



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής  
Σχεδίασης και Παραγωγής

**&**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΑΙΓΑΙΟΥ**

Τμήμα Ναυτιλίας και  
Επιχειρηματικών Υπηρεσιών



**ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**«ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ»**

**«Μελέτη συστήματος ανίχνευσης διαρροών σε πλοίο με χρήση  
εκπομπής ηχητικών κυμάτων»**

---

**“Study of a ship leak detection using sound wave emission”**

---

**Γεώργιος Χρυσοχοΐδης**

---

**Δρ. Θεόδωρος Γκανέτσος**

---

**ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2020**

---

**«Μελέτη συστήματος ανίχνευσης διαρροών σε πλοίο με χρήση εκπομπής  
ηχητικών κυμάτων»**

**Γεώργιος Χρυσοχοΐδης**

**Μεταπτυχιακή Διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για την  
μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού τίτλου  
του Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες  
Τεχνολογίες στη Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Ναυτιλίας και  
Επιχειρηματικών Υπηρεσιών του Πανεπιστημίου Αιγαίου και του Τμήματος  
Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου  
Δυτικής Αττικής.**

### Δήλωση συγγραφέα διπλωματικής διατριβής

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος Γεώργιος Χρυσοχοΐδης , του Εμμανουήλ, με αριθμό μητρώου 100 , φοιτητής του Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες Τεχνολογίες στη Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών του Πανεπιστημίου Αιγαίου και του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής,

δηλώνω

ότι:

*«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής διατριβής και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην διατριβή. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η διατριβή προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική διατριβή».*

Ο δηλών

Ημερομηνία 7/2/2020



## **Περίληψη**

Παρόλο που οι τεχνικές των υπερήχων χρησιμοποιούνται εδώ και πολλές δεκαετίες για τον χαρακτηρισμό των υλικών, οι πρόσφατες εξελίξεις στα ηλεκτρονικά και τους Η/Υ έχουν καταστήσει δυνατή την απεικόνιση με υψηλή ανάλυση, καθώς και τη δυνατότητα ποσοτικού προσδιορισμού των ελαστικών ιδιοτήτων του υλικού.

Το Hatch Sure είναι ένα ελαφρύ σύστημα υπερήχων για τη δοκιμή της στεγανότητας του καλύμματος των θυρών φορτίου ή των θυρών στο αμπάρι σε ένα πλοίο. Σε αυτό το ερευνητικό έργο μελετήσαμε αυτό το σύστημα υπερήχων προκειμένου να σχεδιάσουμε και να δοκιμάσουμε ένα νέο πρόγραμμα λογισμικού με τη χρήση MATLAB που μας δίνει συγκεκριμένα αποτελέσματα και αναφορές.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	6
ABSTRACT.....	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	9
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΗΧΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ.....	10
1.1 Περιγραφή ηχητικών κυμάτων.....	10
1.2 Ταχύτητα διάδοσης του ήχου μέσα σε ένα αέριο.....	14
1.3 Ένταση ενός περιοδικού ηχητικού κύματος.....	17
1.4 Ένταση μιας σημειακής πηγής.....	19
2. ΥΠΕΡΗΧΟΙ.....	22
2.1 Εισαγωγή.....	22
2.2 Αισθητήρες υπερήχων.....	24
2.3 Μη-καταστροφικός έλεγχος με υπερήχους.....	28
2.4 Τεχνικές απεικόνισης δεδομένων.....	34
2.5 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα.....	38
3. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΣΕ ΠΛΟΙΑ.....	40
3.1 Τεχνολογία υπερήχων.....	40
3.2 Συσκευή υπερύθρων Cygnus Hatch Sure .....	42
4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	69
4.1 Layout του προγράμματος – επεξηγήσεις .....	69
4.2 Αρχικοί Υπολογισμοί στο background.....	71
4.3 Εύρεση σημείων ρωγμών με δύο τεχνικές .....	76
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	80
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	82
9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	84
Παράρτημα 1: ..... [PAPER] .....	85
Παράρτημα 2: ..... [specifications]... ..	89
Παράρτημα 3: ..... [MATLAB ΚΩΔΙΚΑΣ] .....	92

## 1. Εισαγωγή στα ηχητικά κύματα

### 1.1 Περιγραφή ηχητικών κυμάτων

Τα κύματα μπορούν να διαδίδονται σε μέσα τριών διαστάσεων. Τα ηχητικά κύματα είναι διαμήκη κύματα. Διαδίδονται σε οποιοδήποτε υλικό με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Είναι μηχανικά κύματα, τα οποία διαδίδονται στον αέρα και διεγείρουν την ανθρώπινη ακοή.
- Καθώς τα ηχητικά κύματα διαδίδονται στον αέρα, τα σωματίδια του αέρα απομακρύνονται από τις θέσεις ισορροπίας τους.
- Οι κινήσεις αυτές συνοδεύονται από μεταβολές της πυκνότητας και της πίεσης του αέρα.
- Η μαθηματική περιγραφή των ημιτονοειδών ηχητικών κυμάτων είναι παρόμοια με την περιγραφή των ημιτονοειδών κυμάτων που διαδίδονται σε νήματα.

### *Κατηγορίες ηχητικών κυμάτων*

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες ηχητικών κυμάτων, οι οποίες καλύπτουν διαφορετικά φάσματα συχνοτήτων.

- Τα ακουστικά κύματα βρίσκονται στο αντιληπτό φάσμα της ανθρώπινης ακοής.
- Τα υποηχητικά κύματα έχουν συχνότητες κάτω από το ακουστικό φάσμα.
- Τα κύματα υπερήχων έχουν συχνότητες πάνω από το ακουστικό φάσμα.

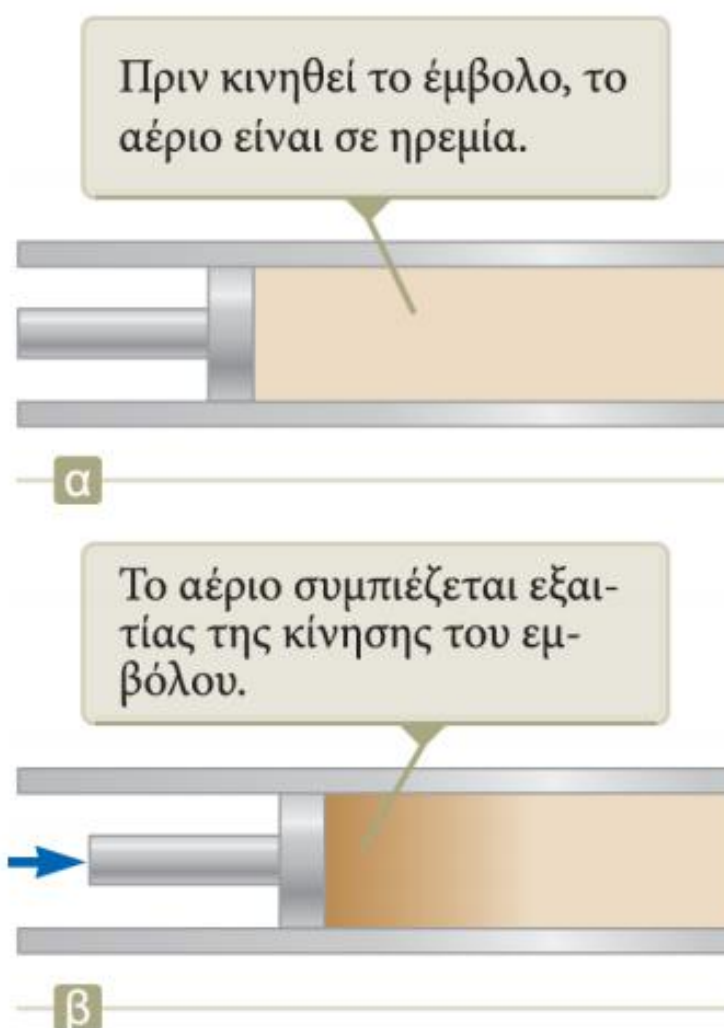
### **Ταχύτητα των ηχητικών κυμάτων**

Στην εικόνα φαίνεται η κίνηση ενός μονοδιάστατου διαμήκους ηχητικού παλμού, ο οποίος διαδίδεται σε έναν μακρύ σωλήνα που περιέχει ένα συμπιεστό αέριο.

Το έμβολο στο αριστερό άκρο του σωλήνα μπορεί να κινηθεί γρήγορα προς τα δεξιά για να συμπιέσει το αέριο και να δημιουργήσει τον παλμό.

Πριν κινηθεί το έμβολο, το αέριο έχει ομοιόμορφη πυκνότητα. Αν σπρώξουμε απότομα το έμβολο προς τα δεξιά, το αέριο που βρίσκεται μπροστά από αυτό συμπιέζεται.

Η σκούρα περιοχή στην εικόνα (β). ! Η πίεση και η πυκνότητα σε αυτό το στρώμα αερίου είναι μεγαλύτερες από ό,τι πριν ωθήσουμε το έμβολο.



Σχήμα 1α 1β Περιγραφή μονοδιάστατου ηχητικού παλμού

Μόλις το έμβολο ακινητοποιηθεί, το συμπιεσμένο στρώμα του αερίου συνεχίζει να κινείται. Το πύκνωμα αυτό είναι ένας διαμήκης παλμός, ο οποίος διαδίδεται στον σωλήνα με ταχύτητα  $v$ .

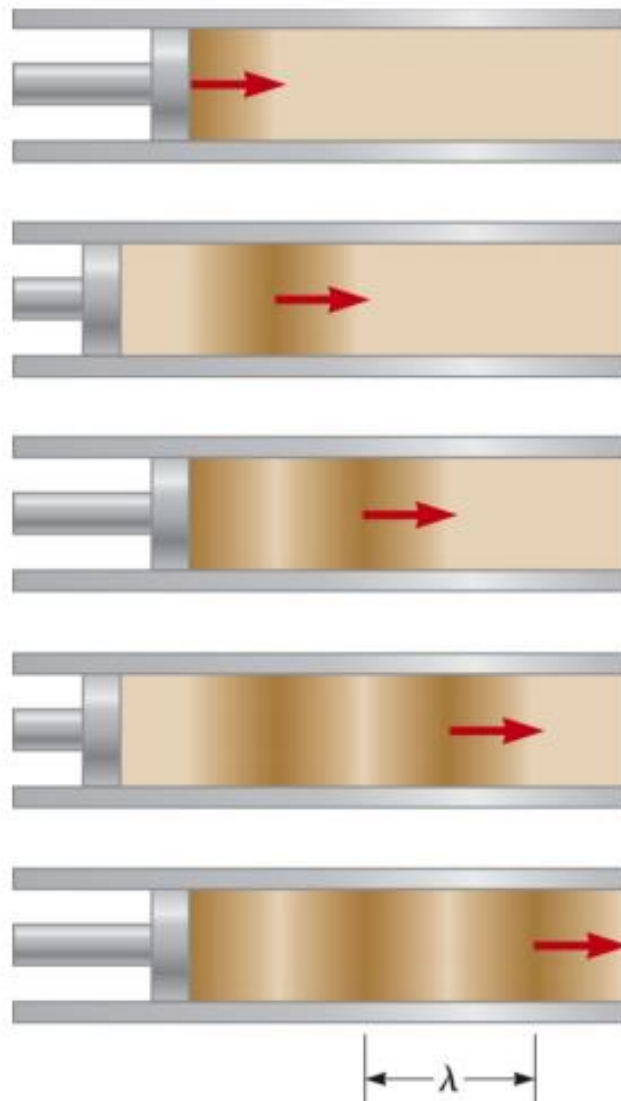


Σχήμα 1γ Διάδοση παλμού

### Δημιουργία περιοδικού ηχητικού κύματος

Αν αναγκάσουμε το έμβολο να εκτελέσει απλή αρμονική κίνηση, θα δημιουργήσουμε ένα μονοδιάστατο, περιοδικό ηχητικό κύμα. Τα σκουρόχρωμα τμήματα στις εικόνες είναι περιοχές όπου το αέριο έχει συμπιεστεί. Η πυκνότητα και η πίεση σε αυτές τις περιοχές έχουν τιμές μεγαλύτερες από τις τιμές ισορροπίας. Οι συμπιεσμένες περιοχές ονομάζονται *πυκνώματα*.





