

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΟΥΣ  
ΣΩΛΗΝΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΝΕΡΟΥ  
ΜΕ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ  
ΕΛΕΓΧΟΥ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΡΟΥΣΣΟΣ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ  
ΤΣΟΥΓΚΡΑΝΗΣ ΝΟΜΙΚΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ  
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
ΚΑΠΠΑΤΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ  
ΔΡ. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2010**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας με τίτλο “Ανίχνευση Διαρροής σε Υπόγειους Σωλήνες Μεταφοράς Νερού με Χρήση Μεθόδων Μη Καταστροφικού Ελέγχου”. Η έλλειψη πόσιμου νερού σε παγκόσμιο επίπεδο αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα για την ανθρωπότητα. Επομένως, η χρήση των μεθόδων μη καταστροφικού ελέγχου με σκοπό την ανίχνευση διαρροών σε υπόγειους σωλήνες ύδρευσης “μετριάζουν” το πρόβλημα αφού έχουν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα από τις συμβατικές μεθόδους με μικρότερο κόστος.

Στην αρχή της πτυχιακής εργασίας παρουσιάζονται περιληπτικά όλες οι μέθοδοι Μη Καταστροφικού Ελέγχου. Εν συνέχεια αναλύεται με στατιστικά στοιχεία το πρόβλημα έλλειψης πόσιμου νερού στον πλανήτη γη. Περιγράφονται οι συμβατικοί μέθοδοι ανίχνευσης διαρροών που χρησιμοποιούνται ευρέως από τα τεχνικά τμήματα των διαφόρων εταιριών ύδρευσης. Κατόπιν πραγματοποιείται σύγκριση των συμβατικών μεθόδων με τις μεθόδους Μη Καταστροφικού Ελέγχου που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση των διαρροών σε υπόγειους σωλήνες. Και τέλος γίνεται προσομοίωση στην μέθοδο ακουστικής εκπομπής με την χρήση του λογισμικού προγράμματος Matlab 2007.

Ευχαριστούμε θερμά τον καθηγητή κ. Ανδρέα Γιαννόπουλο Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας και τον κ. Δρ. Βασίλειο Καππάτο για την πολύτιμη καθοδήγηση τους. Την Γκουβέρου Αικατερίνη Πολιτικό Μηχανικό ΤΕ, υπεύθυνη του τεχνικού τμήματος της Δ.Ε.Υ.Α. Παραλίας για την βοήθεια που μας προσέφερε για την πραγματοποίηση της Εργασίας.

Ρούσσος Αριστείδης  
Τσουγκράνης Νομικός  
Μάιος 2010

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στην μελέτη των μεθόδων Μη Καταστροφικού Ελέγχου για την Ανίχνευση των Διαρροών σε Υπόγειους Σωλήνες Ύδρευσης. Οι κυριότερες από αυτές είναι η ακουστική μέθοδος, το ραντάρ επίγειας διείσδυσης και η θερμογραφία.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε έξι Κεφάλαια. Το πρώτο Κεφάλαιο αναφέρεται περιληπτικά στις μεθόδους Μη Καταστροφικού Ελέγχου και τις εφαρμογές τους, ενώ γίνεται και μία σύντομη ιστορική αναδρομή.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η αναγκαιότητα για εξοικονόμηση πόσιμου νερού με στατιστικά στοιχεία και περιγράφεται η χρησιμότητα του για τον άνθρωπο και την φύση.

Στο τρίτο Κεφάλαιο δίνεται ο ορισμός της διαρροής και περιγράφονται ορισμένα στοιχεία για τις διαρροές στους υπόγειους σωλήνες ύδρευσης που αναδεικνύουν το πρόβλημα.

Το τέταρτο Κεφάλαιο ασχολείται με την στρατηγική ελέγχου των διαρροών, την μέγιστη απόδοση ενός τέτοιου προγράμματος ανίχνευσης, ενώ αναλύονται οι πιθανότερες αιτίες που τις προκαλούν. Παρουσιάζονται επίσης οι συμβατικές μέθοδοι ανίχνευσης διαρροών και τα μειονεκτήματά τους.

Στο πέμπτο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι Μη Καταστροφικοί Μέθοδοι ανίχνευσης διαρροών υπόγειων σωλήνων ύδρευσης. Ποιο αναλυτικά αναπτύσσονται το ραντάρ επίγειας διείσδυσης, η θερμογραφία και η ακουστική μέθοδος ενώ στο τέλος του κεφαλαίου προκύπτουν και περιγράφονται μερικά σημαντικά συμπεράσματα όσον αφορά τα πλεονεκτήματά τους.

Στο έκτο και τελευταίο Κεφάλαιο η μέθοδος Ακουστικής Εκπομπής προσομοιώνεται με την χρήση του λογισμικού Matlab 2007. Η προσομοίωση περιλαμβάνει ένα σωλήνα μεταφοράς νερού 20m στον οποίο η διαρροή συμβαίνει σε όλο το μήκος του σωλήνα. Πραγματοποιείτε επιπλέον επεξεργασία των αποτελεσμάτων και αναφέρονται τα συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### 1. ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

1.1 Γενικά.....	1
1.2 Εφαρμογές των μεθόδων ΜΚΕ.....	2
1.3 Ιστορική αναδρομή.....	3
1.4 Μέθοδοι ΜΚΕ.....	4
1.4.1 Ακουστική εκπομπή.....	5
1.4.2 Ακουστούπέρηχοι.....	7
1.4.3 Διεισδυτικά υγρά.....	7
1.4.4 Δινορεύματα - Ρεύματα Eddy.....	8
1.4.5 Θερμογραφία.....	10
1.4.6 Μαγνητικά σωματίδια.....	11
1.4.7 Ολογραφία.....	12
1.4.8 Οπτικός έλεγχος.....	14
1.4.9 Ραδιογραφία με ακτίνες Χ ή Γ.....	16
1.4.10 Υπέρηχοι.....	22

### 2. ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ

2.1 Γενικά.....	26
2.2 Στατιστικά στοιχεία.....	26

### 3. ΔΙΑΡΡΟΗ

3.1 Γενικά.....	33
3.2 Στοιχεία για την διαρροή σε υπόγειους σωλήνες ύδρευσης.....	34

3.2.1	Απώλεια σημαντικών ποσοτήτων νερού.....	34
3.2.2	Μόλυνση του πόσιμου νερού.....	35
3.2.3	Κατανάλωση μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικού ρεύματος κατά την λειτουργία των αντλιοστασίων.....	35
3.2.4	Άνοιγμα ερευνητικών εκσκαφών και καταστροφή Οδοστρωμάτων.....	36

#### **4. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΑΡΡΟΩΝ**

4.1	Αιτίες διαρροών σε υπόγειους σωλήνες.....	37
4.2	Στρατηγική ελέγχου διαρροών τριών σταδίων.....	37
4.2.1	Προεκτίμηση απωλειών νερού ή προσδιορισμός γενικής περιοχής – τομέα διαρροής.....	37
4.2.2	Ακριβής προσδιορισμός σημείου διαρροής – εντοπισμός.....	39
4.2.3	Επιβεβαίωση διαρροής και αποκατάσταση βλάβης .....	40
4.3	Συμβατικές μέθοδοι ανίχνευσης διαρροής σε υπόγειους σωλήνες ύδρευσης με χρήση μεθόδων ΚΕ και ΜΚΕ.....	41
4.3.1	Άνοιγμα ερευνητικών εκσκαφών.....	41
4.3.2	Μέτρηση πτώσης της τιμής της πίεσης.....	43

#### **5. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΟΥΣ ΣΩΛΗΝΕΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΜΚΕ**

5.1	Ανίχνευση διαρροών σε υπόγειους σωλήνες ύδρευσης με χρήση ραντάρ επίγειας διείσδυσης .....	44
5.2	Ανίχνευση διαρροών σε υπόγειους σωλήνες ύδρευσης με χρήση θερμογραφίας.....	49
5.2.1	Υπέρυθρη θερμογραφία .....	49
5.3	Ανίχνευση διαρροών σε υπόγειους σωλήνες ύδρευσης με χρήση ακουστικών μεθόδων.....	52
5.3.1	Παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της ακουστικής μεθόδου.....	57

5.4 Πλεονεκτήματα μεθόδων ανίχνευσης ΜΚΕ.....	61
---	----

## **6. ΕΥΡΕΣΗ ΘΕΣΗΣ ΠΗΓΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ (ΔΙΑΡΡΟΗΣ)**

6.1 Θεωρητική προσομοίωση πηγών ακουστικής εκπομπής.....	62
6.2 Ανίχνευση διαρροών σε υπόγειους σωλήνες ύδρευσης με χρήση προσομοιωμένου σήματος διαρροής.....	65
6.2.1 Σύντομη περιγραφή της μεθόδου.....	65
6.2.2 Εφαρμογή της μεθόδου για σωλήνα μήκους 20 μέτρων Κατασκευή σήματος.....	66
6.3 Συμπεράσματα εφαρμογής της προσομοιωμένης μεθόδου για την εύρεση διαρροής σε υπόγειους σωλήνες.....	76
Παράρτημα Α καταγραφικά πιεσης.....	77
Παράρτημα Β ανιχνευτές διαρροων.....	79
Παράρτημα Γ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ 1.....	87

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1.1. Μέθοδος ακουστικής εκπομπής.....	5
Εικόνα 1.2. Τα στάδια της μεθόδου : Καθαρισμός επιφάνειας, εφαρμογής δεισδυτικού υγρού, καθαρισμός από το υγρό, εφαρμογή της ουσίας εμφάνισης .....	8
Εικόνα 1.3. Μέθοδος ρευμάτων eddy.....	9
Εικόνα 1.4. Έλεγχος σωλήνα με ρεύματα eddy μακρινού πεδίου.....	9
Εικόνα 1.5. Σήματα ρευμάτων eddy από εσωτερικού καθετήρα στα 250-khz: (α) διαμπερής ωπή 2 mm, (β) λεπτή επιφανειακή σχισμή, (γ) επιφανειακή διαμήκης εγκοπή.....	10
Εικόνα 1.6. Θερμογράφημα εσωτερικού χώρου σπιτιού.....	11
Εικόνα 1.7. Έλεγχος με μαγνητικά ρινίδια.....	12
Εικόνα 1.8. Ολογραφία, δημιουργία ολογράμματος.....	13
Εικόνα 1.9. Ολογραφία ανακατασκευή εικόνας.....	14
Εικόνα 1.10. Η κάμερα με τους προβολείς και η οθόνη παρατήρησης.....	15
Εικόνα 1.11. Ραδιογραφική απεικόνιση σε φιλμ.....	17
Εικόνα 1.12. Απλή (2-διάστατη) προβολή σε ραδιογραφία.....	17
Εικόνα 1.13. Δείκτες μέτρησης της ευαισθησίας των Ραδιογραφικών μεθόδων.....	18
Εικόνα 1.14. Λυχνία ακτίνων-Χ.....	19
Εικόνα 1.15. Κάψουλα φύλαξης ραδιενεργών πηγών.....	20
Εικόνα 1.16. Τομογραφία με περιστροφή της πηγής.....	21
Εικόνα 1.17. Τομογραφία υλικού με ρωγμή.....	21
Εικόνα 1.18. Αρχή λειτουργίας ελέγχου με υπερήχους.....	23
Εικόνα 1.19. Μέτρηση βάθους ρωγμής (h).....	23
Εικόνα 1.20. Μέτρηση ρωγμής με την διάθλαση των υπερήχων (TOFD).....	24
Εικόνα 1.21. Συστοιχία φάσης υπερήχων.....	24
Εικόνα 1.22. Εικόνα μωρού από συστοιχία φάσης υπερήχων.....	25
Εικόνα 1.23. Περιστρεφόμενο σύστημα για αγωγούς (IRIS).....	25
Σχήμα 2.1. Παγκόσμια κατανομή νερού.....	26
Σχήμα 2.2. Εκτίμησης ποσότητας γλυκού νερού.....	27
Σχήμα 2.3. Αύξησης χρήσης νερού.....	28
Σχήμα 2.4. Πληθυσμός και χώρες υπό έλλειψη νερού και υπό πίεση νερού.....	29
Σχήμα 2.5. Χώρες με έλλειψη και υπό πίεση νερού.....	30
Πίνακας 2.1. Περιοχές του πλανήτη με μικρά αποθέματα νερού στις οποίες θα παρουσιαστεί έλλειψη νερού μέχρι το 2025.....	31
Πίνακας 3.1. Μονάδες μέτρησης διαρροής .....	34
Εικόνα 3.1. Ερευνητική εκσκαφή εντοπισμού διαρροής.....	36
Εικόνα 3.2. Νερό που εκτοξεύεται υπό πίεση.....	36
Εικόνα 4.1. Προσδιορισμός σημείου διαρροής εικόνα από δορυφόρο.....	39
Εικόνα 4.2. Προσδιορισμός σημείου διαρροής τοπογραφικό διάγραμμα.....	39
Εικόνα 4.3. Ακριβής προσδιορισμός σημείου διαροής.....	40
Εικόνα 4.4. Αποκατάσταση βλάβης.....	40
Εικόνα 4.5. Αποκατάσταση βλάβης.....	42
Σχήμα 4.6. Υπόστρωμα.....	42
Εικόνα 4.7. Μέτρηση πίεσης με μανόμετρο σε απομονωμένο κομμάτι δικτύου.....	43

Εικόνα 5.1. Ραντάρ επίγειας διείσδυσης.....	46
Εικόνα 5.2. Μπροστινή όψη οχήματος με κεραίες ψηφιακού σήματος.....	46
Εικόνα 5.3. Θερμογράφημα σε οθόνη υγρών κρυστάλλων.....	50
Εικόνα 5.4. Τοιχοποιία με εμφανή ίχνη ανερχόμενης υγρασίας και αντοίσιχο θερμογράφημα.....	51
Σχήμα 5.5. Γραφική απεικόνιση συνδεσμολογίας συσχετιστή με δύο μεταδότες σε τμήμα αγωγού με πίεση.....	53
Σχήμα 5.6. Διαταξη συσχετιστή με έναν μεταδότη.....	54
Πίνακας 5.1 Ακρίβεια εντοπισμού διαρροής για χαλυβδοσωλήνα διαμέτρου 4 έως 6 ιντσών.....	55
Σχήμα 5.7. Επίπεδο θορύβου σε οθόνη γαιωφώνου ανάλογα με την απόσταση από το σημείο της διαρροής.....	57
Σχήμα 5.8. Μόνιμο σύστημα ανίχνευσης διαρροών: (α) αισθητήρας και (β) επιτηρητής.....	59
Πίνακας 5.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την πυκνότητα των αισθητήρων του δικτύου.....	60
Σχήμα 6.1: Γράφημα του σήματος Α.Ε για συγκεκριμένη απόσταση r μεταξύ πηγής-αισθητήρα.....	64
Σχήμα 6.2 Πειραματική διάταξη σωλήνα 20m.....	



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

### ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

#### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Με τον όρο Μη Καταστροφικός Έλεγχος (ΜΚΕ) εννοούνται οι μέθοδοι οι οποίες ελέγχουν ένα αντικείμενο, ένα υλικό ή ένα σύστημα χωρίς να βλάπτεται η κατασκευαστική του αρτιότητα και η μελλοντική του χρησιμότητα. Εξ' ορισμού, οι μη καταστροφικές τεχνικές επιθεωρούν τα υλικά και τις κατασκευές χωρίς να πραγματοποιείται διακοπή ή βλάβη της δυνατότητας παροχής υπηρεσιών τους. Ο ΜΚΕ είναι ένας κλάδος της επιστήμης των υλικών που ασχολείται με την ποιότητα και την χρησιμότητα των υλικών και των κατασκευών. Οι μέθοδοι ΜΚΕ γίνονται ολοένα και περισσότερο ζωτικής σημασίας στην αποτελεσματική διεξαγωγή της έρευνας, της ανάπτυξης, της σχεδίασης αλλά και της κατασκευής προϊόντων. Μη καταστροφικές δοκιμές και έλεγχοι χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο διαστάσεων, τον χαρακτηρισμό καθώς και τη μέτρηση φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων υλικών όπως μέτρο ελαστικότητας, σκληρότητα κ.α. Σε πολλές περιπτώσεις οι ιδιότητες του υλικού μπορούν να προσεγγιστούν σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό. Οι τεχνικές ΜΚΕ στη πλειοψηφία τους χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση μεταβολών μέσα στη δομή, μικρών αλλαγών στην επιφάνεια, παρουσία ρωγμών ή και άλλων φυσικών ασυνεχειών. Συνέπεια του μεγάλου εύρους εφαρμογών είναι η ανάπτυξη και η εξέλιξη διαφορετικών μεθόδων ΜΚΕ με σκοπό την κάλυψη των κατά περίπτωση απαιτήσεων της κάθε εφαρμογής. Ο ΜΚΕ χρησιμοποιείται και κατά την κατασκευή προϊόντων για τους παρακάτω λόγους:

- Εξασφάλιση ακεραιότητας προϊόντων και στη συνέχεια αξιοπιστίας.
- Αποφυγή ατυχημάτων κατά την κατασκευή των προϊόντων.
- Εξασφάλιση ικανοποίησης των πελατών και διατήρησης καλής φήμης του κατασκευαστή.
- Καλύτερος σχεδιασμός προϊόντων.

- Έλεγχος στις διαδικασίες κατασκευής.
- Χαμηλότερο κόστος παραγωγής.
- Διατήρηση ομοιόμορφου επίπεδου ποιότητας.

Κάθε μέθοδος ΜΚΕ έχει διαφορετικό βαθμό ακρίβειας που όμως δεν φτάνει την απόλυτη ακρίβεια ενός καταστροφικού ελέγχου. Με μια διαφορετική ματιά όμως, οι ΜΚΕ είναι οικονομικότερες από τον καταστροφικό έλεγχο καθώς αφήνουν την κατασκευή άθικτη για περαιτέρω έλεγχο ή λειτουργία. Καταστροφικοί και μη καταστροφικοί έλεγχοι εφαρμόζονται σε συνδυασμό κατά τον έλεγχο της αξιοπιστίας μιας μεθόδου, οπότε τυχαία δείγματα ή δοκίμια ελέγχονται πρώτα με ΜΚΕ και στη συνέχεια με καταστροφικό έλεγχο (ΚΕ) ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματά τους και να ορισθεί ή να ρυθμιστεί καλύτερα η ακρίβεια της μεθόδου.

## 1.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Πολλές κατασκευές κατά την διάρκεια της λειτουργίας τους, χρειάζονται περιοδικούς μη καταστροφικούς ελέγχους, ώστε να εντοπιστούν πιθανές ζημιές που δε θα γίνονταν αντιληπτές με τις απλές καθημερινές μεθόδους. Παραδείγματα τέτοιων κατασκευών είναι:

Ο σκελετός ή η επένδυση των αεροσκαφών, οι υπόγειες σωληνώσεις, οι κατασκευές από σκυρόδεμα, τα πιεστικά δοχεία χημικών αντιδραστηρίων, τα συρματόσχοινα των γεφυρών, κ.ά.

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

- στην αυτοκινητοβιομηχανία (μηχανή, πλαίσιο).
- στην αεροδιαστημική (Πλαίσια αεροπλάνων & διαστημοπλοίων, πύραυλοι, κινητήρες τζετ).
- στις κατασκευές (κτίρια, γέφυρες).
- στη βιομηχανία (μηχανικά εξαρτήματα, καλούπια, πρέσες).
- σε εγκαταστάσεις πετροχημικές, πυρηνικές, παραγωγής ρεύματος, ορυχεία

πιεστικά δοχεία, δεξαμενές, λέβητες, εναλλάκτες, τουρμπίνες, σωληνώσεις, συγκολλήσεις.

- στο σιδηρόδρομο (σιδηροτροχιές, τροχοί και άξονες).
- σε αγωγούς αερίου, πετρελαιαγωγούς και αγωγούς παροχής ύδρευσης.
- στα πάρκα αναψυχής (παιχνίδια και τραίνα μεγάλης ταχύτητας).
- στην ιατρική (τομογραφίες, υπέρηχοι, ακτινογραφίες, καρδιογραφήματα, εγκεφαλογραφήματα, κλπ.).

### 1.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Οι μέθοδοι ΜΚΕ αναπτύχθηκαν τα τελευταία 100 χρόνια. Μερικά αξιοσημείωτα γεγονότα που άνοιξαν το δρόμο για την ανάπτυξή τους ήταν:

- 1854: Δυστύχημα από αστοχία πιεστικού δοχείου με 21 θύματα και 50 τραυματίες στο Hartford του Connecticut. 10 χρόνια μετά ψηφίζεται νόμος για υποχρεωτικούς ετήσιους ελέγχους.
- 1895: Ο Wilhelm Conrad Röntgen ανακαλύπτει τις γνωστές πλέον Ακτίνες-Χ και στην ανακοίνωσή του αναφέρει τη δυνατότητα εντοπισμού ελαττωμάτων.
- 1880 – 1920: Εφαρμόζεται ο πρόδρομος της μεθόδου ελέγχου με Διεισδυτικό Υγρό με τη χρήση λαδιού και λευκού χρώματος (το εξάρτημα βυθίζεται σε λεπτόρρευστο λάδι και μετά βάφεται με λευκό χρώμα το οποίο μετατρέπεται σε καφέ όταν το λάδι που παράμεινε σε τυχόν ρωγμές βγαίνει προς τα έξω).
- 1920: Ο H. Lester αναπτύσσει τη βιομηχανική Ραδιογραφία των μετάλλων.
- 1926: Διατίθεται το πρώτο όργανο Ρευμάτων Eddy που μετρά το πάχος υλικού.
- 1927 – 1928: Το πρώτο σύστημα Μαγνητικής Επαγωγής εφαρμόζεται σε σιδηροδρομικές γραμμές.
- 1940 – 1944: Αναπτύσσεται η μέθοδος Υπερήχων από τον Δρ. Floyd Firestone.
- 1950: Ο J. Kaiser εισάγει την μέθοδο ΜΚΕ των Ακουστικών Εκπομπών.

#### 1.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ο ΜΚΕ χρησιμοποιεί διάφορες μεθόδους, κάθε μια από τις οποίες βασίζεται σε συγκεκριμένη επιστημονική παραδοχή ή αρχή λειτουργίας και επίσης μπορεί να διακρίνεται σε περισσότερες από μια τεχνικές. Η αξία κάθε μεθόδου εξαρτάται από το είδος του προβλήματος. Μια μέθοδος ή τεχνική, λόγω της φύσης και της λειτουργίας της, μπορεί να είναι από ιδανική έως και εντελώς άχρηστη για την εφαρμογή που έχουμε υπ' όψιν μας. Για το λόγο αυτό η σωστή επιλογή είναι σημαντική για την τελική απόδοση του ΜΚΕ. Σ' αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να τονιστεί ότι, δεν υπάρχει μία και μοναδική μέθοδος που να λύνει όλα τα προβλήματα του ΜΚΕ και συνεπώς είναι άσκοπος ο χαρακτηρισμός μίας μεθόδου καλύτερης από κάποιας άλλης, ανεξαρτήτως εφαρμογής και κριτηρίων που πρέπει να ικανοποιούνται. Πολλές φορές απαιτείται συνδυασμός μεθόδων προκειμένου να ελεγχθούν και να χαρακτηριστούν οι διάφοροι τύποι βλάβης και αστοχίας.

Η διεθνής κοινότητα του ΜΚΕ έχει υιοθέτησε ένα σύστημα το οποίο ταξινομεί τις μεθόδους ΜΚΕ σε έξι κατηγορίες [Miller\_87, Mix\_87, Mix\_92, Hull\_88, Bolis\_75a, Bolis\_75b, ASNT\_86]:

1. Οπτικής (Visual).
2. Διείσδυσης (Penetrating).
3. Ακτινοβολίας (Radiation).
4. Μαγνητικής - Ηλεκτρικής (Magnetic - Electrical).
5. Μηχανικής ταλάντωσης (Mechanical vibration).
6. Θερμικής (Thermal), Χημικής - Ηλεκτροχημικής (Chemical - Electrochemical).

Από τις παραπάνω κατηγορίες, οι σημαντικότερες και οι πιο ευρύτερα χρησιμοποιούμενες μέθοδοι ΜΚΕ, τόσο για τα υλικά όσο και τις κατασκευές είναι οι ακόλουθες [Miller\_87, Mix\_87, Mix\_92, Hull\_88, Bolis\_75a, Bolis\_75b, ASNT\_86]:

1. Ακουστική εκπομπή (Acoustic emission).
2. Ακουστό-υπέρηχοι (Acousto-ultrasonic).

3. Διεισδυτικά υγρά (Liquid penetrant).
4. Δινορεύματα (Eddy current).
5. Θερμογραφία (Thermographic).
6. Μαγνητικά σωματίδια (Magnetic particle).
7. Ολογραφία (Holography).
8. Οπτικός έλεγχος (Visual inspection).
9. Ραδιογραφία με ακτίνες Χ ή Γ (X/Γ-Ray radiography).
10. Υπέρηχοι (Ultrasonic).

Στην συνέχεια της πτυχιακής εργασίας δίνεται μια σύντομη περιγραφή της κάθε μεθόδου.

#### 1.4.1 Ακουστική εκπομπή

Με βάση τον ορισμό της Αμερικάνικης Ένωσης Δοκιμών και Υλικών (American Society for Testing and Materials - ASTM) [ASTM E 610-82], ως ακουστική εκπομπή (ΑΕ) (εικόνα 1.1) ορίζονται τα μεταβατικά υ964 τασικά κύματα, που δημιουργούνται στο υλικό λόγω απότομης απελευθέρωσης ενέργειας. Η πηγή αυτών των κυμάτων μπορεί να είναι μια τοπική μετατόπιση που συνοδεύει την πλαστική παραμόρφωση ή την έναρξη και διάδοση αστοχίας στο υλικό.



Εικόνα 1.1 : Μέθοδος ακουστικής εκπομπής

Η ΑΕ είναι μια μέθοδος ΜΚΕ η οποία βασίζεται στη μετατροπή αυτών των ελαστικών κυμάτων σε ηλεκτρικά σήματα με τη χρήση κατάλληλων πιεζοηλεκτρικών αισθητήρων που διεγείρονται σε συχνότητες υπερήχων. Στην επιφάνεια της υπ' εξέταση κατασκευής τοποθετούνται αισθητήρες και στο σημείο επαφής τους με την κατασκευή τοποθετείται συνήθως κάποιο παχύρρευστο υγρό όπως γράσο. Το ηλεκτρικό σήμα κάθε αισθητήρα ενισχύεται, φιλτράρεται και υφίσταται επιπλέον επεξεργασία από ηλεκτρονικό εξοπλισμό.

Οι βασικές απαιτήσεις κατά τον ΜΚΕ με τη μέθοδο της ΑΕ, είναι η απομόνωση του θορύβου, η αξιόπιστη αναγνώριση των σημάτων από πραγματικές αστοχίες του υλικού, ο προσδιορισμός της θέσης της αστοχίας και τέλος ο χαρακτηρισμός του τύπου και της κρισιμότητας της βλάβης στο υλικό. Η επιτυχής αντιμετώπιση των παραπάνω απαιτήσεων εξαρτάται από τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό και από τις μεθόδους επεξεργασίας των αποτελεσμάτων.

Ο ΜΚΕ με ΑΕ αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για την επιθεώρηση υλικών, τη μελέτη μηχανισμών πλαστικής παραμόρφωσης, θραύσης και διάβρωσης. Παρέχει άμεσες πληροφορίες σχετικές με την απόκριση και τη συμπεριφορά ενός υλικού υπό τάση, που σχετίζονται με την αντοχή του, την συσσώρευση βλάβης και την έναρξη αστοχίας του. Η ΑΕ βρίσκει εφαρμογή και στην παρακολούθηση χημικών αντιδράσεων όπως διαδικασία διάβρωσης, μετασχηματισμοί φάσης κ.α. Μερικές από τις πιο δημοφιλέστερες εφαρμογές ελέγχου με την χρήση της ΑΕ είναι:

- Έλεγχοι πιεστικών δοχείων, σφαιρικών ή κυλινδρικών δεξαμενών.
- Έλεγχος πυθμένα δεξαμενών.
- Αξιολόγηση γήρανσης αεροσκαφών.
- Δοκιμές σε βυτιοφόρα βαγόνια και κυλινδρικά δοχεία αερίου.
- Έλεγχοι διαρροών σε υπέργειες και υπόγειες σωληνώσεις, σε σωλήνες αερίου ή ατμού υψηλής πίεσης.
- Δοκιμές μερικής αποφόρτισης μετασχηματιστών.
- Έλεγχοι προηγμένων, κεραμικών και συνθέτων υλικών.
- Εντοπισμός διάβρωσης.
- Ποιοτικός έλεγχος παραγωγικής διαδικασίας.

Ιδιαίτερα για τον έλεγχο πιεστικών δοχείων και δεξαμενών, έχουν εκδοθεί πολυάριθμα πρότυπα και κανονισμοί για την εφαρμογή της ΑΕ σε μια πλειάδα πιεστικών δοχείων που κυμαίνονται από μικρού όγκου κυλινδρικά δοχεία αερίου, βυτιοφόρα οχήματα και βαγόνια αερίου μέχρι ογκώδη δοχεία αποθήκευσης καθώς και δεξαμενές διαφόρων μεγεθών. Κατά την διάρκεια του ελέγχου γίνεται διάγνωση των “ενεργών ελαττωμάτων”, όπως αυτά προσδιορίζονται μέσω των ακουστικών σημάτων που εκπέμπουν λόγω επιβολής φορτίου.

