetrant testing. PFINDER 871 can be wiped off from the surface or easily removed with water after testing.

PFINDER 871 is qualified for penetrant testing at temperatures between $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (temperature of work part).

Developer form d + e according EN ISO 3452-1.

APPLICATION

The capability of the penetrant system should be checked regularly by means of own reference pieces or e.g. reference test block 2 according EN ISO 3452-3.

Process description according DIN EN ISO 3452-1 see www.pfinder.com.

Before use shake spray can thoroughly until mixing balls can be heard.



YOUR GREEN NDT BENEFITS

- Aerosol spray can with minimized carbon footprint
- Low consumption due to high opacity
- Biologically degradable



YOUR HANDLING + COST SAVING BENEFITS

- Excellent developing properties
- Quick-drying
- Easily removable with water or by wiping off

APPROVALS & CONFORMITIES

The product conforms to these specifications / is suitable for the use according to:

EN ISO 3452-2 | VDA236-150 |
ASTM E165 | ASME V Art.6 |
PMUC

Low content of sulfur and halogens
according to EN ISO 3452-2.

PACKAGING

500-ml-spray can (for 360° application) | 10-l-canister
These packages are on stock and instantly available. Other packages on demand.

SHELF-LIFE & STORAGE

1 year | spray cans: 3 years
Storage between $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Shake or stir well before use!

CHARACTERISTIC DATA	Specification	Unit	Value
Density/20 °C*	DIN EN ISO 12185	kg/m ³	870
Flash Point*	ASTM D 93	°C	< 15
Productivity	500 ml Aerosol spray can	m ²	up to 3

* Data of products packaged in aerosol spray cans might differ.

PFINDER KG | Rudolf-Diesel-Straße 14 | 71032 Böblingen/Germany
Telefon +49 (0) 70 31-27 01-999 | ndt@pfinder.de | www.pfinder.com

THINKING AHEAD SINCE 1884.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

7.1.3 Μαγνητικά σωματίδια

Τα όργανα και τα αναλώσιμα που χρησιμοποιήθηκαν για τους ελέγχους με διεισδυτικά υγρά και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται παρακάτω:

Ηλεκτρομαγνήτης Karl Deutsch Deutropuls



KARL DEUTSCH

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

DEUTROPULS Mobile Crack Detection – Safe and Reliable

The DEUTROPULS Hand Yoke is a mobile yoke for magnetic particle inspection with extra high magnetization performance, easy handling and for miscellaneous applications. The robust design allows reliable magnetic particle crack detection also under harsh conditions. The mechanical design takes the highest safety demands into account. The instrument is fully sealed with high-quality casting resin against humidity. The optimal positioning onto the different work-pieces is possible with the help of interchangeable extended, angled or flexible attachment poles respectively.

The features of the DEUTROPULS Hand Yoke are shown below at a glance:

- Weight optimized design with high magnetization performance
- Ergonomic shape with a switch with a small stroke
- High voltage – protection
- High quality resin casted housing
- Easy exchangeable cable
- Replaceable switch with small stroke, sealed acc. to IP65, very high switching stability
- High-duty cycle
- Characteristics in compliance with EN ISO 9934-3:2015, ASTM E1444-16

Versions

The DEUTROPULS Hand Yoke is available in two versions:

The **230-V-AC-version** can be connected to the power supply system either directly or via an isolating transformer (230 V primary/230 V secondary) for galvanic isolation.

The **42-V-AC-version** (low supply voltage) is fed by an isolating transformer (Ord.-Nr. 3850.242), which is connected primary to 230 V and provides a secondary voltage of 42 V or 35 V respectively.

This version is to be used for the inspection within tanks and containers.

Safety

Before delivery each DEUTROPULS Hand Yoke is tested for...

- proper electric grounding
- high voltage resistance

- The 230-V-version is protected against overheating by an integrated temperature sensor.



DEUTROPULS Hand Yoke with accessories in a sturdy hard case



Wide choice of attachment poles for the different measuring tasks

Technical Data		
Versions	42-V-version	230-V-version
Power supply	42 V- 50/60 Hz	35 V- 50/60 Hz
Duty cycle	50 %	100 %
Protection class (EN 60529)	IP 65	
Pole distance	140 mm	
with movable attachment poles	48 up to 235 mm	
Tangential field strength		
Steel block acc. to EN ISO 9934-3:2015	3,7 kA/m	
Steel block: 300 / 80 / 25 mm	5,8 kA/m	
Dimensions (W x H x D)	approx. 240 mm x 136 mm x 45 mm	
Weight	approx. 3,6 kg (incl. cable and pole shoes 10 mm)	
Cross sectional area of the poles	23 mm x 27,5 mm	
Maximum switch-on time	2 min.	
Lifting force	better than EN ISO 9934-3:2015 and ASTM E1444-16	

Order data / accessories / consumables	
DEUTROPULS Hand Yoke 230 V	order no. 3446.230
without attachment poles, 5 m cable	
DEUTROPULS Hand Yoke 42 V	3446.042
without attachment poles, 5 m cable	
Attachment poles 10 mm (2 ea)	3852.102
Attachment poles 45° (2 ea)	3852.302
Attachment poles 60 mm (2 ea)	3852.402
Attachment poles 100 mm flexible	3852.202
Two-windings transformer	3850.322
primary 230 V, secondary 230 V	
Two-windings transformer	3850.242
primary 230 V / 110 V, secondary 35 V / 42 V	
Extension cable for Hand Yoke, 20 m	3839.200
Carrying case for DEUTROPULS Hand Yoke	3850.502
FLUXA testing agent for high contrast indications	refer to leaflet P90E

Leaflet P_34 a_03_20 - Subject to change without notice - Printed in Germany 03/20 - 7499.P34-EN-0320

KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG
Otto-Hausmann-Ring 101 · D-42115 Wuppertal · Germany
Phone (+49 -202) 71 92 -0 · Fax (+49 -202) 71 49 32
info@karldeutsch.de · www.karldeutsch.de



KARL DEUTSCH

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

Για τη μέτρηση της ορατής και της υπεριώδους ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκε το όργανο Delta Ohm HD2302.0 με τον αισθητήρα LP471P-A.