Σχήμα 2. Περιοδικό ηχητικό κύμα

Όταν τραβάμε το έμβολο προς τα πίσω, το αέριο που βρίσκεται μπροστά από το έμβολο εκτονώνεται, οπότε η πίεση και η πυκνότητα σε αυτή την περιοχή έχουν τιμές μικρότερες από τις τιμές ισορροπίας.

Οι περιοχές χαμηλής πίεσης ονομάζονται *αραιώματα*. Τα αραιώματα διαδίδονται στον σωλήνα ακολουθώντας τα *πυκνώματα*. Τα πυκνώματα και τα αραιώματα κινούνται στο μέσο με την ταχύτητα του ήχου. Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών πυκνωμάτων ή αραιωμάτων ισούται με το μήκος κύματος.

### 1.2 Ταχύτητα διάδοσης του ήχου μέσα σε ένα αέριο

Θεωρούμε ένα στοιχειώδες τμήμα του αερίου μεταξύ του εμβόλου και της διακεκομμένης γραμμής. Αρχικά, το στοιχειώδες τμήμα βρίσκεται σε ισορροπία υπό την επίδραση δυνάμεων ίσου μέτρου:

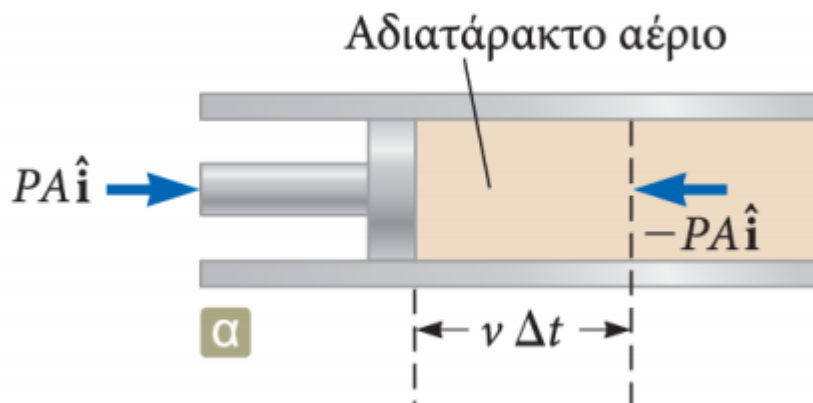
Το έμβολο ασκεί μια δύναμη από τα αριστερά.

Το υπόλοιπο αέριο ασκεί μια δύναμη από τα δεξιά.

Οι δυνάμεις αυτές έχουν ίδιο μέτρο, ίσο με  $PA$ .

$P$  είναι η πίεση του αερίου.

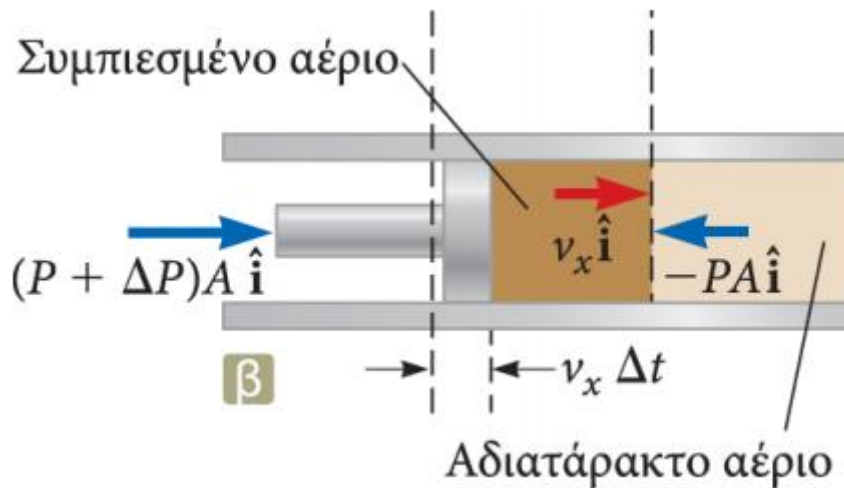
$A$  είναι το εμβαδόν της διατομής του σωλήνα.



Σχήμα 3. Διάδοση του ήχου.

Μετά από χρονικό διάστημα  $\Delta t$ , το έμβολο έχει κινηθεί προς τα δεξιά με σταθερή ταχύτητα μέτρου  $v_x$ . Το μέτρο της δύναμης έχει αυξηθεί από  $PA$  σε  $(P + \Delta P)A$ .

Το αέριο που βρίσκεται στα δεξιά του στοιχείου παραμένει σε ηρεμία επειδή το ηχητικό κύμα δεν έχει φτάσει ακόμα σε αυτό.



Σχήμα 4. Διάδοση του ήχου

Η ταχύτητα διάδοσης των ηχητικών κυμάτων σε ένα μέσο εξαρτάται από τη συμπιεστότητα και την πυκνότητα του μέσου.

Συχνά, μπορούμε να εκφράσουμε τη συμπιεστότητα συναρτήσει του μέτρου ελαστικότητας όγκου του υλικού. Η ταχύτητα όλων των μηχανικών κυμάτων δίνεται από τη γενική σχέση:

$$v = \sqrt{\frac{\text{ελαστική ιδιότητα}}{\text{αδρανειακή ιδιότητα}}}$$

Η ταχύτητα του ήχου σε μια ράβδο συμπαγούς υλικού εξαρτάται από το μέτρο ελαστικότητας του Young και από την πυκνότητα του υλικού.

#### Ταχύτητα διάδοσης του ήχου στον αέρα

Η ταχύτητα του ήχου εξαρτάται επίσης από τη θερμοκρασία του μέσου. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα αέρια.

Για τον αέρα, η σχέση που συνδέει την ταχύτητα με τη θερμοκρασία είναι:

$$v = (331 \text{ m/s}) \sqrt{1 + \frac{T_C}{273}}$$

Όπου:

331 m/s είναι η ταχύτητα του ήχου στους 0o C.

T<sub>C</sub> είναι η θερμοκρασία του αέρα σε βαθμούς Κελσίου.

## Ταχύτητα διάδοσης του ήχου σε αέρια – Παραδείγματα τιμών

**ΠΙΝΑΚΑΣ Τ3.1**

Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου σε διάφορα μέσα

Μέσο	v (m/s)	Μέσο	v (m/s)	Μέσο	v (m/s)
<b>Αέρια</b>		<b>Υγρά στους 25°C</b>		<b>Στερεά<sup>a</sup></b>	
Υδρογόνο (0°C)	1 286	Γλυκερίνη	1 904	Γυαλί Pyrex	5 640
Ήλιο (0°C)	972	Θαλασσινό νερό	1 533	Σίδηρος	5 950
Αέρας (20°C)	343	Νερό	1 493	Αργίλιο	6 420
Αέρας (0°C)	331	Υδράργυρος	1 450	Ορείχαλκος	4 700
Οξυγόνο (0°C)	317	Κηροζίνη	1 324	Χαλκός	5 010
		Μεθυλική αλκοόλη	1 143	Χρυσός	3 240
		Τετραχλωράνθρακας	926	Λουσίτης	2 680
				Μόλυβδος	1 960
				Καουτσούκ	1 600

<sup>a</sup>Οι τιμές αφορούν τη διάδοση διαμήκων κυμάτων σε ογκώδη υλικά μέσα. Οι ταχύτητες διάδοσης των διαμήκων κυμάτων σε λεπτές ράβδους είναι μικρότερες, ενώ οι ταχύτητες των εγκάρσιων κυμάτων σε ογκώδη υλικά μέσα είναι ακόμα πιο μικρές.

Σχήμα 5. Τιμές ταχύτητας διάδοσης του ήχου.

### 1.3 Ένταση ενός περιοδικού ηχητικού κύματος

Η ένταση  $I$  ενός κύματος ορίζεται ως ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας.

$$I = \frac{(\text{Ισχύς})_{\text{μέση}}}{A}$$

Είναι ο ρυθμός με τον οποίο το κύμα μεταφέρει ενέργεια διαμέσου μιας μοναδιαίας επιφάνειας  $A$ , η οποία είναι κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος

Στο παράδειγμά μας, όπου το κύμα διαδίδεται στον αέρα, έχουμε:

$$I = \frac{1}{2}\rho v(\omega s_{\max})^2$$

Άρα, η ένταση ενός περιοδικού ηχητικού κύματος είναι ανάλογη

- του τετραγώνου του πλάτους μετατόπισης
- του τετραγώνου της κυκλικής συχνότητας

Η ένταση  $I$  συναρτήσει του πλάτος πίεσης είναι:

$$I = \frac{(\Delta P_{\max})^2}{2\rho v}$$

### Σημειακή πηγή

Μια σημειακή πηγή εκπέμπει ηχητικά κύματα προς όλες τις κατευθύνσεις. Το αποτέλεσμα είναι ένα σφαιρικό κύμα. Μπορούμε να αναπαραστήσουμε τα σφαιρικά κύματα ως ομόκεντρα κυκλικά τόξα με κέντρο την πηγή.

Κάθε επιφάνεια σταθερής φάσης ονομάζεται μέτωπο κύματος ή ισοφασική επιφάνεια. Η ακτινική απόσταση μεταξύ διαδοχικών μετώπων του κύματος, τα οποία έχουν την ίδια φάση, είναι το μήκος  $\lambda$  του κύματος.

Οι ακτινικές ευθείες που ξεκινούν από την πηγή και έχουν φορά προς τα έξω δείχνουν προς την κατεύθυνση διάδοσης των κυμάτων και ονομάζονται ακτίνες.

Οι ακτίνες έχουν διεύθυνση κάθετη στα μέτωπα των κυμάτων και φορά από τη σημειακή πηγή προς τα έξω.