#### **1.4.2 Ακουστό-υπέρηχοι**

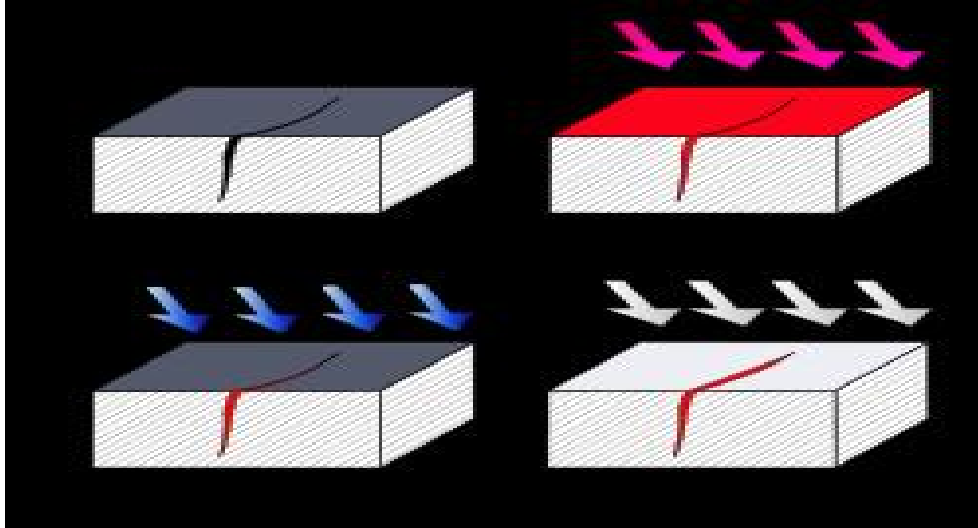
Η μέθοδος των ακουστό-υπερήχων έχει σκοπό να συνδυάσει μέρος των πλεονεκτημάτων των υπερήχων με αυτά της ΑΕ. Αισθητήρες υπερήχων χρησιμοποιούνται για τη διάδοση τασικών κυμάτων στο υλικό, ενώ η καταγραφή και επεξεργασία αυτών γίνεται με αισθητήρες και μεθόδους ΑΕ. Συνεπώς, με δύο μόνο αισθητήρες είναι δυνατός ο έλεγχος ύπαρξης βλάβης στο υλικό, χωρίς όμως να είναι δυνατός ο εντοπισμός της θέσης αυτής. Η ύπαρξη βλάβης στο υλικό επιδρά συνήθως στα χαρακτηριστικά διάδοσης του κύματος [Vary\_88, Vary\_91].

#### **1.4.3 Διεισδυτικά υγρά**

Ο ΜΚΕ χρησιμοποιώντας διεισδυτικά υγρά χρησιμοποιείται κυρίως για την ανίχνευση ατελειών τριχοειδών διαστάσεων σε μη πορώδη υλικά. Τα διεισδυτικά υγρά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τα περισσότερα μη πορώδη υλικά [Cartz\_95, Rao\_06]. Χρησιμοποιείται επίσης για τον εντοπισμό επιφανειακών ρωγμών σε μη σιδηρούχα κράματα ή σε σιδηρούχα κράματα στα οποία δεν μπορεί να εφαρμοστεί κάποια αντίστοιχη ηλεκτρική ή μαγνητική μέθοδος (εικόνα 1.2). Μερικές φορές εφαρμόζεται και σε μη μεταλλικά υλικά.

Η επιλογή του κατάλληλου διεισδυτικού υγρού καθορίζεται από την ευκολία διείσδυσής του στις ρωγμές και φυσικά την ευκολία εξαγωγής του από αυτές μετά τον έλεγχο. Η απλούστερη και παλαιότερη μέθοδος χρησιμοποιεί για διεισδυτικό λεπτόρρευστο λάδι και για την εμφάνιση λευκή

σκόνη ανθρακικού ασβεστίου, η οποία χρωματίζεται έντονα από το λάδι των ρωγμών. Παραλλαγές της μεθόδου περιλαμβάνουν φωσφορίζουσες χρωστικές που γίνονται εύκολα ορατές με τη χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας.



**Εικόνα 1.2 :** Τα στάδια της μεθόδου: Καθαρισμός επιφάνειας, εφαρμογή διεισδυτικού υγρού, καθαρισμός από το υγρό, εφαρμογή της ουσίας εμφάνισης .

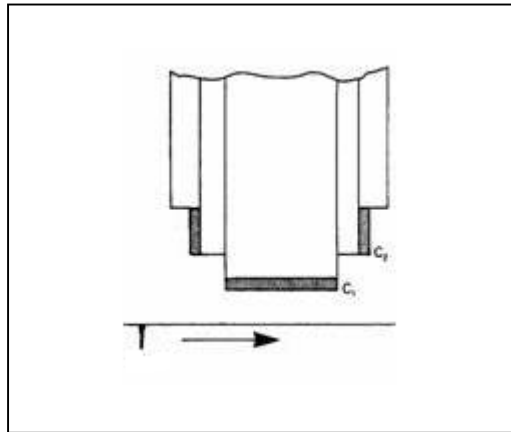
#### 1.4.4 Δινορεύματα-Ρεύματα Eddy

Η αρχή λειτουργίας των δινορευμάτων στηρίζεται στην αλληλεπίδραση μαγνητικών πεδίων, μεταξύ του αισθητήρα πηνίου και της ηλεκτρικά αγώγιμης κατασκευής [Valleau\_90, Cartz\_95, Blitz\_06].

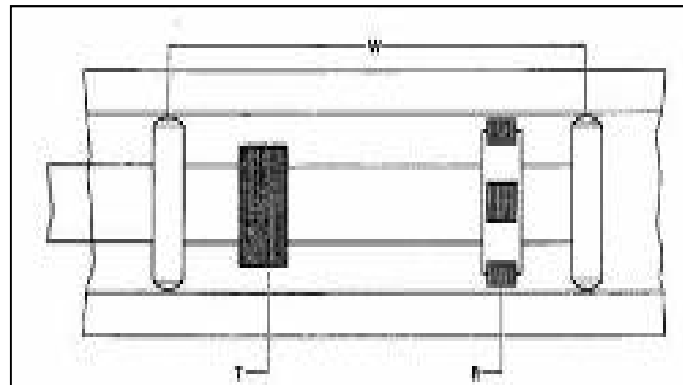
Στην μέθοδο ρευμάτων eddy (εικόνα 1.3) χρησιμοποιείται ένα ζεύγος πηνίων που τροφοδοτείται από εναλλασσόμενο ρεύμα συγκεκριμένης συχνότητας. Όταν αυτά βρεθούν κοντά στην επιφάνεια του μεταλλικού υλικού παράγουν σε αυτήν ρεύματα eddy τα οποία με τη σειρά τους δημιουργούν πεδίο που επιδρά στα πηνία και επηρεάζει το ρεύμα που τα διαρρέει. Οι αλλαγές αυτές μας πληροφορούν για την κατάσταση της επιφανείας του υλικού.

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





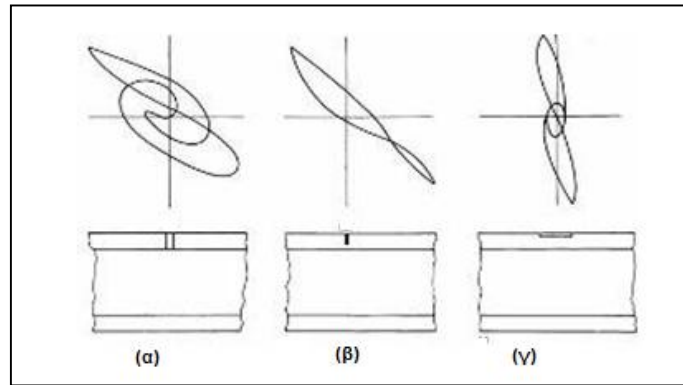
**Εικόνα 1.3 :** Μέθοδος ρευμάτων eddy.



**Εικόνα 1.4 :** Έλεγχος σωλήνα με ρεύματα eddy μακρινού πεδίου.

### *Μακρινό πεδίο Ρευμάτων Eddy*

Μια παραλλαγή της μεθόδου είναι η μέτρηση του μακρινού πεδίου των ρευμάτων eddy (εικόνα 1.4),(εικόνα 1.5) που αναπτύχθηκε για τον έλεγχο μικρών μεταλλικών σωλήνων με εσωτερικό καθετήρα. Η τεχνική παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα καθώς εντοπίζει με την ίδια ευαισθησία εσωτερικά και εξωτερικά ελαττώματα του τοιχώματος του σωλήνα. Χαρακτηριστικό της τεχνικής είναι ότι τα δύο πηνία είναι απομακρυσμένα, και, το ένα χρησιμοποιείται σαν πομπός και το άλλο σαν δέκτης.



**Εικόνα 1.5 :** Σήματα ρευμάτων eddy από εσωτερικό καθετήρα στα 250 kHz: (α) διαμπερής οπή 2 mm, (β) λεπτή επιφανειακή σχισμή, (γ) επιφανειακή διαμήκης εγκοπή.

#### 1.4.5 Θερμογραφία

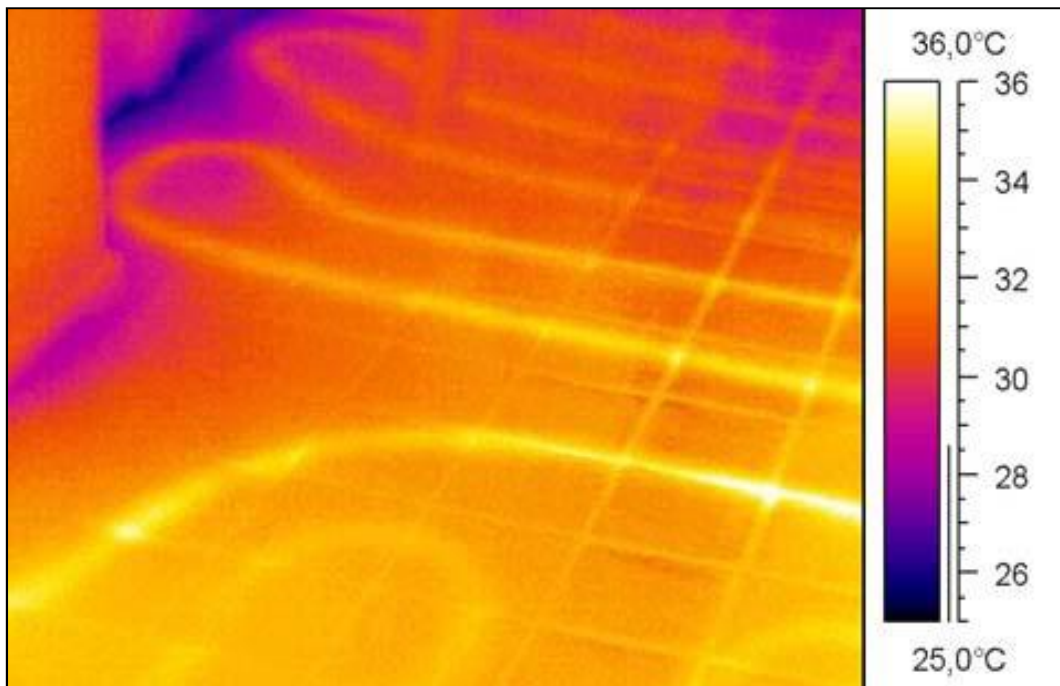
Η θερμογραφία ή η υπέρυθρη φωτογράφιση, ανιχνεύει την εκπομπή θερμικής ακτινοβολίας και προκύπτει οπτική απεικόνιση του θερμικού σήματος (θερμογράφημα)(εικόνα 1.6). Με την θερμογραφία δεν μετράται απ' ευθείας η θερμοκρασία μιας επιφάνειας αλλά η μεταβολή της επιφανειακής ακτινοβολίας.

Η θερμογραφία βασίζεται στην αρχή ότι κάθε επιφάνεια εκπέμπει ενέργεια με την μορφή της θερμοκρασιακής ακτινοβολίας. Το μήκος κύματος που εκπέμπεται εξαρτάται από την θερμοκρασία. Αυξανόμενης της θερμοκρασίας το μήκος κύματος γίνεται βραχύτερο και στην περίπτωση πολύ μεγάλων θερμοκρασιών βρίσκεται στο ορατό φάσμα (π.χ. πυρακτωμένη άκρη βελόνας). Στην θερμοκρασία δωματίου το μήκος κύματος της ακτινοβολίας είναι της τάξεως των 10μm (στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος). Η ακτινοβολία ανιχνεύεται με κατάλληλες ανιχνευτικές διατάξεις (θερμοκάμερες) οι οποίες παράγουν ηλεκτρικό σήμα ανάλογο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας το οποίο με κατάλληλη βαθμονόμηση εκφράζεται σε θερμοκρασία.

Με την θερμογραφία εντοπίζουμε θερμικές γέφυρες στο κέλυφος του κτηρίου, σημεία διαφυγής θερμού αέρα από το κτήριο, αγωγούς θερμού κρύου νερού ή αέρα μέσα στην κατασκευή ενός κτηρίου, διαφορετικά υλικά μέσα σε μία κατασκευή, ύπαρξη νερού μέσα στα υλικά και υποεπιφανειακές ανωμαλίες στα υλικά

Οι φυσικές παράμετροι που επηρεάζουν την υπέρυθη ακτινοβολία που μετράται κατά την θερμογράφιση είναι: η ικανότητα εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας της επιφάνειας (εκφράζεται από τον συντελεστή εκπομπής και συγκρίνεται με εκείνη του μέλανος σώματος) η επιφανειακή θερμοκρασία, η θερμική αγωγιμότητα, η θερμοχωρητικότητα, το πάχος του θερμαινόμενου στρώματος και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Οι μετρήσεις επηρεάζονται από τον συντελεστή εκπομπής του υλικού. Γενικά τα δομικά υλικά έχουν μεγάλο συντελεστή εκπομπής (μεγαλύτερο από 0,8).

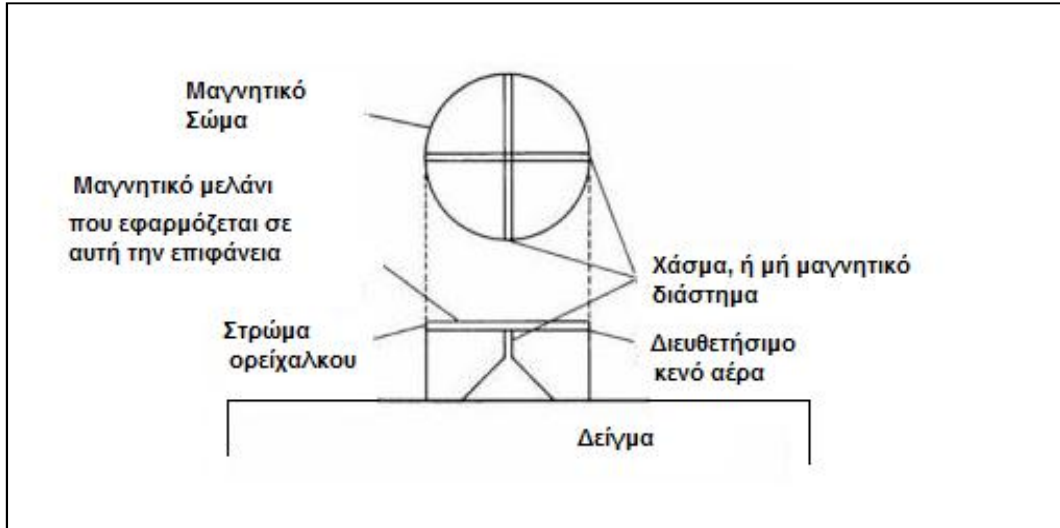


Εικόνα 1.6 : Θερμογράφημα εσωτερικού χώρου σπιτιού.

#### 1.4.6 Μαγνητικά σωματίδια

Η μέθοδος των μαγνητικών σωματιδίων (εικόνα 1.7) είναι βασισμένη στις ιδιότητες μαγνητικού πεδίου και εφαρμόζεται μόνο για την ανίχνευση επιφανειακών ατελειών λόγω της μαγνήτισης των υλικών [Cartz\_95, Blitz\_06]. Οι μαγνητικές μέθοδοι ΜΚΕ βασίζονται στον εντοπισμό των απωλειών της μαγνητικής ροής λόγω ατελειών του υλικού. Όταν ένα δοκίμιο μαγνητιστεί και περιέχει μια ασυνέχεια στην επιφάνειά του ή κάτω από αυτήν, δημιουργείται μια παραμόρφωση στη μαγνητική ροή η οποία προκαλεί ένα τοπικό πεδίο απώλειας μαγνητικής ροής. Οι μέθοδοι βασίζονται στους νόμους του Maxwell

(1873) και χρησιμοποιούν σύγχρονες μεθόδους ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων και πολύ ισχυρούς υπολογιστές. Οι μαγνητικές μέθοδοι ΜΚΕ μπορούν να εφαρμοστούν μόνο σε υλικά που μαγνητίζονται



Εικόνα 1.7 : Έλεγχος με Μαγνητικά Ρινίδια

#### 1.4.7 Ολογραφία

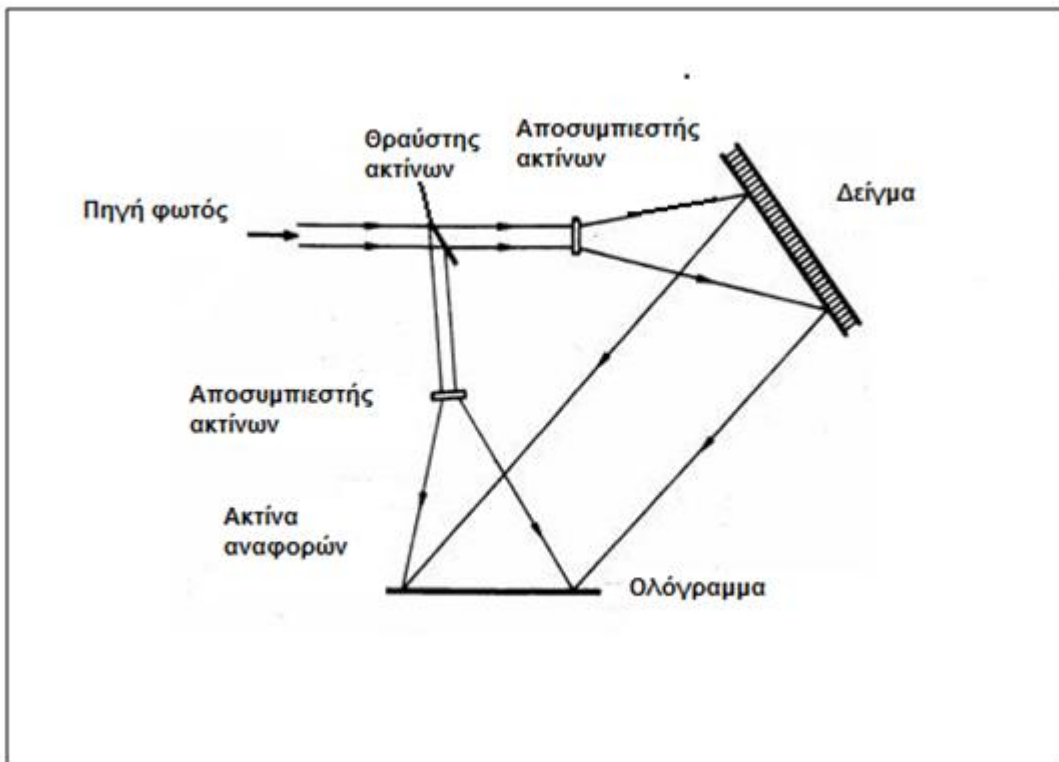
Με χρήση της ολογραφίας μπορούν να καταγραφούν πολύ μικρές μετατοπίσεις της τάξεως του  $\frac{1}{4}$  του μήκους του κύματος που χρησιμοποιείται στην περίπτωση του Laser. Η ύπαρξη ατέλειας βρίσκεται, καθώς παρατηρούνται τοπικά μεγαλύτερες επιφανειακές μετατοπίσεις απ' ότι σε αντίστοιχα στοιχεία χωρίς ατέλεια. Η μέθοδος απαιτεί προσεκτική ευθυγράμμιση της οπτικής διάταξης, η οποία είναι πολύ ευαίσθητη σε μικροδονήσεις, ταλαντώσεις και γενικότερα σε εξωτερικές διεγέρσεις [Maddux\_79].

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

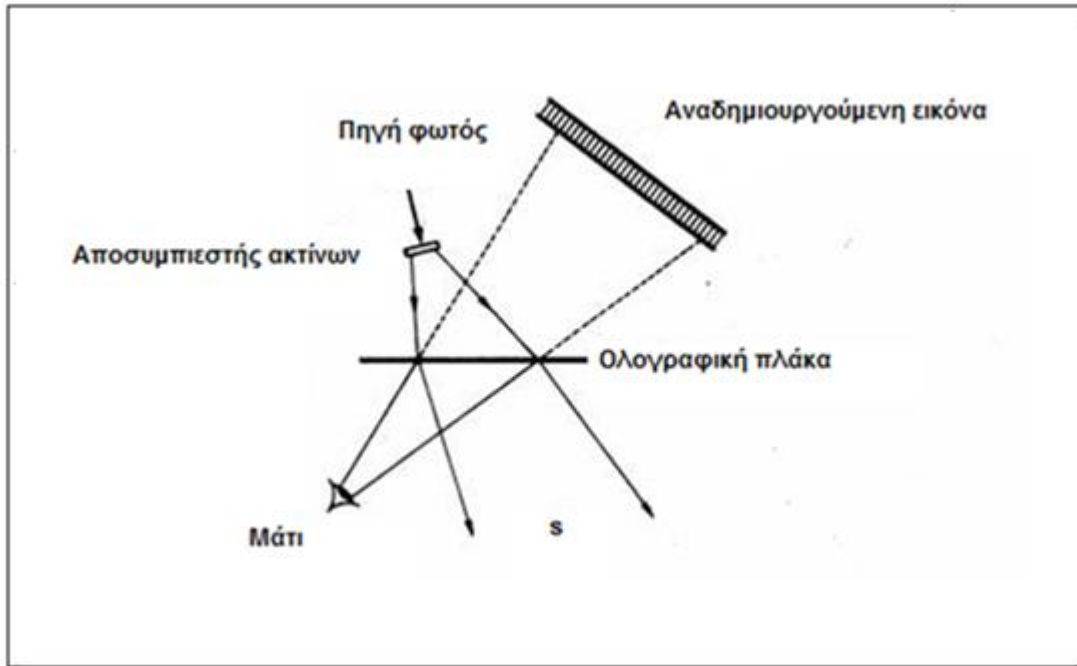
Στην ολογραφία χρησιμοποιούμε το Laser ώστε το φως να έχει σταθερή φάση. Το ανακλώμενο φως και ένα μέρος της αρχικής ακτίνας συναντώνται και συνδυάζονται έτσι ώστε η μεταβολές της φάσης να μετατραπούν σε μεταβολές έντασης και μαζί με το πλάτος να αποτυπωθούν

σε φιλμ (ολογράφημα)(εικόνα 1.8). Όταν περάσει ξανά η αρχική ακτίνα μέσα από το ολογράφημα διαθλάται και δημιουργεί μια 3-διάστατη εικόνα του αντικειμένου.

Όταν το αντικείμενο παραμένει στη θέση του η ξαναδημιουργούμενη εικόνα και το αντικείμενο συμπίπτουν ακριβώς (εικόνα 1.9). Αν όμως το αντικείμενο έχει μετακινηθεί ελάχιστα ή καταπονείται και έχει τοπικά παραμορφωθεί, τότε ο παρατηρητής βλέπει στην επιφάνεια κροσσούς συμβολής των οποίων το πλήθος και η απόσταση εξαρτώνται από τις μεταβολές στο αντικείμενο. Σε αυτό το φαινόμενο βασίζεται η ολογραφική συμβολομετρία.



**Εικόνα 1.8 :** Ολογραφία, δημιουργία ολογράμματος.



Εικόνα 1.9 : Ολογραφία, ανακατασκευή εικόνας.

#### 1.4.8 Οπτικός έλεγχος

Ο οπτικός έλεγχος χρησιμοποιείται για την εξέταση των επιφανειακών ατελειών και μπορεί να εφαρμοστεί σχεδόν σε όλα τα υλικά και τις κατασκευές. Ο οπτικός έλεγχος πραγματοποιείται είτε με το γυμνό μάτι είτε με όργανα όπως μικροσκόπιο, ενδοσκόπιο κ.α [Harris\_82].

##### *Οπτικός Έλεγχος με το Μάτι.*

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

### *Οπτικός Έλεγχος με Μικροσκόπιο*

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

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

### *Οπτικός Έλεγχος με Βιντεοσκόπηση*

Αγωγοί υγρών και αερίων, αποχετεύσεις και αγωγοί όμβριων υδάτων μπορούν να εξεταστούν οπτικά στο εσωτερικό τους με τη χρήση βιντεοκάμερας (εικόνα 1.10) η οποία εισάγεται και μετακινείται μέσα στον αγωγό. Με τον τρόπο αυτό ελέγχεται η κατάστασή τους χωρίς να χρειαστούν εκσκαφές ή διακοπή της παροχής.



**Εικόνα 1.10:** Η κάμερα με τους προβολείς και η οθόνη παρατήρησης.

#### 1.4.9 Ραδιογραφία με ακτίνες X ή Γ

Με τη μέθοδο της ραδιογραφίας χρησιμοποιείται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος, στη μορφή ακτίνων X ή Γ. Η μέθοδος βασίζεται στην διαφορετική απορρόφηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, λόγω των ιδιοτήτων και του πάχους του υλικού. Το ποσοστό απορρόφησης εξαρτάται κυρίως από το πάχος και την πυκνότητα του υπό έλεγχο αντικειμένου.

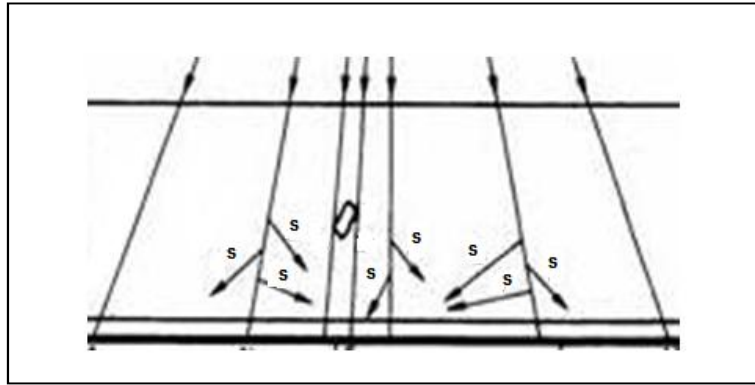
Η ακτινοβολία που δεν απορροφάται καταγράφεται είτε σε ειδικό φιλμ, είτε από ειδικούς αισθητήρες δείχνοντας έτσι τις περιοχές ύπαρξης βλάβης. Με τη χρήση της ραδιογραφίας είναι δυνατόν να καταγραφούν μικρορωγμές εφόσον βρίσκονται παράλληλα στην εκπεμπόμενη δέσμη, ενώ ανάλογα με το ποσοστό απορρόφησης μπορούν να βρεθούν κενά υλικού [London\_90, Cartz\_95].

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

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

Οι ακτίνες-Γάμα εκπέμπονται από ραδιενεργές πηγές σε παρόμοια μήκη κύματος, είναι και αυτές ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, έχουν τις ίδιες ιδιότητες με τις ακτίνες-X και χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανική ραδιογραφία. Οι ακτίνες-X και Γάμα ταξιδεύουν πάντα σε ευθείες γραμμές και δεν εστιάζονται γι' αυτό και η διάταξη λειτουργίας είναι πάντοτε: πηγή – εξεταζόμενο δείγμα– ραδιογραφική πλάκα.

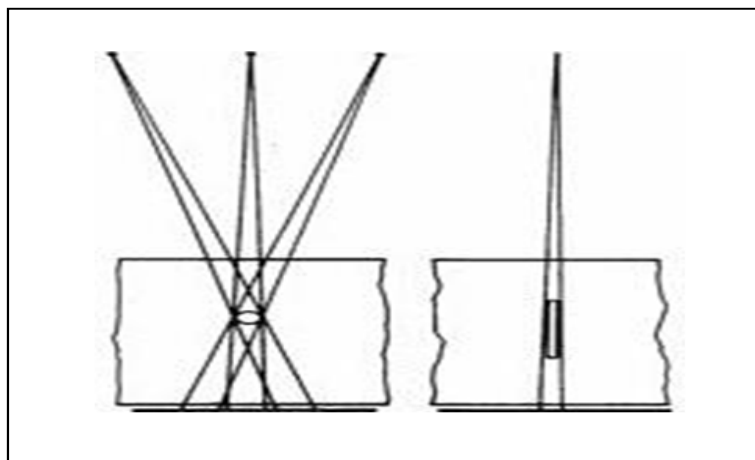




**Εικόνα 1.11 :** Ραδιογραφική απεικόνιση σε φιλμ.

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

Οι ραδιογραφικές μέθοδοι, όπως και όλες οι αποτυπώσεις σε φιλμ (εικόνα 1.11), αποτελούν την 2-διάστατη προβολή (εικόνα 1.12) 3-διάστατων αντικειμένων. Αυτό σημαίνει ότι το σχήμα που προκύπτει εξαρτάται από τη κατεύθυνση των ακτινών και την θέση του ελαττώματος στο υλικό. Για να μπορέσουμε να έχουμε δεδομένα σχετικά με τη 3η διάσταση απαιτούνται δυο αποτυπώσεις από διαφορετική γωνία για να δημιουργηθεί μια στερεοσκοπική εικόνα του υλικού.



**Εικόνα 1.12 :** Απλή (2-διάστατη) προβολή σε ραδιογραφία.

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

Για να μετρηθεί αυτή η ικανότητα της μεθόδου χρησιμοποιούνται κατάλληλοι δείκτες (εικόνα 1.13) πού είναι σύρματα ή ελάσματα, διαφορετικού πάχους και διαμέτρου, με συγκεκριμένη βαθμονόμηση και τυποποίηση. Η ραδιογραφίες αυτών των δεικτών μας δείχνει απ' ευθείας την ικανότητα κάθε μεθόδου ή συσκευής.



Εικόνα 1.13 : Δείκτες μέτρησης της ευαισθησίας των Ραδιογραφικών μεθόδων.

### *Οι Ιονίζουσες Ακτινοβολίες*

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

Οι ηλεκτρομαγνητικές αυτές ακτινοβολίες δεν είναι συνεχείς (θεωρία Planck) αλλά εκπέμπονται σε μικρά πακέτα ενέργειας που ονομάζονται φωτόνια ή κβάντα. Η ενέργεια ενός κβάντα μετριέται σε e V (electron- Volts). Η ενέργεια των ακτινών-Χ και των ακτινών-Γάμα εξαρτάται από το μήκος κύματος και αναφέρεται σε ke V και Me V.