HD2302.0



HD2302.0 PHOTO-RADIOMETER

The HD2302.0 is a portable instrument with a large LCD display. It measures illuminance, luminance, PAR and irradiance (across VIS-NIR, UVA, UVB and UVC spectral regions or measurement of irradiance effective according to the UV action curve).

The probes are equipped with the SICRAM automatic detection module: in addition to detection, the unit of measurement selection is also automatic. The factory calibration data are already memorized inside the probes.

The Max, Min and Avg function calculates the maximum, minimum or average values.

Other functions include: the relative measurement REL, the HOLD function and the automatic turning off that can also be excluded.

The instrument has IP67 protection degree.



INSTRUMENT TECHNICAL CHARACTERISTICS	
Measured quantities	lux - fcd - W/m ² - μW/cm ² μmol/(m ² s) - cd/m ² - μW/lumen
Power Supply	
Batteries	3 1.5V type AA batteries
Autonomy	200 hours with 1800 mAh alkaline batteries
Power absorbed with instrument off	20 μA
Connections	
Input for probes	8-pole male DIN45326 connector
Operating conditions	
Working temperature	-5...50 °C
Storage temperature	-25...65 °C
Working relative humidity	0...90% RH without condensation
Protection degree	IP67
Instrument	
Dimensions (Length x Width x Height)	140 x 88 x 38 mm
Weight	160 g (complete with batteries)
Material	ABS
Display	2x4½ digits plus symbols Visible area: 52x42 mm

ORDERING CODES

HD2302.0: The kit is supplied with: instrument HD2302.0, 3 1.5V alkaline batteries, operating manual, case. Probes have to be ordered separately.

Probes with SICRAM module - for technical specifications of the probes, see following pages.

LP471PHOT: Photometric probe for ILLUMINANCE measurement.

LP471LUM2: Photometric probe for LUMINANCE measurement.

LP471PAR: Quantum radiometric probe for the measurement of the PHOTONS FLOW across the chlorophyll range PAR (400 nm...700 nm).

LP471PAR02: Quantum-radiometric probe for measuring the PHOTONS FLOW in the chlorophyll field PAR (400 nm...700 nm). Special filter that optimizes the spectral response.

LP471RAD: Radiometric probe for IRRADIANCE measurement in the 400 nm...1050 nm spectral range.

LP471UVA: Radiometric probe for measuring the IRRADIANCE in the UVA spectral range 315 nm...400 nm.

LP471UVB: Radiometric probe for measuring the IRRADIANCE in the UVB spectral range 280 nm...315 nm.

LP471UVC: Radiometric probe for measuring the IRRADIANCE in the UVC spectral range 220 nm...280 nm.

LP471UVBC: Radiometric probe for measuring the IRRADIANCE in the UV-BC spectral range 210 nm...355 nm.

LP471BLUE: Radiometric probe for EFFECTIVE IRRADIANCE measurement in the spectral range of Blue light.

LP471P-A: Combined probe for measuring the ILLUMINANCE (lux) and the IRRADIANCE (W/m²) in the UVA spectral range (315...400 nm).

LP471A-UVeff: Combined probe for measuring the TOTAL EFFECTIVE IRRADIANCE (W/m²) weighted according to the UV action curve.

LP471SILICON-PYRA: Pyranometer with silicon photodiode to measure the GLOBAL SOLAR IRRADIANCE, diffuser for cosine correction. Spectral range: 400...1100 nm.

LP471PYRAxxx.S: Probe consisting of Spectrally Flat Class C or B or A pyranometer and a 5 m long cable complete with SICRAM module.

LPBL: Base with levelling device (not suitable for LP471LUM2 and LP471PYRA... probes).

LPBL3: Adjustable wall support for Ø 30 mm photometric and radiometric probes.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων
Για τη μέτρηση του επαπτόμενου μαγνητικού πεδίου χρησιμοποιήθηκε το όργανο TIEDE FSM 2.

Tiede

Magnetic field strength measuring instrument

Measuring instrument

The new micro-processor controlled

Tiede FSM 2 magnetic field strength instrument

combines the advantages of the well-known FSM-1, such as easy handling, reliability and durability with the exiting new features to meet the demanding requirements of the performance standards in the non-destructive material testing industry

Developed for use in the tough enviroment of manufacturing industry, the new FSM 2 excels with important features:

- Measuring units: kA/m , Amps/cm, Oe, T and G
- Measuring range: 0 to ± 400 Amps/cm meets IP 65 (membrane keyboard)
- True-RMS of mixed fields
- Measuring value holding function
- D.C. field measurement
- Function selection by menu control
- High-resolution display 120 x 32 pixels
- Background illumination of display
- Automatic switch-off
- Battery level indication
- Battery and mains supply operation
- Optional RS 232 data transfer

The new FSM 2 is supplied in a carrying case including the mains supply unit, tangential field probe and a 100 Amps/cm calibration standard.

Specification subject to change without notice.



info@tiede.de to take an offer

Tiede

Tiede GmbH + Co. Bahnhofstr. 94-98 . D-73457 Essingen · Tel. + 49 (0) 73 65/81-0 · Fax + 49 (0) 73 65/81-449 . www.tiede.de



Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων
Για την επιθεώρηση των φθοριζόντων μαγνητικών σωματιδίων χρησιμοποιήσαμε τον UVA Led λαμπτήρα MR 98 WAN.



UV Technology

Product information
MR[®] 98 WAN Brilliant LED



MR[®] 98 WAN Brilliant LED

UV lamp 365 nm, 5 UV-LED 's, 1 white light LED,
3-step-switch for power supply 230 V or battery operated

- Strong UVA power by means of 5 high class LED 's
- 3 step switch for UVA regulation
- One white light LED for aid for orientation
- For power supply 230 V or for battery operated
- Different versions with different reflectors and switches available



Protection class IP 64 acc. to DIN EN 60529

No ingress of dust; complete protection against contact dust tight). Water splashing against the enclosure from any direction shall have no harmful effect.



Rolls-Royce / ASTM E3022 specification

Calibration to fulfil Rolls-Royce specification RRES 90061 Rev. 0 and also ASTM E3022 with certificate is possible.