Σχήμα 6. Σημειακή πηγή

#### 1.4 Ένταση μιας σημειακής πηγής

Η ισχύς κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια της σφαίρας. Η ένταση του κύματος σε απόσταση  $r$  από την πηγή είναι:

$$I = \frac{(\text{Ισχύς})_{\text{μέση}}}{A} = \frac{(\text{Ισχύς})_{\text{μέση}}}{4\pi r^2}$$

Η παραπάνω σχέση είναι ένας νόμος αντίστροφου τετραγώνου.

Η ένταση είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης από την πηγή.

### **Ηχοστάθμη**

Το εύρος των εντάσεων που μπορεί να αντιληφθεί το ανθρώπινο αυτί είναι πολύ μεγάλο.

Μας διευκολύνει να χρησιμοποιούμε λογαριθμική κλίμακα για να προσδιορίζουμε την ηχοστάθμη (ή ηχητική στάθμη)  $\beta$ .

$$\beta = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

Η σταθερά  $I_0$  ονομάζεται *ένταση αναφοράς*. Αντιστοιχεί στο κατώφλιο ακοής.

$$I_0 = 1.00 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Το  $I$  είναι η ένταση του ήχου την ηχοστάθμη του οποίου θέλουμε να προσδιορίσουμε.

Η ηχοστάθμη  $\beta$  μετριέται σε decibel (dB).

Όριο πόνου:  $I = 1.00 \text{ W/m}^2$ ,  $\beta = 120 \text{ dB}$

Κατώφλιο ακοής: Η ένταση αναφοράς  $I_0 = 1.00 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$  αντιστοιχεί σε ηχοστάθμη  $\beta = 0 \text{ dB}$ .

## Ηχοστάθμες

Πηγή ήχου	$\beta$ (dB)
Αεριοθούμενο σε μικρή απόσταση	150
Κομπρεσέρ, πολυβόλο	130
Σειρήνα, μουσική συναυλία	120
Μετρό, χλοσκοπτική μηχανή	100
Έντονη κυκλοφορία στον δρόμο	80
Ηλεκτρική σκούπα	70
Συζήτηση	60
Βόμβος κουνουπιού	40
Ψίθυρος	30
Θρόισμα φύλλων	10
Κατώφλιο ακοής	0

### Ακουστότητα και συχνότητα

Η περιγραφή της ηχοστάθμης σε decibel σχετίζεται με μια φυσική μέτρηση της έντασης των ήχων. Μπορούμε επίσης να ορίσουμε και μια ψυχολογική «μέτρηση» της έντασης των ήχων.

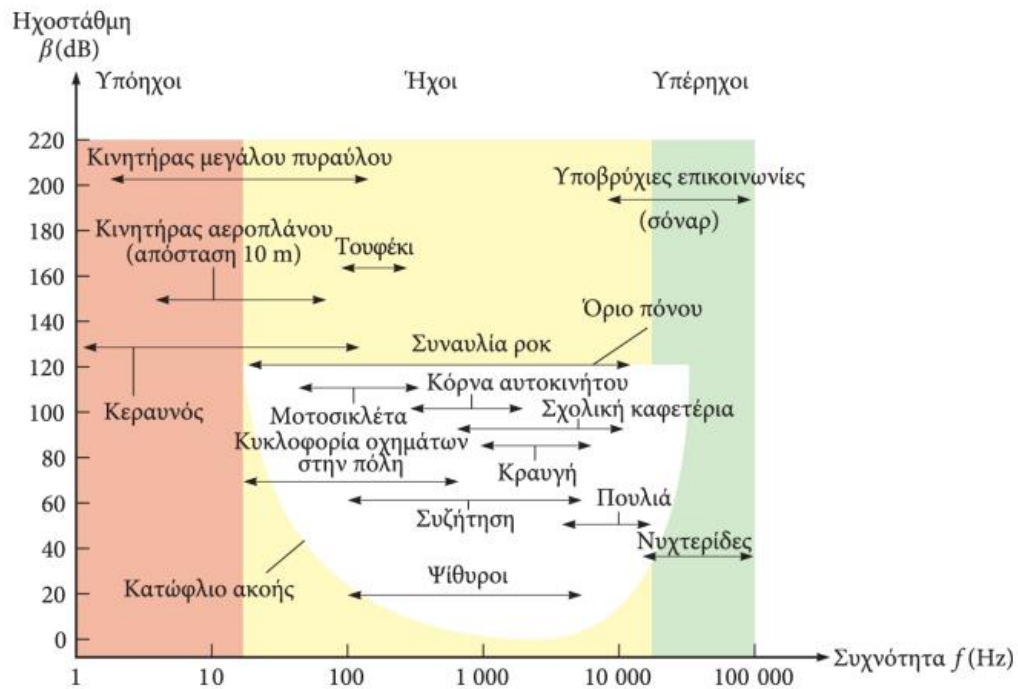
Το σώμα μας «βαθμονομεί» τους ήχους συγκρίνοντάς τους με έναν ήχο αναφοράς.

Αυτός ο ήχος αναφοράς είναι το κατώφλιο ακοής.

Στην πραγματικότητα, το κατώφλιο ακοής ισούται με  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup> μόνο για ήχους συχνότητας 1000 Hz.

Η σχέση που συνδέει την ακουστότητα με τη συχνότητα είναι πολύπλοκη. Αυτή η σχέση φαίνεται στο Σχήμα 7.





Σχήμα 7. Ακουστότητα και συχνότητα.

Η λευκή περιοχή αντιστοιχεί στη μέση αντίδραση του ανθρώπου στον ήχο.

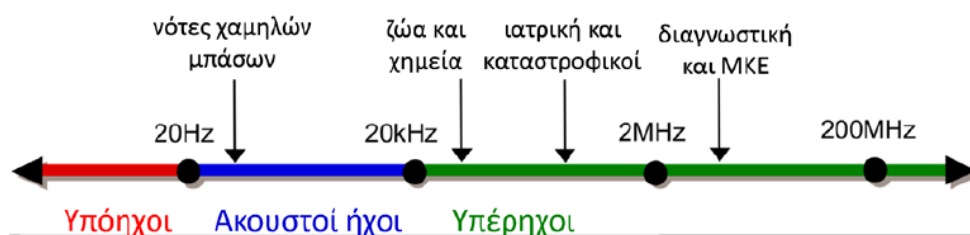
Η κάτω καμπύλη της λευκής περιοχής αντιστοιχεί στο κατώφλιο ακοής.

Η άνω καμπύλη αντιστοιχεί στο όριο πόνου.

## 2. Υπέρηχοι

### 2.1 Εισαγωγή

Ηχητικά κύματα με συχνότητες πάνω από το επίπεδο του φάσματος της ανθρώπινης ακοής (που βρίσκεται μεταξύ 20 Hz και 20 kHz) ονομάζονται υπέρηχοι (. Σχήμα 8). Η ενέργεια των υπερήχων είναι ακουστική ενέργεια και οι αρχές της ακουστικής εφαρμόζονται, όταν μελετούμε τους υπερήχους. Ο υπέρηχος είναι λοιπόν παρόμοιας φύσης με τον ακουστό ήχο, έχει όμως πολύ μικρότερα μήκη κύματος και είναι πιο κατάλληλος για την ανίχνευση ατελειών στα υλικά. Αυτά τα μικρότερα μήκη κύματος είναι που κάνουν τον υπέρηχο εξαιρετικά χρήσιμο για τον μη καταστροφικό έλεγχο και χαρακτηρισμό των υλικών και δομών. Ο μη καταστροφικός χαρακτηρισμός των υλικών με τη μέθοδο των υπερήχων χρησιμοποιεί, λοιπόν, ηχητικά κύματα υψηλής συχνότητας για την ανίχνευση εσωτερικών ατελειών ή βλάβης. Τα κύματα υπερήχων που χρησιμοποιούνται στον μη καταστροφικό έλεγχο ποικίλουν και η συχνότητά τους είναι πάνω από μερικές εκατοντάδες kHz.



Σχήμα 8. Το φάσμα του ήχου.

Τα κύματα των υπερήχων διαδίδονται σε ένα ρευστό ή στερεό μέσο ως μια ακολουθία από μηχανικές δονήσεις. Πρόκειται για μηχανικά ή τασικά κύματα, στην ουσία για ελαστικά κύματα μια και οι μετατοπίσεις που παράγουν στο υλικό είναι πολύ μικρές και βρίσκονται στην ελαστική περιοχή. Η κίνηση των σωματιδίων (μορίων του υλικού) σε κάποια δεδομένη θέση  $x$  στο μέσο είναι ταλαντωτική. Παρόλο που η γενική κυματική εξίσωση δεν περιορίζεται από γραμμικές συνθήκες και αρμονική κίνηση σωματιδίων, καθώς η λύση της περιέχει μη γραμμικούς όρους, η κοινή χρήση των υπερήχων ως μια μη καταστροφική τεχνική περιλαμβάνει αρμονική κίνηση. Ένα ακουστικό κύμα δημιουργείται από κάθε δύναμη που παράγει σε ένα συνεχές μέσο δονήσεις ταλάντωσης. Οι δονήσεις αυτές διαδίδονται από σημείο σε σημείο του μέσου,

λόγω των ελαστικών του ιδιοτήτων και ιδιοτήτων αδράνειας, με την ταχύτητα ήχου του μέσου. Η μάζα του υλικού στοιχείου ορίζεται από τον όγκο και την πυκνότητα του μέσου. Το πλάτος της κίνησης του στοιχείου καθορίζεται από τις δυνάμεις που εφαρμόζονται σ' αυτό, τη μάζα του και τις ελαστικές συνθήκες που το περιβάλλουν. Αυτές οι αρχές είναι θεμελιώδεις και βασίζονται στις εξισώσεις της κυματικής κίνησης.