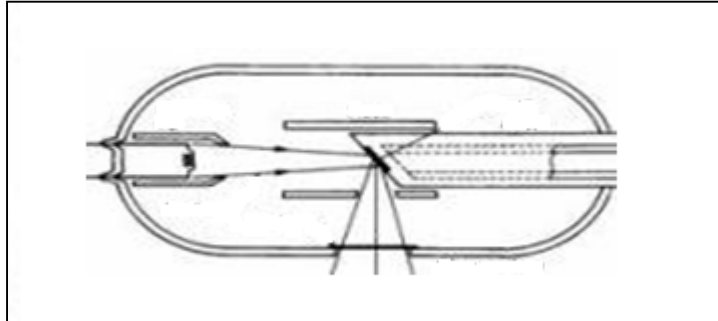
Σήμερα συνυπάρχουν ακόμα το παλιό με το μετρικό σύστημα μονάδων. Με το παλαιότερο σύστημα η ποσότητα ή «έκθεση» σε ακτινοβολία μετριέται σε mR, η μονάδα «αναρροφούμενης δόσης» είναι το rad, και η

μονάδα «ισοδύναμης αναρροφούμενης δόσης» το rem. Στο μετρικό σύστημα η «έκθεση» σε ακτινοβολία σαν ενέργεια που είναι μετριέται σε Coulomb/kg ( $1 \text{ C/kg} = 3876 \text{ R}$ ), η μονάδα «αναρροφούμενης δόσης» είναι το gray ( $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad}$ ), και η μονάδα «ισοδύναμης αναρροφούμενης δόσης» το sievert ( $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ ).

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

### *Πηγές Ακτίνων-Χ & Γάμα*

Οι ακτίνες-Χ δημιουργούνται όταν ηλεκτρόνια υψηλής ενέργειας χτυπούν ένα μεταλλικό αντικείμενο. Οι λυχνίες ακτίνων-Χ (εικόνα 1.14) περιέχουν τη κάθοδο που παράγει τα ηλεκτρόνια και την μεταλλική άνοδο στην οποία προσπίπτουν τοποθετημένες μέσα σε κενό αέρος και τροφοδοτούνται με υψηλή τάση (kV-MV).



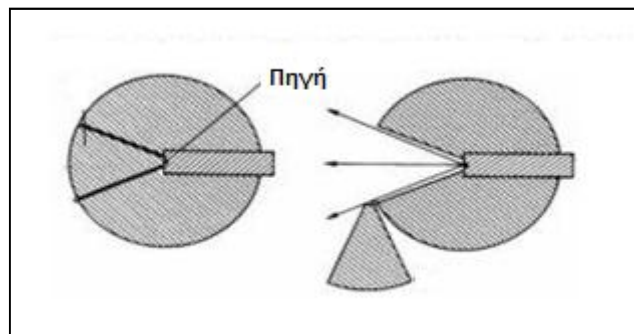
**Εικόνα 1.14 :** Λυχνία ακτίνων-Χ.

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

Μέχρι το 1955 χρησιμοποιούσαν φυσικές πηγές όπως το Ράδιο και το Ράδον τα οποία όμως ήταν επικίνδυνα και έχουν αντικατασταθεί σήμερα από ραδιοϊσότοπα όπως τα πλέον χρησιμοποιούμενα Cobalt-60, Iridium-192, ή,

Ytterbium-169 και τα λιγότερο διαδεδομένα Caesium-137, Thulium-170, ή, Sodium-24. Ο αριθμός που ακολουθεί το όνομα είναι η ατομική μάζα του ισότοπου. Τα τεχνητά ραδιοϊσότοπα κατασκευάζονται σε ατομικούς αντιδραστήρες ή εξάγονται από τα χρησιμοποιημένα πυρηνικά καύσιμα. Είναι σημαντικό να καταλάβουμε ότι όταν ένα τέτοιο υλικό αρχίσει να λειτουργεί δε μπορεί να σταματήσει ή να σβήσει. Το υλικό ακτινοβολεί συνέχεια μέχρι να εξαντληθεί. Τον ρυθμό εξάντλησης ενός ραδιενεργού υλικού τον μετράμε με το «χρόνο ημιζωής» που είναι ο χρόνος που απαιτείται για να μειωθεί στο μισό η ακτινοβολία του. Άλλα υλικά έχουν ημιζωή μερικές ώρες και άλλα μερικές εκατοντάδες χρόνια.

Οι πηγές ακτίνων-Γάμα απαιτούν αυστηρά προσεκτικό και ασφαλή χειρισμό. Αφού ενεργοποιηθούν σφραγίζονται σε ειδικές κάψουλες(εικόνα 1.15), οι κάψουλες περιβάλλονται από απορροφητικό υλικό, τηρούνται αποστάσεις ασφαλείας, και, όλες οι ενέργειες πρέπει να είναι σύντομες και ταχύτατες.



**Εικόνα 1.15 :** Κάψουλα φύλαξης ραδιενεργών πηγών.

### *Κίνδυνοι και Προφύλαξη*

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

Η κυριότερη αρχή που πρέπει να τηρείται είναι αυτή της ελάχιστης δυνατής έκθεσης. Οι οδηγίες προφύλαξης γίνονται όλο και πιο αυστηρές με τη

πάροδο του χρόνου καθώς διαπιστώνεται το πραγματικό επίπεδο βλάβης που μπορούν να προξενήσουν οι ιονίζουσες ακτινοβολίες ακόμη και σε χαμηλές δόσεις.

#### *Ψηφιακή Ραδιογραφία – Τομογραφία*

Η τομογραφία (εικόνα 1.16),(εικόνα 1.17) είναι ένα σύνολο από ραδιογραφίες που αποτυπώνονται ψηφιακά και τις επεξεργαζόμαστε με Η/Υ. Αντί του ραδιογραφικού φιλμ, κάθε ραδιογραφία αποτυπώνεται σαν ψηφιακή πληροφορία μετατρέποντας τη φωτεινότητα κάθε κόκκου του φιλμ σε bytes.

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



**Εικόνα 1.16** : Τομογραφία με περιστροφή της πηγής.



**Εικόνα 1.17** : Τομογραφία υλικού με ρωγμή.

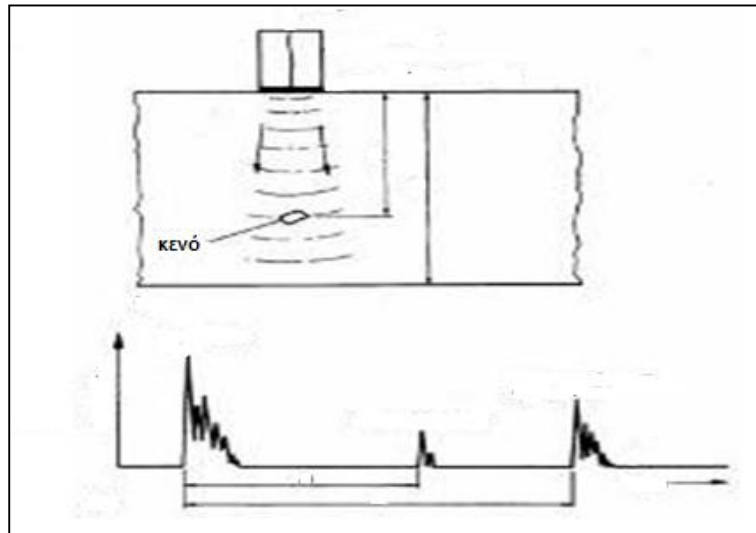
#### 1.4.10 Υπέρηχοι

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

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

##### *Αρχή Λειτουργίας*

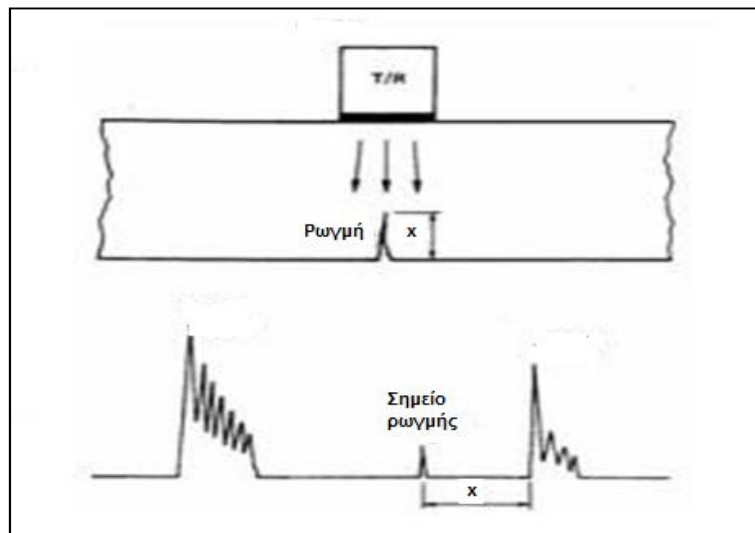
Η λειτουργία της μεθόδου(εικόνα 1.18) βασίζεται στην εκπομπή ενός παλμού υπερήχων μέσα στο υλικό και την καταγραφή των ανακλάσεων που επιστρέφουν. Ο παλμός υπερήχων δημιουργείται με την εφαρμογή ενός παλμού υψηλής τάσης σε ένα πιεζοηλεκτρικό δίσκο. Οι ανακλάσεις δονούν τον ίδιο ή άλλο πιεζοηλεκτρικό δίσκο ο οποίος τις μετατρέπει πάλι σε τάσεις. Κάθε επιφάνεια ανακλά μια ηχώ του παλμού, με πρώτη απ' όλες την επιφάνεια στην οποία εφάπτεται ο δίσκος και τελευταία την απέναντι επιφάνεια του υλικού. Ανάμεσα στις δύο ανακλάσεις θα βρίσκεται η ηχώ από οποιοδήποτε ατέλεια υπάρχει μέσα στο υλικό και με εύρος που εξαρτάται από το μέγεθος κάθε ατέλειας.



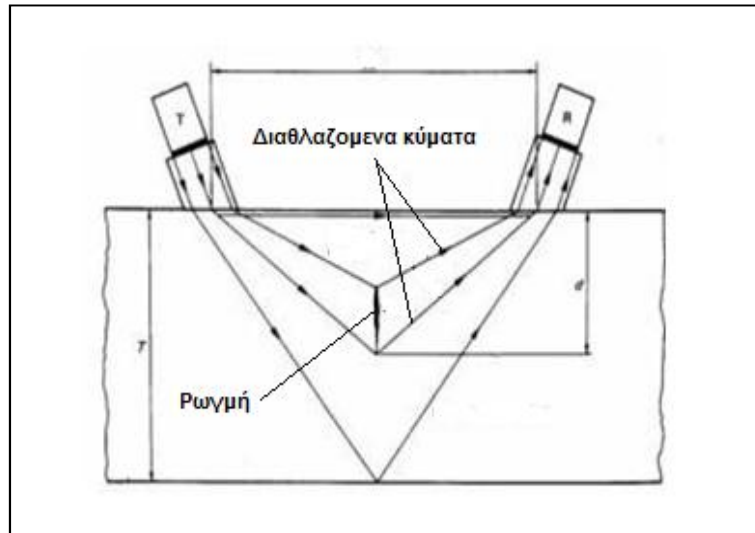
Εικόνα 1.18 : Αρχή λειτουργίας ελέγχου με υπερήχους.

### Χρόνος Περίθλασης

Μια παραλλαγή της κλασικής μεθόδου που μετρά το χρόνο ανάκλασης είναι η μέτρηση του χρόνου διάθλασης του παλμού υπερήχων. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί τα κύματα που διαθλούνται στα χείλη των ρωγμών (εικόνα 1.19),(εικόνα 1.20) και βάσει της γεωμετρίας του δοκιμίου και των θέσεων του πομπού και του δέκτη υπολογίζει το βάθος και μήκος των ατελειών



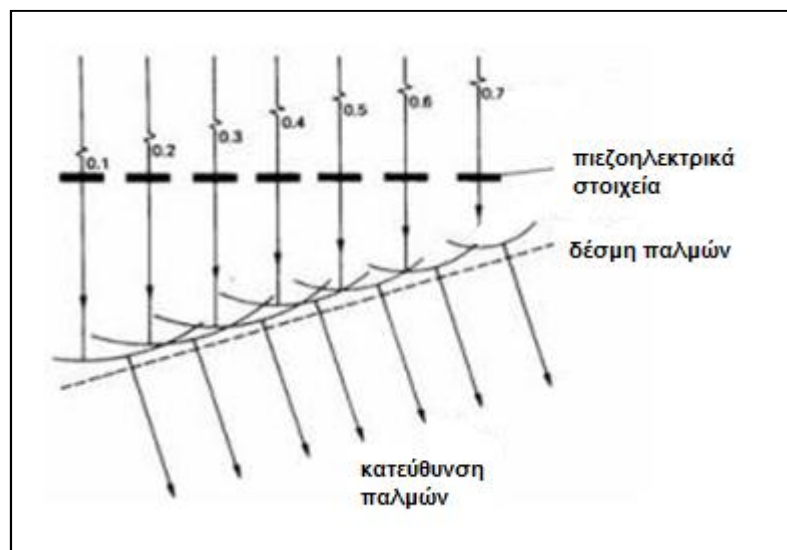
Εικόνα 1.19 : Μέτρηση βάθους ρωγμής (h).



Εικόνα 1.20 : Μέτρηση ρωγμής με την διάθλαση των υπερήχων (TOFD)

### Συστοιχία Φάσης με Υπερήχους

Οι σύγχρονες τεχνικές που είχαν επιτυχία σε παρόμοιους επιστημονικούς κλάδους, εφαρμόζονται και στις μεθόδους υπερήχων. Η συστοιχία φάσης (εικόνα 1.21), (εικόνα 1.22), γνωστή από τα ραντάρ και σόναρ, υλοποιείται και εδώ με μια συστοιχία από πιεζοηλεκτρικά στοιχεία και μας δίνει τη δυνατότητα να κατευθύνουμε τη δέσμη των παλμών με μεγάλη ακρίβεια χωρίς τη παρεμβολή μηχανικών ή άλλων μέσων.



Εικόνα 1.21 : Συστοιχία φάσης υπερήχων.





**Εικόνα 1.22** : Εικόνα μωρού από συστοιχία φάσης υπερήχων.

### *Περιστρεφόμενο Σύστημα για Αγωγούς*

Για την εφαρμογή των μεθόδων σε ειδικές κατασκευές έχουν αναπτυχθεί επί μέρους τεχνικές. Ειδικά για το εσωτερικό των αγωγών έχουν αναπτυχθεί συστήματα όπως το περιστρεφόμενο σύστημα ελέγχου (εικόνα 1.23) (IRIS) που τοποθετείται μέσα στον αγωγό και τον σαρώνει κυκλικά και κατά μήκος για τον εντοπισμό ρωγμών και διαβρώσεων.



**Εικόνα 1.23** : Περιστρεφόμενο σύστημα για αγωγούς (IRIS)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

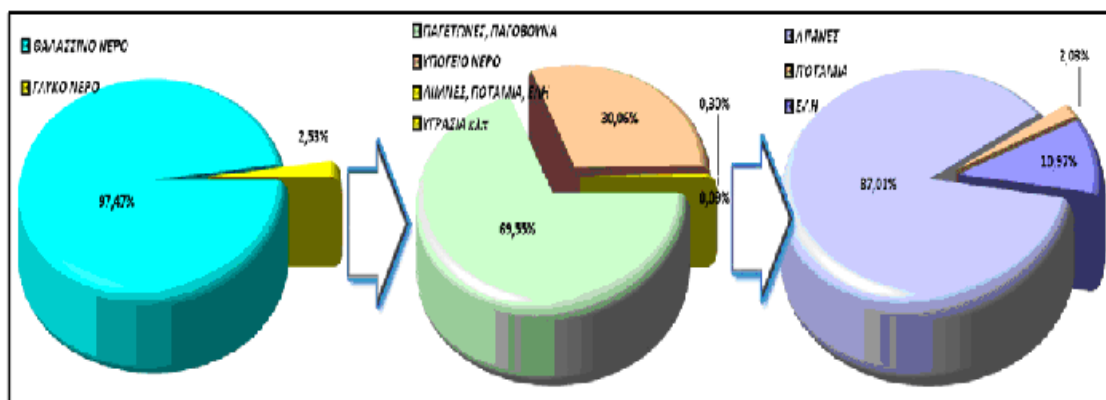
### ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

#### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το νερό μαζί με το οξυγόνο αποτελούν από τους πιο σημαντικούς και απαραίτητους παράγοντες για τη ζωή. Το νερό αποτελεί το φυσικό περιβάλλον διαβίωσης πολλών οργανισμών. ενώ έχει πολύ σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της επιφάνειας του πλανήτη συμβάλλοντας τα μέγιστα στη διάβρωση (χημική και μηχανική), στη μεταφορά των πετρωμάτων και στη δημιουργία νέων (ιζηματογένεση), στις μεταβολές του κλίματος καθώς και στη διάλυση των ρυπογόνων ουσιών. Χωρίς το νερό η ζωή δε θα υπήρχε τουλάχιστον με τη μορφή που τη ξέρουμε.

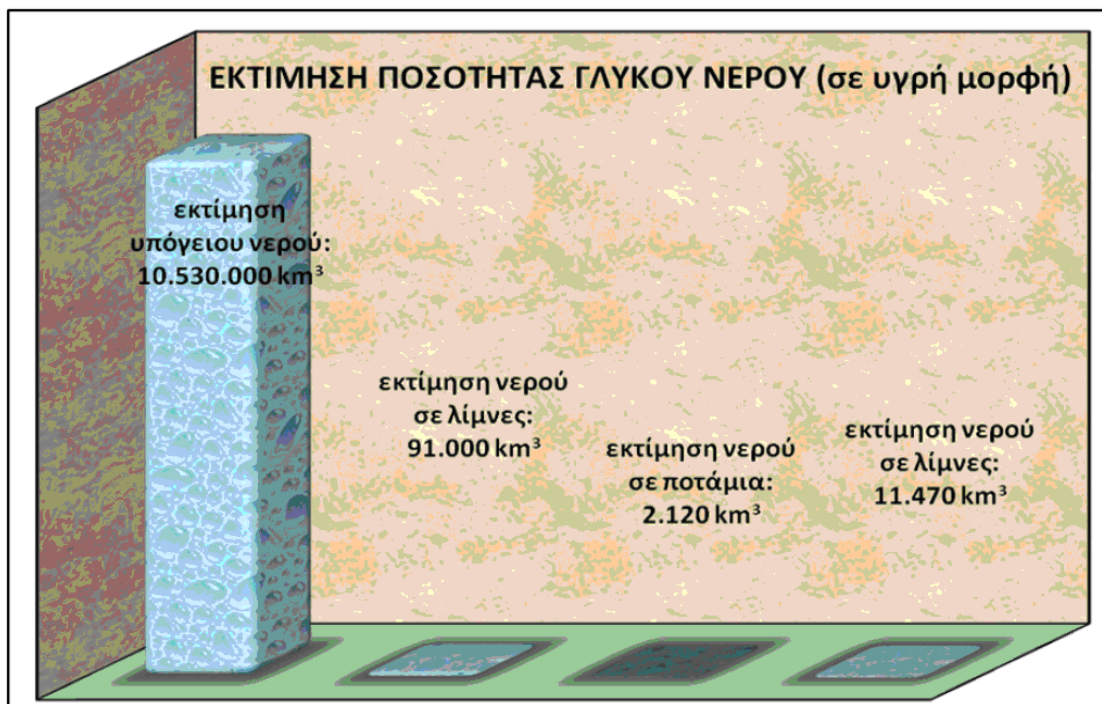
#### 2.2 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Από τις τεράστιες υγρές ποσότητες (θάλασσες, χιόνι, υδρατμοί κλπ) που κατακλύζουν τον πλανήτη μας το 97,46% αντιπροσωπεύει το θαλασσινό νερό (το οποίο είναι ακατάλληλο για τις περισσότερες χρήσεις), το 1,76% αποτελούν πάγοι, το 0,76% τα υπόγεια νερά, το 0,01% οι λίμνες και τα ποτάμια, ενώ το 0,01% υπάρχει στην ατμόσφαιρα σε μορφή υδρατμών. Το γλυκό νερό είναι μόλις το 2,53% της συνολικής ποσότητας, της υγρόσφαιρας και από αυτό μόνο το 0,77% είναι διαθέσιμο στον άνθρωπο (σχήμα 2.1)



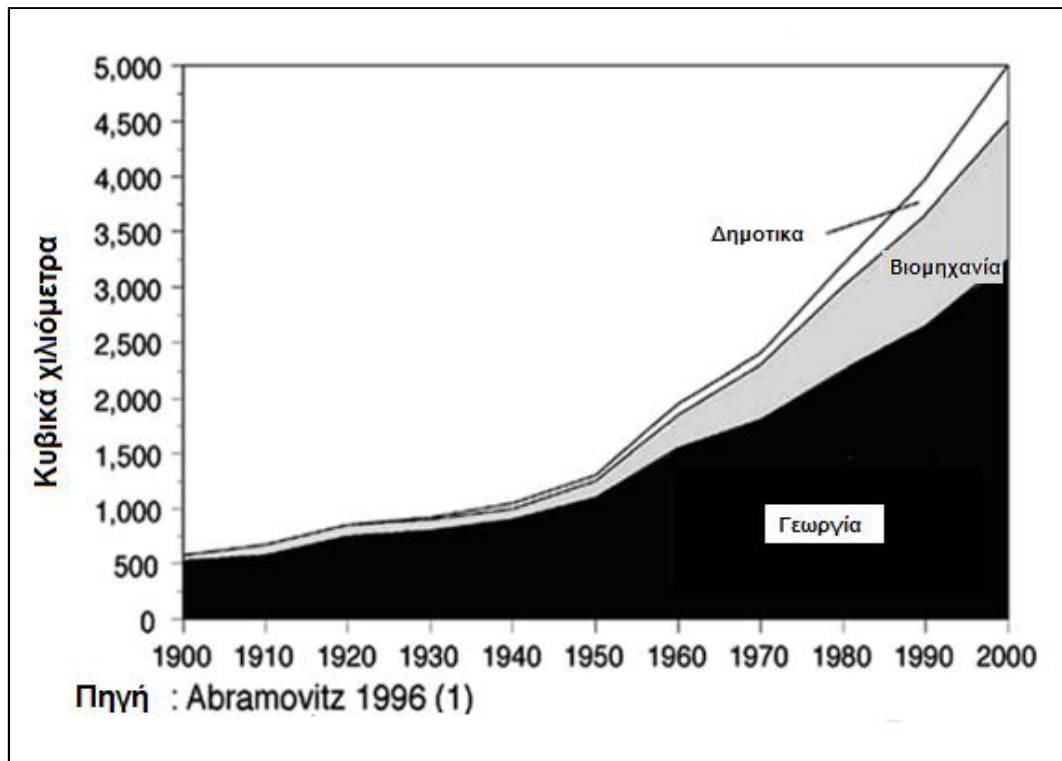
Σχήμα 2.1: Παγκόσμια κατανομή νερού

Ένα πολύ μικρό μέρος του συνολικού νερού παγκόσμια είναι γλυκό και μπορεί να διατεθεί άμεσα για ανθρώπινη χρήση (σχήμα 2.2). Το γλυκό νερό είναι ο πολυτιμότερος φυσικός πόρος με τεράστια ζωτική σημασία. Σήμερα μπορεί να χαρακτηριστεί ως βασικό και κοινό αγαθό σε ανεπάρκεια ενώ η χρήση του γίνεται όλο και πιο πολύ αναγκαία, είτε για την ικανοποίηση των κοινωνικών αναγκών, είτε για την διατήρηση των ισορροπιών του περιβάλλοντος. Το νερό, σε αντίθεση με άλλες σπάνιες και αναλώσιμες πηγές, χρησιμοποιείται για την κάλυψη όλων των αναγκών μιας κοινωνίας, από την βιολογία και την οικονομία μέχρι την αισθητική και πνευματική πρακτική. Η παγκόσμια κατανάλωση νερού αυξάνεται συνεχώς με μεγάλους ρυθμούς με αποτέλεσμα την τελευταία εκατονταετηρίδα να έχουν σχεδόν δεκαπλασιαστεί (από  $600 \times 10^9 \text{ m}^3$  το έτος 1900 σε  $5000 \times 10^9 \text{ m}^3$  το έτος 2000), γεγονός που σημαίνει ότι η αύξηση της ζήτησης του νερού είναι κατά μέσο όρο τρεις (3) φορές πιο γρήγορη από την αύξηση του πληθυσμού. Η αύξηση του πληθυσμού της γης δεν αρκεί από μόνη της να δικαιολογήσει εμφανιζόμενες μεγάλες ελλείψεις. Είναι η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, η αύξηση της αστικοποίησης και η στροφή σε υδροβόρες δραστηριότητες που ευθύνονται για τις λειψυδρίες.



Σχήμα 2.2: Εκτίμησης ποσότητας γλυκού νερού

Αυτήν την περίοδο οι άνθρωποι χρησιμοποιούν το 54% του συνολικού προσιτού και ανανεώσιμου και ανανεώσιμου γλυκού νερού που περιλαμβάνεται σε ποταμούς, λίμνες και ρηχούς υπόγειους υδροφορείς. Το πιο ανησυχητικό όμως είναι το γεγονός ότι το ποσοστό μπορεί να φτάσει στο 70% μέχρι το 2025, λαμβάνοντας υπόψη μόνο την αύξηση του πληθυσμού. Αν οι παγκόσμιες απαιτήσεις συνεχίσουν να αυξάνονται με το ρυθμό αυτό, οι άνθρωποι σε τριάντα μόνο χρόνια θα οικειοποιηθούν πάνω από το 90% όλου του διαθέσιμου νερού, με αποτέλεσμα όλο και λιγότερο νερό να απομένει για την διατήρηση της ποτάμιας ζωής, των λιμναίων οικοσυστημάτων και των υγροτόπων, από τα οποία εξαρτώνται τόσο ο άνθρωπος αλλά και η άγρια φύση.

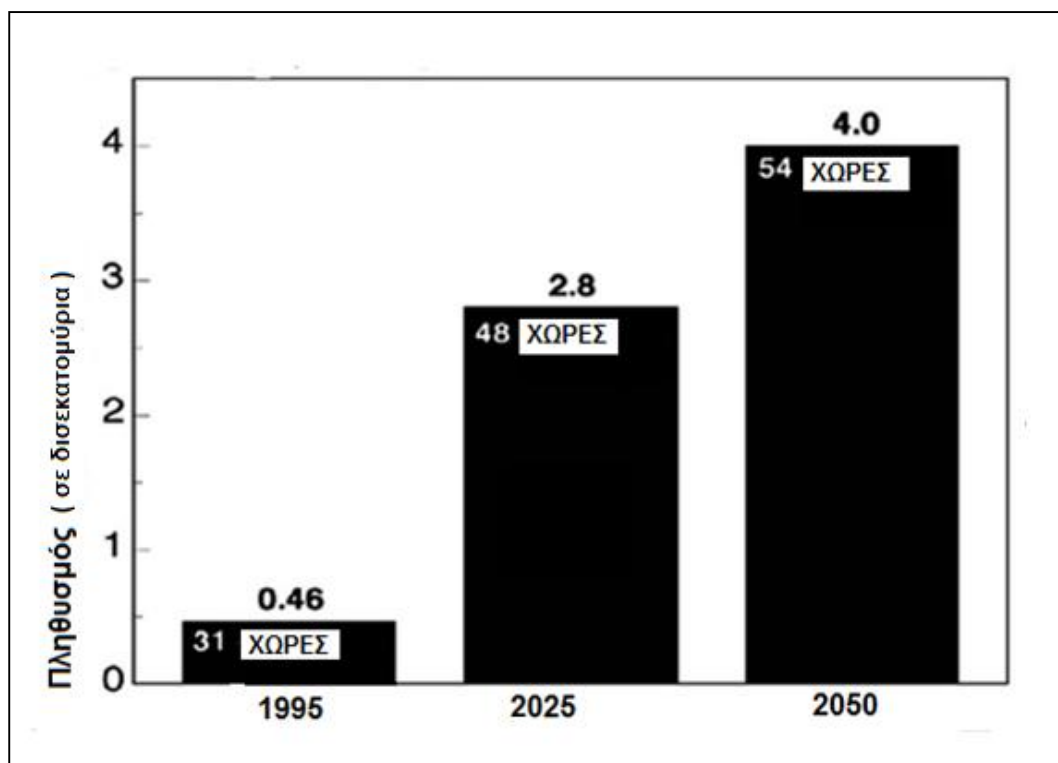


Σχήμα 2.3: Αύξηση χρήσης νερού.

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις, όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, οι απαιτήσεις σε νερό έχουν κατά μέσο όρο δεκαπλασιαστεί κατά τον εικοστό αιώνα(σχήμα 2.3), γεγονός που σημαίνει ότι η αύξηση της ζήτησης του νερού είναι κατά μέσο όρο 3 φορές πιο γρήγορη από την αύξηση του πληθυσμού. Από εδώ πηγάζει το πρόβλημα των αποθεμάτων του νερού. Σ' αυτό συμβάλουν, ακόμα η μεγάλη ανάπτυξη της βιομηχανίας και της γεωργίας

αφού έχουν σαν αποτέλεσμα αυξημένες απαιτήσεις για νερό, σε συνδυασμό με την αλόγιστη σπατάλη από τις διαρροές.