Please order the following articles separately:
Art. 186-25 L Deactivation of 3-step-switch
Art. 186-27 L Calibration

26.05.2020

**Technical changes reserved! **

1/2

MR Chemie GmbH
Nordstr. 61-63 · 59427 Unna (Germany)

Fon + 49 (0) 23 03 951 51 - 0
E-Mail post@mr-chemie.de

www.mr-chemie.de

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και
μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων



UV Technology

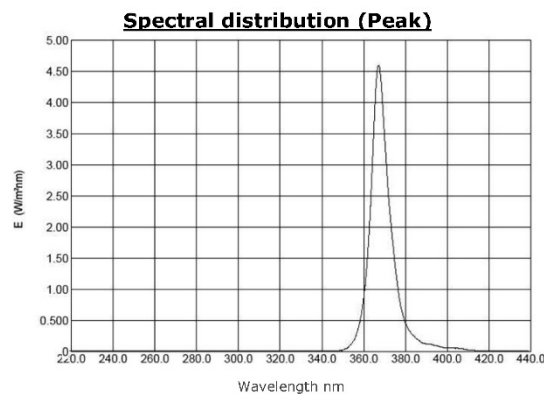
Product information
MR® 98 WAN Brilliant LED



TECHNICAL DATA		MR® 98 WAN 10° reflector	MR® 98 WAN 30° reflector -continuous UV-
Order no. MR® 98 WAN:		98WANR10	98WANR30C
Order no. Carrying case:		G258-6	
Peak (wave length):		365 nm ± 3 nm	
Light distribution*:		Ø > 24 cm	Ø > 28 cm
UVA*	pos. 0:	120 W/m ² (±10%)	45 W/m ² (±10%)
	pos. 1:	25 W/m ² (±10%)	25 W/m ² (±10%)
	pos. 2:	45 W/m ² (±10%)	35 W/m ² (±10%)
UVB		0 W/m ²	
White light portion*		< 5 lx	
UV source:		5 x high performance LED	
UV-LED Risk class acc. to EM06/DGZFP	pos. 0:	-3-	-2-
	pos. 1+2:	-2-	-2-
Orientation light:		1 x white light LED	
Battery:		Lithium Ion battery, 7,4 V – 6,6 A/h	
Operating time battery	pos. 0:	approx. 180 min	<i>Battery will not be charged during power supply operation!</i>
	pos. 1:	approx. 320 min	
	pos. 2:	approx. 240 min	
Dimensions:		L = 180 mm, Ø = 110 mm	
Weight:		1.220 g	
Power supply:		110V AC - 230V AC, 12V DC	
Lifetime UV-LED**	pos. 0:	approx. 5.000 h	
	pos. 1+2:	approx. 10.000 h	
Working temperature:		10°C – 35°C	
Protection class acc. to DIN EN60529:		IP 64 dust tight & splashproof	
Supply line:		cable lengths 5 m, with safety plug	
ON/OFF:		push button for temporary UV light	switch for permanent UV light

* values measured at 40 cm distance

** under laboratory conditions specified by the manufacture. The LED lifetime for lamp type „Continuous UV“ might be reduced.



26.05.2020

Technical changes reserved!

2/2

MR Chemie GmbH
Nordstr. 61-63 · 59427 Unna (Germany)

Fon + 49 (0) 23 03 951 51-0
E-Mail post@mr-chemie.de

www.mr-chemie.de

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και
μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

PFINDER 150
MAGNETIC PARTICLE SUSPENSION
FLUORESCENT
oil-based | ready to use



Version 8 | 11.02.2022 | Page 1/1

DESCRIPTION

PFINDER 150 is a ready-to-use suspension of fluorescent magnetic particles in low-viscos carrier oil with special additives for magnetic particle testing. With PFINDER 150 surface defects of magnetizable materials can be indicated under UV-light (365 nm).

APPLICATION

Apply PFINDER 150 undiluted while magnetizing. Indications will appear immediately under UV-light (365 nm).

The capability of the magnetic particle suspension should be checked regularly by means of own reference pieces or e.g. reference block 1 according EN ISO 9934-3.

Process description according EN ISO 9934-1 see www.pfinder.com.



YOUR GREEN NDT BENEFITS

- | Nearly odourless
- | Free of silicone, sec. amines, nitrites/halogens
- | Aerosol spray can with minimized carbon footprint



YOUR HANDLING + COST SAVING BENEFITS

- | Excellent sharp, quick and stable indications
- | Low background fluorescence
- | Compatible with non-ferrous materials

APPROVALS & CONFORMITIES

The product conforms to these specifications / is suitable for the use according to:

- EN ISO 9934-2 | ASME V Art.7 |
- ASTM E 1444 | ASTM E 709 |
- AMS 2641 | AMS 3044 |
- AMS 3045 | AMS 3046

Low content of sulfur and halogens according to EN ISO 9934-2.

PACKAGING

500-ml-spray can (for 360° application) | 5-l-canister
These packages are on stock and instantly available. Other packages on demand.

SHELF-LIFE & STORAGE

2 years | Spray cans: 3 years
Storage between + 5 °C and + 45 °C.
Shake or stir well before use!

CHARACTERISTIC DATA	Specification	Unit	Value
Density/20 °C	EN ISO 12185	kg/m ³	approx. 760
Viscosity/20 °C	ASTM D 445	mm ² /s	approx. 3,0
Flash Point	ASTM D 93	°C	approx. 63
Particle size dm	PFINDER 080.900Q01	µm	approx. 3
Fluorescent coefficient	EN ISO 9934-2	cd/W	approx. 2,5
Settlement volume*	AMS 3045	ml/100ml	0,2

Data of products packaged in aerosol spray cans might differ.

PFINDER KG | Rudolf-Diesel-Straße 14 | 71032 Böblingen/Germany
Telefon +49 (0) 70 31-27 01-999 | ndt@pfinder.de | www.pfinder.com

THINKING AHEAD SINCE 1884.

PFINDER 251
MAGNETPULVERSUSPENSION
SCHWARZ
auf Ölbasis | gebrauchsfertig



Version 9 | 08.03.2022 | Seite 1/1

BESCHREIBUNG

Bei PFINDER 251 handelt es sich um eine Fertigsuspension schwarzer Magnetpulverpartikel in niedrigviskosem Prüfföl mit speziellen Zusätzen für die Magnetpulverprüfung. Mit PFINDER 251 können magnetisierte Teile bei Tageslicht auf Risse und Fehlerstellen geprüft werden.