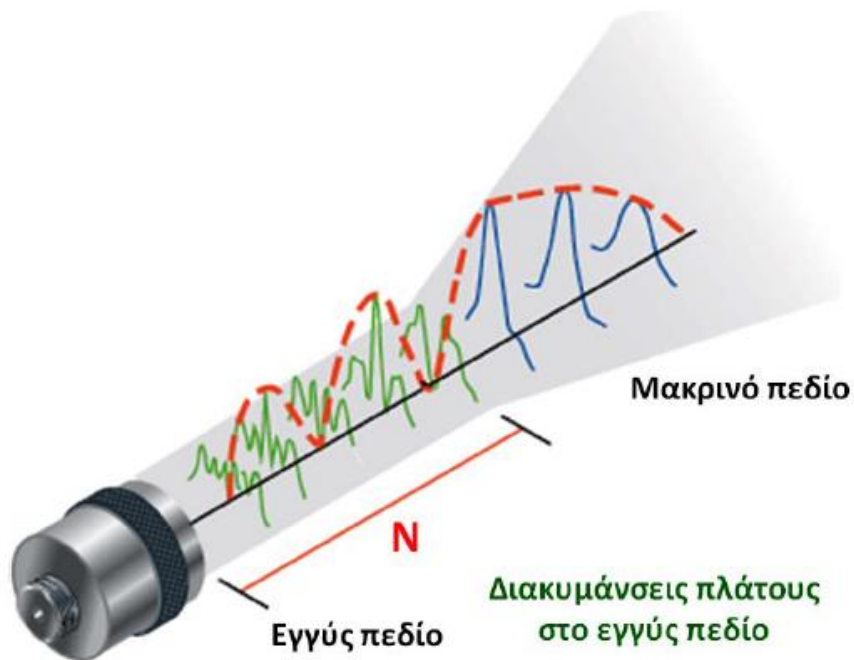
Οι τεχνικές των υπερήχων χρησιμοποιούνται για το χαρακτηρισμό των ελαστικών ιδιοτήτων των υλικών και της κατάστασης της μικροδομής, εισάγοντας στο υπό έλεγχο υλικό τασικά κύματα χαμηλής έντασης και υψηλής συχνότητας. Τα κύματα υπερήχων διαδίδονται στο υλικό, αλληλοεπιδρούν με τη μικροδομή του και στη συνέχεια ανιχνεύονται από κατάλληλους αισθητήρες. Τα χαρακτηριστικά των κυμάτων υπερήχων τροποποιούνται, ενώ διασχίζουν το υλικό εξαιτίας ανάκλασης, διάθλασης, σκέδασης και εξασθένησης. Το σήμα που ανιχνεύεται εμφανίζεται σε οθόνη, γίνεται επεξεργασία και στη συνέχεια ερμηνεύεται σε όρους της κατάστασης της εσωτερικής δομής του υπό έλεγχο υλικού, με βάση τη σχέση του με το αρχικό εισαγόμενο κύμα.

Παρόλο που οι τεχνικές των υπερήχων χρησιμοποιούνται εδώ και πολλές δεκαετίες για τον χαρακτηρισμό των υλικών, οι πρόσφατες εξελίξεις στα ηλεκτρονικά και τους Η/Υ έχουν καταστήσει δυνατή την απεικόνιση με υψηλή ανάλυση, καθώς και τη δυνατότητα ποσοτικού προσδιορισμού των ελαστικών ιδιοτήτων του υλικού. Ο συνδυασμός των υπερήχων με άλλες μεθόδους ελέγχου οδηγεί το πεδίο της μη καταστροφικής αξιολόγησης των υλικών σε εντυπωσιακές νέες δυνατότητες.

## 2.2 Αισθητήρες υπερήχων

Για την παραγωγή και λήψη κυμάτων υπερήχων, χρησιμοποιείται ένας αισθητήρας (transducer) για τη μετατροπή των ηλεκτρικών σημάτων σε ηχητικά κύματα και το αντίστροφο. Ένας τέτοιος αισθητήρας υπερήχων είναι μια συσκευή ικανή να παράγει και να λαμβάνει τις υπερηχητικές δονήσεις. Ο αισθητήρας αποτελείται από ένα ενεργό στοιχείο που συνήθως είναι ένας πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος, στερεωμένος σε μια κατάλληλη θήκη που είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένη με ένα πομπό και έναν δέκτη. Η λειτουργία του αισθητήρα ως πομπού βασίζεται στην εφαρμογή στον κρύσταλλο μιας υψηλής τάσης και ηλεκτρικής εκκένωσης μικρής διάρκειας, προκαλώντας ραγδαία αλλαγή του σχήματός του με αποτέλεσμα να εκπέμπει έναν ακουστικό παλμό. Κατά τη λειτουργία του αισθητήρα ως δέκτη, ηχητικά κύματα ή αντηχήσεις (echoes) που επιστρέφουν συμπιέζουν τον πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο, παράγοντας ένα ηλεκτρικό σήμα που ενισχύεται και υπόκειται σε επεξεργασία από το δέκτη.

Το πεδίο ήχου ενός αισθητήρα έχει δύο διακεκριμένες ζώνες, τη ζώνη εγγύς πεδίου (near field) ή περιοχή Fresnel, που βρίσκεται ακριβώς μπροστά από τον αισθητήρα, και μακρινού πεδίου (far field) ή περιοχή Fraunhofer, που βρίσκεται πέρα από την απόσταση του εγγύς πεδίου,  $N$ , όπου η πίεση του ηχητικού πεδίου μειώνεται σταδιακά έως ότου μηδενιστεί (Σχήμα 9).



**Σχήμα 9.** Το πεδίο ήχου ενός αισθητήρα υπερήχων με τις ζώνες εγγύς πεδίου και μακρινού πεδίου

Υπάρχουν διάφοροι τύποι αισθητήρων, όπως::

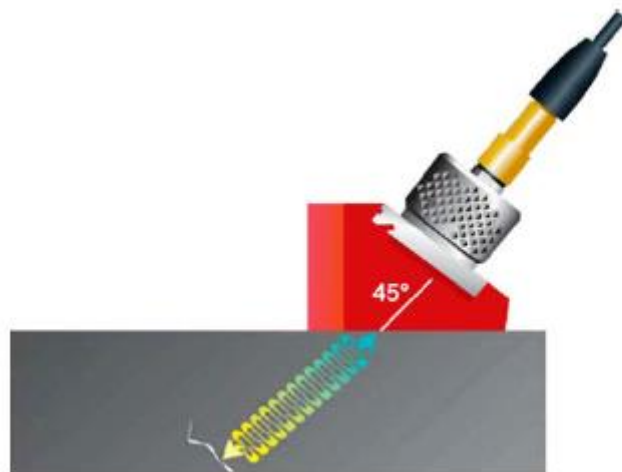
(i) Αισθητήρες επαφής (contact transducers) ευθείας δέσμης, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε άμεση επαφή με το υπό εξέταση υλικό. Χωρίζονται σε αισθητήρες επαφής διαμηκών κυμάτων για την εισαγωγή διαμηκών κυμάτων στο υλικό και αισθητήρες επαφής εγκαρσίων κυμάτων, οι οποίοι κατασκευάζονται με ειδικά ενεργά στοιχεία, για την εισαγωγή εγκαρσίων κυμάτων στο υλικό (Σχήμα 10).



**Σχήμα 10.** Αισθητήρες επαφής.

(ii) Αισθητήρες επαφής γωνιακής δέσμης (angle beam transducers), οι οποίοι χρησιμοποιούν τη βασική αρχή της διάθλασης και του φαινομένου της κυματικής

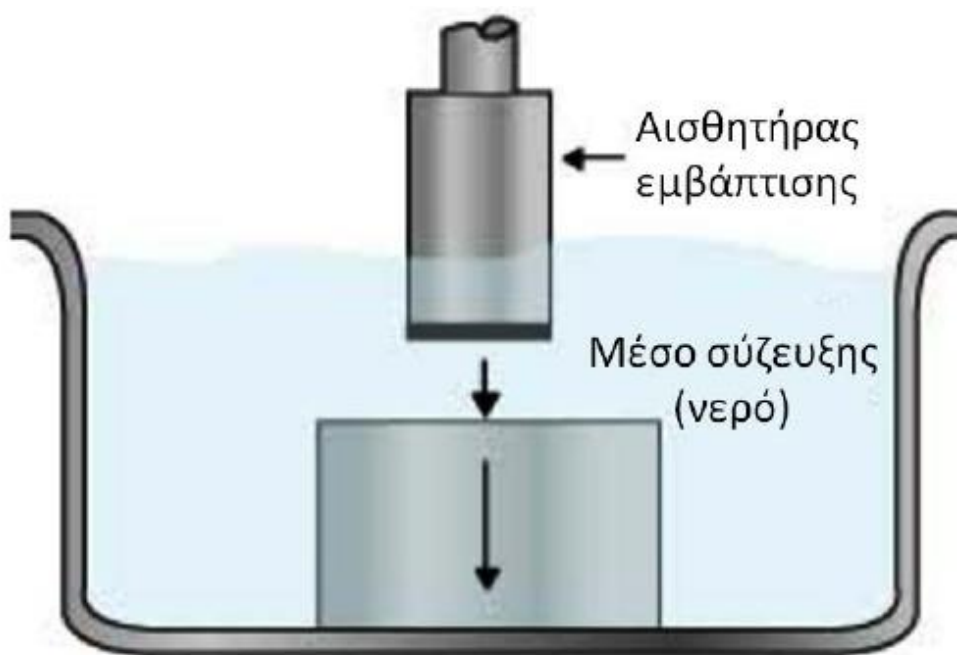
μετατροπής (mode conversion) για την παραγωγή στο υπό εξέταση υλικό διαθλώμενων διαμηκών ή εγκάρσιων κυμάτων. Για την παραγωγή υπερήχων με αισθητήρες επαφής γωνιακής δέσμης απαιτείται ειδική συσκευή, η οποία αποκαλείται σφήνα (wedge), όπως φαίνεται στο Σχήμα 11, η οποία επιτρέπει το κύμα υπερήχων να προσπίπτει στο δοκίμιο σε μια συγκεκριμένη γωνία.



**Σχήμα 11.** Αισθητήρας επαφής γωνιακής δέσμης

(iii) Αισθητήρες εμβάπτισης (immersion transducers), οι οποίοι ελέγχουν το υλικό εμβαπτισμένο σε νερό (Σχήμα 12). Οι αισθητήρες του τύπου αυτού παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα. Η ομοιόμορφη σύζευξη που εξασφαλίζει το νερό μειώνει τις διακυμάνσεις στην ευαισθησία. Επίσης, έχουν την ικανότητα να εκτελούν αυτοματοποιημένη σάρωση. Τέλος, η δυνατότητα εστίασης των αισθητήρων εμβάπτισης αυξάνει την ευαισθησία στην ανίχνευση μικρών ατελειών.