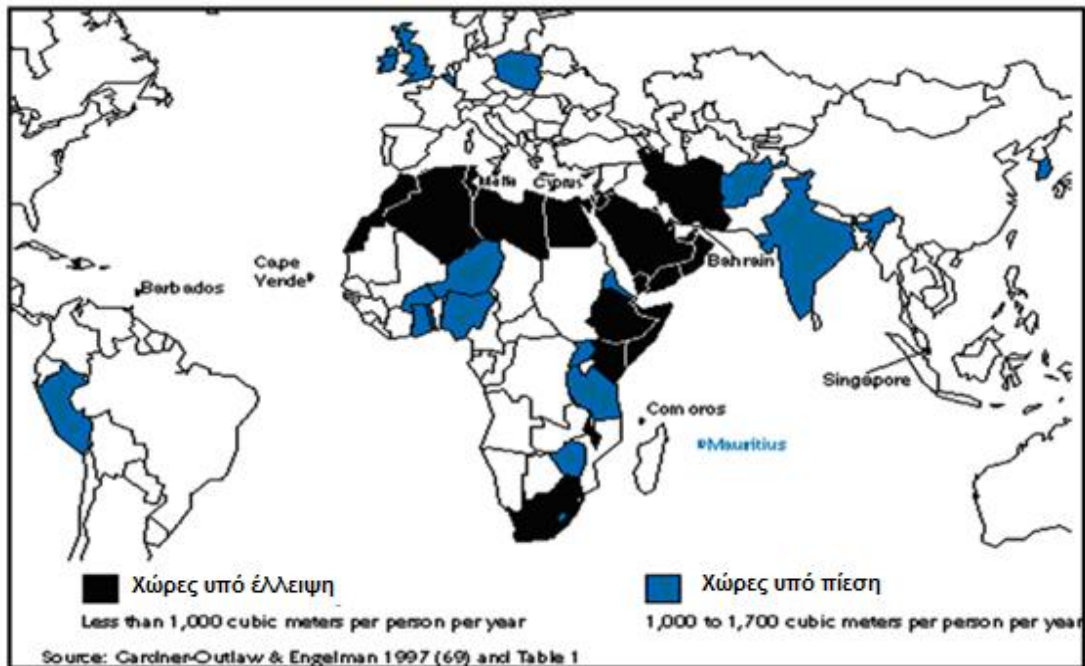
Μέχρι το 2025 περισσότεροι από 2,8 δισεκατομμύρια άνθρωποι θα ζουν σε 48 χώρες αντιμετωπίζοντας την πίεση ή την έλλειψη νερού. Από τις 48 αυτές χώρες, οι 40 είναι είτε στην Εγγύς Ανατολή και την βόρεια Αφρική είτε στην υποσαχάρια Αφρική. Μέχρι το 2050 ο αριθμός των χωρών που θα αντιμετωπίζει πίεση ή έλλειψη νερού θα ανέλθει στις 54 ενώ ο πληθυσμός τους θα ανέρχεται σε 4 δισεκατομμύρια κατοίκους (40% του παγκόσμιου πληθυσμού)(σχήμα 1.4).



**Σχήμα 2.4:** Πληθυσμός και χώρες υπό έλλειψη νερού και υπό πίεση νερού.

Είναι φανερό ότι όταν αυξάνεται ο πληθυσμός σε μια λεκάνη απορροής, λιγότερο γλυκό νερό θα είναι διαθέσιμο για κάθε άτομο. Έτσι, οι υδρολόγοι χρησιμοποιούν ένα εννοιολογικό πρότυπο για την παρακολούθηση της έλλειψη νερού στον κόσμο. Μια χώρα "αισθάνεται" την έλλειψη νερού όταν υπάρχουν λιγότερο από  $1000\text{m}^3$  ανανεώσιμου γλυκού νερού διαθέσιμου ανά άτομο το χρόνο, ενώ εάν η ανανεώσιμη διαθεσιμότητα γλυκού νερού είναι μεταξύ  $1000\text{m}^3$  και  $1700\text{m}^3$  ανά άτομο το χρόνο, η χώρα υφίσταται πίεση

νερού. Στην περίπτωση διαθεσιμότητας άνω των 1700m<sup>3</sup> νερού ανά άτομο θεωρείται ότι η χώρα έχει σχετική επάρκεια(σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.5: Χώρες με έλλειψη και υπό πίεση νερού.

Ο πίνακας 2.1 είναι μέρος της έρευνας του Πανεπιστημίου των ΗΠΑ John Hopkins και αναδεικνύει την αυξανόμενη έλλειψη νερού σε εκείνες τις περιοχές του πλανήτη με μικρά αποθέματα νερού σήμερα και στις οποίες θα παρουσιαστεί έλλειψη νερού μέχρι το 2025. Σύμφωνα με τον πίνακα 1 και τον ορισμό περί έλλειψης και πίεσης νερού, φαίνεται ότι περισσότεροι από 500 εκατομμύρια άνθρωποι ζουν αυτή την περίοδο σε 29 χώρες που υφίστανται πίεση ή έλλειψη νερού. Δεδομένου ότι ο πληθυσμός αυξάνεται, για τις ίδιες χώρες εκτιμάται ότι το 2025 θα ξεπεράσει τα 800 εκατομμύρια, θα υπάρξουν επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, την οικονομική ανάπτυξη, την παραγωγή τροφίμων και τα φυσικά οικοσυστήματα.

Πίνακας 2.1: Περιοχές του πλανήτη με μικρά αποθέματα νερού στις οποίες θα παρουσιαστεί έλλειψη νερού μέχρι το 2025.

χώρα	Πληθυσμός 1995 (εκατ.)	κ.κ.κ.* νερού 1995 (m <sup>3</sup> /έτος)	Πληθυσμός 2025 (εκατ.)	κ.κ.κ.* νερού 2025 (m <sup>3</sup> /έτος)	% ** μεταβολή πληθυσμού 2025-1995	% ** μεταβολή κ.κ.κ. νερού 2025-1995
Αλγερία	28,10	527	47,30	313	68,33	-40,61
Μπαχρέιν	0,60	161	0,90	104	50,00	-35,40
Μπαρμπάντος	0,30	192	0,30	169	0,00	-11,98
Μπουρούντι	6,10	594	12,30	292	101,64	-50,84
Πρ. Ακρωτήριο	0,40	777	0,70	442	75,00	-43,11
Κομόρες	0,60	1667	1,30	760	116,67	-54,41
Κύπρος	0,70	1208	1,00	947	42,86	-21,61
Αίγυπτος	62,10	936	95,80	607	54,27	-35,15
Αιθιοπία	56,40	1950	136,30	807	141,67	-58,62
Αϊτή	7,10	1544	12,50	879	76,06	-43,07
Ιράν	68,40	1719	128,30	916	87,57	-46,71
Ισραήλ	5,50	389	8,00	270	45,45	-30,59
Ιορδανία	5,40	318	11,90	144	120,37	-54,72
Κένυα	27,20	1112	50,20	602	84,56	-45,86
Κουβέιτ	1,70	95	2,90	55	70,59	-42,11
Λιβύη	5,40	111	12,90	47	138,89	-57,66
Μαλάουι	9,70	1933	20,40	917	110,31	-52,56
Μάλτα	0,40	82	0,40	71	0,00	-13,41
Μαρόκο	26,50	1131	39,90	751	50,57	-33,60
Ομάν	2,20	874	6,50	295	195,45	-66,25
Κατάρ	0,50	91	0,80	64	60,00	-29,67
Ρουάντα	5,20	1215	13,00	485	150,00	-60,08
Σαουδ. Αραβία	18,30	249	42,40	107	131,69	-57,03
Σγκαπούρη	3,30	180	4,20	142	27,27	-21,11
Σομαλία	9,50	1422	23,70	570	149,47	-59,92
Νότια Αφρική	41,50	1206	71,60	698	72,53	-42,12
Τυνησία	9,00	434	13,50	288	50,00	-33,64
Ε. Α. Εμιράτα	2,20	902	3,30	604	50,00	-33,04
Υεμένη	15,00	346	39,60	131	164,00	-62,14

Οι υπό πίεση νερού χώρες είναι εκείνες με ετήσιους υδατικούς πόρους μεταξύ 1000 και 1700 m<sup>3</sup>/άτομο και παρουσιάζονται με πλάγιους χαρακτήρες. Οι χώρες που υποφέρουν από έλλειψη νερού είναι εκείνες με ετήσιες προμήθειες μικρότερες από .000 m<sup>3</sup>/άτομο, που παρουσιάζονται με έντονο χαρακτήρα

\* κ.κ.κ. = κατά κεφαλήν κατανάλωση

\*\* οι δυο τελευταίες αυτές στήλες δεν περιέχονται στον αρχικό πίνακα

Η πίεση νερού προκαλεί την επιδείνωση των πόρων γλυκού νερού από την άποψη της ποσότητας (υπερεκμετάλλευση υδροφόρων στρωμάτων, ξηροί ποταμοί, κλπ) και της ποιότητας (ευτροφισμός, ρύπανση οργανικών ουσιών, υφαλμύρωση, κλπ).

Δεδομένου ότι ο πόρος λιγοστεύει, οι εντάσεις μεταξύ των διαφορετικών χρηστών μπορεί να αυξηθούν και σε εθνικό και σε διεθνικό επίπεδο. Πάνω από 260 λεκάνες ποταμών μοιράζονται από δύο ή περισσότερες χώρες. Ελλείψει ισχυρών θεσμών και συμφωνιών, οι αλλαγές μέσα σε μια λεκάνη απορροής μπορούν να οδηγήσουν σε διασυννοριακές εντάσεις. Όταν σημαντικά προγράμματα προχωρούν χωρίς περιφερειακή συνεργασία, μπορούν να γίνουν σημείο συγκρούσεων, αυξάνοντας την περιφερειακή αστάθεια (π.χ. Αράλη, Ιορδανία, Δούναβης κλπ).

Στο 4ο Παγκόσμιο Φόρουμ για το νερό, που έγινε στο Μεξικό, παρουσιάστηκε η έκθεση του αναπτυξιακού προγράμματος των ΗΠΑ με τίτλο World Water Development Report. Συμπεράσματα που προέκυψαν από την έκθεση αυτή είναι:

- Η ποιότητα του νερού αλλοιώνεται στις περισσότερες περιοχές, επηρεάζοντας την ποικιλία του γλυκού νερού και των οικοσυστημάτων.
- Η κακή ποιότητα του νερού είναι η αιτία – κλειδί για τη φτώχεια. Περίπου 3,1 εκατ. άνθρωποι πέθαναν μέσα στο 2002 από διάρροια και ελονοσία, το 90% των οποίων ήταν παιδιά.
- Ο κόσμος θα χρειαστεί 55% περισσότερο φαγητό έως το 2030, αυξάνοντας την ανάγκη για άρδευση η οποία υπολογίζεται ήδη ότι απορροφά το 70% του νερού που χρησιμοποιείται από ανθρώπους.
- Η διαφθορά υπολογίζεται ότι κοστίζει στον τομέα πολιτικής για το νερό εκατομμύρια δολάρια κάθε χρόνο και υπονομεύει τις υπηρεσίες.
- Πολλές περιοχές “χάνουν” 30 – 40% των υδατικών πόρων τους μέσω διαρροών.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΔΙΑΡΡΟΗ

#### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Με τον όρο Διαρροή “leak”, εννοείται μία οπή ή ένας πόρος στο τοίχωμα ενός κλειστού συστήματος μέσα από το οποίο μπορεί να διαφεύγει αέριο ή υγρό. Τις περισσότερες των περιπτώσεων οι διαρροές έχουν ακανόνιστα σχήματα και οι διαστάσεις τους δεν είναι δυνατόν να μετρηθούν.

Επομένως η διαρροή μπορεί να οριστεί, μετρώντας την ποσότητα του αερίου ή υγρού που διαφεύγει από αυτήν σε κάθε δευτερόλεπτο και να δοθεί μια τιμή σε  $\text{cm}^3 / \text{sec}$ . Έτσι δηλώνετε το πόσο σημαντική είναι η διαρροή. Ταυτόχρονα όμως, επειδή η ποσότητα αυτή έχει, άμεση σχέση με την πίεση στην οποία βρίσκεται το αέριο ή το υγρό, πρέπει να συνυπολογιστεί και η πίεση στον ορισμό. Οπότε συμπληρώνετε στον ορισμό η ποσότητα του αερίου ή υγρού που διαφεύγει από μία οπή / σχισμή, σε ορισμένη πίεση  $P$ . Η τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσεως, δηλ.  $P = 1000\text{mbar}$ , εφαρμόζεται για τον υπολογισμό της τιμής κάθε διαρροής. Συνεπώς λέγοντας ότι έχουμε διαρροή  $= 1 \text{ atm cm}^3 / \text{sec}$  εννοείτε ότι διαφεύγει, από το στεγανό μας σύστημα, ποσότητα αερίου ίση με  $1 \text{ cm}^3 / 1\text{sec}$  ή υγρού ίση με  $1 \text{ mbar l/sec}$  όταν  $P=1 \text{ atm}$ .

Τέλος, ακόμα πληρέστερος γίνεται ο ορισμός με την συνθήκη ότι η διαρροή του αερίου ή του υγρού γίνεται σε περιοχή « μοριακής ροής » δηλ. όταν η μία πλευρά του ελεγχόμενου τοιχώματος, βρίσκεται «υπό κενόν». Με την εφαρμογή της συνθήκης αυτής, η τιμή της διαρροής γίνεται πρακτικά, ανεξάρτητη από την πίεση στην οποία μετράται. Εδώ μπορεί να αναφερθεί ότι μεγάλη διαρροή αερίου ή υγρού, είναι αυτή των  $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mbar l/sec}$  και ότι αποδεκτές τιμές για κλειστά συστήματα αερίων ή υγρών, βρίσκονται στην περιοχή των  $1,0 \cdot 10^{-5} \dots 1,3 \cdot 10^{-7} \text{ mbar l/s}$

Ο πίνακας 3.1 δίνει την σχέση μεταξύ των διαφόρων μονάδων μέτρησης διαρροής.

Πίνακας 3.1: Μονάδες μέτρησης διαρροής

	Atm cm <sup>3</sup> /s	Pascal m <sup>3</sup> /s	mbar l/s	Torr l/s	Lusec
Atm cm <sup>3</sup> /s	1	0,1	1	0,76	760
Pascal m <sup>3</sup> /s	10	1	10	7,5	7500
mbar l/s	1	0,1	1	0,76	760
Torr l/s	1,3	0,13	1,3	1	1000
Lusec	1,3 10 <sup>-3</sup>	1,3 10 <sup>-4</sup>	1,3 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	1

### 3.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΡΟΗ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΟΥΣ ΣΩΛΗΝΕΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

Η διαρροή του νερού προκαλεί καταστροφικές συνέπειες στους υπόγειους σωλήνες παροχής νερού. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι:

1. Η απώλεια σημαντικών ποσοτήτων νερού.
2. Η μόλυνση του πόσιμου νερού.
3. Η κατανάλωση μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικού ρεύματος κατά τη λειτουργία των αντλιοστασίων.
4. Άνοιγμα ερευνητικών εκσκαφών και καταστροφή των οδοστρωμάτων.

#### 3.2.1 Απώλεια σημαντικών ποσοτήτων νερού

Η αλήθεια είναι ότι η παγκόσμια κατανάλωση νερού διπλασιάζεται κάθε 20 χρόνια. Το γεγονός αυτό πρέπει να αποδοθεί σε δύο κύριους παράγοντες. Ο πρώτος είναι η αύξηση του πληθυσμού και ο δεύτερος, η βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης, που προϋποθέτει αύξηση της υδατικής καταναλώσεως, καθώς η τελευταία αποτελεί έναν από τους βασικούς δείκτες του επιπέδου αναπτύξεως.

Σε αυτά, το 15% της συνολικής κατανάλωσης, ανήκει σε διαρροές. Επομένως αντιλαμβανόμαστε όλοι πόσο σημαντική είναι η εξοικονόμηση του

νερού για την ανάπτυξη και την πρόοδό μας. Όσον αφορά τα δίκτυα ύδρευσης, είναι γνωστό ότι οι απώλειες νερού σε διάφορα τμήματα, πεπαλαιωμένων ιδίως δικτύων, αντιστοιχούν πολλές φορές σε ένα σημαντικό ποσοστό της μεταφερόμενης παροχής. Στη χώρα μας όπου δεν εφαρμόζεται προληπτική σάρωση των δικτύων, πολλές υπηρεσίες ύδρευσης και αποχέτευσης θεωρούν ένα ικανοποιητικό ποσοστό απωλειών νερού από διαρροές της τάξης του 30 έως 40%. Σε προηγμένες ευρωπαϊκές χώρες ποσοστό απωλειών σε δίκτυα ύδρευσης που υπερβαίνει το 15% θεωρείται ανεπίτρεπτο. Η μη έγκαιρη αντιμετώπιση του προβλήματος, ιδιαίτερα σε περιοχές που εμφανίζουν ανεπάρκεια υδατικών πόρων, όπως μεγάλο μέρος της ηπειρωτικής και το σύνολο σχεδόν της νησιωτικής Ελλάδας, οδηγεί σε μία σημαντική σπατάλη νερού με τραγικές συνέπειες.

### **3.2.2 Μόλυνση του πόσιμου νερού**

Κατά την διάρκεια της διαρροής και μέχρι αυτή να γίνει αντιληπτή από τους τεχνικούς της υπηρεσίας παροχής νερού, παθογόνοι μικροοργανισμοί που ζουν στα υποστρώματα εισχωρούν στο νερό. Οι μικροοργανισμοί αυτοί είναι ικανοί να μολύνουν ή να μεταφέρουν ασθένειες. Πολλά είδη παθογόνων οργανισμών επιβιώνουν στο νερό και διατηρούν τις μολυσματικές ιδιότητές τους για μεγάλες χρονικές περιόδους. Περιλαμβάνουν είδη όπως τα βακτήρια, τους ιούς, τα πρωτόζωα κ.ά. Τέλος είναι εύκολα αντιληπτό πως οι καταναλωτές διατρέχουν και αυτοί με την σειρά τους μεγάλο κίνδυνο αφού το πόσιμο νερό που καταναλώνουν είναι μολυσμένο.

### **3.2.3 Κατανάλωση μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικού ρεύματος κατά τη λειτουργία των αντλιοστασίων.**

Η ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζονται τα αντλιοστάσια των επιχειρήσεων ύδρευσης και αποχέτευσης σε περίπτωση διαρροής αυξάνεται. Το ηλεκτρικό ρεύμα καταναλώνεται άσκοπα, και έως ότου αντικατασταθεί το κατεστραμμένο τμήμα του δικτύου και χρεώνεται εξολοκλήρου στην υπηρεσία παροχής νερού. Τέλος οι καταναλωτές ταλαιπωρούνται αφάνταστα αφού κατά την χρονική διάρκεια της βλάβης και της αντικατάστασης του δικτύου δεν τους παρέχεται νερό, που όπως γνωρίζουμε όλοι αυτό είναι είδος πρώτης ανάγκης.

### 3.2.4 Άνοιγμα ερευνητικών εκσκαφών και καταστροφή των οδοστρωμάτων

Η αντικατάσταση του κατεστραμμένου δικτύου παροχής νερού απαιτεί την καταστροφή μεγάλων τμημάτων οδοστρώματος. Στις περιπτώσεις διαρροής νερού σε υπόγειους σωλήνες παροχής νερού είναι αναγκαίο να γίνουν κατά μήκος του δρόμου αρκετές ερευνητικές εκσκαφές (εικόνα 3.1) που θα βοηθήσουν στον ακριβή εντοπισμό της βλάβης του δικτύου. Επίσης είναι πολύ πιθανό με την πίεση που εκτοξεύεται το νερό (εικόνα 3.2) να υπάρξει μετακίνηση του υπεδάφους και του οδοστρώματος. Επομένως δημιουργούνται πολλά προβλήματα στην οδική κυκλοφορία.



Εικόνα 3.1: Ερευνητική εκσκαφή εντοπισμού διαρροής.



Εικόνα 3.2: Νερό που εκτοξεύεται υπό πίεση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΑΡΡΟΩΝ

#### 4.1 ΠΙΘΑΝΕΣ ΑΙΤΙΕΣ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΟΥΣ ΣΩΛΗΝΕΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ.

Οι πιθανότερες αιτίες που προκαλούν διαρροή στους υπόγειους σωλήνες παροχής νερού οφείλονται κυρίως στους παρακάτω λόγους :

- διάβρωση πετρωμάτων κυρίως δικτύων,
- σε ελαττωματικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εγκατάσταση, σε υπερβολική πίεση του δικτύου,
- σε μετακίνηση του υπεδάφους λόγω ξηρασίας,
- σε κακή εγκατάσταση από τους τεχνικούς,
- στις πολλές μεταξύ των αγωγών συνδέσεις,
- σε κραδασμούς από την οδική κυκλοφορία και τα υπερβολικά φορτία,
- κακή συντήρηση.

#### 4.2 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΤΡΙΩΝ ΣΤΑΔΙΩΝ.

Για τη μέγιστη δυνατή απόδοση ενός προγράμματος ελέγχου διαρροών ΚΕ ή ΜΚΕ εφαρμόζεται συνήθως μια στρατηγική τριών σταδίων, χρησιμοποιώντας σε κάθε στάδιο τον προβλεπόμενο εξοπλισμό:

1. Προεκτίμηση απωλειών νερού ή προσδιορισμός γενικής περιοχής - τομέα διαρροής.
2. Ακριβής προσδιορισμός σημείου διαρροής – Εντοπισμός.
3. Επιβεβαίωση διαρροής και αποκατάσταση βλάβης.

##### 4.2.1 Προεκτίμηση απωλειών νερού ή προσδιορισμός γενικής περιοχής - τομέα διαρροής.

Κατά το πρώτο στάδιο η περιοχή που εξυπηρετεί το δίκτυο χωρίζεται σε τμήματα – ζώνες, στα οποία μετράται σε συνεχή χρόνο η διερχόμενη παροχή

με εγκατάσταση ροόμετρων για ποσοτική εκτίμηση πιθανών απωλειών. Οι απώλειες νερού στα δίκτυα κατηγοριοποιούνται ως εξής:

#### *Χαμηλές Απώλειες*

Εκφρασμένες ως ποσοστό του όγκου εισαγωγής, οι ελάχιστες απώλειες εμπίπτουν κατά προσέγγιση σε ποσοστό λιγότερο από 8%, ανεξάρτητα από τη δομή του ανεφοδιασμού. Στα συστήματα σωληνώσεων τα χαμηλά πραγματικά επίπεδα απώλειας νερού μπορούν να εμφανιστούν, ακόμα και όταν είναι σε καλή κατάσταση το σύστημα. Γενικά, οι ελάχιστες απώλειες αυτού του είδους δεν μπορούν να μειωθούν περαιτέρω.

#### *Μέσες Απώλειες*

Η συγκεκριμένη κατηγορία απωλειών νερού καθιερώνεται σε ένα σύστημα σωληνώσεων που πρέπει τουλάχιστον να είναι μέσα σε αυτήν την κατηγορία, δηλ. να μην υπερβούν δύο φορές το ελάχιστο ποσοστό απώλειας. Εκφρασμένες ως ποσοστό του όγκου εισαγωγής, τέτοιες μέσες απώλειες εμπίπτουν κατά προσέγγιση σε ποσοστό λιγότερο από 8% έως λιγότερο από 15%.

#### *Υψηλές Απώλειες*

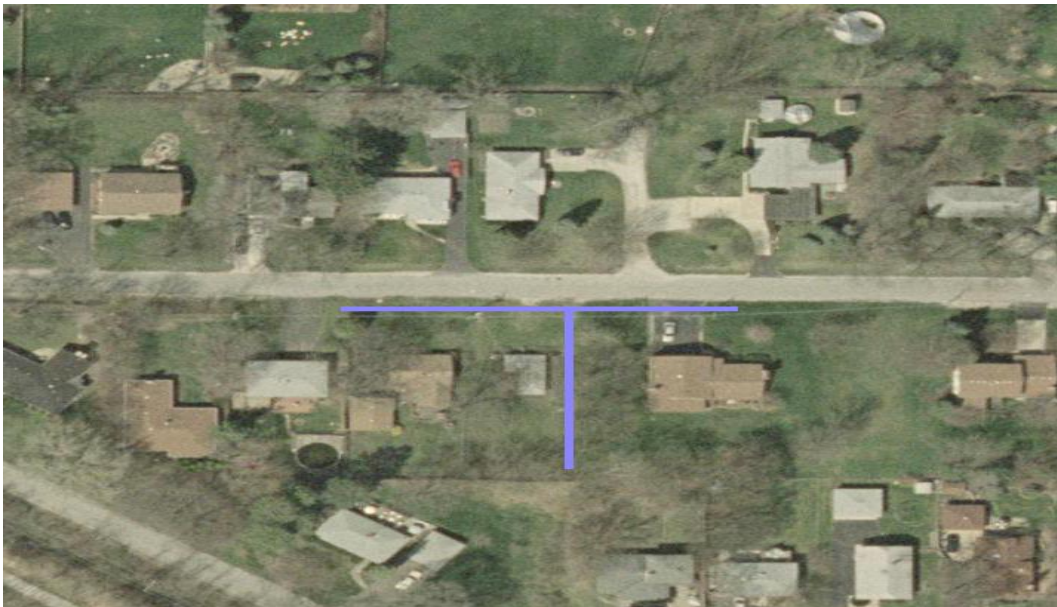
Οι συγκεκριμένες απώλειες νερού απαιτούν σε αυτό το επίπεδο τη πρόσθετη δράση για να μειωθούν. Εκφρασμένες ως ποσοστό του όγκου εισαγωγής, τέτοιες υψηλές απώλειες εμπίπτουν κατά προσέγγιση σε ποσοστό πάνω από 15%.

Ο στόχος αυτού του σταδίου είναι να εντοπιστούν οι ύποπτες ζώνες υψηλών απωλειών και εάν είναι εφικτό, τα ύποπτα για διαρροή τμήματα αγωγών. Ενδεικτικοί παράγοντες πιθανών διαρροών μπορεί να είναι μία ανεξήγητη αύξηση της κατανάλωσης ή της ελάχιστης διερχόμενης παροχής σε κάποιο τμήμα του δικτύου. Άλλοι παράγοντες που προδίδουν την ύπαρξη διαρροών είναι η πτώση πίεσης, η εμφάνιση νερού στην επιφάνεια του

εδάφους ή ο θόρυβος που προκαλείται στο σημείο της διαρροής στην περίπτωση που αυτός γίνεται αντιληπτός από το ανθρώπινο αυτί, (μεταλλικός αγωγός, περιορισμένη θραύση και υψηλή πίεση λειτουργίας).

#### 4.2.2 Ακριβής προσδιορισμός σημείου διαρροής – Εντοπισμός.

Στο δεύτερο αυτό στάδιο εντοπίζονται (εικόνα 4.1) (εικόνα 4.2) και απομονώνονται τα ύποπτα τμήματα των αγωγών του δικτύου και εφαρμόζονται σε αυτά οι διάφορες τεχνικές ανίχνευσης διαρροών ΚΕ ή ΜΚΕ για τον ακριβή εντοπισμό του σημείου διαρροής.



Εικόνα 4.1 : Προσδιορισμός σημείου διαρροής εικόνα από δορυφόρο.



Εικόνα 4.2 : Προσδιορισμός σημείου διαρροής τοπογραφικό διάγραμμα.

#### 4.2.3 Επιβεβαίωση διαρροής και αποκατάσταση βλάβης.

Στο τρίτο και βασικότερο στάδιο οι τεχνικοί της εταιρίας ύδρευσης και αποχέτευσης, ύστερα από τον ακριβή εντοπισμό του σημείου διαρροής (εικόνα 4.3), αποκαθιστούν την βλάβη (εικόνα 4.4) και επαναφέρουν το δίκτυο ύδρευσης στην υπηρεσία των καταναλωτών.



**Εικόνα 4.3 :** Ακριβής προσδιορισμός σημείου διαρροής



**Εικόνα 4.4 :** Αποκατάσταση βλάβης



### **4.3 ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΟΥΣ ΣΩΛΗΝΕΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ.**

Στη χώρα μας οι υπηρεσίες ύδρευσης και αποχέτευσης δεν εφαρμόζουν προληπτική σάρωση του δικτύου με κάποια από τις σύγχρονες μεθόδους ΜΚΕ. Επίσης οι τεχνικοί δεν είναι ενήμεροι για τις νέες μεθόδους ανίχνευσης διαρροών νερού σε υπόγειους σωλήνες και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται κατά κόρον ένας συνδυασμός μεθόδων ΚΕ και ΜΚΕ. Η συμβατική μέθοδος ΚΕ. «ερευνητικών εκσκαφών» αλλά και άλλες τεχνικές ΜΚΕ που όμως δεν έχουν τη μέγιστη απόδοση, την αναμενόμενη αποτελεσματικότητα και ακρίβεια, περιγράφονται παρακάτω.

#### **4.3.1 Άνοιγμα ερευνητικών εκσκαφών.**

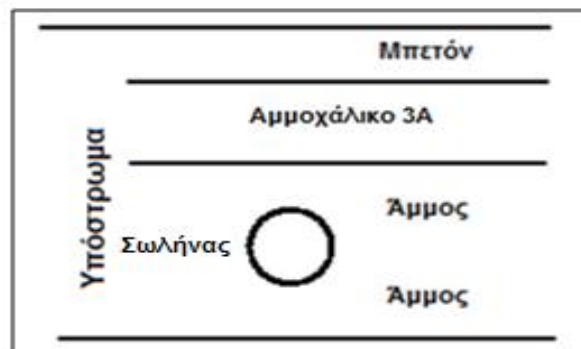
Οι τεχνικοί της υπηρεσίας ύδρευσης και αποχέτευσης ,κατά την διάρκεια του καθημερινού ελέγχου του δικτύου, και εφόσον αντιληφθούν στην επιφάνεια του οδοστρώματος λιμνάζοντα ύδατα (το νερό που απελευθερώνεται δημιουργεί πόρους με αποτέλεσμα να βρίσκει διέξοδο προς τα πάνω ), μετακίνηση του εδάφους ή ακούσουν θόρυβο λόγω της πίεσης που εκτοξεύεται το νερό, γεγονός εξαιρετικά σπάνιο, πιθανολογούν πως σε απόσταση μερικών μέτρων από αυτό το σημείο, υπάρχει διαρροή νερού από το δίκτυο. Αρχικά σταματούν τη διερχόμενη παροχή, απομονώνουν την περιοχή με διακριτικά τηρώντας όλες τις προδιαγραφές για την αποφυγή ατυχημάτων και ύστερα χρησιμοποιώντας ασφαλτοκόπτη, μηχανήματα εκσκαφής αλλά και αρκετό ανθρώπινο δυναμικό προχωρούν σε άνοιγμα ερευνητικών εκσκαφών πολλών μέτρων (εικόνα 4.5) έως ότου διαπιστωθεί το ακριβές σημείο της διαρροής. Στο τελευταίο στάδιο αποκαθιστούν το κατεστραμμένο κομμάτι του δικτύου με νέους σωλήνες, κατά κύριο λόγο πλαστικούς (PVC ή πολυαιθυλένιο), τα οποία παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλα υλικά, ειδικά για τα δίκτυα διανομής δηλαδή, μεγαλύτερη αντοχή στην υψηλή πίεση και στα μεγάλα φορτία,

ανθεκτικότητα στο πέρασμα του χρόνου και εξασφάλιση της ποιότητας του νερού.