Der Pulvergehalt von PFINDER 251 entspricht den Anforderungen der ASTM/AMS.
PFINDER 251 ist für den Einsatz im Bereich von 0 °C bis + 50 °C (Werkstücktemperatur) geeignet.

Das Produkt wird durch Aufsprühen auf die zu prüfende Oberfläche angewendet.

ANWENDUNG

Auf die zu prüfende Fläche Untergrundfarbe PFINDER 280 dünn und gleichmäßig deckend auftragen. Trocknen lassen. Während der Magnetisierung der Prüffläche PFINDER 251 aufsprühen. Die schwarzen Anzeigen sind auf dem weißen Untergrund sofort erkennbar.

Die Anzeigefähigkeit der Prüfmittelsuspension sollte durch Referenzteile oder z.B. Vergleichskörper 1 gemäß EN ISO 9934-3 regelmäßig kontrolliert werden.

Verfahrensbeschreibung gemäß EN ISO 9934-1 unter www.pfinder.de.



GREEN NDT VORTEILE

- Nahezu geruchsneutral
- Frei von sek. Aminen sowie nitrit- und halogenfrei
- Aerosoldose mit optimierter CO₂-Bilanz



ANWENDUNGSVORTEILE + EINSARPOTENZIALE

- Kontrastreiche, schnelle und stabile Anzeigen
- Produkt entspricht allen gängigen Spezifikationen
- Buntmetallverträglich

FREIGABEN & KONFORMITÄTEN

Das Produkt entspricht den Spezifikationen / ist geeignet für den Einsatz gemäß:

EN ISO 9934-2 | ASME V Art.7 |
ASTM E 1444 | ASTM E 709 |
AMS 2641 | AMS 3041 |
AMS 3043

Niedriger Schwefel- und Halogengehalt
gemäß EN ISO 3452-2.

GEBINDE

500-ml-Aerosoldose (für 360°-Anwendung).

Diese Gebinde sind Lagerware und sofort verfügbar. Andere Gebinde auf Anfrage.

HALTBARKEIT & LAGERUNG

3 Jahre

Lagerung von + 5 °C bis + 45 °C.

Vor Gebrauch gut schütteln oder aufrühren!

PRODUKTKENNDATEN	Vorschrift	Einheit	Wert
Dichte/20 °C	EN ISO 12185	kg/m ³	ca. 783
Viskosität/20 °C	ASTM D 445	mm ² /s	ca. 2,0
Flammpunkt	ASTM D 93	°C	ca. 70
Partikelgröße dm	Pfinder 080.900Q01	µm	ca. 1,5
Absetzvolumen	AMS 3041	ml/100 ml	ca. 1,2 – 2,4
Absetzvolumen	AMS 3043	ml/100 ml	ca. 1,6

Werte von in Aerosoldosen abgefüllter Ware können abweichen.

PFINDER 280

WHITE CONTRAST PAINT

FOR MAGNETIC PARTICLE TESTING

quick-drying



Version 8 | 11.02.2022 | Page 1/1

DESCRIPTION

PFINDER 280 is a quick-drying white contrast paint for magnetic particle testing. In combination with magnetic particles, e.g. magnetic particle suspension PFINDER 251 surface defects of magnetizable materials can be indicated under daylight conditions.

PFINDER 280 is suitable for testing at temperatures up to 50 °C (temperature of work part).

The product is applied by direct spraying on the surface to be tested.

APPLICATION

Cover surfaces to be tested thinly and evenly with white contrast paint PFINDER 280. Allow to dry. Apply black magnetic suspension (e.g. PFINDER 251) while magnetizing. Black indications will appear immediately on the white background.

The overcoatability of PFINDER 280 is possible after common surface pretreatment. Anyhow every specific application has to be tested in advance.

The capability of the magnetic particle suspension should be checked regularly by means of own reference pieces or e.g. reference block 1 according EN ISO 9934-3.

Process description according EN ISO 9934-1 see www.pfinder.com.



YOUR GREEN NDT BENEFITS

- | Free of silicone, sec. amines, nitrites/halogens
- | Aerosol spray can with minimized carbon footprint
- | Low consumption due to high opacity



YOUR HANDLING + COST SAVING BENEFITS

- | Quick-drying
- | High adhesion to all kind of materials and surfaces
- | No cracking of paint at low temperature

APPROVALS & CONFORMITIES

The product conforms to these specifications / is suitable for the use according to:

EN ISO 9934-2 | ASME V Art.7 |
ASTM E 709

Low content of sulfur and halogens according to EN ISO 9934-2.

PACKAGING

500-ml-spray can (for 360° application)

These packages are on stock and instantly available. Other packages on demand.

SHELF-LIFE & STORAGE

3 years

Storage between + 5 °C and + 45 °C.
Shake or stir well before use!

CHARACTERISTIC DATA	Specification	Unit	Value
Density/20 °C	EN ISO 12185	kg/m ³	approx. 920
Flash Point	ASTM D 93	°C	approx. - 20
Productivity	500ml Spray can	m ²	up to 7

Data of products packaged in aerosol spray cans might differ.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

7.1.4 Συμβατικός υπέρηχος

Για τους ελέγχους με συμβατικό υπέρηχο χρησιμοποιήθηκαν το όργανο USM GO.



KRAUTKRÄMER

USM Go+

Small but mighty.
All you expect from
an ultrasonic flaw
detector, packed in
a handheld.



Introducing the new USM Go+ that takes field inspection NDT to the next level. Light, handy and controlled by an intuitive arrow-keypad, it has the latest industrial electronics under the hood and offers excellent ultrasonic performance which allows for reliable detection of defects located just below the surface of the test piece.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων