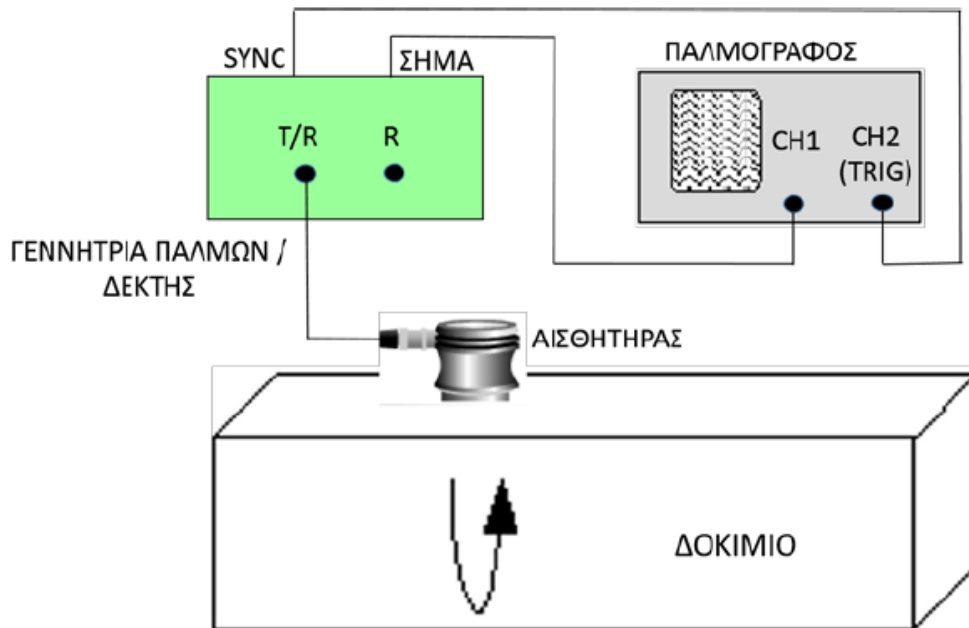
Οι αισθητήρες εμβάπτισης είναι διαθέσιμοι ως επίπεδοι (χωρίς εστίαση), καθώς και με σφαιρική ή κυλινδρική εστίαση. Ένας επίπεδος αισθητήρας εμβάπτισης χρησιμοποιείται σε γενικές εφαρμογές όπως για μετρήσεις υλικών μεγάλου πάχους. Ένας σφαιρικά εστιασμένος (focused) αισθητήρας θα βελτιώσει την ευαισθησία σε μικρές ρωγμές και άλλες ατέλειες. Κυλινδρικά εστιασμένοι αισθητήρες χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μέτρηση σωληνώσεων. Το εύρος των εστιακών μηκών για ένα σφαιρικό ή κυλινδρικό αισθητήρα περιορίζεται από το εγγύς πεδίο του αισθητήρα και είναι γενικά έως 0,8 N.



**Σχήμα 12.** Αισθητήρας εμβάπτισης.

### 2.3 Μη-καταστροφικός έλεγχος με υπερήχους

Το βασικό διάγραμμα ενός συστήματος ελέγχου υλικών με υπερήχους εικονίζεται στο Σχήμα 13.



**Σχήμα 13.** Σχηματικό διάγραμμα συστήματος μέτρησης και απεικόνισης δοκιμών υπερήχων

Τα κύρια τμήματα του συστήματος είναι:

- Γεννήτρια παλμών/δέκτη υπερήχων (συνήθως συνδέεται με σύστημα H/Y) στην οποία περιλαμβάνεται ένας χρονιστής που ελέγχει το ρυθμό δημιουργίας παλμών υπερήχων, δηλαδή τη συχνότητα επανάληψης παλμών, και εξασφαλίζει το συγχρονισμό του σήματος (TRIGGER).
- Παλμογράφος (ή κατάλληλο λογισμικό για την παραγωγή και ανάλυση των παλμών, όταν το σύστημα είναι συνδεδεμένο με H/Y).
- Αισθητήρας (εμβάπτισης ή επαφής).
- Μέσο σύζευξης ανάμεσα στον αισθητήρα και στο υπό έλεγχο δοκίμιο (νερό ή ειδικό ζελέ για διαμήκη κύματα, γλυκερίνη ή μέλι για εγκάρσια κύματα).



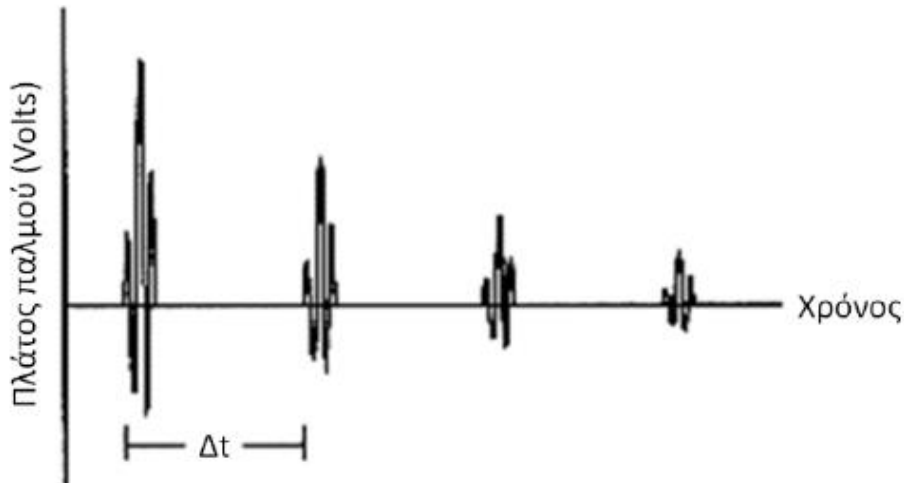
Στο παράδειγμα του παραπάνω σχήματος παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη σε διαμόρφωση πομπού/δέκτη (έξοδος T/R), δηλαδή με τη χρήση ενός μόνο αισθητήρα ο οποίος παράγει αλλά και λαμβάνει ταυτόχρονα υπερήχους. Σε πολλές εφαρμογές όμως, στη διαμόρφωση πομπού/δέκτη χρησιμοποιούνται δυο αισθητήρες, ο ένας για την παραγωγή παλμών και ο δεύτερος για την λήψη των παλμών συνδέοντας τον αισθητήρα αυτόν με την έξοδο R της γεννήτριας υπερήχων.

Για τον έλεγχο υλικών με χρήση δυο αισθητήρων, όπου ο ένας δρα ως πομπός (T) για την παραγωγή παλμών και ο άλλος ως δέκτης (R) για την ανίχνευση του σήματος, χρησιμοποιούνται τρεις κοινές διατάξεις – τεχνικές Ελέγχου.

### **Μέθοδος παλμού-ηχούς (pulse-echo)**

Στην τεχνική ελέγχου υπερήχων pulse-echo, ένας μοναδικός αισθητήρας υπερήχων παράγει παλμό υπερήχων και επίσης λαμβάνει την «ηχώ» του (T/R). Οι περισσότεροι αισθητήρες υπερήχων χρησιμοποιούν ένα ηλεκτρονικό παλμό για να παράγουν ένα αντίστοιχο ηχητικό παλμό με βάση το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο. Ένας βραχύς (διάρκειας λιγότερο από 20 ns), ηλεκτρικός παλμός υψηλής τάσης (πλάτους 100-200V) διεγείρει ένα πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο για να παράγει ένα παλμό υπερήχων.

Ο αισθητήρας εκπέμπει τον παλμό υπερήχων κάθετα στην επιφάνεια του δοκιμίου πάχους  $d$ . Ο παλμός υπερήχων διαδίδεται μέσω του υλικού και ανακλάται από την απέναντι πλευρά. Ο αισθητήρας στη συνέχεια ανιχνεύει τις ανακλώμενες αντηχήσεις. Ο παλμός υπερήχων συνεχίζει να ανακλάται από τις απέναντι επιφάνειες του δοκιμίου και εξασθενεί με την πάροδο του χρόνου (Σχήμα 14). Η χρονική διάρκεια ανάμεσα σε δυο αντηχήσεις ( $\Delta t$ ) ισούται με το χρόνο που απαιτείται ώστε ο παλμός να ταξιδέψει μέσω του δοκιμίου και να επιστρέψει πίσω στον αισθητήρα. Η εξασθένιση του πλάτους του σήματος είναι εκθετική συνάρτηση του χρόνου.



**Σχήμα 14.** Σχηματική παράσταση επαναλαμβανόμενων αντηχήσεων (A-scan) μετά από συνεχείς ανακλάσεις του αρχικού παλμού από τις απέναντι επιφάνειες του δοκιμίου

Η ταχύτητα των υπερήχων στο δοκίμιο μπορεί εύκολα να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση, μετρώντας το χρόνο διέλευσης και επιστροφής του παλμού,  $\Delta t$ , και το πάχος  $d$  του δοκιμίου:

$$c = \frac{2d}{\Delta t}$$

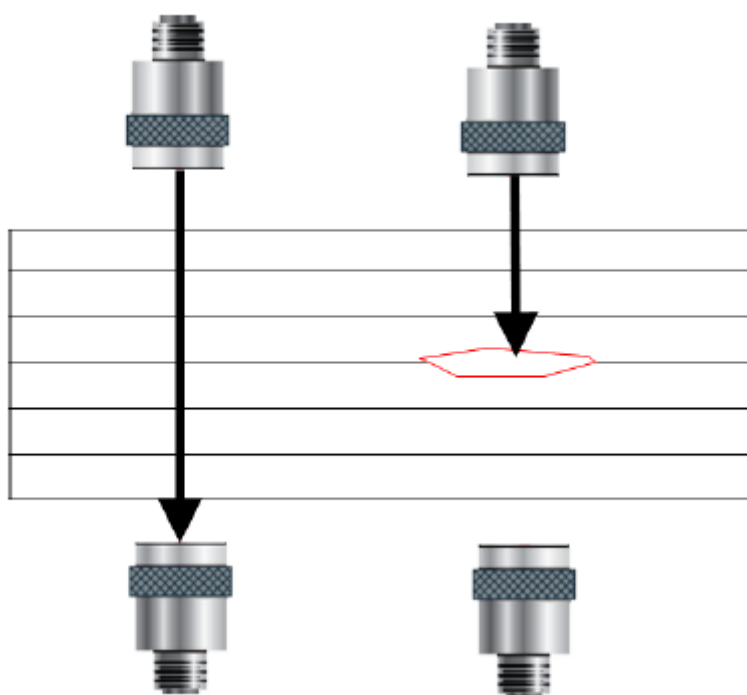
Με δεδομένο ότι οι τιμές της ταχύτητας των υπερήχων στα στερεά κυμαίνονται από 1 έως 8 k m/sec, ο χρόνος  $\Delta t$  είναι της τάξης μερικών msec, για δοκίμια πάχους μερικών χιλιοστών έως λίγων εκατοστών.

Για τον προσδιορισμό της θέσης μιας ατέλειας, όπως για παράδειγμα η διάβρωση στο εσωτερικό του δοκιμίου, η χρήση της μεθόδου παλμού-ηχούς ενδείκνυται επειδή η απόσταση της ατέλειας από την εμπρός ή την πίσω επιφάνεια του δοκιμίου μπορεί να προσδιοριστεί από τη σχετική θέση των ανακλάσεων της ατέλειας (π.χ. αποκόλληση στρώσης σε πολυστρωματικά σύνθετα υλικά) σε σχέση με την ανάκλαση από την επιφάνεια του δοκιμίου.

### Μέθοδος απ' ευθείας μετάδοσης (through-transmission)

Όπως είδαμε έως τώρα, ο έλεγχος των υλικών με υπερήχους αφορούσε τη χρήση ενός μοναδικού αισθητήρα που αποστέλλει ένα σήμα στο δοκίμιο και επίσης λαμβάνει τις αντηχήσεις που επιστρέφουν.

Συχνά όμως χρησιμοποιούνται δυο διαφορετικοί αισθητήρες για τον έλεγχο των υλικών, όπου ο ένας λειτουργεί ως πομπός παλμών υπερήχων και ο άλλος τοποθετείται στην αντίθετη πλευρά του δοκιμίου ως δέκτης, για να λαμβάνει τα μεταδιδόμενα σήματα αφού διασχίσουν το υπό έλεγχο δοκίμιο (Σχήμα 15). Η τεχνική αυτή ονομάζεται μέθοδος απ' ευθείας μετάδοσης.