**Εικόνα 4.5 :** Αποκατάσταση βλάβης

Αξίζει να σημειωθεί πως η μέθοδος αυτή αντιμετώπισης της βλάβης στο κατεστραμμένο δίκτυο, αποτελεί διαδικασία ιδιαίτερα χρονοβόρα και έχει ως αποτέλεσμα απώλειας μεγάλης ποσότητας νερού. Επιπλέον απαιτεί συντονισμένες προσπάθειες από ένα μεγάλο μέρος του ανθρώπινου δυναμικού της επιχείρησης ύδρευσης και αποχέτευσης για να επιδιορθωθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα Τέλος θεωρείτε μέθοδος ιδιαίτερα ασύμφορη και από οικονομικής απόψεως αφού πρέπει να καταστραφούν και να αντικατασταθούν μεγάλα κομμάτια υποστρώματος (σχήμα 4.6) (μπετόν, αμμοχάλικο 3<sup>Α</sup>, άμμος) και οδοστρώματος (άσφαλτος) έως ότου διαπιστωθεί το ακριβές σημείο της διαρροής και αποκατασταθεί η βλάβη.



**Σχήμα 4.6 :** Υπόστρωμα

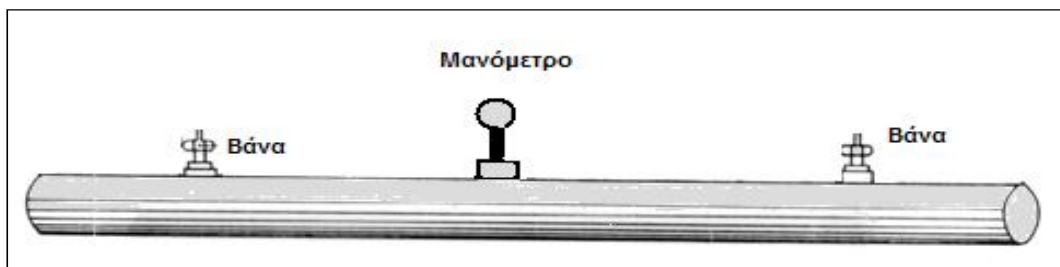
#### 4.3.2. Μέτρηση πτώσης της τιμής της πίεσης

Η τεχνική αυτή είναι ένας συνδυασμός ΚΕ και ΜΚΕ και εφαρμόζεται όπως και η προηγούμενη στις περιπτώσεις των διαρροών που γίνονται εύκολα αντιληπτές από τους τεχνικούς της υπηρεσίες ύδρευσης και αποχέτευσης.

Σε αυτήν την περίπτωση απομονώνονται τα προς ανίχνευση κομμάτια του δικτύου με βάνες ενώ είναι πλήρως γεμάτα με νερό. Έπειτα τοποθετούνται μανόμετρα και μετράται η πίεση που συνήθως είναι κοντά στις 3-5 atm (εικόνα 4.7). Ύστερα ανά τακτά χρονικά διαστήματα ελέγχονται τα μανόμετρα. Εάν υπάρχει πτώση πίεσης στα απομονωμένα κομμάτια δικτύου τότε είναι προφανές πως εκεί υπάρχει η διαρροή.

Η διαδικασία αυτή επιβεβαιώνει απλώς την ύπαρξη διαρροής κάπου στο δείγμα ενώ είναι αρκετά δαπανηρή και απαιτεί αυξημένο αριθμό ανθρώπινου δυναμικού ώστε να μην είναι χρονοβόρα και έχουμε άσκοπη σπατάλη νερού.

Θα μπορούσε βέβαια σε κομμάτια του δικτύου που θεωρούνται ευάλωτα να είχαν τοποθετηθεί προληπτικά καταγραφικά πίεσης ώστε η διαδικασία να έχει γρηγορότερη απόκριση και μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Όμως δυστυχώς στην χώρα μας δεν εφαρμόζονται τεχνικές που αξιοποιούν την εξέλιξη της τεχνολογίας. Παρακάτω παραθέεται ένα μοντέλο καταγραφικό πίεσης που κυκλοφορεί στην αγορά με τις εφαρμογές και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του. (Παράρτημα Α)



**Εικόνα 4.7 :** Μέτρηση πίεσης με μανόμετρο σε απομονωμένο κομμάτι δικτύου

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### **ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΟΥΣ ΣΩΛΗΝΕΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ.**

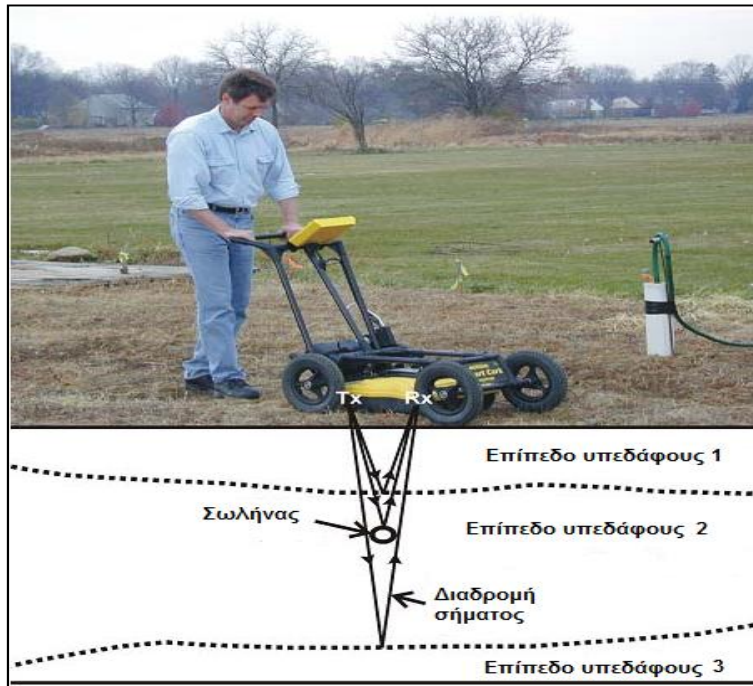
Σε ορισμένες περιπτώσεις οι συμβατικές μέθοδοι ανίχνευσης διαρροών δεν μπορούν να έχουν ισχύ αφού στην στρατηγική ελέγχου και κατά το δεύτερο στάδιο αυτής δεν μπορεί για διάφορες αιτίες να γίνει ακριβής εντοπισμός του σημείου της διαρροής. Στις περιπτώσεις λοιπόν που δεν μπορεί να γίνει ακριβής εντοπισμός της διαρροής, υπάρχουν διαθέσιμες μέθοδοι ΜΚΕ νέων τεχνολογιών ανίχνευσης διαρροών, για υπόγειους σωλήνες ύδρευσης, με ταχεία απόδοση και μικρότερο κόστος.

#### **5.1 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΟΥΣ ΣΩΛΗΝΕΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ-ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ.**

Το σύστημα του ραντάρ επίγειας διείσδυσης (GPR) είναι βασισμένο στην παραγωγή Ultra Wide Band (UWB) και την παραλαβή απεικονισμένων σημάτων. Το ραντάρ επίγειας διείσδυσης πρωτοεμφανίστηκε και χρησιμοποιήθηκε σε στρατιωτικές εφαρμογές όπως ανίχνευση ναρκών ξηράς. Λόγω της γήρανσης των υπόγειων σωλήνων ύδρευσης σε πολλές μεγάλες πόλεις εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), το σύστημα ραντάρ επίγειας διείσδυσης απέκτησε επίσης εφαρμογή στην ανίχνευση των διαρροών. Το κόστος αποκατάστασης λόγω γήρανσης σε αυτά τα συστήματα σωληνώσεων νερού, εάν επιδεινωθεί πέρα από μια κατάσταση επισκευάσιμη είναι απαγορευτικό. Γι' αυτό μια πρακτικότερη εναλλακτική λύση είναι η ανίχνευση των διαρροών στην υποδομή προτού να εμφανιστεί σημαντικότερη ζημιά, προκειμένου να εκτελεστούν οι επισκευές και να αποκατασταθεί το σύστημα. Για αυτό τον λόγο, ένα σύστημα ραντάρ επίγειας διείσδυσης είναι ελκυστικό για τον έλεγχο και την ανίχνευση των προβλημάτων στους υπόγειους σωλήνες ύδρευσης.

Το σύστημα είναι σε θέση να εντοπίσει τους υδροσωλήνες διαφορετικών διαστάσεων, να ανιχνεύσει τις διαρροές και να παρέχει υψηλής ευκρίνειας εικόνες των ελαττωματικών περιοχών. Έχει βάθος επίγειας διείσδυσης 2m, και η απεικόνιση του σημείου διαρροής στον ελαττωματικό σωλήνα έχει απόκλιση 5 εκατοστά ή λιγότερο. Ο χρόνος να εκτελεσθεί μια έρευνα, δηλαδή, να ολοκληρώσει την ανίχνευση και την απεικόνιση ενός τμήματος υδροσωλήνα το ραντάρ επίγειας διείσδυσης, είναι 10 sec/m κατά μήκος του άξονα του. Κατά συνέπεια, ο χρόνος ερευνών για ένα τμήμα 1 χιλιομέτρου υδροσωλήνα θα είναι περίπου 3 ώρες.

Το ραντάρ επίγειας διείσδυσης παράγει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που διαδίδεται μέσω του εδάφους και κατόπιν επιστρέφει στην επιφάνεια (εικόνα). Τα κύματα ραντάρ ταξιδεύουν με ταχύτητα που εξαρτάται από τη διηλεκτρική σταθερά της υποεπιφάνειας. Η αντανάκλαση παράγεται από τις αλλαγές στη διηλεκτρική σταθερά των διαφορετικών υλικών του υπεδάφους. Ο χρόνος ταξιδιού του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που φεύγει από την κεραία μετάδοσης, περνάει στο μέσω και αντανακλά πίσω στην κεραία του δέκτη που βρίσκεται στην επιφάνεια, είναι μια συνάρτηση του βάθους αντανάκλασης και των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των μέσων. Κατά συνέπεια, η ερμηνεία αυτής της απεικονισμένης ενέργειας μπορεί να παραγάγει τις πληροφορίες για την υποεπιφάνεια και την αλλαγή στην δομή των μέσων. Τα υψηλής συχνότητας κύματα παράγουν υψηλότερο ψήφισμα απεικόνισης για μικρό βάθος διαρροής, ενώ τα χαμηλής συχνότητας κύματα παράγουν χαμηλότερο ψήφισμα απεικόνισης για μεγαλύτερο βάθος. Η επιλογή της κατάλληλης κεραίας εξαρτάται από το στόχο του προγράμματος ανίχνευσης της διαρροής. Τα στοιχεία συλλέγονται κατά μήκος ενός σχεδιαγράμματος, έτσι ώστε οι η καταγραφή των σημάτων όσον αφορά τη θέση της διαρροής του σωλήνα και το χρόνο ταξιδιού του σήματος, να μπορούν να συνδεθούν με τις εικόνες της υποεπιφάνειακής δομής. Τα σήματα ραντάρ επίγειας διείσδυσης μπορούν να συλλεχθούν αρκετά γρήγορα και οι αρχικές ερμηνείες μπορούν να δοθούν με λιγοστή επεξεργασία των στοιχείων. Με αυτόν τον τρόπο καθιστούν τη χρήση του ραντάρ επίγειας διείσδυσης(εικόνα 5.1) για τη ρηχή γεωφυσική έρευνα οικονομικώς αποδοτική με τη λιγότερη τεχνική υποστήριξη.



**Εικόνα 5.1:** Ραντάρ επίγειας διείσδυσης

Για τη δυνατότητα μεταφοράς, το σύστημα ραντάρ επίγειας διείσδυσης τοποθετείται σε τετράτροχο όχημα. Για την επεξεργασία και ικανότητα προγραμματισμού του σήματος, ένας φορητός προσωπικός υπολογιστής θα είναι επίσης στο όχημα, ενώ οι μονάδες επεξεργασίας δηλαδή οι κεραίες ψηφιακού σήματος (πομποδέκτες) τοποθετούνται στην μπροστινή πλευρά του οχήματος (εικόνα 5.2)



**Εικόνα 5.2:** Μπροστινή όψη οχήματος με κεραίες ψηφιακού σήματος

Οι κύριες υπομονάδες του συστήματος ραντάρ επίγειας διείσδυσης είναι:

- μια ψηφιακά ελεγχόμενη γεννήτρια παραγωγής σημάτων
- μια μονάδα συσκευών αποστολής σημάτων (συμπεριλαμβανομένης της κεραίας μετάδοσης)
- ένα μπροστινό μέρος δεκτών
- ένας φορητός προσωπικός Η/Υ για να εκτελέσει την επεξεργασία σήματος και την αναδημιουργία εικόνας.
- μια δομή για να τοποθετηθεί το ραντάρ επίγειας διείσδυσης σε ένα όχημα για ευκολότερη μεταφορά.

Το ραντάρ επίγειας διείσδυσης θα μπορούσε, σε γενικές γραμμές, να προσδιορίσει τις διαρροές στους θαμμένους υδροσωλήνες είτε με την ανίχνευση των υπόγειων κενών που δημιουργήθηκαν από την διαρροή νερού, δεδομένου ότι διαβρώνει το υλικό γύρω από το σωλήνα, ή με την ανίχνευση της ανώμαλης αλλαγής στις ιδιότητες του υλικού των σωλήνων. Αντίθετα από τις ακουστικές μεθόδους, η εφαρμογή του επίγειου γεωραντάρ επίγειας διείσδυσης για την ανίχνευση διαρροών είναι ανεξάρτητη από τον τύπο σωλήνων (π.χ., μέταλλο ή πλαστικό).

Επομένως, το ραντάρ επίγειας διείσδυσης έχει τη δυνατότητα να αποφύγει τις δυσκολίες που συναντήθηκαν με τις συνήθως χρησιμοποιούμενες ακουστικές μεθόδους ανίχνευσης διαρροών όπως ισχύει στους πλαστικούς σωλήνες. Θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί ως συμπλήρωμα σε αυτές τις μεθόδους για να αυξήσει την ακρίβεια στις περιοχές υψηλού κινδύνου όπως οι οδοί υψηλής κυκλοφορίας των πυκνοκατοικημένων περιοχών.

#### *Θεωρητικό υπόβαθρο*

Η ταχύτητα ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος σε οποιοδήποτε μέσο εξαρτάται από τη ταχύτητα του φωτός στο κενό ( $c = 0.3 \text{ m/ns}$ ), τη σχετική διηλεκτρική σταθερά( $\epsilon_r$ ), και τη σχετική μαγνητική διαπερατότητα ( $\mu_r = 1$  για

τα μη μαγνητικά υλικά). Η ταχύτητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος ( $V_m$ ) σε ένα υλικό δίνεται από τον τύπο:

$$V_m = \frac{c}{\sqrt{(\epsilon_r \cdot \mu_r / 2) \{ (1 + P^2) + 1 \}}} \quad (5.1.1)$$

όπου το  $P$  είναι ο παράγοντας απώλειας, έτσι ώστε  $\omega = 2\pi f$  (όπου το  $f$  είναι συχνότητα), και  $\epsilon = \epsilon_r \times \epsilon_0$  (όπου  $\epsilon_r$  είναι διηλεκτρική σταθερά και  $\epsilon_0$  είναι διηλεκτρική σταθερά κενού ( $8.854 \times 10^{-12}$  F/m)). Στα χαμηλών απωλειών υλικά,  $P \approx 0$ , και η ταχύτητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος δίνονται από:

$$V_m = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{0.3}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ m/ns} \quad (5.1.2)$$

Το βάθος της διείσδυσης ( $D$ ) μπορεί να καθοριστεί, πρώτα, υπολογίζοντας την ταχύτητα του μέσου,  $V_m$ , χρησιμοποιώντας την εξίσωση (5.2) και (5.3). Δεύτερον, ο διπλής κατεύθυνσης χρόνος ταξιδιού ( $t$ ) μπορεί να καθοριστεί από τη γραφική αντιπροσώπευση των σημάτων GPR. Αυτό θα επιτρέψει τη χρήση της ακόλουθης εξίσωσης:

$$D = \frac{t \cdot V_m}{2} \quad (5.1.3)$$

Η επιτυχία της μεθόδου γεωραντάρ επίγειας διείσδυσης στηρίζεται στη δυνατότητα των διάφορων υλικών να επιτρέπει ή να αποτρέπει τη μετάδοση των κυμάτων ραντάρ. Μερικά υλικά, όπως ο πολικός πάγος, είναι ουσιαστικά διαφανή σε αυτά τα κύματα. Άλλα υλικά, όπως το νερό διαποτισμένο με άργιλος και το νερό της θάλασσας, είτε απορροφούν είτε απεικονίζουν τα κύματα σε τέτοιο βαθμό ώστε είναι ουσιαστικά αδιαφανή. Η αντίθεση στις σχετικές διηλεκτρικές σταθερές μεταξύ των παρακείμενων στρωμάτων είναι μια λειτουργία της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Όσο μεγαλύτερη η αντίθεση, τόσο μεγαλύτερο το ποσό ενέργειας που απεικονίζεται.



## **5.2 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΟΥΣ ΣΩΛΗΝΕΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ**

Όλα τα σώματα εκπέμπουν συνεχώς ενέργεια εξαιτίας της θερμοκρασίας τους. Αυτή η ενέργεια ονομάζεται θερμική ακτινοβολία. Η ακτινοβολούμενη ενέργεια, που εκπέμπεται από ένα σώμα μεταφέρεται στο γύρω χώρο με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, σύμφωνα με τη θεωρία του Maxwell. Μέρος της θερμικής ακτινοβολίας, που εκπέμπει ένα σώμα είναι η υπέρυθη ακτινοβολία, η πρωταρχική πηγή της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι η θερμότητα ή θερμική ακτινοβολία. Όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω, όσο μεγαλύτερη θερμοκρασία έχει ένα σώμα τόσο περισσότερη ακτινοβολία εκπέμπει.

### **5.2.1 Υπέρυθη θερμογραφία**

Είναι η τεχνική, που μετράει τη θερμότητα (υπέρυθη ακτινοβολία) που εκπέμπει ένα σώμα (αντικείμενο) και εμφανίζει την κατανομή της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του σώματος (αντικειμένου). Οι μετρήσεις γίνονται με ειδική κάμερα, που ανιχνεύει την υπέρυθη ακτινοβολία, χωρίς να έρθει σε επαφή με το αντικείμενο. Επίσης μπορεί να ανιχνεύσει τις θερμικές αντιθέσεις του οδοστρώματος και του υπεδάφους που οφείλονται σε διαρροές νερού. Το νερό λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητάς του βρίσκεται σε διαφορετική θερμοκρασία από την θερμοκρασία των υλικών. Συνεπώς επιτρέπει να διερευνηθούν αποτελεσματικά σε λιγότερο χρόνο σχετικά μεγάλες περιοχές με λιγότερο κόστος σε σύγκριση με τις σημερινές μεθόδους ανίχνευσης διαρροής. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέρα ή νύχτα και δεν εξαρτάται από τον τύπο και το μέγεθος του σωλήνα. Αυτά τα πλεονεκτήματα κάνουν τη χρήση κάμερας υπερύθρων να υπερνικά τους περιορισμούς που συνδέονται με τις συμβατικές μεθόδους ανίχνευσης διαρροής ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν συμπλήρωμα στην ευρύτερα διαδεδομένη ακουστική μέθοδο για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και ακρίβεια.

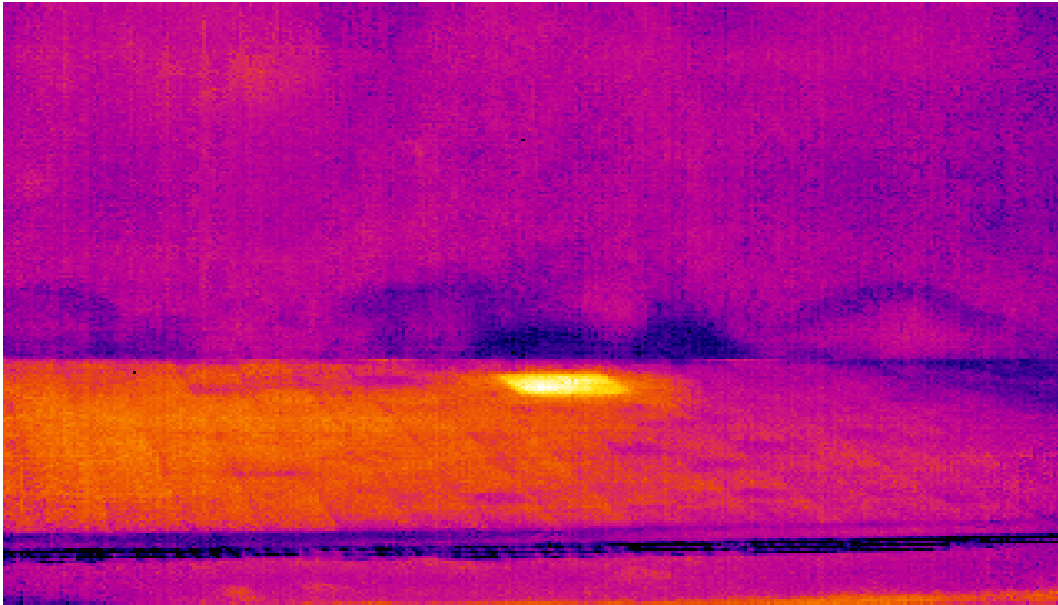
Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην εστίαση της υπέρυθρης ακτινοβολίας, που εκπέμπεται από ένα αντικείμενο, από τον οπτικό φακό. Μέσω αυτού, η υπέρυθη ακτινοβολία περνάει στον ανιχνευτή υπερύθρων, ο

οποίος στέλνει τα δεδομένα στους ηλεκτρονικούς αισθητήρες. Εκεί γίνεται η μετατροπή των δεδομένων αυτών σε έγχρωμη θερμική εικόνα. Με αυτή τη διαδικασία, η ένταση της ακτινοβολίας μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα και αυτό σε έγχρωμη θερμική εικόνα, που εμφανίζεται σε ειδική οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD) (εικόνα 5.3).



**Εικόνα 5.3:** Θερμογράφημα σε οθόνη υγρών κρυστάλλων

Η εικόνα αυτή λέγεται θερμογράφημα (εικόνα 5.4), στην οποία τα θερμότερα σημεία παρουσιάζονται με εντονότερα χρώματα. Από ένα θερμογράφημα μπορούμε να δούμε, όχι μόνο την κατανομή της θερμοκρασίας στην επιφάνεια ενός σώματος αλλά να προσδιορίσουμε και να εκτιμήσουμε τη σοβαρότητα των προβλημάτων θερμότητας. Επίσης, από το θερμογράφημα, επεξεργαζόμενο με το κατάλληλο λογισμικό Η/Υ, μπορούν να εξαχθούν σημαντικά ποσοτικά και ποιοτικά συμπεράσματα, καθώς και γραφικές απεικονίσεις.



**Εικόνα 5.4 :** Τοιχοποιία στο με εμφανή ίχνη ανερχόμενης υγρασίας και αντίστοιχο Θερμογράφημα

Για να είναι ένα θερμογράφημα αξιόπιστο, πρέπει κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων να λαμβάνονται υπόψη οι καιρικές συνθήκες του συγκεκριμένου περιβάλλοντος, η ποιότητα του υπεδάφους, η απόσταση της κάμερας(αισθητήρας) και η ταχύτητα του οχήματος που μεταφέρει το σύστημα ώστε με τις απαραίτητες ρυθμίσεις και την τοποθέτηση κατάλληλων φίλτρων να μην επηρεάζεται η ακρίβεια των μετρήσεων. Άλλοι παράγοντες, που επηρεάζουν τις μετρήσεις, είναι οι ιδιότητες της επιφάνειας του μετρούμενου

σώματος και ο συντελεστής εκπομπής. Ο συντελεστής εκπομπής εξαρτάται από τη γωνία, που παρατηρείται το σώμα, το μήκος κύματος και τη θερμοκρασία. Έτσι σε κάθε μέτρηση, για τη σωστή και ακριβή απεικόνιση της κατανομής της θερμοκρασίας στο θερμογράφημα, πρέπει να επιλέγεται και η σωστή τιμή του συντελεστή εκπομπής ( $\epsilon$ ) για κάθε περίπτωση.

Το σύστημα για τον έλεγχο διαρροών με χρήση μεθόδου θερμογραφίας αποτελείται από μια υπέρυθρη κάμερα με ενσωματωμένο φακό, μια ειδική έγχρωμη οθόνη απεικόνισης του θερμογραφήματος, ένα λείζερ εστίασης σημείου και ένα υπέρυθρο σύνδεσμο επικοινωνίας. Αυτό το σύστημα παρέχει στο οπτικό μέσο υψηλής ποιότητας ψήφισμα υπέρυθρων σε έγχρωμη εικόνα. Η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων εμφανίζει με φωτεινά χρώματα τις περιοχές που υπάρχουν διαρροές και με σκοτεινά εκείνες που βρίσκονται στην φυσική τους κατάσταση.

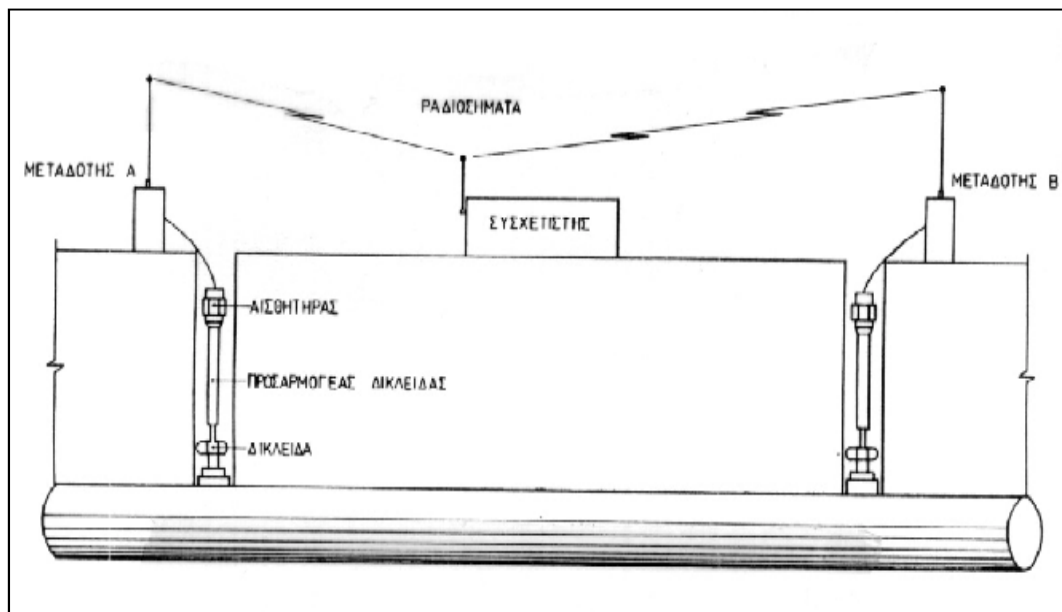
### **5.3 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΟΥΣ ΣΩΛΗΝΕΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ.**

Για τον έλεγχο διαρροών σε υπόγειους σωλήνες παροχής νερού με εφαρμογή ακουστικών μεθόδων και κατά το δεύτερο στάδιο, γίνεται χρήση ειδικών οργάνων (συσχετιστών) που τοποθετούνται στα ύποπτα κομμάτια του δικτύου, με σκοπό τον ακριβή εντοπισμό της θέσης της διαρροής.

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου βασίζεται στην ανάλυση του θορύβου που παράγεται στο σημείο της διαρροής από το νερό το οποίο εξέρχεται από το σωλήνα. Ο θόρυβος (ηχητικό σήμα) που δημιουργείται στο σημείο της διαρροής μεταδίδεται τόσο από το ίδιο το νερό όσο και από τα τοιχώματα του αγωγού και είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων, όπως του ύψους πίεσεως, του τύπου της θραύσης του σωλήνα (ρωγμή, σπή κλπ), του υλικού κατασκευής του αγωγού, καθώς και των συνθηκών και τύπου εδάφους μέσα στο οποίο βρίσκεται ο αγωγός.

Δύο μεγάλης ευαισθησίας αισθητήρες τοποθετούνται στα άκρα του υπό εξέταση τμήματος αγωγού, (συνήθως φρεάτια ειδικών συσκευών όπως δικλείδων, αεραγωγών κλπ). Από αυτούς, ο ένας συνδέεται μέσω καλωδίου με ένα μεταδότη και ο άλλος με την κεντρική μονάδα επεξεργασίας σήματος ή

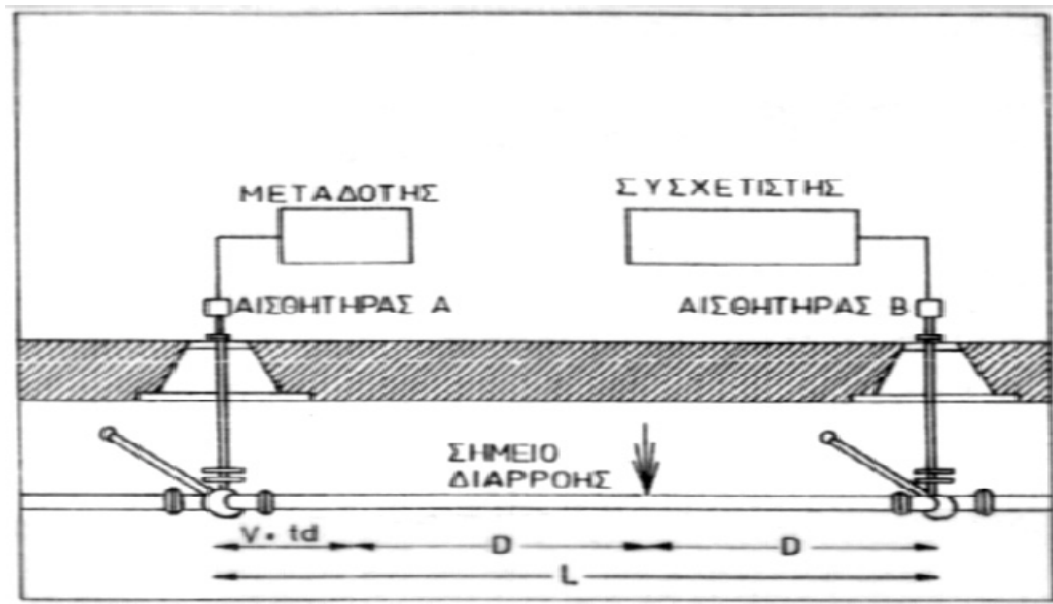
με δεύτερο μεταδότη. Τα λαμβανόμενα ηχητικά σήματα από τους μεταδότες μεταφέρονται τηλεμετρικά στο συσχετιστή όπου αναλύονται και προσδιορίζεται η διαφορά φάσης λήψης τους. Αυτό επιτρέπει τον ακριβή εντοπισμό της θέσης της διαρροής. Σημειωτέον ότι ο σπουδαιότερος παράγοντας για την εκτέλεση μιας επιτυχούς μέτρησης σε δύσκολες συνθήκες (καιρικές, κυκλοφοριακές κλπ), είναι ο κατάλληλος συνδυασμός φίλτρων. Οι σύγχρονοι συσχετιστές διαθέτουν ειδική λειτουργία ανάλυσης συχνοτήτων (FFT – Fast Fourier Transform) με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται σε οθόνη υγρών κρυστάλλων τα συστατικά μέρη των συχνοτήτων των λαμβανομένων ηχητικών σημάτων. Η αυτόματη επιλογή φίλτρων παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα απομόνωσης του συνόλου των εξωτερικών παρεμβολών και συνεπακόλουθα, οδηγεί στον «καθαρισμό» του ηχητικού σήματος που οφείλεται στη διαρροή. Η αιχμή του «καθαρού» σήματος αντιστοιχεί στο σημείο της διαρροής



**Σχήμα 5.5:** Γραφική απεικόνιση συνδεσμολογίας συσχετιστή με δύο μεταδότες σε τμήμα αγωγού υπό πίεση.

Στο Σχήμα 5.5 δίνεται μία γραφική απεικόνιση του τρόπου συνδεσμολογίας της συσκευής σε τμήμα αγωγού, χρησιμοποιώντας διάταξη με δύο μεταδότες. Η διάταξη αυτή επιτρέπει μεγαλύτερη λειτουργική ευελιξία στο χρήστη, αφού η κεντρική μονάδα (συσχετιστής) μπορεί να τοποθετηθεί οπουδήποτε μέσα

στην ακτίνα εκπομπής του σήματος ή να είναι τοποθετημένη σε όχημα για δυνατότητα κινητής λειτουργίας.