Technical Specifications of USM Go+

Display	5 inch, 800 × 480 pixels, 108 × 65 mm (W x H), > 200 cd/m ²
Size (W x H x D)	175 × 111 × 50 mm (W × H × D)
Weight	850 g with battery
Protection class	IP 67
Operating temperature	0 – 55 °C
Battery	Li-Ion, rechargeable, 6 hours operation time
Power adapter / charger	100 – 240 V AC, 50/60 Hz
Probe connector	Dual Lemo-00 (T/R)
PC interface	Micro USB
Memory card	SD-Card 16 GB max
Reporting	Test report and A-Scan screen shot on SD-Card, Video recording of A-Scan
Pulsar	120 – 300 V, 30 – 500 ns, flank < 10 ns, Spike, Square wave option
Puls Repetition Frequency	15 – 2000 Hz
Damping	50 and 1000 Ohm
Receiver	110 dB dynamic, 0.5 – 18.5 MHz analog bandwidth
Filter	BB 1–5 MHz, 2,25 MHz, 4 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 13 MHz, 15 MHz
Gates	A and B independent, B triggered by A, C option
Units	mm, inch, μs
Options	AWS sizing tool (AWS D1.1), DAC 16 points according to EN 1712, EN 1713, EN 1714, ASTM E164, TCG 110 dB dynamic, DGS sizing tool according to EN 1712, EN 1713, EN 1714, ASTM E164, Data Logger, 3rd gate C, Square Wave Pulsar
Compliance	EN 55011, EN 61000-6-2: 2011, EN 12668, ASTM E 1324, E317, ANSI/NCSSL Z 540-1-1994, MIL-STD 45662A, MIL-STD 2154

Waygate Technologies
Bogenstr. 41 • 22926 Ahrensburg / Germany
Tel.: +49 4102 807 0 • Fax: +49 4102 807 189 • E-Mail: xray.info@bakerhughes.com

Copyright 2020 Baker Hughes Company. This material contains one or more registered trademarks of Baker Hughes Company and its subsidiaries in one or more countries. All third-party product and company names are trademarks of their respective holders.

BHFT20219_EN (12/2020)

Baker Hughes 

waygate-tech.com

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

7.1.5 Phased Array

Για τους ελέγχους με Phased Array χρησιμοποιήθηκαν το όργανο Sonatest Prisma.



prisma



UT 2PR | TOFD 2 Channels
PHASED ARRAY 16:16 | 16:64

Simplicity | Capability | Reliability

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

7.2 Μηχανικές δοκιμές και μεταλλογραφικός έλεγχος

Από το αρχικό δείγμα κόπηκαν δοκίμια και πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές:

- Εφελκυσμού
- Κρούσης
- Σκληρότητας
- Μεταλλογραφικός έλεγχος

7.2.1 Αποτελέσματα - Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της δοκιμής εφελκυσμού και κρούσης φαίνονται στους Πίνακες 6.1 & 6.2.

Πίνακας 7.1: Αποτελέσματα δοκιμής εφελκυσμού

Κωδικοί δοκιμίων	682/2020-1-2	682/2020-1-3	Προδ. Τιμές
Διάμετρος (mm)	10,00	10,18	
	10,00	10,18	
	10,00	10,18	
Μ.Ο. διαμέτρου (mm)	10,00	10,18	
Μήκος (mm)	140,00	140,00	
Διατομή (mm ²)	78,50	81,35	
Αρχικό μήκος (mm)	50,00	50,00	
Τελικό μήκος (mm)	64,10	63,70	
Επιμήκυνση (%)	28,20	27,40	
Μ.Ο. επιμήκυνσης (%)	27,80		Min:22
Φορτίο διαρροής (N)	35494	36728	
Φορτίο θραύσης (N)	45012	42901	
Όριο διαρροής (N/mm ²)	452,15	451,47	
Μ.Ο. ορίου διαρροής (N/mm²)	451,81		Min:280
Τάση θραύσης (N/mm ²)	573,40	527,35	
Μ.Ο. τάσης θραύσης (N/mm²)	550,38		480-630

Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα δοκιμής κρούσης

Κωδικός δοκιμίου	682/2020-1-4	682/2020-1-5	682/2020-1-6	Προδ. Τιμή
------------------	--------------	--------------	--------------	------------

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

Μήκος (mm)	55,01	55,05	55,02	
Πάχος (mm)	10,05	10,05	10,02	
Πλάτος (mm)	10,05	10,05	10,02	
Ενέργεια κρούσης (J)	135,57	136,48	130,92	
Μέση τιμή ενέργειας (J)	134,32			Min: 40



Εικόνα 6.1: Δοκίμια εφελκυσμού και κρούσης

Τα αποτελέσματα των σκληρομετρήσεων, σε κλίμακα HBW 30/2.5, παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα 6.3. Η μέση σκληρότητα που μετρήθηκε είναι στα αναμενόμενα επίπεδα για χάλυβα 10CrMo910.

Πίνακας 7.3: Αποτελέσματα σκληρομετρήσεων

Κωδικός Δοκιμίου	682/1/1/1
1η	154
2η	155
3η	166
4η	166
5η	165
6η	169
7η	166
8η	168

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

9η	165
10η	160
Μέσος Όρος	163,40
Αβεβαιότητα	6,59

Η μελέτη του δοκιμίου 682/1/1/2 στο στερεοσκόπιο έδειξε την παρουσία τεσσάρων ρωγμών, παράλληλων μεταξύ τους, που ξεκινούσαν από την εσωτερική πλευρά ατμού (ID) του αγωγού. Χαρακτηριστικές εικόνες παρουσιάζονται στις Εικόνες 6.2 και 6.3. Η μεγαλύτερη σε μήκος από τις ρωγμές (Εικόνα 6.2) ξεκινούσε από την επιφάνεια σπάζοντας το οξειδίο. Η έναρξη των υπολοίπων ρωγμών (Εικόνα 6.3) καλύπτονταν από το επιφανειακό οξειδίο. Η διαφορά αυτή υποδεικνύει το διαφορετικό χρονικό σημείο σχηματισμού των ρωγμών καθώς και την διαδικασία ανάπτυξής τους: η "ανοικτή" ρωγμή σχηματίστηκε πρώτη, και ήταν ακόμη υπό ανάπτυξη όταν σταμάτησε η λειτουργία του αγωγού.