**Σχήμα 15.** Σχηματική παράσταση της μεθόδου απ' ευθείας μετάδοσης (through-transmission) για τον έλεγχο των υλικών με υπερήχους.

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο αυτή, η ταχύτητα των υπερήχων στο δοκίμιο μπορεί εύκολα να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση (μετρώντας το χρόνο διέλευσης του παλμού,  $\Delta t$ , μέσω του δοκιμίου πάχους  $d$ ):

$$c = \frac{d}{\Delta t}$$

Στην περίπτωση ελέγχου συνθέτων πολύστρωματικών υλικών με τη μέθοδο της απ' ευθείας μετάδοσης, ένας μεγάλος αριθμός ανακλάσεων (άρα και σημάτων) δημιουργείται από τα διάφορα μεμονωμένα στρώματα του συνθέτου υλικού, οι οποίες μπορούν να επισκιάσουν μικρές ανακλάσεις από εγκλείσματα των οποίων η ανακλαστικότητα είναι παρόμοια με εκείνη των υλικών των στρώσεων. Ένα εγκλείσμα με ακουστική εμπέδηση πολύ κοντά σ' αυτή του δοκιμίου (για παράδειγμα εγκλείσμα χαρτιού ή ξεφλούδισμα σε σύνθετο υλικό με μήτρα πολυμερική) είναι πολύ δύσκολο να ανιχνευτεί με τη μέθοδο της απ' ευθείας μετάδοσης.

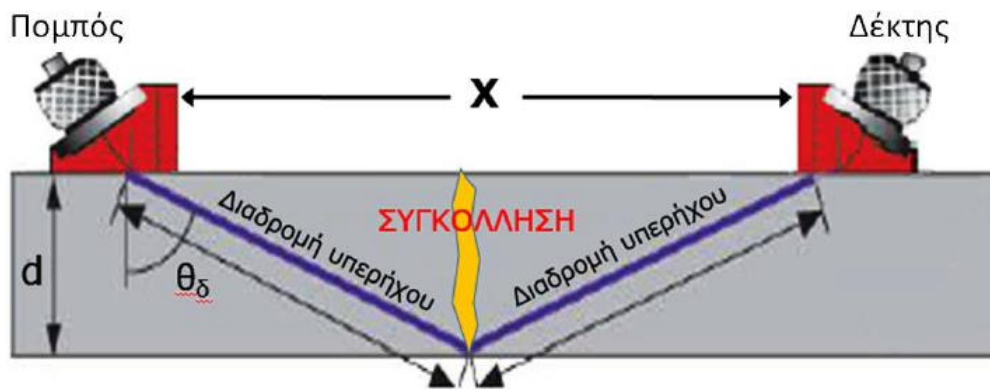
Η χρήση της μεθόδου παλμού-ηχούς είναι πιο ενδεδειγμένη για την ανίχνευση τέτοιου είδους ατελειών. Όμως, οι ανακλάσεις από καλά κατανεμημένες ατέλειες στο υλικό, όπως το πορώδες, μπορούν να καλυφθούν από το γενικό υπόβαθρο θορύβου σε ένα ακουστικό σήμα. Συνεπώς, η απώλεια της έντασης του μεταδιδόμενου μέσω του υλικού σήματος, είναι εκείνη που συχνά χρησιμοποιείται στη μέθοδο της απ' ευθείας μετάδοσης για την ανίχνευση τέτοιου είδους ατελειών. Παρ' όλο που ο βαθμός του πορώδους μπορεί να αξιολογηθεί μ' αυτόν τον τρόπο, δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί η ακριβής θέση του πορώδους.

### **Μέθοδος γωνιώδους ανάκλασης (pitch-catch)**

Υπάρχουν συγκεκριμένες περιπτώσεις ελέγχου, όπου δεν υπάρχει δυνατότητα τοποθέτησης ενός αισθητήρα κάθετα στην επιφάνεια του δοκιμίου, και ως μόνη λύση προσφέρεται η χρήση δυο αισθητήρων υπό γωνία. Επιπλέον, η τεχνική αυτή σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να δώσει καλύτερα αποτελέσματα ελέγχου. Ένα παράδειγμα, όπου η χρήση της τεχνικής αυτή ενδείκνυται, είναι ο έλεγχος της ζώνης συγκόλλησης σε παράλληλες πλάκες. Οι δύο αισθητήρες τοποθετούνται υπό γωνία όπως στο Σχήμα 16. Αν υπάρχει ελάττωμα στην περιοχή της συγκόλλησης, θα προκληθεί μείωση του πλάτους του σήματος που λαμβάνεται. Η απόσταση X μεταξύ των δυο αισθητήρων είναι γνωστή σαν απόσταση «skip» και ορίζεται από τη γεωμετρία του δοκιμίου:

$$X = 2d \tan(\theta_{\delta})$$

Για τη σάρωση της ζώνης συγκόλλησης οι αισθητήρες μετακινούνται παράλληλα με την επιφάνεια του δοκιμίου, ενώ η μεταξύ τους απόσταση παραμένει σταθερή κατά την κίνησή τους.



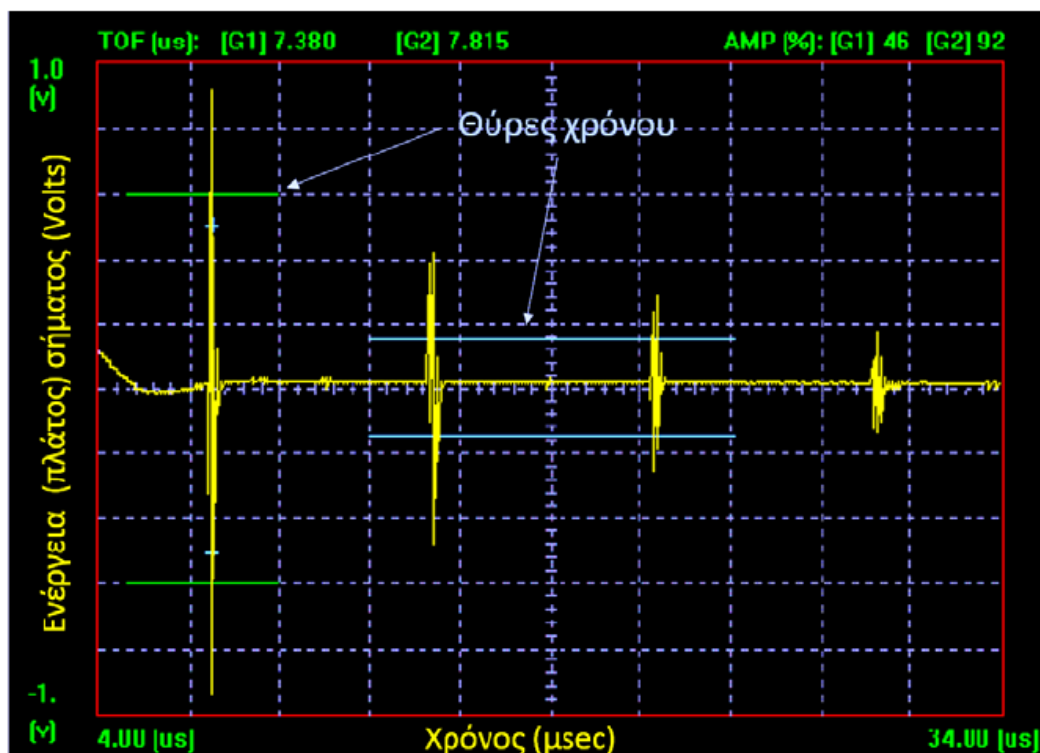
**Σχήμα 16.** Μέθοδος γωνιάδους ανάκλασης (pitch-catch).

## 2.4 Τεχνικές απεικόνισης δεδομένων

Οι τρεις πιο κοινοί τρόποι απεικόνισης των δεδομένων που συλλέγονται κατά τη διάρκεια μη καταστροφικού ελέγχου με υπερήχους είναι γνωστοί ως A-scan (απεικόνιση σάρωσης τύπου A), B-scan (απεικόνιση σάρωσης τύπου B) και C-scan (απεικόνιση σάρωσης τύπου C).

### A-scan

Το A-scan παρουσιάζει το ποσό της ενέργειας των υπερήχων που λαμβάνεται (πλάτος του παλμού που επιστρέφει σε Volts) ως συνάρτηση του χρόνου ή του βάθους (εάν είναι γνωστή η ακουστική ταχύτητα) σε ένα σημείο του υπό έλεγχο δοκιμίου. Τα περισσότερα όργανα με δυνατότητα προβολής του A-scan επιτρέπουν το σήμα να εμφανίζεται στη φυσική του ραδιοσυχνότητα (RF), είτε ως πλήρως ανορθωμένο σήμα RF, ή ως θετικό ή αρνητικό ήμισυ του σήματος RF (Σχήμα 17).



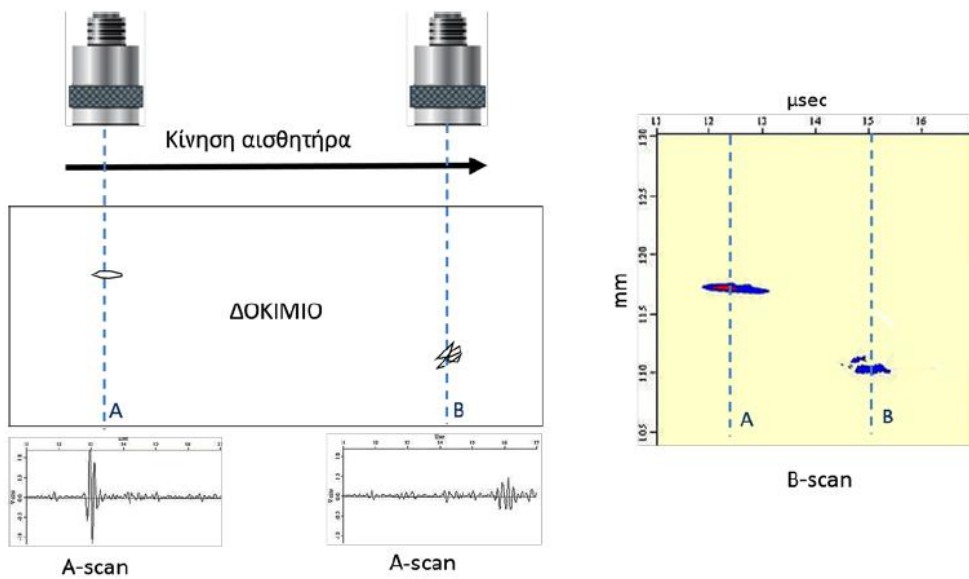
Σχήμα 17. Απεικόνιση A-scan και τοποθέτηση θυρών χρόνου

Σε ένα A-scan, το σχετικό μέγεθος μιας ασυνέχειας στη δομή του υλικού μπορεί να υπολογιστεί συγκρίνοντας το πλάτος του σήματος που λαμβάνεται από την ασυνέχεια με εκείνο που λαμβάνεται από ένα γνωστό βαθμονομημένο ανακλαστήρα. Το βάθος που βρίσκεται η ασυνέχεια εντός του δοκιμίου μπορεί να προσδιοριστεί από τη θέση του σήματος στον οριζόντιο άξονα του χρόνου.