Σχήμα 5.6 : Διάταξη συσχετιστή με ένα μεταδότη.

Στο Σχήμα 5.6 δίνεται η διάταξη με ένα μεταδότη. Στο Σχήμα αυτό, L είναι το γνωστό μήκος μεταξύ των αισθητήρων, D η απόσταση του σημείου διαρροής από τον ένα αισθητήρα, V η ταχύτητα μετάδοσης του ηχητικού σήματος και td η διαφορά χρόνου λήψης των ηχητικών σημάτων από τους δύο αισθητήρες. Το χαρακτηριστικό μήκος D υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$D = ((L - V * td))/2 \quad (5.3.1)$$

Όλα τα παραπάνω μεγέθη απεικονίζονται στην οθόνη υγρών κρυστάλλων του συσχετιστή. Το όργανο χρησιμεύει και ως data logger, αφού πέρα από την καταγραφή υπάρχει και η δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων πολλών μετρήσεων για μετέπειτα επεξεργασία από PC.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο παραγόμενος θόρυβος στο σημείο της διαρροής είναι περισσότερο έντονος για μεταλλικό παρά για πλαστικό σωλήνα, (PVC ή πολυαιθυλένιο). Επομένως, η μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση για ακριβή μέτρηση L, επηρεάζεται ανάλογα.

Συγκεκριμένα, η μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση μέτρησης για χαλυβδοσωλήνα με ταυτόχρονη επίτευξη ικανοποιητικής ακρίβειας στον εντοπισμό της διαρροής αγγίζει τα δύο χιλιόμετρα, ενώ για πλαστικό σωλήνα, περιορίζεται στα 300 m περίπου.

Αυτό συμβαίνει, επειδή στην τελευταία περίπτωση το σήμα στο σημείο διαρροής εξασθενεί ταχύτερα στο πλαστικό υλικό απ' ότι στο χάλυβα. Η ακρίβεια για το αντίστοιχο μήκος παραμένει η ίδια. Ενδεικτικά, για χαλυβδοσωλήνα διαμέτρου 4 έως 6 ιντσών, γνωστός κατασκευαστής συσχετιστών αναφέρει τα παρακάτω(πίνακας 5.1):

Πίνακας 1: Ακρίβεια εντοπισμού διαρροής για χαλυβδοσωλήνα διαμέτρου 4 έως 6 ιντσών

Περιοχή διαφοράς φάσης td	Ακρίβεια εντοπισμού διαρροής	Απόσταση μεταξύ αισθητήρων
0 - 29.6 ms	± 0.1 m	Έως 38 m
29.7 – 223.9 ms	± 0.2 m	Έως 287 m
223.9 – 895.5 ms	± 0.4 m	Έως 1146 m
896.5 – 1557 ms	± 0.5 m	Έως 1993 m

Στην περίπτωση των πλαστικών σωλήνων, η αποτελεσματικότητα του υφιστάμενου εξοπλισμού δεν είναι καλά τεκμηριωμένη. Ο εξοπλισμός αναπτύχθηκε κυρίως με μεταλλικούς σωλήνες στο μυαλό, αλλά τα ηχητικά χαρακτηριστικά των σημάτων διαρροής σε πλαστικούς και μεταλλικούς σωλήνες διαφέρουν σημαντικά. Οι πλαστικοί σωλήνες είναι "πιο ήσυχοι» και δεν μεταδίδουν ήχο ή δόνηση τόσο αποτελεσματικά όσο οι μεταλλικοί. Επίσης, οι ήχοι διαρροής σε πλαστικούς σωλήνες κυριαρχούνται από χαμηλής συχνότητας στοιχεία, σε αντίθεση με τους ήχους διαρροή σε μεταλλικούς σωλήνες. Συσχετιστής θορύβου διαρροών που λειτουργεί με αυτόματο τρόπο σπάνια πέτυχε στον εντοπισμό διαρροών, επειδή το φάσμα συχνοτήτων που επιλέγονται από την συσκευή ήταν συνήθως πολύ υψηλό. Διαπιστώθηκε επίσης ότι επιταχυνσιόμετρα (ένα είδος δόνησης αισθητήρα) ήταν αποτελεσματικά μόνο για τις μεγάλες διαρροές. Για τις μικρές διαρροές, υδρόφωνα ήταν αναγκαία.

Σήματα διαρροής σε πλαστικές σωλήνες βρέθηκαν να κυριαρχούνται από στοιχεία συχνότητας χαμηλότερης από 50 Hz. Στην πράξη, τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι η ανίχνευση διαρροών σε πλαστικούς σωλήνες μπορεί να πρέπει να βασίζονται αποκλειστικά στους συσχετιστές θορύβου διαρροών.

Προβλήματα που συναντώνται συνήθως με τον εντοπισμό διαρροών με ακουστικό εξοπλισμό, π.χ., παρεμβαίνοντας σήματα κυκλοφορίας, και η εξασθένηση του σήματος διαρροής κατά μήκος σωλήνων, γίνονται πιο επιζήμια στην περίπτωση των πλαστικών σωλήνων. Κατά συνέπεια, οι περισσότερες επιχειρήσεις είναι δύσπιστες για την αποτελεσματικότητα των ακουστικών εξοπλισμών ανίχνευσης διαρροής. Αυτό είναι ένα σοβαρό πρόβλημα λόγω της αυξανόμενης χρήσης των πλαστικών σωλήνων στα συστήματα διανομής νερού σε όλο τον κόσμο. Παρόλα αυτά όμως σε πειράματα που έγιναν με ακουστικά μέσα παρατηρήθηκε πως σε γενικές γραμμές είναι σε θέση να εντοπίσουν διαρροές σε πλαστικούς σωλήνες διανομής νερού.

Ωστόσο, πολλές βελτιώσεις θα μπορούσαν να ενσωματωθούν στον υπάρχοντα εξοπλισμό και στον τομέα των διαδικασιών για την αύξηση της αποτελεσματικότητάς τους. Βελτιώσεις για τον εξοπλισμό που περιλαμβάνει την αναθεώρηση των αλγορίθμων αυτόματης λειτουργίας, τη χρήση των αισθητήρων υψηλότερη ευαισθησίας, ιδιαίτερα στην περίπτωση των επιταχυνσιόμετρων, επαλήθευση των ταχυτήτων μετάδοσης για τα διάφορα είδη σωλήνων και μεγέθη, τις διαδικασίες για την εξακρίβωση της ορθής λειτουργίας των αισθητήρων, πολύ χαμηλής συχνότητας δυνατότητα ασύρματης μετάδοσης / συστήματα που λαμβάνουν, ευέλικτη υψηλής και χαμηλής διέλευσης ρυθμίσεις φίλτρου (π.χ., μέτρα λεπτότερα και κατώτατα όρια), προαιρετική αναγραφή των μετρήσεων χρόνου και φάσματα συχνοτήτων των σημάτων διαρροής.

Πολλές αλλαγές στην πρακτική στον τομέα μπορεί επίσης να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα του εξοπλισμού: η χρήση των στοιχείων χαμηλών συχνοτήτων σημάτων διαρροής, επί τόπου μέτρηση του ήχου ταχύτητας διάδοσης σε σωλήνες, ο έλεγχος της ορθής λειτουργίας των αισθητήρων διαρροής (ειδικά υδρόφωνα), και η χρήση των υδροφώνων ή



ευαίσθητων επιταχυνσιόμετρων στους κραδασμούς που επισυνάπτονται στην πίεση των πυροσβεστικών κρουνών.

### **5.3.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της Ακουστικής Μεθόδου.**

Η αποτελεσματικότητα των ακουστικών μεθόδων ανίχνευσης διαρροής-εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες όπως:

- Μέγεθος του σωλήνα, το είδος και το βάθος,
- Είδος του εδάφους και των υδάτων,
- Είδος και μέγεθος της διαρροής,
- Πίεση του συστήματος,
- Παρεμβολές θορύβου,
- Ευαισθησία συχνότητας του εξοπλισμού.

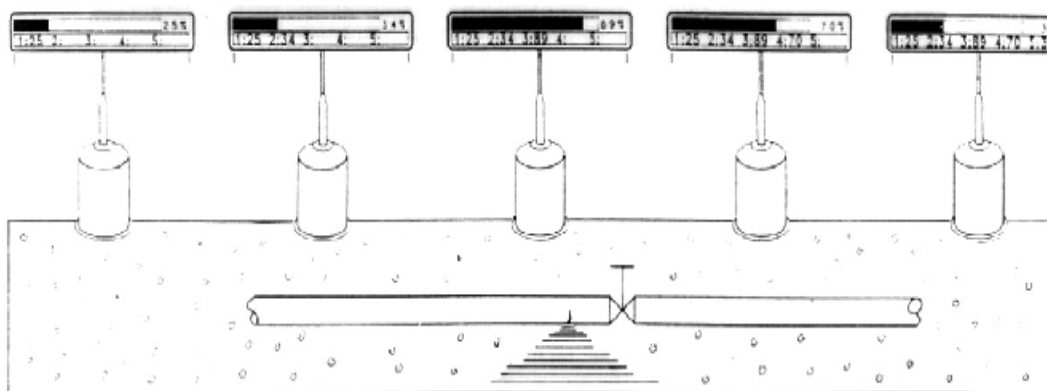
Το υλικό και η διάμετρος του σωλήνα έχουν σημαντική επίδραση στην εξασθένηση των σημάτων διαρροής. Για παράδειγμα, τα σήματα διαρροής ταξιδεύουν από τους πλέον απομακρυσμένους μεταλλικούς σωλήνες και είναι πολύ εξασθενημένα σε πλαστικούς. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος του σωλήνα τόσο μεγαλύτερη είναι η εξασθένηση, άρα πιο δύσκολη η ανίχνευση της διαρροής. Το υλικό του σωλήνα και η διάμετρος επηρεάζουν επίσης τη κυρίαρχη συχνότητα των σημάτων της διαρροής - το μεγάλο μέγεθος της διαμέτρου με το λιγότερης ευαισθησίας υλικό του σωλήνα, κυριαρχείται από χαμηλές συχνότητες Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα σήματα διαρροής να δέχονται παρεμβολές από τους κραδασμούς χαμηλής συχνότητας, για παράδειγμα, από τις αντλίες και τους θορύβους οδικής κυκλοφορίας.

Η ισχύς των σημάτων διαρροής επηρεάζεται σημαντικά από το είδος του εδάφους και το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα. Η πείρα έχει δείξει ότι η διαρροή ακούγεται περισσότερο σε αμμώδες έδαφος από τι σε αργιλώδες, και σε άσφαλτο ή σκυρόδεμα από επιφάνεια με έντονη βλάστηση ή χώμα. Τέλος τα σήματα διαρροής κατά τη καταγραφή κάνουν "μύτη", εάν ο σωλήνας είναι κάτω από το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα.

Τα χαρακτηριστικά των ήχων διαρροής ποικίλλουν ανάλογα με το είδος και το μέγεθος διαρροής. Διαρροές από διάβρωση στα τοιχώματα των σωληνώσεων προκαλούν ισχυρότερα σήματα και υψηλότερες συχνότητες από τις διαρροές στις αρθρώσεις ή στις βαλβίδες. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η διαρροή τόσο ισχυρότερο είναι το σήμα διαρροής, αλλά αυτό δεν μπορεί να ισχύει για πολύ μεγάλες διαρροές. Επίσης όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση του σωλήνα, τόσο ισχυρότερο είναι το σήμα διαρροής. Είναι δύσκολος ο εντοπισμό διαρροών σε αγωγούς με πίεση μικρότερη από 1,05 kgf / cm<sup>2</sup> (15 psi).

Υπάρχει σημαντική ποικιλία ως προς την ευαισθησία, το φάσμα συχνοτήτων, το σήμα και τις δυνατότητες επεξεργασίας των διαφόρων ακουστικών συσκευών ανίχνευσης διαρροής. Η μεγαλύτερη ευαισθησία στους αισθητήρες διαρροής σε συνδυασμό με υψηλότερο θόρυβο από το σήμα προς τον εξοπλισμό, δε μπορεί να ανιχνευθεί.

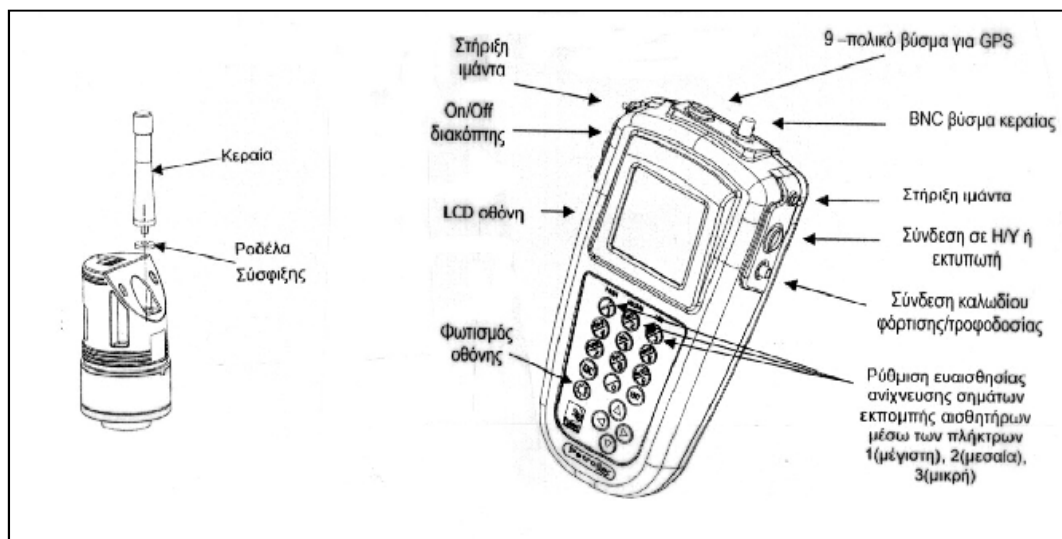
Τέλος, κατά το τρίτο στάδιο επιβεβαιώνονται με φορητό εξοπλισμό (γαιόφωνα διαρροών με αισθητήρες ράβδους ή κώδωνες) τα ευρήματα του συσχετιστή. Τα γαιόφωνα θα μπορούσαν να προσομοιασθούν με ηλεκτρονικά αυτιά που επιτρέπουν ακρόαση της επιφάνειας του εδάφους κατά μήκος της διέλευσης του αγωγού. Το ηχητικό σήμα που λαμβάνεται από τον αισθητήρα του οργάνου ενισχύεται και φιλτράρεται ώστε να απομονωθούν παρασιτικοί θόρυβοι που δεν οφείλονται στην ύπαρξη της διαρροής.



**Σχήμα 5.7:** Επίπεδο θορύβου σε οθόνη γαιόφωνα ανάλογα με την απόσταση από το σημείο της διαρροής.

Στο Σχήμα 5.7 φαίνεται, ανάλογα με τη θέση του παρατηρητή από το σημείο της διαρροής, το επίπεδο θορύβου που εμφανίζεται στην οθόνη υγρών κρυστάλλων του οργάνου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η σύγχρονη τεχνολογία προσφέρει σήμερα τη δυνατότητα εγκατάστασης σε δίκτυα ύδρευσης μονίμων συστημάτων ανίχνευσης διαρροών. Η πρώτη πιλοτική εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων έγινε στην Αγγλία αρχές του 1999 και στέφθηκε με απόλυτη επιτυχία. Ένα τέτοιο σύστημα περιλαμβάνει τους αισθητήρες και τον «επιτηρητή» (Σχήμα 5.8).



**Σχήμα 5.8:** Μόνιμο σύστημα ανίχνευσης διαρροών: (α). αισθητήρας και (β). «επιτηρητής».

Οι αισθητήρες εγκαθίστανται στα φρεάτια ειδικών συσκευών του δικτύου. Η απόσταση μεταξύ των αισθητήρων εξαρτάται από το υλικό των σωλήνων αφού είναι γνωστό ότι ο ήχος ταξιδεύει σε μεγαλύτερη απόσταση σε μεταλλικούς απ' ότι σε πλαστικούς σωλήνες όπου εξασθενεί ταχύτερα.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για χάλυβα η απόσταση αυτή κυμαίνεται από 150 έως 200 m, για αμιαντοσιμέντο από 100 έως 150 m και για πολυαιθυλένιο από 50 έως 100 m. Οι αισθητήρες είναι ειδικού τύπου, πλήρως αδιάβροχοι και μικρού μεγέθους, (κυλινδρικοί 135 x 60 mm διάμετρο, βάρους 1 kg). Η τροφοδοσία τους γίνεται από ενσωματωμένη μπαταρία διάρκειας ζωής δέκα ετών. Φέρουν ισχυρότατο μαγνήτη επαφής για συγκράτηση στα μεταλλικά τμήματα του αγωγού και εκπέμπουν το σήμα τους μέσω κεραίας ύψους 55 mm προς ένα φορητό δέκτη – ελεγκτή, τον “επιτηρητή”.

Ο “επιτηρητής” είναι η καρδιά του συστήματος, καθώς επιτρέπει την ανάλυση των σημάτων των αισθητήρων και την αποθήκευσή τους. Μπορεί ακόμη να τροφοδοτηθεί με δεδομένα GPS/GIS για τον καλύτερο χωροταξικό προσδιορισμό της θέσης των διαρροών. Κάθε αισθητήρας του συστήματος, από τη στιγμή που τοποθετηθεί και ενεργοποιηθεί, αν δεν ανιχνεύει διαρροή, εκπέμπει ένα ειδικό σήμα που υποδηλώνει κανονική κατάσταση λειτουργίας. Στην αντίθετη περίπτωση, τίθεται σε κατάσταση συναγερμού και εκπέμπει ένα ειδικό σήμα που υποδηλώνει διαρροή. Ο υπάλληλος της αρμόδιας υπηρεσίας κινείται κατά μήκος του δικτύου ανά τακτά χρονικά διαστήματα με το υπηρεσιακό όχημα, έχοντας μαζί του τον “επιτηρητή”.

Τα σήματα των αισθητήρων λαμβάνονται από τον “επιτηρητή” για ταχύτητα οχήματος έως 60 km/h. Σε περίπτωση εκπομπής σήματος διαρροής από κάποιον αισθητήρα στην οθόνη του οργάνου εμφανίζονται: 1. Ο κωδικός του αισθητήρα που το εξέπεμψε, 2. η στάθμη του σήματος της διαρροής και 3. η θέση της διαρροής. Όλα τα δεδομένα μπορούν να αποθηκευθούν στη μνήμη του οργάνου για περαιτέρω επεξεργασία. Σημειωτέον ότι σε ένα τέτοιο σύστημα μια διαρροή μπορεί να ανιχνευθεί και από ένα μόνο αισθητήρα, κάτι που δεν συμβαίνει στην περίπτωση των κλασσικών μεθόδων ανίχνευσης, (π.χ. συσχετιστής).

Με βάση τα δεδομένα που έχουν αποθηκευθεί στη μνήμη του “επιτηρητή”, στα ύποπτα για ύπαρξη διαρροών σημεία του δικτύου γίνεται επέμβαση από ειδική ομάδα επιβεβαίωσης και εντοπισμού με ακρίβεια της θέσης της διαρροής, είτε με συσχετιστή, είτε με γαιόφωνο.

Η πυκνότητα του δικτύου των αισθητήρων εξαρτάται αδρομερώς από τα παρακάτω(πίνακας 5.2):

Πίνακας 5.2: Παράγοντες που επηρεάζουν την πυκνότητα των αισθητήρων του δικτύου.

Αραιό δίκτυο	Πυκνό δίκτυο
Αγωγός από σκληρό υλικό	Αγωγός από μαλακό υλικό
Υψηλή πίεση δικτύου	Χαμηλή πίεση δικτύου
Σκληρό υπόστρωμα αγωγού	Μαλακό υπόστρωμα αγωγού
Μικρές θραύσεις, (οπές ή ρωγμές)	Μεγάλες θραύσεις, (οπές ή ρωγμές)

Παρακάτω παρουσιάζονται τύποι μηχανημάτων ανίχνευσης διαρροών με χρήση ακουστικών μεθόδων.(Παράρτημα Β)

#### **5.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΜΕΘΟΔΩΝ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ**

Η παγκόσμια κατανάλωση νερού αυξάνεται και η μη έγκαιρη αντιμετώπιση του προβλήματος των απωλειών νερού από διαρροές, ιδιαίτερα σε περιοχές που αντιμετωπίζουν ανεπάρκεια υδατικών πόρων οδηγεί σε σημαντική σπατάλη νερού με τραγικές συνέπειες

Η χρήση μεθόδων ΜΚΕ μειώνει δραστικά το κόστος προγραμματισμένης συντήρησης των δικτύων ύδρευσης και της αποκατάστασης τους, ενώ παράλληλα παρέχει πληροφορίες σχετικές με τη δομική ακεραιότητα της εγκατάστασης. Η ολοκλήρωση των εργασιών μπορεί να επιτευχθεί έγκαιρα ώστε οι καταστροφικές συνέπειες που προκαλούνται από διαρροές σε υπόγειους σωλήνες ύδρευσης να αποφευχθούν. Οι μέθοδοι ΜΚΕ μπορεί να καταγράψουν ελαττώματα/ατέλειες σε πραγματικό χρόνο, οπότε ελαχιστοποιείται ο χρόνος καθήλωσης για επιθεώρηση. Τα δεδομένα ψηφιοποιούνται και αποθηκεύονται μόνιμα σε υπολογιστή, επιτρέποντας επανεπεξεργασία, ανάλυση και ενδεχομένως σύγκριση με προηγούμενες μετρήσεις.

Τα συστήματα ελέγχου ανίχνευσης διαρροών παρέχουν σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους ΚΕ, πολύ μεγαλύτερη ευχρηστία, ταχύτητα ολοκλήρωσης εργασιών και εξοικονόμηση χρημάτων. Οι μέθοδοι ΜΚΕ πλεονεκτούν έναντι των άλλων συμβατικών μεθόδων ΚΕ για τους ακόλουθους κυρίως λόγους:

- Έγκαιρη και ταχεία διάγνωση ατελειών.
- Έλεγχος σε πραγματικό χρόνο.
- Μείωση κόστους.
- Εντοπισμός περιοχής βλάβης.
- Μείωση του χρόνου ελέγχου
- Ελάχιστη καταστροφική διαδικασία
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης και βάσεων δεδομένων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

### ΕΥΡΕΣΗ ΘΕΣΗΣ ΠΗΓΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ (ΔΙΑΡΡΟΗΣ)

#### 6.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΗΓΩΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ

Πολλές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί προκειμένου να μοντελοποιηθεί η κυματομορφή που παράγεται από μια πηγή ΑΕ [Attellis\_92α, Attellis\_92β, Pirez\_97, Mitrakovic\_85, Barnett\_95, Ziola\_91, Medick\_61].

Σύμφωνα με τον Gorman [Gorman\_91a], η διάδοση σημάτων ΑΕ σε πλάκες πάχους μικρότερες από 2.5mm και σε συχνότητες μικρότερες από 1MHz μπορεί να περιγραφεί χρησιμοποιώντας την κλασσική θεωρία διάδοσης κυμάτων σε πλάκες. Η κλασσική θεωρία διάδοσης κυμάτων σε πλάκες αναφέρει ότι η διάδοση πραγματοποιείται τουλάχιστον με δύο τρόπους: α) Εκτατικό (extensional ή symmetric mode) και β) Καμπτικό (flexural ή antisymmetric mode) [Graff\_75].

Η ταχύτητα διάδοσης για τον εκτατικό τρόπο ταλάντωσης, για ισότροπα υλικά σύμφωνα με τον [Ziola\_91], δίνεται από την σχέση:

$$c_e = \left[ \frac{E}{\rho(1-\nu^2)} \right]^{1/2}, \quad (6.1)$$

ενώ για τον καμπτικό ισχύει:

$$c_f = \left[ \frac{Eh^2}{12\rho(1-\nu^2)} \right]^{1/4} \omega^{1/2}, \quad (6.2)$$

όπου  $E$  είναι το μέτρο ελαστικότητας,  $\rho$  είναι η πυκνότητα,  $\nu$ : ο λόγος Poisson,  $h$ : το πάχος του υλικού και τέλος  $\omega$  είναι η κυκλική συχνότητα.

Η ταχύτητα διάδοσης με τον εκτατικό τρόπο διάδοσης σύμφωνα με την σχέση (1.1) δεν είναι διασκορπιστική (non-dispersive), αυτό εκμεταλλεύεται ο Gorman [Gorman\_91b] για να βελτιώσει την τεχνική εύρεσης της θέσης πηγής ΑΕ.

Πειράματα σε πλάκες από αλουμίνιο και γραφίτη έδειξαν ότι τα εκτατικά κύματα περιέχουν υψηλότερες συχνότητες από τις συχνότητες των καμπτικών κυμάτων [Gorman\_91a, Gorman\_91b]. Χρησιμοποιώντας αισθητήρες ευρέως φάσματος, οι δύο τρόποι διάδοσης-δόνησης μπορούν να διαχωριστούν και ο χαμηλής συχνότητας καμπτικός τρόπος διάδοσης να φιλτραριστεί και να απομακρυνθεί από υπερπερατά φίλτρα. Για να πραγματοποιηθεί καταγραφή του εκτατικού σήματος πρέπει να χρησιμοποιηθούν ενισχυτές υψηλού κέρδους και οι παράμετροι συστημάτων αποθήκευσης σημάτων ΑΕ να ρυθμιστούν έτσι ώστε να πραγματοποιείται καταγραφή στην πρώτη θετική υπέρβαση του σήματος εξαιτίας της άφιξης των εκτατικών κυμάτων. Ενώ αυτή η μέθοδος διαχωρισμού σημάτων λειτουργεί καλά για μικρά κατασκευές, δεν θα ήταν αποτελεσματική εάν το εκτατικό σήμα ήταν ισχυρά εξασθενημένο. Αυτό συμβαίνει σε μεγαλύτερες κατασκευές, ειδικά όταν αυτές που είναι φτιαγμένες από διαφορετικά κομμάτια. Εξαιτίας αυτής της εξασθένησης, μόνο οι χαμηλές συχνότητες που περιέχονται στο καμπτικό τρόπο διάδοσης μπορούν να διαδοθούν σε μεγάλη απόσταση.

Σύμφωνα με τον Medick [Medick\_61], η μετατόπιση κύματος ΑΕ δίνεται από την σχέση:

$$w(r,t) = \frac{J}{4p(phD)^{1/2}} \left[ \frac{p}{2} - S_i\left(\frac{ar^2}{t}\right) \right], \quad (6.3)$$

όπου  $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ ,  $a = \frac{1}{4} \left( \frac{ph}{D} \right)^{1/2}$ ,  $r$  είναι η απόσταση της πηγής από τον αισθητήρα,  $t$ : ο χρόνος,  $J$ : συνολική κρουστική και τέλος

$$S_i(x) = \int_0^x \frac{\sin t}{t} dt.$$

Σύμφωνα με την εργασία [Ziola\_91], αν το όρισμα του ημιτόνου είναι μεγάλο, το  $S_i(z)$  μπορεί να προσεγγιστεί από την απλουστευμένη σχέση:

$$S_i(z) = \frac{p}{2} - \frac{\cos(z)}{z}. \quad (6.4)$$

Με πράξεις και αντικαταστάσεις προκύπτει ότι η μετατόπιση δίνεται από την σχέση:

$$w(r,t) = 2 \left[ \frac{p}{2} - S_i \left( \frac{r^2}{4bt} \right) \right], \quad (6.5)$$

και

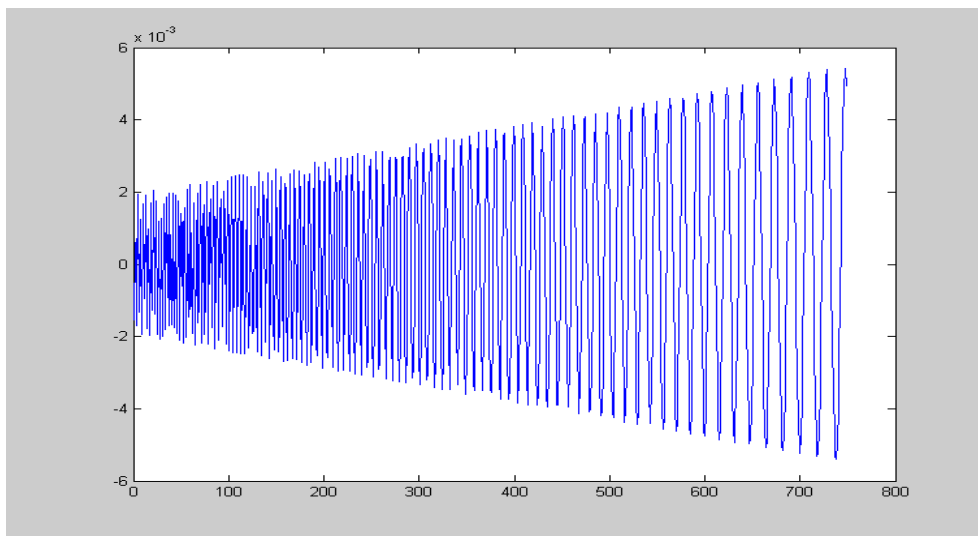
$$b^2 = \frac{Eh^2}{12p(1-\nu^2)}. \quad (6.6)$$

Η τελική μορφή του σήματος που καταγράφουν θεωρητικά οι αισθητήρες και αναφέρεται στη μετατόπιση που προκαλεί ο καμπτικός τρόπος μετάδοσης του ακουστικού σήματος είναι:

$$w(r,t) = \infty \left[ \frac{\cos \left( \frac{r^2}{4bt} \right)}{\frac{r^2}{4bt}} \right]. \quad (6.7)$$

Γραφική παράσταση του μοντέλου σήματος ακουστικής μεθόδου.