Η μελέτη της μικροδομής των δοκιμίων στο οπτικό μικροσκόπιο καθώς και στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) έδειξε τα εξής (βλ. Εικόνες 6.4 – 6.8):

- Η μικροδομή του υλικού αποτελείται από μπαινίτη και φερρίτη, όπως αναμένεται για χάλυβα 10CrMo910 (βλ. Εικόνα 6.4).
- Σε μεγάλη μεγέθυνση στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) εντοπίστηκαν στα όρια των κόκκων πόροι λόγω ερπυσμού. Η αξιολόγηση του ερπυσμού σύμφωνα με το πρότυπο VGB γίνεται με μέγιστη μεγέθυνση x500 (λόγω της διακριτικής ικανότητας των οπτικών μικροσκοπίων). Στην τρέχουσα περίπτωση δεν ήταν ορατοί οι πόροι στις μεγεθύνσεις του οπτικού μικροσκοπίου, όμως με το SEM κατέστη δυνατό να παρατηρηθεί ο ερπυσμός στα πρώιμα στάδιά του^[20].
- Η εικόνα των ρωγμών της Εικόνα 6.3 στο SEM (Εικόνες 6.5 και 6.6) υπέδειξε πως αυτές ήταν διακρυσταλλικές, ευθείες και γεμάτες με οξειδίο. Η κατάληξή τους ήταν αμβλείας μορφολογίας.
- Η εικόνα της ρωγμής της Εικόνας 6.2 στο SEM (Εικόνα 6.7) υπέδειξε επίσης διακρυσταλλική ανάπτυξη, με οξείδια σε πολλές περιοχές αλλά και με κενά σε άλλες. Η κατάληξή της περιείχε διακλαδώσεις και δεν ήταν αμβλεία.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

Οι ανωτέρω παρατηρήσεις οδηγούν στο συμπέρασμα πως ο μηχανισμός σχηματισμού των ρωγμών είναι η διάβρωση με κόπωση (corrosion fatigue). Πρόκειται για ένα μηχανισμό που απαιτεί το συνδυασμό κυκλικής φόρτισης και επαφής με διαβρωτικό περιβάλλον. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι κύριες ενδείξεις που τον χαρακτηρίζουν είναι,

- Πολλαπλές διακρυσταλλικές ρωγμές
- Πλατιές ρωγμές, συνήθως γεμάτες με οξείδια και με αμβλύ άκρο (κατάληξη)
- Ενδείξεις ασυνεχούς ανάπτυξης (beach markings)
- Οι ρωγμές ξεκινούν από την επιφάνεια της πλευράς ατμού και είναι παράλληλες μεταξύ τους.
- Οι ρωγμές μπορεί να είναι περιφερειακές ή αξονικές, κάθετες πάντα στη διεύθυνση του κύριου εφελκυστικού φορτίου
- Συχνά σχετίζονται με pits βελονοειδούς διάβρωσης, ανάλογα με το αν η διάρρηξη του προστατευτικού μαγνητίτη που βρίσκεται στην επιφάνεια προέρχεται από χημικούς παράγοντες. Αν προέρχεται από τάσεις/παραμορφώσεις, τότε δεν παρατηρούνται τα pits αυτά.

Όλες σχεδόν παραπάνω ενδείξεις εντοπίστηκαν στο δοκίμιο της παρούσας μελέτης. Οι ρωγμές ήταν περιφερειακές και δεν βρέθηκαν pits βελονοειδούς διάβρωσης. Το τμήμα ατμαγωγού περιελάμβανε τον αγωγό ψεκασμού: η διαδικασία ψεκασμού προκαλεί κυκλικά θερμικά φορτία τα οποία, πιθανόν σε συνδυασμό με άλλα επαναλαμβανόμενα τοπικά φορτία, οδήγησαν σε σχηματισμό ρωγμών επί της εσωτερικής επιφάνειας του αγωγού. Η κυκλική φόρτιση προκάλεσε επίσης τη διάρρηξη του μαγνητίτη, επιτρέποντας έτσι τη διάχυση ιόντων από και προς την κάθε ρωγμή. Με την πάροδο του χρόνου, κάποια ή κάποιες από τις ρωγμές αναπτύχθηκαν αρκετά ώστε να προκαλέσουν αστοχία. Η μεγάλη ρωγμή των Εικόνων 6.2 και 6.7 φαίνεται πως πλέον είχε περάσει το στάδιο της κυκλικής ανάπτυξης, αναπτύσσοντας διακλαδώσεις λόγω υπέρβασης του ορίου διαρροής από το τοπικό εντατικό πεδίο. Είναι ασαφές αν η παρουσία πρώιμου ερπυσμού επηρέασε την εξέλιξη του φαινομένου.

Οι αιτίες του προβλήματος πρέπει να αναζητηθούν α) στην κυκλική φόρτιση και τους περιορισμούς παραμόρφωσης του τεμαχίου και β) σε περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων χημεία του νερού, τυχόν υπερβολικά επιθετικοί χημικοί καθαρισμοί και τις διαδικασίες εκκίνησης/κράτησης της μονάδας.