Ο δέκτης ενισχύει τις αντηχήσεις που επιστρέφουν, ανάμεσα στην εμπρός και την πίσω πλευρά του δοκιμίου, και θέτει θύρες χρόνου (time gates). Με τον τρόπο αυτό, κάθε μη αναμενόμενη ηχώ που παρατηρείται εμφανίζεται χωριστά ή χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση συναγερμού, υποδηλώνοντας ανίχνευση ατέλειας ή βλάβης. Στο Σχήμα 17, το πρώτο σήμα αντιστοιχεί στην ανάκλαση από την εμπρός επιφάνεια του δοκιμίου και το τελευταίο σήμα αντιστοιχεί στην ανάκλαση από την πίσω επιφάνεια. Σήματα ανάμεσα στο πρώτο και το τελευταίο προέρχονται από ατέλειες ή βλάβη στο εσωτερικό του δοκιμίου.

## **B-scan**

Μια σειρά από A-scan που λαμβάνεται με σάρωση του αισθητήρα σε μια γραμμή κατά μήκος του δοκιμίου και η απεικόνιση των δεδομένων ως απόσταση συναρτήσεως του χρόνου (ή του βάθους) ονομάζεται B-scan (Σχήμα 18). Το B-scan παρουσιάζει το προφίλ μιας διατομής του υπό έλεγχο δοκιμίου. Στη απεικόνιση B-scan, ο χρόνος διάδοσης (time-of-flight) της ακουστικής ενέργειας απεικονίζεται στον κάθετο άξονα και η γραμμική θέση του αισθητήρα αναφορικά με το δοκίμιο απεικονίζεται στον οριζόντιο άξονα. Το βάθος ενός ανακλαστήρα, καθώς και οι γραμμικές του διαστάσεις στην κατεύθυνση σάρωσης μπορούν να προσδιοριστούν εύκολα στην απεικόνιση Bscan.

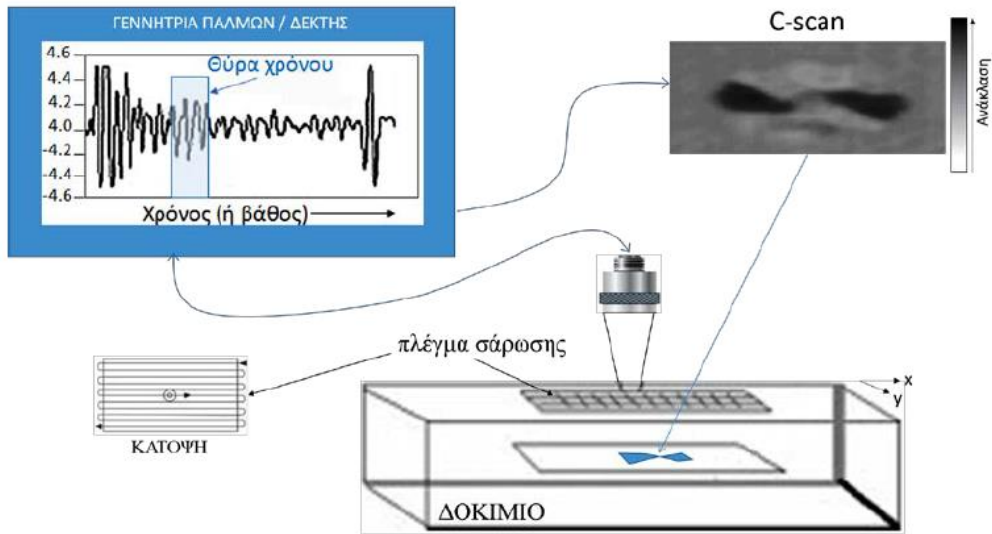


Σχήμα 18. Απεικόνιση B-scan

### C-Scan

Όταν ο αισθητήρας κινείται σε ένα επίπεδο παράλληλο με την επιφάνεια του δοκιμίου και η μέγιστη τιμή του λαμβανόμενου σήματος σχεδιάζεται συναρτήσει της θέσης του αισθητήρα, τότε παράγεται μια εικόνα που ονομάζεται C-scan. Η παρουσίαση των δεδομένων με απεικόνιση C-scan παρέχει μια κάτοψη της κατάστασης της επιφάνειας του δοκιμίου, καθώς και της θέσης και του μεγέθους των εσωτερικών ασυνεχειών (οι οποίες ανακλούν ή σκεδάζουν τον υπέρηχο) σε ένα επίπεδο παράλληλο με το πλέγμα σάρωσης του αισθητήρα. (Σχήμα 19)





**Σχήμα 19.** Σχηματική παρουσίαση συλλογής δεδομένων υπερήχων και απεικόνισης των δεδομένων σε C-scan. Η εικόνα δείχνει μια ατέλεια που βρίσκεται σε κάποιο βάθος στο εσωτερικό του δοκιμίου

## 2.4 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα της μεθόδου των υπερήχων

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα καθώς και οι περιορισμοί της μεθόδου των υπερήχων για τον μη καταστροφικό έλεγχο των υλικών περιγράφονται παρακάτω:

### Πλεονεκτήματα

- ✓ Μεγάλη διεισδυτική ικανότητα που επιτρέπει την ανίχνευση ατελειών σε μεγάλο βάθος (μπορούν να ελεγχθούν αντικείμενα με μήκος και πάχος αρκετών μέτρων).
- ✓ Ακριβής προσδιορισμός της θέσης και μεγέθους εσωτερικών ατελειών και χαρακτηρισμός του προσανατολισμού, μορφής και τύπου τους.
- ✓ Τεχνική ευαίσθητη σε επιφανειακές και υπο-επιφανειακές ασυνέχειες.
- ✓ Απαιτείται πρόσβαση σε μία μόνο επιφάνεια του υπό έλεγχο αντικειμένου.
- ✓ Απαιτείται ελάχιστη προετοιμασία του αντικειμένου προς έλεγχο.
- ✓ Τα σύγχρονα συστήματα παρέχουν πλήρη αυτοματοποίηση με δυνατότητα απεικόνισης υψηλής ευαισθησίας, παρέχοντας άμεσα αποτελέσματα.
- ✓ Η υψηλή ευαισθησία της μεθόδου επιτρέπει την ανίχνευση πολύ μικρών ατελειών.
- ✓ Δυνατότητα ογκομετρικής ανίχνευσης, που επιτρέπει τον έλεγχο του συνολικού όγκου του αντικειμένου, που εκτείνεται από την εμπρός επιφάνεια ως την πίσω επιφάνειά του.
- ✓ Παρέχει τα αποτελέσματα σε μορφή ώστε να υπάρχει δυνατότητα ψηφιακής επεξεργασίας για το χαρακτηρισμό ελαττωμάτων και βλάβης και τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των υλικών.
- ✓ Φορητότητα.
- ✓ Κανένας κίνδυνος για την υγεία των χειριστών από τη χρήση της μεθόδου.
- ✓ Δεν απαιτούνται αναλώσιμα.

### Περιορισμοί-Μειονεκτήματα

- Δεν υπάρχει μόνιμη καταγραφή των δεδομένων, παρά μόνο όταν χρησιμοποιούνται προηγμένα συστήματα ελέγχου.

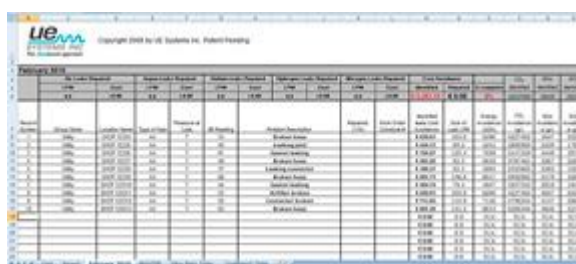
- Τα αποτελέσματα του ελέγχου απαιτούν ερμηνεία (εξαιρούνται οι ψηφιακοί μετρητές πάχους τοιχώματος)
- Ο χειριστής της μεθόδου πρέπει να είναι ιδιαίτερα έμπειρος για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του ελέγχου.
- Η ανάπτυξη διαδικασιών ελέγχου απαιτεί εκτεταμένες τεχνικές γνώσεις.
- Αντικείμενα που έχουν τραχεία επιφάνεια, ακανόνιστο σχήμα, ή είναι πολύ μικρά σε μέγεθος ή έχουν πολύ λεπτή διατομή ή μη ομοιογενή, είναι δύσκολο να ελεγχθούν.
- Η επιφάνεια του δοκιμίου πρέπει να είναι προσπελάσιμη για μετάδοση υπερήχων.
- Ασυνέχειες που υπάρχουν σε μικρό βάθος αμέσως κάτω από την επιφάνεια, είναι δύσκολο να ανιχνευθούν.
- Είναι δύσκολος ο έλεγχος χονδρόκοκκων υλικών, όπως για παράδειγμα ο χυτοσίδηρος, εξαιτίας της μεγάλης εξασθένησης των υπερήχων και του υψηλού σήματος θορύβου στα υλικά αυτά.
- Γραμμικές ατέλειες προσανατολισμένες παράλληλα με τη δέσμη των υπερήχων μπορεί να μην ανιχνευτούν.
- Απαιτείται μέσο σύζευξης για την αποτελεσματική μεταφορά της ηχητικής ενέργειας στο δοκίμιο.
- Απαιτούνται πρότυπα αναφοράς τόσο για την βαθμονόμηση του εξοπλισμού όσο και για τον χαρακτηρισμό των ατελειών.

### 3. Ανίχνευση διαρροών σε πλοία

#### 3.1 Τεχνολογία Υπερήχων

Η Εύρεση διαρροών με Υπερήχους καλύπτει ένα μεγάλο εύρος διαρροών: πίεσης ή κενού και οποιουδήποτε τύπου αέριο. Εξοπλισμός με πιστοποίηση ATEX ή IS είναι διαθέσιμος από εταιρείες για αυτή την εφαρμογή όπως επίσης και για χρήση σε αυτές τις τοποθεσίες.

Εξαρτώνται από τον ήχο, τα όργανα υπερήχων και ανιχνεύουν την τυρβώδη ροή που παράγεται καθώς το αέριο κινείται από την θέση υψηλής πίεσης στη θέση χαμηλής πίεσης της διαρροής.