Με συγκεκριμένες παραμέτρους μπορούμε να πάρουμε μια γραφική απεικόνιση των τιμών του σήματος (σχήμα 6.1) του μοντέλου με βάση το Πρόγραμμα 1(Παράρτημα Γ)



**Σχήμα 6.1:** Γράφημα του σήματος A.E για συγκεκριμένη απόσταση r μεταξύ πηγής-αισθητήρα



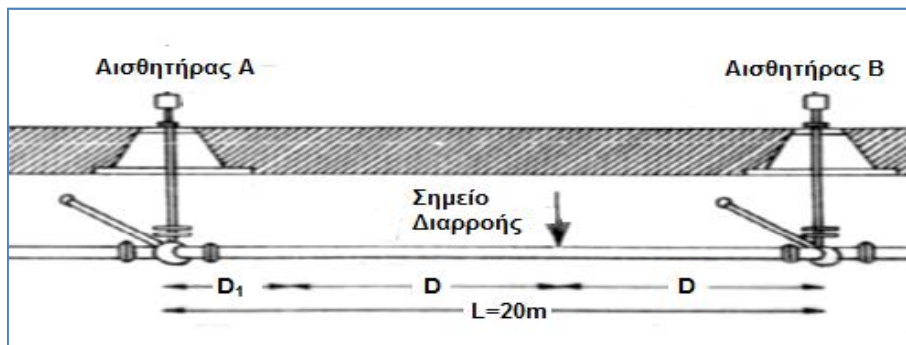
## 6.2 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΟΥΣ ΣΩΛΗΝΕΣ ΎΔΡΕΥΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ (ΔΙΑΡΡΟΗΣ) .

### 6.2.1 Σύνομη περιγραφή της μεθόδου.

Η λεπτομερής περιγραφή της μεθόδου έχει πραγματοποιηθεί στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, αλλά κρίθηκε σκόπιμο να γίνει μια σύντομη επανάληψη της μεθόδου για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων.

Η παραπάνω μέθοδος εύρεσης της θέσης της διαρροής εφαρμόστηκε σε χαλυβδοσωλήνα μεταφοράς νερού (σχήμα 6.2). Το μήκος του σωλήνα θεωρήθηκε ότι είναι 20m χωρίς όμως να υπάρχει πρόβλημα στην εφαρμογή της μεθόδου σε σωλήνες μεγαλύτερου ή μικρότερου μήκους.

Η θέση της διαρροής μετακινείται με βήμα ενός μέτρου οπότε προκύπτουν 10 θέσεις διαρροής πάνω στο σωλήνα λόγω συμμετρίας



Σχήμα 6.2 Πειραματική διάταξη σωλήνα 20m

$D$ = απόσταση αισθητήρα 1~19m

$L$ = μήκος σωλήνα 20m

$V$ = ταχύτητα μετάδοσης ήχου στον χάλυβα 5000 m/sec

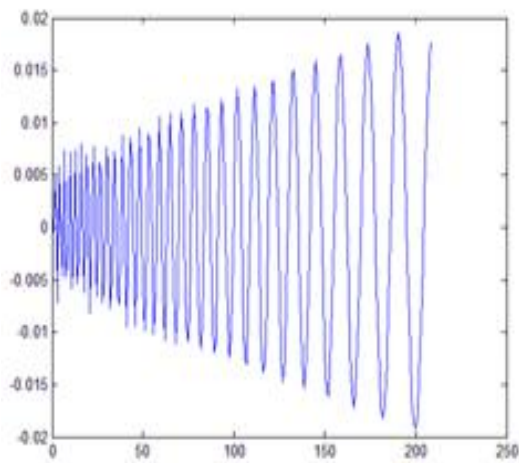
$D_1$ = διαφορά χρόνου λήψης των ηχητικών σημάτων από τους δύο αισθητήρες

## 6.2.2 Εφαρμογή της μεθόδου για σωλήνα μήκους 20 μέτρων Κατασκευή σήματος

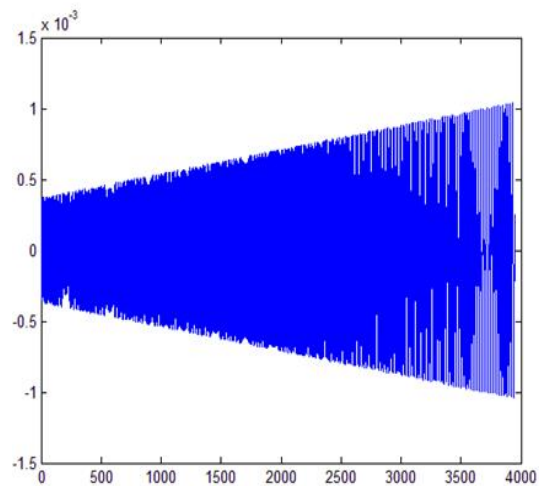
Σύμφωνα με τα δεδομένα “απόσταση πηγής-αισθητήρα” και την αντικατάστασή τους στο πρόγραμμα δημιουργούνται τα παρακάτω σήματα:

### 1<sup>η</sup> Περίπτωση

Για  $D=1\text{m}$  και  $D+D_1=19\text{m}$  έχουμε:



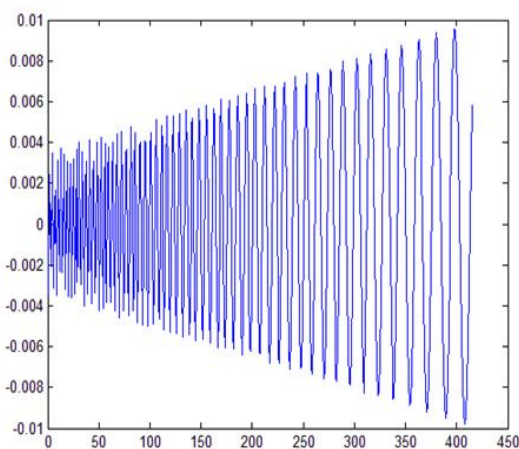
Προσομοιωμένο σήμα διαρροής για.  
 $D=1\text{m}$



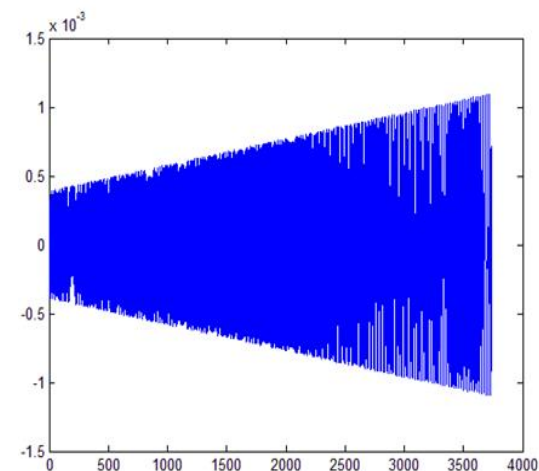
Προσομοιωμένο σήμα διαρροής για  
 $D+D_1=19\text{m}$

### 2<sup>η</sup> Περίπτωση

Για  $D=2\text{m}$  και  $D+D_1=18\text{m}$  έχουμε:



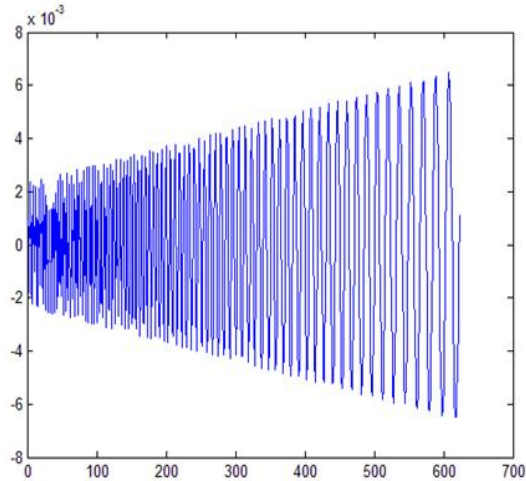
Προσομοιωμένο σήμα διαρροής για.  
 $D=2\text{m}$



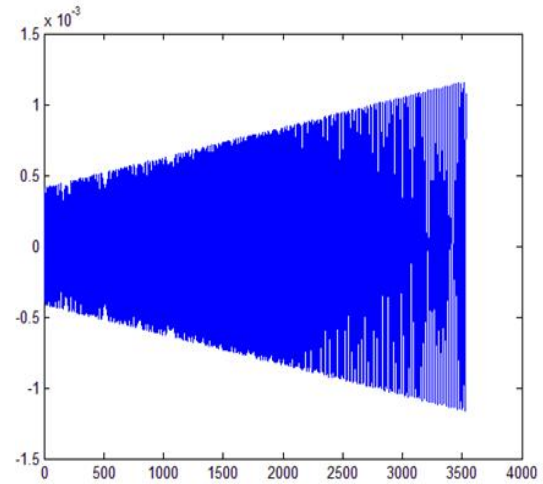
Προσομοιωμένο σήμα διαρροής για  
 $D+D_1=18\text{m}$

### 3<sup>η</sup> Περίπτωση

Για  $D=3\text{m}$  και  $D+D_1=17\text{m}$  έχουμε:



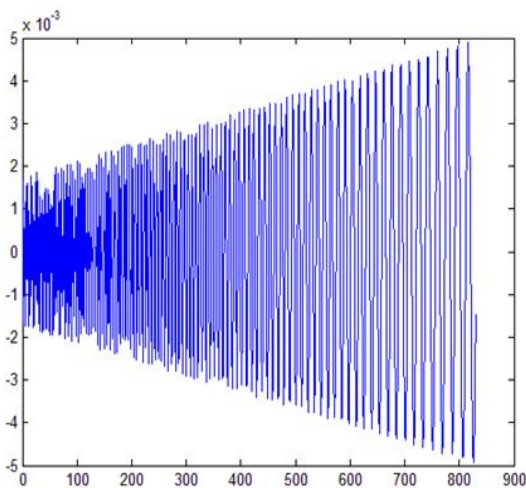
Προσομοιωμένο σήμα διαρροής για.  
 $D=3\text{m}$



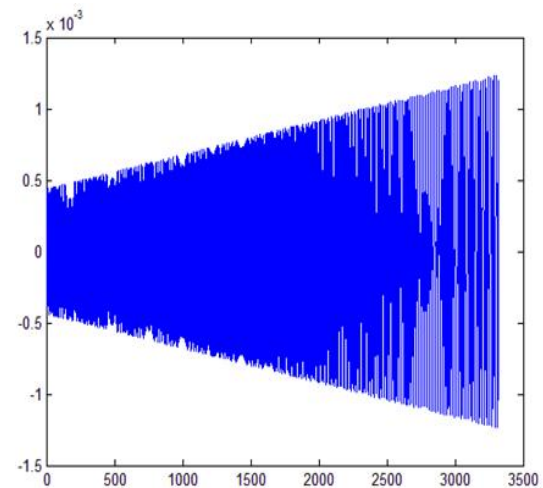
Προσομοιωμένο σήμα διαρροής για  
 $D+D_1=17\text{m}$

### 4<sup>η</sup> Περίπτωση

Για  $D=4\text{m}$  και  $D+D_1=16\text{m}$  έχουμε:



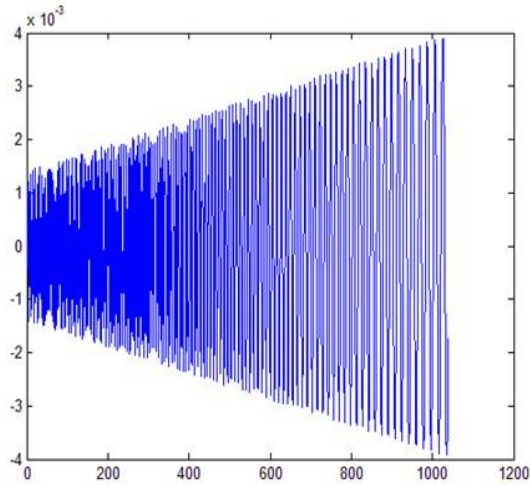
Προσομοιωμένο σήμα διαρροής για.  
 $D=4\text{m}$



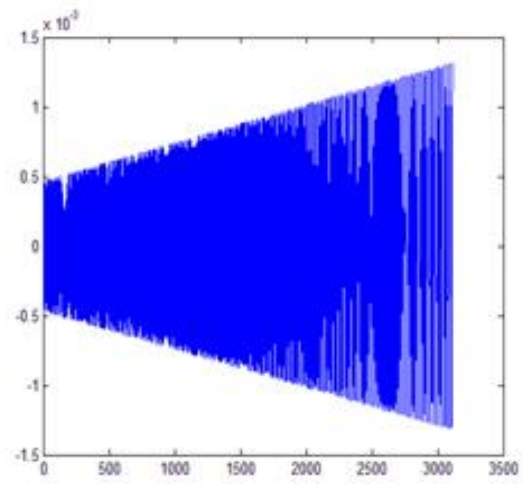
Προσομοιωμένο σήμα διαρροής για  
 $D+D_1=16\text{m}$ .

### 5<sup>η</sup> Περίπτωση

Για  $D=5\text{m}$  και  $D+D_1=15\text{m}$  έχουμε:



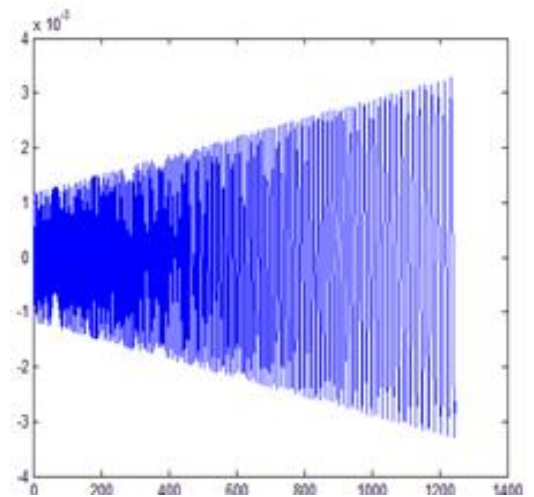
Προσομοιωμένο σήμα διαρροής για.  
 $D=5\text{m}$



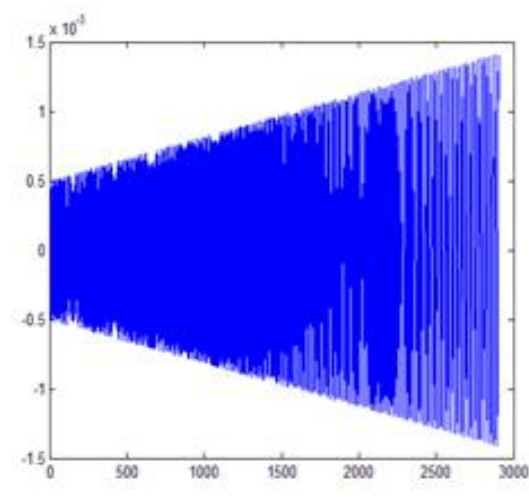
Προσομοιωμένο σήμα διαρροής για  
 $D+D_1=15\text{m}$

### 6<sup>η</sup> Περίπτωση

Για  $D=6\text{m}$  και  $D+D_1=14\text{m}$  έχουμε:



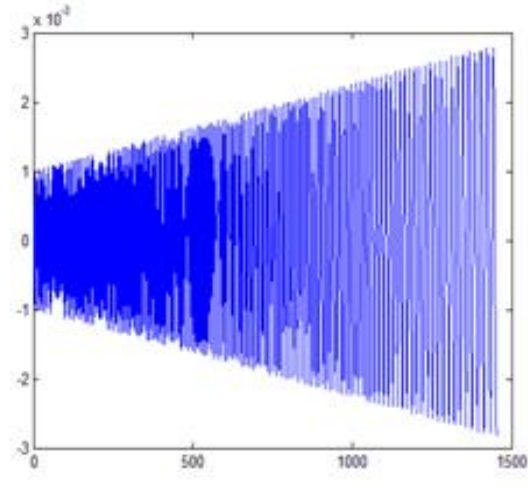
Προσομοιωμένο σήμα διαρροής για.  
 $D=6\text{m}$



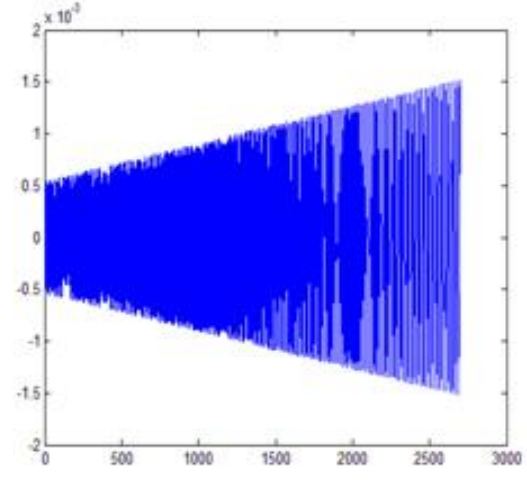
Προσομοιωμένο σήμα διαρροής για  
 $D+D_1=14\text{m}$

### 7<sup>η</sup> Περίπτωση

Για  $D=7\text{m}$  και  $D+D_1=13\text{m}$  έχουμε:



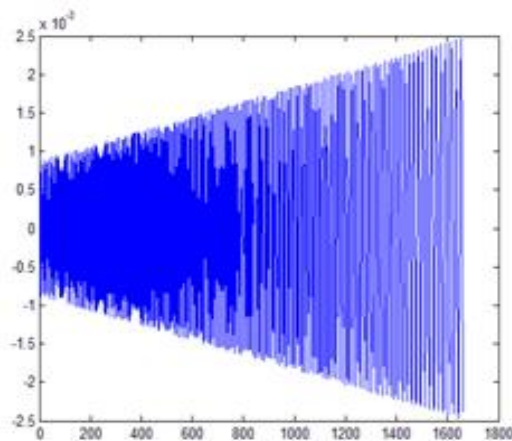
Προσομοιωμένο σήμα διαρροής για.  
 $D=7\text{m}$



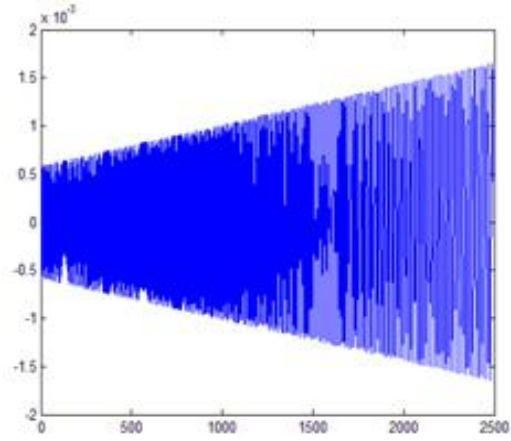
Προσομοιωμένο σήμα διαρροής για  
 $D+D_1=13\text{m}$

### 8<sup>η</sup> Περίπτωση

Για  $D=8\text{m}$  και  $D+D_1=12\text{m}$  έχουμε:



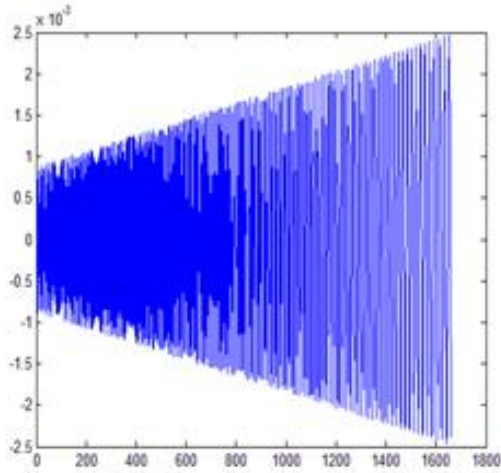
Προσομοιωμένο σήμα διαρροής για.  
 $D=8\text{m}$



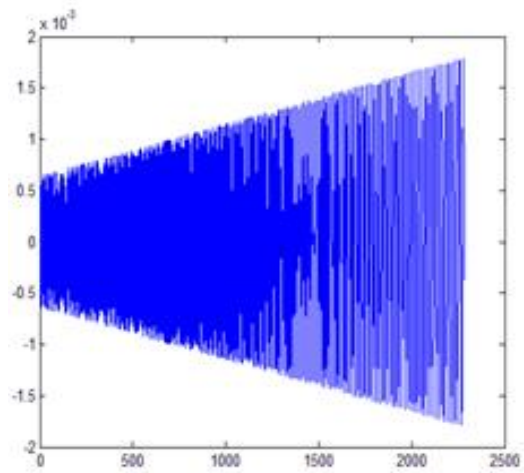
Προσομοιωμένο σήμα διαρροής για  
 $D+D_1=12\text{m}$

### 9<sup>η</sup> Περίπτωση

Για  $D=9\text{m}$  και  $D+D_1=11\text{m}$  έχουμε:



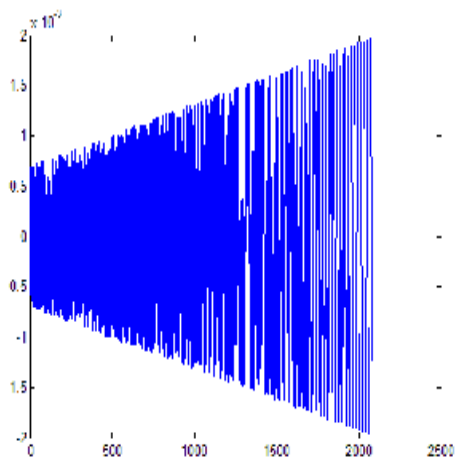
Προσομοιωμένο σήμα διαρροής για.  
 $D=8\text{m}$



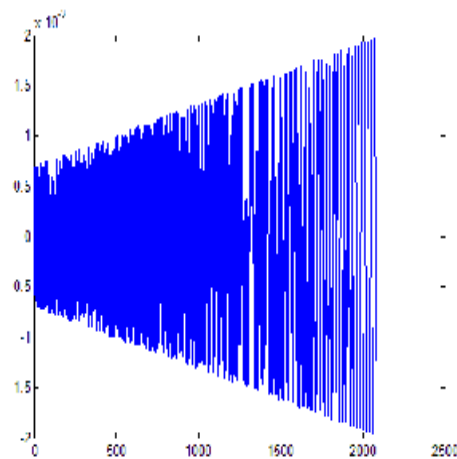
Προσομοιωμένο σήμα διαρροής για  
 $D+D_1=12\text{m}$

### 10<sup>η</sup> Περίπτωση

Για  $D=10\text{m}$  και  $D+D_1=10\text{m}$  έχουμε:



Προσομοιωμένο σήμα διαρροής για.  
 $D=10\text{m}$



Προσομοιωμένο σήμα διαρροής για  
 $D+D_1=10\text{m}$

### Υπολογισμός απόστασης D-Θέσης διαρροής.

Κάνοντας αντικατάσταση στο τύπο  $D = ((L - V * D_1))/2$  αφού πρώτα έχει υπολογιστεί η διαφορά χρόνου άφιξης των σημάτων (χρόνος που χρειάζεται το σήμα για να φτάσει από την διαρροή στο αισθητήρα) έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

#### 1<sup>η</sup> Περίπτωση

$$D = \frac{20m - 5000 \text{ m/sec} * 3745 * 10^{-6} \text{ sec}}{2} = 0.694m$$

#### 2<sup>η</sup> Περίπτωση

$$D = \frac{20m - 5000 \text{ m/sec} * 3275 * 10^{-6} \text{ sec}}{2} = 1.85m$$

#### 3<sup>η</sup> Περίπτωση

$$D = \frac{20m - 5000 \text{ m/sec} * 2925 * 10^{-6} \text{ sec}}{2} = 2.69m$$

#### 4<sup>η</sup> Περίπτωση

$$D = \frac{20m - 5000 \text{ m/sec} * 2460 * 10^{-6} \text{ sec}}{2} = 3.85m$$

#### 5<sup>η</sup> Περίπτωση

$$D = \frac{20m - 5000 \text{ m/sec} * 2158 * 10^{-6} \text{ sec}}{2} = 4.62m$$

6<sup>η</sup> Περίπτωση

$$D = \frac{20m - 5000 \text{ m/sec} * 1650 * 10^{-6} \text{ sec}}{2} = 5.88m$$

7<sup>η</sup> Περίπτωση

$$D = \frac{20m - 5000 \text{ m/sec} * 1290 * 10^{-6} \text{ sec}}{2} = 6.78m$$

8<sup>η</sup> Περίπτωση

$$D = \frac{20m - 5000 \text{ m/sec} * 820 * 10^{-6} \text{ sec}}{2} = 7.9m$$

9<sup>η</sup> Περίπτωση

$$D = \frac{20m - 5000 \text{ m/sec} * 550 * 10^{-6} \text{ sec}}{2} = 8.63m$$

10<sup>η</sup> Περίπτωση

$$D = \frac{20m - 5000 \text{ m/sec} * 0 * 10^{-6} \text{ sec}}{2} = 10m$$



### Υπολογισμός σφάλματος

Ο υπολογισμός σφάλματος πραγματοποιείται σύμφωνα με τον τύπο:

$$\sigma = D_{\text{πραγματικό}} - D_{\text{προσομοίωσης}}$$

Εν συνεχεία δίνονται οι παρακάτω υπολογισμοί:

1<sup>η</sup> Περίπτωση :  $\sigma = 1 - 0,67 = 0,33m$

2<sup>η</sup> Περίπτωση :  $\sigma = 2 - 1,85 = 0,15m$

3<sup>η</sup> Περίπτωση :  $\sigma = 3 - 2,69 = 0,31m$

4<sup>η</sup> Περίπτωση :  $\sigma = 4 - 3,85 = 0,15m$

5<sup>η</sup> Περίπτωση :  $\sigma = 5 - 4,62 = 0,38m$

6<sup>η</sup> Περίπτωση :  $\sigma = 6 - 5,88 = 0,12m$

7<sup>η</sup> Περίπτωση :  $\sigma = 7 - 6,78 = 0,22m$

8<sup>η</sup> Περίπτωση :  $\sigma = 8 - 7,9 = 0,1m$

9<sup>η</sup> Περίπτωση :  $\sigma = 9 - 8,63 = 0,37m$

10<sup>η</sup> Περίπτωση :  $\sigma = 10 - 10 = 0m$

Ο υπολογισμός σφάλματος % πραγματοποιείται σύμφωνα με τον τύπο:

$$\sigma\% = \frac{D_{\text{πραγματικό}} - D_{\text{προσομοίωσης}}}{D_{\text{πραγματικό}}} * 100\%$$

1<sup>η</sup> Περίπτωση       $\sigma_1\% = \frac{1-0,67}{1} = 0,33 \text{ ή } 33,0\%$

2<sup>η</sup> Περίπτωση       $\sigma_2\% = \frac{2-1,85}{2} = 0,075 \text{ ή } 7,5\%$

3<sup>η</sup> Περίπτωση       $\sigma_3\% = \frac{3-2,69}{3} = 0,13 \text{ ή } 10,3\%$

4<sup>η</sup> Περίπτωση       $\sigma_4\% = \frac{4-3,85}{4} = 0,038 \text{ ή } 3,8\%$

5<sup>η</sup> Περίπτωση       $\sigma_5\% = \frac{5-4,62}{5} = 0,076 \text{ ή } 7,6\%$

6<sup>η</sup> Περίπτωση       $\sigma_6\% = \frac{6-5,88}{6} = 0,02 \text{ ή } 2\%$

7<sup>η</sup> Περίπτωση       $\sigma_7\% = \frac{7-6,78}{7} = 0,031 \text{ ή } 3,1\%$

8<sup>η</sup> Περίπτωση       $\sigma_8\% = \frac{8-7,9}{8} = 0,012 \text{ ή } 1,2\%$

9<sup>η</sup> Περίπτωση       $\sigma_9\% = \frac{9-8,63}{9} = 0,041 \text{ ή } 4,1\%$

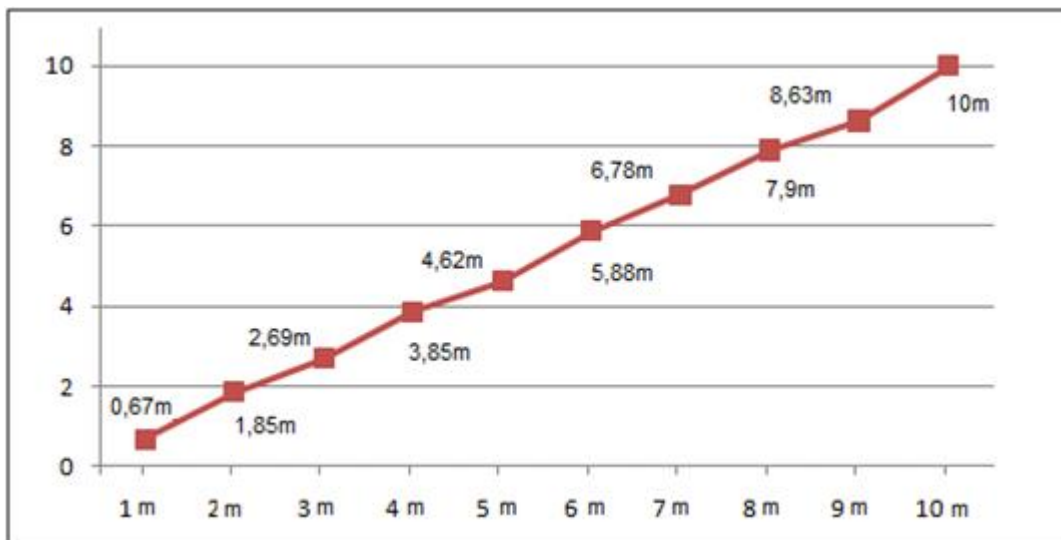
10<sup>η</sup> Περίπτωση       $\sigma_{10}\% = \frac{10-10}{10} = 0 \text{ ή } 0\%$

Μέση Τιμή Σφάλματος

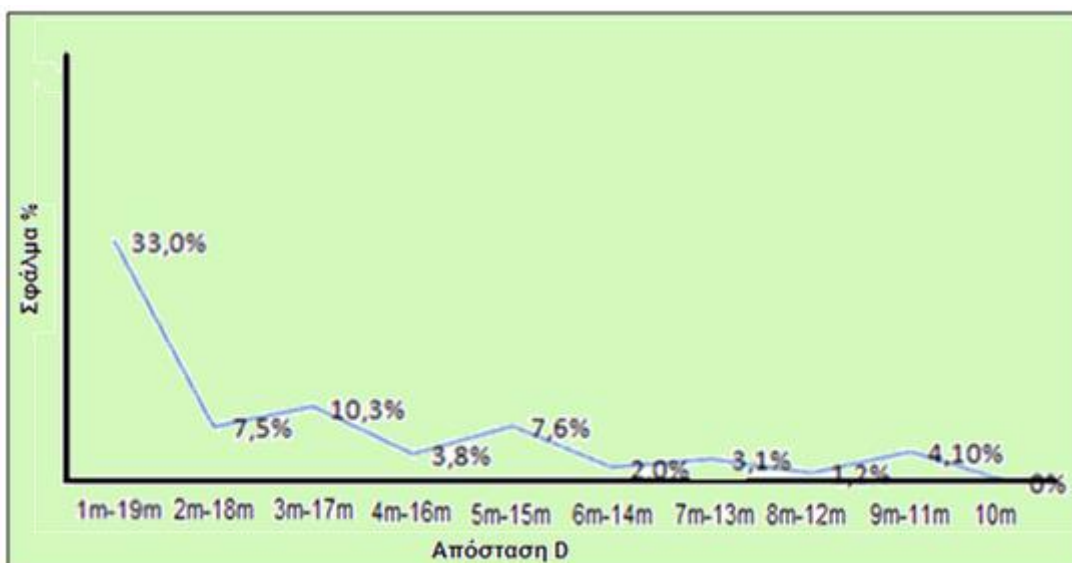
$$\bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{n} = 0.213m$$

Τυπική Απόκλιση Σφάλματος

$$X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}{n}} = 0,037$$



Γραφική παράσταση σφαλμάτων Δπραγματικό-Δπροσομοίωσης



Γραφική παράσταση σφάλμα%

### **6.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΕΣΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΟΥΣ ΣΩΛΗΝΕΣ.**

Η μέθοδος ακουστικής εκπομπής εφαρμόζεται στα δίκτυα ύδρευσης με σκοπό τον ακριβή εντοπισμό της θέσης διαρροής.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα βλέπουμε ότι οι αριθμητικές τιμές των σφαλμάτων είναι πολύ μικρές εκτός της περιπτώσεως όπου η διαρροή βρίσκεται σε απόσταση  $D=1\text{m}$  από τον αισθητήρα.