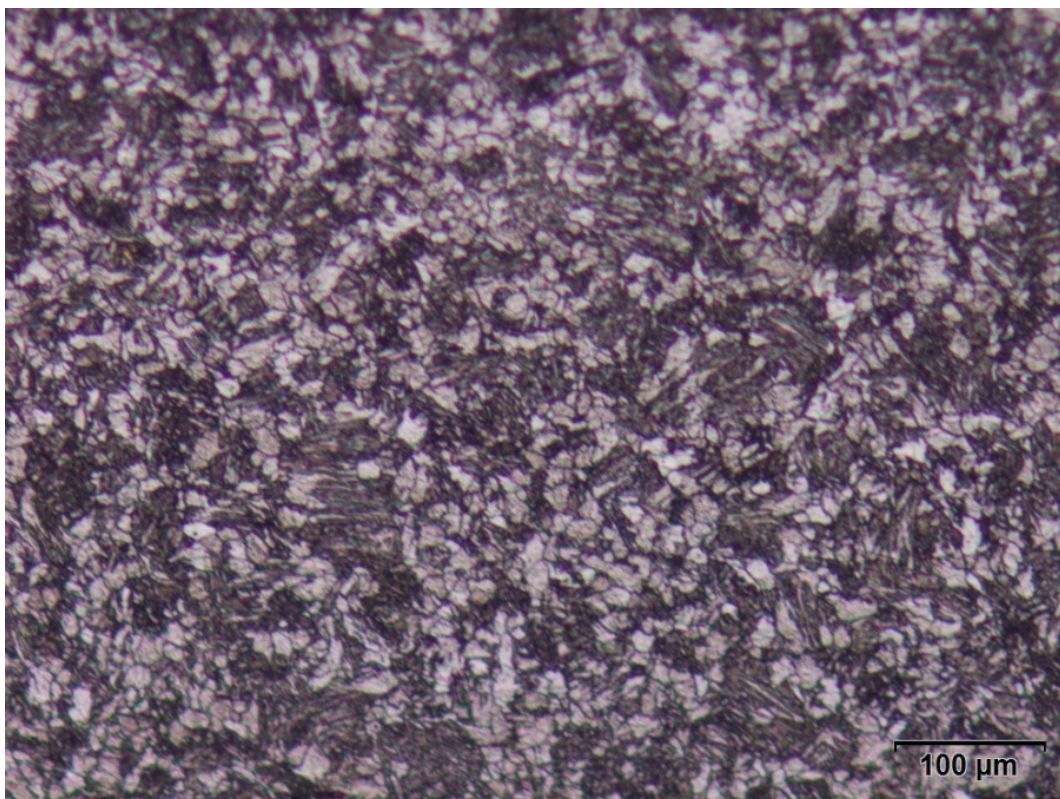


Εικόνα 6.2: Δοκίμιο 682/1/1/2. Εικόνα τομής στο σημείο διάρρηξης από το στερεοσκόπιο. Στο πάνω μέρος είναι η πλευρά ατμού (ID). Διακρίνεται μεγάλη ρωγμή.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και
μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

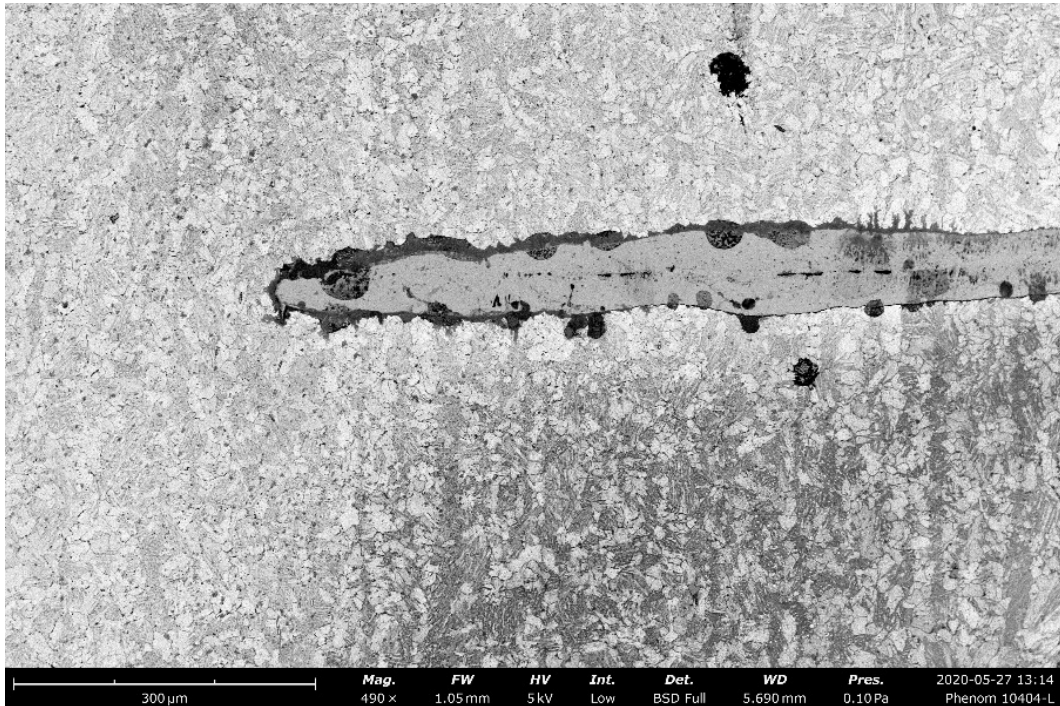


Εικόνα 6.3: Δοκίμιο 682/1/1/2, διαφορετικό σημείο, στερεοσκόπιο. Ρωγμές στην πλευρά ατμού (ID).

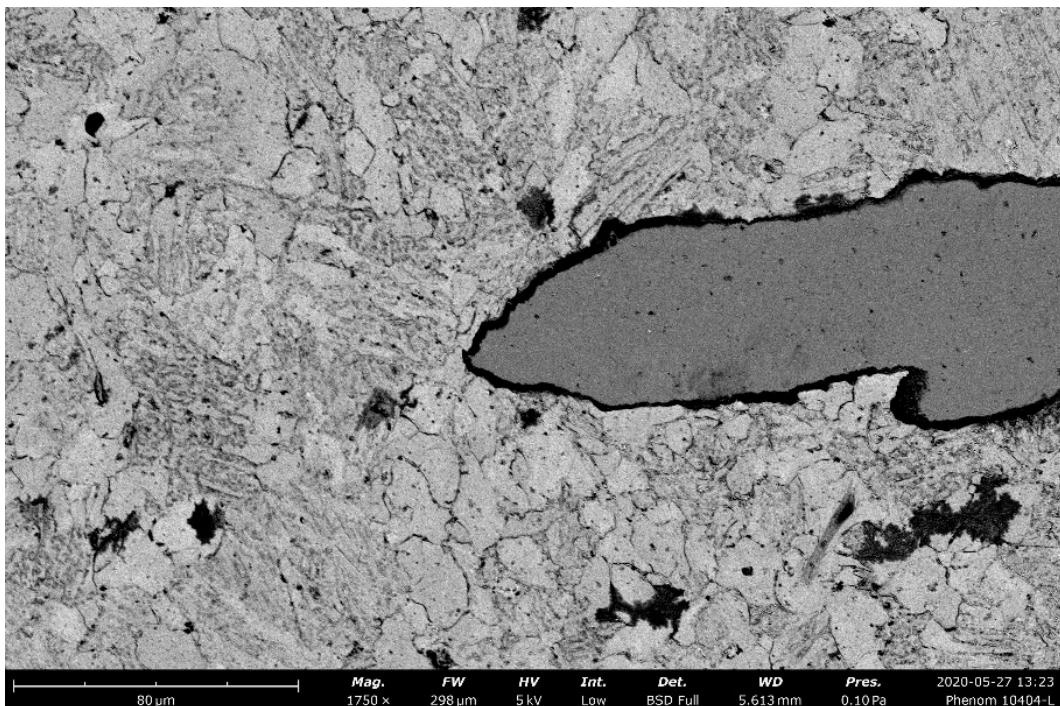


Εικόνα 6.4: Δοκίμιο 682/1/1/2, οπτικό μικροσκόπιο (μεγέθυνση $\times 100$). Χαρακτηριστική μικροδομή χάλυβα 10CrMo910, αποτελούμενη από μπαινίτη και φερρίτη.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων

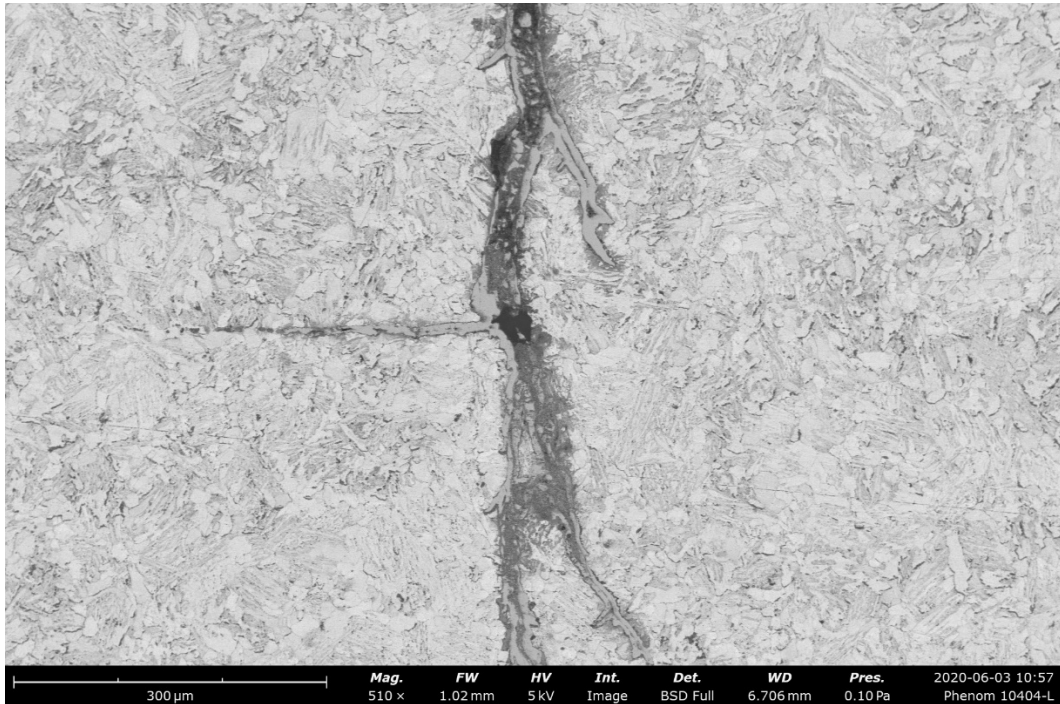


Εικόνα 6.5: Δοκίμιο 682/1/1/2, ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM, μεγέθυνση x490). Κατάληξη διακρυσταλλικών ρωγμών, χωρίς διακλαδώσεις. Εντός των ρωγμών βρίσκεται οξειδίο.

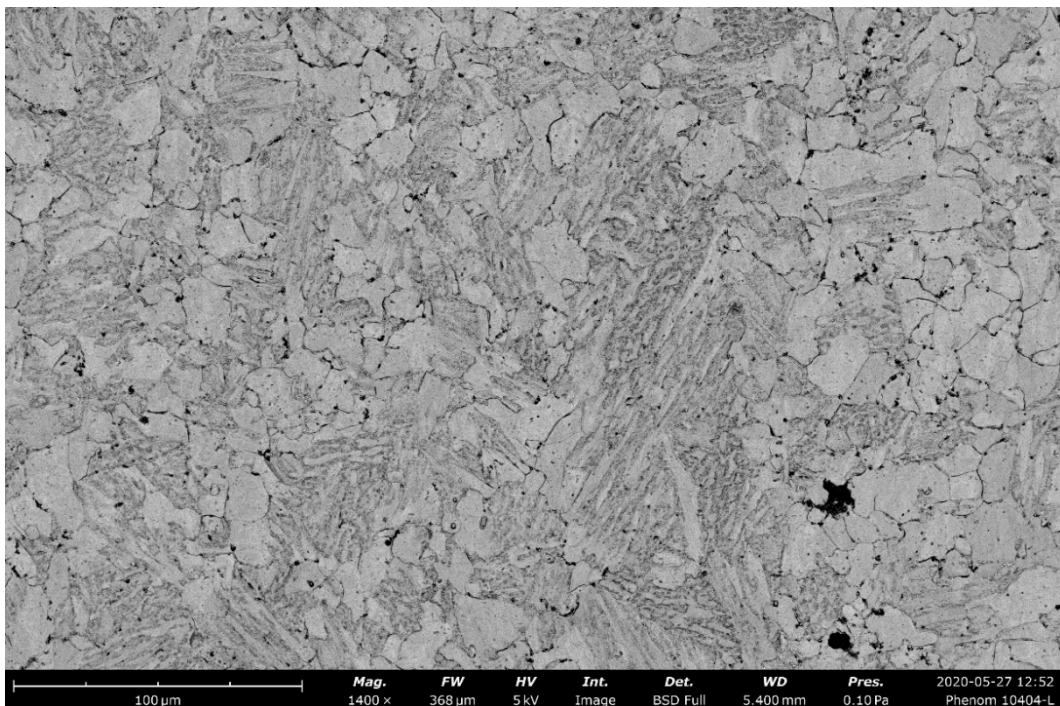


Εικόνα 6.6: Δοκίμιο 682/1/1/2, ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM, μεγέθυνση x1750). Κατάληξη διακρυσταλλικών ρωγμών, χωρίς διακλαδώσεις. Εντός των ρωγμών βρίσκεται οξειδίο.

Εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και
μελέτη αστοχιών εξοπλισμού των μονάδων



Εικόνα 6.7: Δοκίμιο 682/1/1/2, SEM (μεγέθυνση x510). Κατάληξη ρωγμής, με μικρές διακλαδώσεις, γεμάτες με οξείδιο.



Εικόνα 6.8: Δοκίμιο 682/1/1/2, SEM (μεγέθυνση x1400). Μπαινιτική μικροδομή με παρουσία πορώδους στα όρια των κόκκων, λόγω ερπυσμού.