Η μεγαλύτερη αριθμητική τιμή του σφάλματος είναι ίση με  $0,33\text{m}$  και η μικρότερη αριθμητική τιμή του σφάλματος είναι  $0,1\text{m}$ .

Ο μέσος όρος των σφαλμάτων είναι ίσος με  $0,213\text{m}$  ενώ η τυπική απόκλιση είναι  $0,37$ .

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοιωμένης μεθόδου ακουστικής εκπομπής συμπεραίνουμε ότι η μέθοδος είναι ιδιαίτερα αξιόπιστη για οποιαδήποτε απόσταση αφού ο μέσος όρος των σφαλμάτων είναι πολύ μικρός. Επιπλέον η μέθοδος ανίχνευσης διαρροής μπορεί και πρέπει να εφαρμοστεί σε πραγματικές συνθήκες.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### ΚΑΤΑΓΡΑΦΙΚΑ ΠΙΕΣΗΣ-ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

*Μοντέλο RD522 ανιχνευτής διαρροών δικτύων ύδρευσης-καταγραφικό:*

Το RD522 (εικόνα 1) είναι μια ψηφιακή διάταξη αποθήκευσης δεδομένων σχετικών με την πίεση, που αναπτύχθηκε ειδικά για οργανισμούς διαχείρισης δικτύων ύδρευσης. Το RD522 λαμβάνει τις μετρήσεις, τις παρουσιάζει στην οθόνη του και τις αποθηκεύει σε ψηφιακή μορφή. Η διαχείρισή του γίνεται από Η/Υ μέσω θύρας υπερύθρων είτε μέσω κάρτας GSM. Ο χρόνος λήψης μετρήσεων μπορεί να είναι από μερικά δευτερόλεπτα έως μήνες. Πληροί τις περισσότερες απαιτήσεις των δικτύων ύδρευσης και είναι ικανό να αποθηκεύσει μέχρι και 240.000 μετρήσεις.



**Εικόνα 1:** Καταγραφικό πίεσης RD522.

Εφαρμογές:

- Παρακολούθηση της πίεσης κατά μήκος ύδρευσης.
- Υπολογισμοί δικτύου σωλήνων.
- Υπολογισμοί παροχής νερού στο δίκτυο πυρόσβεσης.
- Μετρήσεις ελέγχου πίεσης.

Χαρακτηριστικά:

- Στερεή υδατοστεγανή κατασκευή (χωρίς υποδοχές ή συνδέσμους)
- Προστατευμένο ηλεκτρολόγιο για προγραμματισμό στο χώρο εγκατάστασης

- Μεγάλης χωρητικότητας μνήμη, για περισσότερες από 240.000 μετρήσεις.
- Περιθώριο σφάλματος μικρότερο από 0,1% της τελικής τιμής στους 20°C.
- Μεταφορά δεδομένων μέσω υπέρυθρων/GSM και υπέρυθρων/USB.
- 10-ετής διάρκεια ζωής μπαταρίας.
- Κατάλληλο για εγκατάσταση σε κρίσιμα τμήματα δικτύων για την καταχώρηση της μέγιστης και ελάχιστης κατανάλωσης.

#### ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Εύρος πίεσης:	0 έως 100/160/250/400/600mbar 0 έως 1/1,6/2,5/4/6/10/16/25 bar Είναι δυνατή η επέκταση έως 400 bar
Ακρίβεια:	Καλύτερη από 0,1% της τελικής τιμής στους 20°C
Ανάλυση:	+/- 0,005% FS π.χ. 0,5mbar στα 10bar
Μεσοδιάστημα μετρήσεων:	1 δευτερόλεπτο έως 24 ώρες (ρυθμιζόμενο)
Μετρήσεις πραγματικού χρόνου:	Ρολόι ακρίβειας quartz για την ημερομηνία και την ώρα
Μνήμη:	Χωρητικότητα 240.000 μετρήσεις. Οι μετρήσεις διατηρούνται ακόμη και μετά την αλλαγή μπαταρίας.
Διασύνδεση:	Υπέρυθρη μεταφορά δεδομένων σε USB ή GSM μετατροπέα
Εύρος θερμοκρασίας:	έως +70°C.
Οθόνη:	Τύπου LCD
Βαθμός προστασίας:	IP 68
Υλικό:	Ανοξειδωτο σίδηρο/αλουμίνιο με εξαερισμό
Τροφοδοσία:	Μπαταρία Λιθίου 3,6V/7.6Ah, τύπου AA 10-ετής διάρκεια ζωής για λήψη 1 μέτρησης ανά λεπτό
Σύνδεση σε σωλήνα/κορυνό:	1/2 ίντσα

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΔΙΑΡΡΟΩΝ- ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

*Μοντέλο RD541 ανιχνευτής διαρροών δικτύων ύδρευσης:*

Το RD541 (εικόνα 1) αποτελεί εργαλείο προληπτικής συντήρησης δικτύων νερού. Το RD541 διακρίνεται για την εξαιρετικά υψηλή ευαισθησία του και την δυνατότητα ανίχνευσης ακόμη και μικρών διαρροών. Χρησιμοποιεί μεγάλης ευαισθησίας σύστημα ανίχνευσης δονήσεων και ενίσχυσης των σημάτων. Επιλέγοντας την κατάλληλη συχνότητα, μεταλλικοί και μη σωλήνες μπορούν να ελεγχθούν επιτυχώς. Το ηχητικό σήμα μεταφέρεται ασύρματα σε ακουστικά για μεγαλύτερη ευελιξία.

Το RD541 τοποθετείται στο σωλήνα ή σε σύνδεσμο και ενεργοποιείται. Εάν η ένδειξη στον μετρητή με τα LED είναι πάνω από 0 ο σωλήνας ή ο σύνδεσμος πιθανά έχουν διαρροή. Εάν προκύπτει ότι υπάρχει διαρροή αυτόματα τα ακουστικά ενεργοποιούνται και ο χρήστης μπορεί να ελέγξει εάν ο θόρυβος που ακούγεται, προκύπτει από πραγματική θραύση του σωλήνα.



**Εικόνα 1** :Ανιχνευτής διαρροών RD541.

Χαρακτηριστικά:

- Μικρό μέγεθος
- Λειτουργία με ένα μπατούν
- Υψηλή/χαμηλή συχνότητα

- Ασύρματα ακουστικά
- Ασύρματη μετάδοση δεδομένων σε ακτίνα 20 μέτρων
- Μετρητής LED 10 βαθμίδων

*Μοντέλο RD533 Ανιχνευτής διαρροών δικτύου ύδρευσης-συσχετιστής:*

Ο συσχετιστής RD533 (εικόνα 2) ανιχνεύει διαρροές (συσχέτιση και γεώφωνο) σε δίκτυα πόσιμου νερού και μπορεί να ιχνηλατήσει την τοπογραφία των σωλήνων. Η απλή λειτουργία του επιτρέπει ακόμη και σε ανεκπαίδευτους χειριστές να εντοπίσουν διαρροές με επιτυχία. Το συμπιεσμένο νερό μέσα στους σωλήνες δημιουργεί θόρυβο στο σημείο από' που διαρρέει. Ο θόρυβος ταξιδεύει και στις δύο κατευθύνσεις πάνω στο σωλήνα και ανιχνεύεται από υψηλής ευαισθησίας αισθητήρια που είναι τοποθετημένα σε προσπελάσιμα σημεία όπως βάνες, πυροσβεστικοί κρουνοί κ.α. Το σήμα ενισχύεται και εκπέμπεται στη κεντρική μονάδα η οποία κάνει τους υπολογισμούς αλληλουχίας και συσχετισμού και τους απεικονίζει στην οθόνη LCD.



**Εικόνα 2** :Συσχετιστής RD533.

*Ράβδος ελέγχου και γεώφωνο (εικόνα 3).*

Η ράβδος είναι υψηλής ευαισθησίας. Έχει σχεδιαστεί να ανιχνεύει και ακόμη και πολύ μικρές διαρροές. Η ράβδος ελέγχου είναι ρυθμιζόμενη



κάνοντας την ιδιαίτερα εύχρηστη στην ακρόαση μετρητών και για τον συστηματικό έλεγχο τμημάτων του δικτύου. Όταν έχει εντοπισθεί θόρυβος διαρροής με την ράβδο ελέγχου ή όταν πρέπει να επιβεβαιωθούν τα αποτελέσματα του συσχετισμού, εφαρμόζεται το περιλαμβανόμενο γεώφωνο. Τα φίλτρα ενεργοποιούνται αυτόματα ή χειροκίνητα ανάλογα με το είδος του θορύβου. Η ενσωματωμένη μνήμη επιτρέπει στο χρήστη να συγκρίνει τους ανιχνευόμενους θορύβους και να προσδιορίσει το σημείο διαρροής.



**Εικόνα 3:** Ράβδος ελέγχου και γεώφωνο

Χαρακτηριστικά:

- Φορητό.
- Συσχετιστής/ γεώφωνο/ ακουστική διάταξη σε ένα πλήρες σύστημα.
- Εύχρηστο περιβάλλον επιλογής λειτουργιών.
- Στιβαρή κατασκευή από αλουμίνιο.
- 500mW πομπός.
- Φόρτιση ή τροφοδοσία απευθείας από αναπτήρα αυτοκινήτου χωρίς μετατροπέα.
- Υποδοχή για ακουστικά στην κεντρική μονάδα και στους μετρητές.

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ-ΣΥΣΧΕΤΙΣΤΗΣ RD533

<b>Κεντρική Μονάδα</b>	
Κατάσταση AFS:	Αυτόματη αναζήτηση συχνοτήτων
Ακρίβεια:	0,2m
Μνήμη:	20 συσχετίσεις
Φίλτρα:	High-pass/ Low-pass, 15 βήματα έκαστο
Χρόνος λειτουργίας:	3 ώρες
Χρόνος επαναφόρτισης:	περίπου 14 ώρες
Γραφικά:	240 x 64 στοιχεία
Διασύνδεση:	RS232, DB-25 παράλληλη θύρα
Συνδέσεις:	Αισθητήρας Υδρόφωνο Κεραία Ακουστικά
Εύρος θερμοκρασιών:	-20°C έως +60°C
Διαστάσεις:	260 x 150 x 105mm
Βάρος:	2,5 κιλά
<b>Μετρητές</b>	
Οθόνη:	Γραφική/ Αλφαριθμητική
Δεδομένα στην οθόνη:	Τρέχουσα στάθμη Ελάχιστη στάθμη Κατάσταση μπαταρίας
Συχνότητα:	433Μηζ
Ισχύς εκπομπής:	500mW
Φωτισμός:	αυτόματος
Χρόνος λειτουργίας:	3 ώρες
Χρόνος επαναφόρτισης:	περίπου 9 ώρες
Διαστάσεις:	222 x 165 x 100mm
Βάρος:	2,9 κιλά

*Μοντέλο RD545 Ανιχνευτής διαρροών δικτύων ύδρευση-γεώφωνο.*

Το RD545 χρησιμοποιείται για να ανιχνεύσει (ράβδος ελέγχου) και να μετρήσει (γεώφωνο) (εικόνα 4) διαρροές στα δίκτυα νερού. Σε συνδυασμό με ένα πομπό, μπορεί να ιχνηλατήσει την πορεία του θαμμένου σωλήνα.

Η ράβδος ελέγχου (εικόνα) είναι υψηλής ευαισθησίας και προορίζεται να ανιχνεύσει ακόμα και στιγμιαίες διαρροές. Η ευέλικτη συσκευή είναι ιδανικά κατάλληλη για να <<ακούσει>> βαλβίδες και να ελέγχει μετρητές νερού. Το ακουστικό θωρακισμένο μικρόφωνο εδάφους είναι κατάλληλο για τον εντοπισμό και των μικρών διαρροών.



**Εικόνα 4:** Ράβδος ελέγχου και γεώφωνο.

Η κεντρική μονάδα (εικόνα 5) διαθέτει έξι αναλογικά φίλτρα και εγγυάται την απόρριψη κάθε ανεπιθύμητου θορύβου. Το εντοπίζει διαρροές συγκρίνοντας μετρήσεις μέσου όρου. Διαθέτει μεγάλη οθόνη LCD στην οποία παρουσιάζονται οι 6 τελευταίες μετρήσεις γραφικά και αλφαβητικά. Η μοναδική λειτουργία <<Adjust>> αυτόματα βελτιστοποιεί την ένδειξη ευαισθησίας της ράβδου ελέγχου. Διαθέτει επίσης προστασία της ακοής του χρήστη από αιχμηρούς ήχους. Τέλος σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας οι μπαταρίες διαρκούν έως 10 εβδομάδες πριν να πρέπει να αντικατασταθούν ή να επαναφορτιστούν.



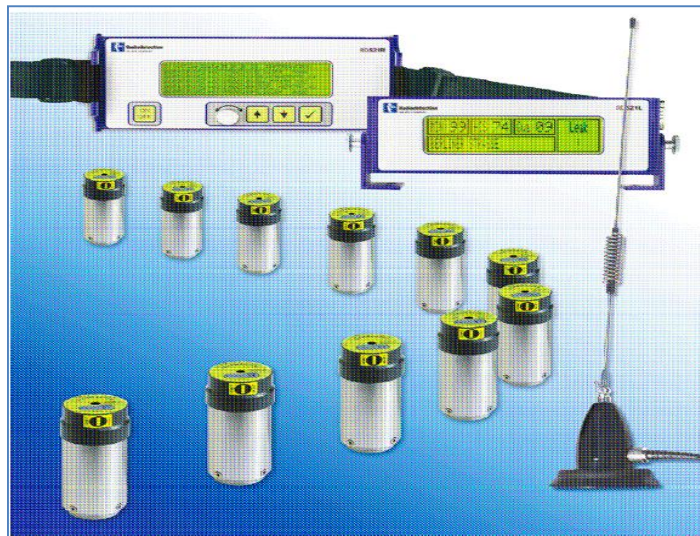
**Εικόνα 5:** Κεντρική μονάδα.

**Χαρακτηριστικά:**

- Αυτόματη διαμόρφωση στάθμης.
- 6 συχνότητες μέτρησης.
- Ολοκληρωμένη ακουστική προστασία.
- Αυτόματος οπισθοφωτισμός.
- Πιεζοηλεκτρικό μικρόφωνο.
- Ένδειξη ελάχιστου επιπέδου.
- Αυτόματη αποθήκευση δεδομένων.

*Μοντέλο RD521 Ανιχνευτής διαρροών δικτύου ύδρευσης –καταγραφικό.*

Το RD521 (εικόνα 6) θέτει νέα πρότυπα στην ασύρματη παρακολούθηση της κατάστασης των δικτύων ύδρευσης. Τα κατανεμημένα καταγραφικά θορύβου στο δίκτυο μετράνε και αποθηκεύουν τα επίπεδα θορύβου. Τα δεδομένα αυτά τα στέλνουν ασύρματα στη φορητή κεντρική μονάδα καθώς κινείτε επί τετράτροχου οχήματος, και επιτρέπει ακόμη και σ ανεκπαίδευτους χρήστες τον εύκολο και γρήγορο προσδιορισμό τυχόν διαρροών στο δίκτυο.



**Εικόνα 6:** Ανιχνευτής διαρροών νερού και καταγραφικό.

Το νερό που εξέρχεται στο σημείο της διαρροής σε ένα σωλήνα, δημιουργεί ένα συγκεκριμένο θόρυβο ο οποίος ταξιδεύει κατά μήκος του. Ο θόρυβος αυτός είναι ανιχνεύσιμος σε κρουούς, βάνες, συνδέσμους κατά μήκος του σωλήνα. Όσο μικρότερη είναι η απόσταση του σημείου διαρροής από το καταγραφικό τόσο πιο καθαρό και έντονο θα είναι το ανιχνεύσιμο σήμα. Το RD521 μειώνει σημαντικά το χρόνο εντοπισμού μιας διαρροής. Εάν το δίκτυο είναι εφοδιασμένο με καταγραφικά, ένας διαχειριστής μπορεί να καλύψει από 200 έως 350 χιλιόμετρα σε μια μόνο μέρα.

Το καταγραφικό μετράει και αναλύει το θόρυβο από τυχόν διαρροές το βράδυ κατά την διάρκεια της χαμηλής κατανάλωσης. Τα δεδομένα καταχωρούνται και εκπέμπονται κάθε 5 δευτερόλεπτα. Η μπαταρία του καταγραφικού έχει σχεδιαστεί για δεκαετή χρόνο ζωής.

Το όχημα που θα περάσει από τα σημεία που είναι εγκατεστημένα τα καταγραφικά θα συλλέξει αυτόματα και ασύρματα τα στοιχεία. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται γραφικά και οπτικά για να δείξουν την ακριβή θέση της διαρροής. Εάν το ελάχιστο νυχτερινό επίπεδο θορύβου έχει αυξηθεί, τότε στο τμήμα του δικτύου πιθανότατα υπάρχει διαρροή.

Το σύστημα καθορίζει το ελάχιστο επίπεδο θορύβου της προηγούμενης νύχτας βάσει 24000 καταχωρημένων μετρήσεων. Πληροφορίες σχετικά με την διαρροή προκύπτουν συγκρίνοντας τις μετρήσεις των προηγούμενων 14 ημερών. Οι πληροφορίες περιέχουν ενδείξεις : Διαρροή, Καμιά Διαρροή, Πιθανή Διαρροή. Τα δεδομένα είναι συμβατά με ψηφιακούς χάρτες και συνδέονται εύκολα με συστήματα GPS.

### ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ-ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ RD521

<b>RD521 Καταγραφικό</b>	
Μεταφορά δεδομένων:	Περιοδική προϋθμιση: <ul style="list-style-type: none"> <li>• μεταξύ 6ημ &amp; 7ημ 12 φορές το λεπτό</li> <li>• μεταξύ 7ημ &amp; 6ημ 1 φορά το λεπτό.</li> </ul> Συνεχής: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ελάχιστη στάθμη τελευταίων 2 εβδομάδων.</li> <li>• Ποιότητα μέτρησης (βροχή, αέρας κλπ)</li> <li>• Τρέχουσα Μέγιστη και Ελάχιστη στάθμη</li> <li>• Αριθμός καταγραφικού</li> <li>• Θέση καταγραφικού</li> </ul>
Χρόνος λειτουργίας:	8 – 10 χρόνια με τις ίδιες μπαταρίες.
Χρόνος μετρήσεων:	Επιλεγόμενος: <ul style="list-style-type: none"> <li>• όλη την ημέρα</li> <li>• μεταξύ 2ημ και 4ημ.</li> </ul>
Ισχύς εκπομπής:	10mW
Συχνότητα:	433Hz
Βαθμός προστασίας:	IP 68
Αισθητήρας:	Πιεζοκεραμικός
Εύρος θερμοκρασίας:	-15°C έως +55°C.
Διαστάσεις:	40 ή 44mm ύψος, 112mm με ενσωματωμένη κεραία
Βάρος:	περίπου 0,45kg
Εγγύηση:	5 χρόνια
<b>RD521 Δέκτης</b>	
Υλικό:	Αλουμίνιο
Οθόνη:	Ποιότητα μέτρησης Στάθμη θορύβου Προηγούμενες μετρήσεις Κατάσταση διαρροής Τρέχουσα Μέγιστη και Ελάχιστη στάθμη
Τροφοδοσία:	Εσωτερική επαναφορτιζόμενη μπαταρία Εξωτερικά 12V DC
Διασύνδεση:	Εκτυπωτής/ ΗΥ GPS προαιρετικά Εξωτερική οθόνη LCD

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

### ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ 1

%Το παρακάτω πρόγραμμα αναπαριστά γραφικά το σήμα του μοντέλου ακουστικής %εκπομπής για συγκεκριμένες θέσεις πηγής (x1,y1) και αισθητήρα (x2,y2)

%Απόσβεση

b1=5/1.42\*2.19;

%Συχνότητα δειγματοληψίας

freq=1.0e06;

%Μέγιστη συχνότητα

freq1=4.0e05;

%Ελάχιστη συχνότητα

freq2=5.0e04;

%Υπολογισμός της απόστασης πηγής αισθητήρα

eucl\_dist1=dist([x1 y1],[x2 y2]);

eucl\_dist1=3;

%Βρίσκουμε τον μέγιστο χρόνο  $r^2/4bt > 5$

max\_time1=eucl\_dist1^2/(40\*b1)\*freq;

%Υπολογισμός του μέγιστου χρόνου με βάση το coswt

max\_time\_w1=floor(sqrt(eucl\_dist1^2/(4\*b1\*2\*pi\*freq2))\*freq);

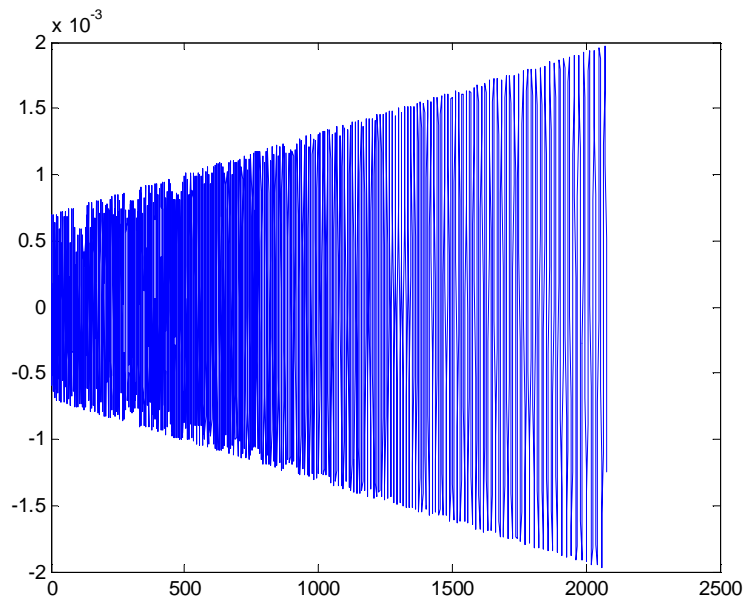
%Υπολογισμός του ελάχιστου χρόνου με χρήση της ελάχιστης συχνότητας

min\_time1=ceil(sqrt(eucl\_dist1^2/(4\*b1\*2\*pi\*freq1))\*freq);

%Δημιουργία του σήματος

o1=2\*cos(eucl\_dist1^2./(4\*b1\*(min\_time1:max\_time\_w1)/freq))./...

$(\text{eucl\_dist1}^2 ./ (4 * b1 * (\text{min\_time1} : \text{max\_time\_w1}) / \text{freq}))$ ;





## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ASNT_86]	ASNT, "Non destructive testing handbook", Second Edition, Published by ASNT, USA, 1986.
[Blitz_06]	J. Blitz, "Electrical and magnetic methods of non-destructive testing (non-destructive evaluation series), 2006.
[Bolis_75a]	E. Bolis, "Non-Destructive Inspection Practices", Vol. I, AGARD-AG-201, 1975.
[Bolis_75b]	E. Bolis, "Non-Destructive Inspection Practices", Vol. II, AGARD-AG-201, 1975.
[Cartz_95]	L. Cartz, "Non destructive Testing: Radiography, Ultrasonics, Liquid Penetrant, Magnetic Particle, Eddy Current", ASM International, 1995.
[Hull_88]	H. Hull and V. John, "Non-destructive testing", Macmillan Education Ltd, 1988.
[London_90]	B. London, R. Yancey and J. Smith, "High-resolution X-ray computed tomography of composite materials", Materials Evaluation, Vol. 48, pp. 604-629, 1990.
[Maddux_79]	G. Maddux and G. Sendeckyj, "Holographic techniques for defect detection in composite materials", Non destructive Evaluation and Flaw Criticality for Composite Materials, R. B. Pipes, Ed., ASTM STP 696, pp. 26-44, 1979.
[Medick_61]	M. Medick, "On classical plate theory and wave propagation", Journal. Appl. Mech., Vol. 28, pp. 223-228, 1961.
[Miller_87]	R. Miller and P. McIntire, "Handbook, vol. 5: acoustic emission testing, non destructive testing", American Society for Non Destructive Testing, 1987.
[Mix_87]	P. Mix, "Introduction to non destructive testing - a training guide", John Wiley & Sons, Inc., 1987.

[Valleau_90]	A. Valleau, "Eddy Current non destructive testing of graphite composite materials", Materials Evaluation, Vol. 48, pp. 230-239, 1990.
[Vary_88]	A. Vary, "The acousto-ultrasonic approach", Acousto Ultrasonics, J. C. Duke, Ed., Plenum Pub. Co., pp. 1-21, 1988.
[Vary_91]	A. Vary, "Acousto-ultrasonic: retrospective exhortation with bibliography", Materials Evaluation, Vol. 49, pp. 581-591, 1991.
[Mix_92]	P. Mix and D. McBride, Eds., "Non destructive testing techniques", John Wiley & Sons, Inc., 1992.
[Hunaidi]	O. Hunaidi and P. Giamou, "Ground penetrating radar for detection of leaks in buried plastic water distribution pipes"
[Eyuboglou]	S. Eyuboglu, M. Hanan, H. Al Shukri, "Detection of water leaks using ground penetrating radar"
[Fahmy 09]	M. Fahmy, "Detecting and locating leaks in underground water mains using Thermography", 2009.
[Inframation]	"Infrared Thermography and water damage assesement", Inframation 2006.
[Weiner 01]	D. Weiner, "Water loss management and techniques", 2001.
[Μπέλος 08]	Θ. Μπέλος, "Οι διεθνικές Μ.Κ.Ο και η αντιμετώπιση της έλλειψης υδατικών πόρων", 2008.
[Κορωναίος]	Αιμ. Κορωναίος, "Θερμογραφία", 2003.
[Γιακουμάκης]	Σπ. Γιακουμάκης, "Μέθοδοι ελέγχου των διαρροών στα δίκτυα ύδρευσης"
[Attellis_92a]	C. D' Attellis, L. Pirez, D. Rubio and J. Ruzzante, "Parameter estimation in acoustic emission signals", Journal of Acoustic Emission, Vol. 10 (3/4), 1992.
[Ziola_91]	S. Ziola, M. Gorman, "Source location in thin plates using cross-correlation", Journal Acoustical Society of America, Vol. 90 (5), pp. 2551-2556, 1991.

[Attellis_92b]	C. D' Attellis, L. Pirez, D. Rubio and J. Ruzzante, "A bank of Kalman filters for failure detection using acoustic emission signals", Non-Destructive Testing, C Hallai and P. Kulcsar (Editors), pp 29-33, Elsevier Publication, 1992. \ 
[Mitrakovic_85]	D. Mitrakovic, I. Grave and S. Sedmak, "Simulation of AE signals and signal analysis system", Ultrasonic, Vol. 23, pp. 227-232, 1985.
[Barnett_95]	J. Barnett, R. Clough and B. Kedem, "Technical report: power considerations in acoustic emission", pp. 6-7, 1995.
[Pirez_97]	L. Pirez, G D'Attellis and J. Ruzzante: "A model for acoustic emission signals and burst occurrence estimation", The British Institute of Non-Destructive Testing, INSIGHT Vol. 39 (2), 1997.
[Graff_75]	K. Graff, "Wave Motion in Elastic Solids", Dover Publications, Inc., New York, 1975.
[Gorman_91]	M. Gorman, "Plate waves acoustic emission", Journal Acoustical Society of America, Vol. 90, pp. 358-364, 1991.