Area	Pressure	Flow	Location	Leak Rate	Direction	Frequency	Amplitude	Phase	Temperature	Humidity	Altitude	Latitude	Longitude	Time	Status
1	10.0	1.0	10.0	1.0	10.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	10.0	1.0	10.0	1.0	10.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3	10.0	1.0	10.0	1.0	10.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4	10.0	1.0	10.0	1.0	10.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
5	10.0	1.0	10.0	1.0	10.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
6	10.0	1.0	10.0	1.0	10.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
7	10.0	1.0	10.0	1.0	10.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
8	10.0	1.0	10.0	1.0	10.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
9	10.0	1.0	10.0	1.0	10.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	10.0	1.0	10.0	1.0	10.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Χρησιμοποιώντας τα χαρακτηριστικά του Υπέρηχου, η εύρεση διαρροών είναι γρήγορη και απλή λόγω:

- Της κατευθυντικότητας των ηχητικών κυμάτων που κάνουν την εύρεση της πηγής ευκολότερη.
- Της έντασης του σήματος: όσο πιο κοντά στην πηγή, τόσο περισσότερος ήχος εντοπίζεται.
- Της σταθερής συχνότητας, που καθιστά εφικτό να εντοπιστεί ακόμη και σε ένα θορυβώδες εργοστασιακό περιβάλλον!

Σε πολλά εργοστάσια τα όργανα ανίχνευσης Υπερήχων χρησιμοποιούνται για ελέγχους ασφαλείας, περιβαλλοντικούς, ενέργειας ή ποιοτικούς:

Με την ανίχνευση από απόσταση είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε ένα Ultraprobe από απόσταση 15m, έτσι δεν χρειάζεται η χρήση σκάλας ή αναβατωρίου για ανίχνευση. Μία από τις πιο δημοφιλείς εφαρμογές των υπέρηχων είναι οι έρευνες για διαρροές πεπιεσμένου αέρα. Χρησιμοποιώντας το πατενταρισμένο από τη UE Systems λογισμικό για διαρροές πεπιεσμένου αέρα οι χρήστες μπορούν να εντοπίσουν και να κάνουν εκτίμηση κόστους ανά διαρροή ενώ ταυτόχρονα φαίνεται η μείωση του αποτυπώματος

## Ναυτιλία

Οι εφαρμογές των συσκευών υπερύθρων στη Ναυτιλία είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Έλεγχος κατάστασης εδράνων και βελτιστοποίηση λίπανσης
- ✓ Έλεγχος στεγανών καλυμμάτων και καπακιών αμπαριών
- ✓ Επιθεώρηση βαλβίδων
- ✓ Ανίχνευση διαρροών
- ✓ Ηλεκτρική επιθεώρηση σε διακόπτες και μετασχηματιστές
- ✓ Πλοία ξηρού φορτίου, LNG, πετρελαιοφόρα, αλιευτικά και σχετικές δραστηριότητες παροχής υπηρεσιών

### 3.2 Συσκευή υπερύθρων Cygnus Hatch Sure

Το Hatch Sure είναι ένα ελαφρύ σύστημα υπερήχων για τη δοκιμή της στεγανότητας των καλύψεων των θυρών φορτίου ή των θυρών από τις διάφορες καιρικές συνθήκες. Το πλήρες σύστημα περιέχεται σε μια θήκη μεταφοράς, σε στυλ σακίδιο, για βολική μεταφορά. Το πλήρες βάρος είναι 3.8 κιλά συμπεριλαμβανομένων των μπαταριών καθιστώντας το κατάλληλο για μεταφορά ως χειραποσκευές σε αεροσκάφη.

Οι μονάδες πομπού και δέκτη παρέχονται το καθένα σε προστατευτική θήκη. Η θήκη του δέκτη είναι εφοδιασμένη με λαιμό και στη μέση ιμάντες που επιτρέπουν την ελεύθερη χρήση των χεριών, εξασφαλίζοντας την ασφάλεια του επιθεωρητή όταν κινούμαστε γύρω από το σκάφος. Η θήκη του πομπού είναι επίσης τοποθετημένη με ιμάντα ώμου για ευκολία και ασφάλεια.

Το Hatch Sure επιτρέπει την ταχεία και εμπειριστατωμένη εξέταση του καλύμματος.. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο των περιοχών πρόσβασης σε φορτία όπως πόρτες πλώρης, πλευρικής και πρυμναίας ή οποιοδήποτε άνοιγμα που πρέπει να είναι σφραγισμένο.

Σε αντίθεση με τον έλεγχο των σωλήνων, οι δοκιμές με υπερήχους μπορούν να διεξαχθούν σε οποιοδήποτε καιρικές συνθήκες. Οι επιθεωρήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν με το φορτίο στη θέση του και οι δοκιμές δεν παρεμβάλλονται σε δραστηριότητες στο υπόλοιπο πλήρωμα.

Το σύστημα αποτελείται από έναν πομπό με μπαταρία που περιέχει σύστημα εκπομπής υπερήχων 19 x 40 KHz. Οι πομποί είναι ρυθμισμένοι να παράγουν ένα ηχητικό πεδίο παντού κατευθυνόμενο, ομοιόμορφα κατανεμημένο σε όλο το φορτίο.

Το τμήμα δέκτη του συστήματος εμφανίζει την ένταση ενέργειας του ήχου που περνάει μέσα από τα κενά στο κλειστό φορτίο φορτίου για να επιτρέψει την θέση των διαρροών ώστε να ταυτοποιούνται γρήγορα και με ακρίβεια.

## Περιεχόμενο Kit του συστήματος

Το κιβώτιο Hatch Sure διατίθεται σε στυλ σακιδίων που προστατεύει τη μαλακή θήκη μεταφοράς και που μπορεί να φορεθεί στην πλάτη ή να μεταφερθεί. Αυτό επιτρέπει στον χρήστη να κινηθεί γύρω από το σκάφος και με τα δύο χέρια ελεύθερα επιτρέποντας την εύκολη αναρρίχηση ή τη διέλευση από τις θύρες πρόσβασης. Η θήκη είναι επαρκώς γεμισμένη για να προστατεύει το περιεχόμενό της σε περίπτωση που πέσει. Υπάρχει άφθονος χώρος για επιπλέον στοιχεία όπως κιμωλία, μικρό φακό, σημειωματάριο κλπ.



Σχήμα 20. Περιεχόμενο συστήματος υπερύθρων

Το κιβώτιο περιέχει τα ακόλουθα στοιχεία

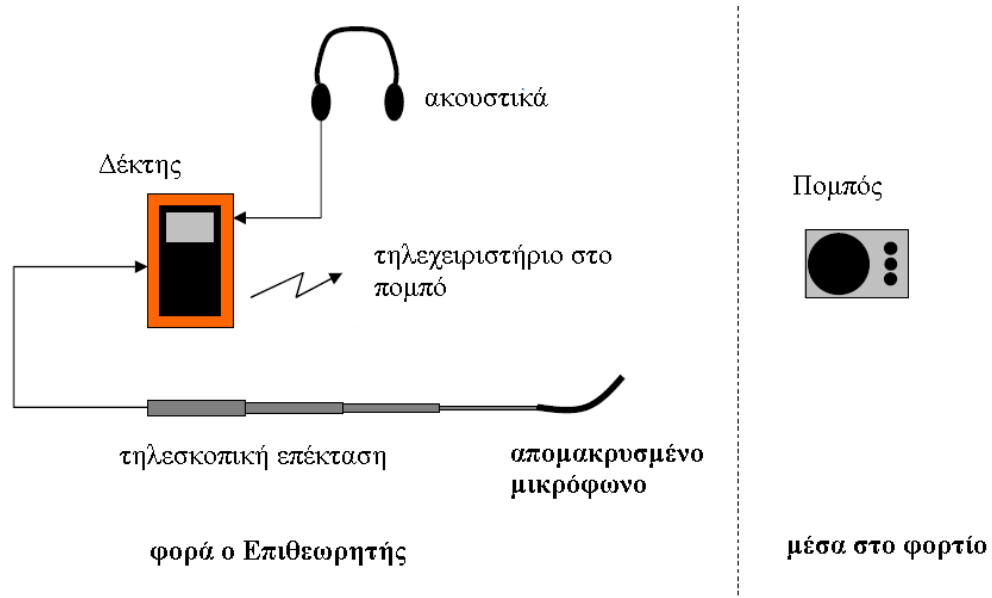
1. Ο δέκτης με προστατευτική θήκη, λαιμό και ιμάντα μέσης
2. Τηλεσκοπική προέκταση και καλώδιο
3. Δύο ευέλικτα μικρόφωνα ελέγχου
4. Ακουστικά μάντας λαιμού
5. Ο πομπός Hatch Sure με προστατευτική θήκη και ιμάντα μεταφοράς
6. Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες για τον πομπό
7. Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες για τον δέκτη
8. Φορτιστής για τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες

9. Εγχειρίδιο λειτουργίας

10. Εξωτερικό καλώδιο τροφοδοσίας DC για τον πομπό (δεν φαίνεται)

11. Καλώδιο μικροφώνου έκτακτης ανάγκης (δεν φαίνεται)

### Διάταξη του συστήματος Hatch Sure



Σχήμα 21. Η διάταξη του συστήματος Hatch Sure



## Hatch Sure Πομπός

Ο πομπός που ελέγχεται με μικροεπεξεργαστή, παρέχεται με μια θήκη για προστασία κατά τη μεταφορά γύρω από το σκάφος. Όταν χρησιμοποιείται, το καπάκι ανοίγει για να εκθέσει τη συστοιχία των πομπού και μπορεί να ασφαλιστεί με ταινία Velcro.



**Σχήμα 22.** Ο πομπός Hatch Sure σε προστατευμένη θήκη.

Η θήκη είναι εφοδιασμένη με ιμάντα ώμου για την ενίσχυση της ασφάλειας, αφήνοντας τους χειριστές ελεύθερους όταν μετακινούνται γύρω από το πλοίο, στο κατάστρωμα και στις σκάλες..

Μια σφεντόνα με 4 σημεία αγκύρωσης, παρέχεται και αποτελεί μια βοηθητική μέθοδο, αναστέλλοντας τη μονάδα πομπού στην υποδοχή φορτίου εάν δεν υπάρχει βολική επίπεδη επιφάνεια ή αν η κάβα περιέχει ένα φορτίο όπως σιτηρά (Σχήμα 23)



**Σχήμα 23.** Ο πομπός Hatch Sure με τα σημεία αγκύρωσης

Ο μάντας ώμου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναστολή του πομπού σε μια κατακόρυφη επιφάνεια εάν απαιτείται να δοκιμάσετε μια πόρτα ή ένα παράθυρο.

## Έλεγχος πομπού

Υπάρχουν δύο διακόπτες, ένας περιστροφικός διακόπτης και ένας πολύχρωμος διακόπτης LED στην επάνω όψη του πομπού.



Σχήμα 24. Ο πομπός Hatch Sure με τα σημεία ελέγχου

Ο διακόπτης **On/Off** ενεργοποίησης / απενεργοποίησης ενεργοποιεί και απενεργοποιεί τον πομπό.

Ο διακόπτης **Remote** όταν είναι ενεργοποιημένος θα ενεργοποιήσει το τηλεχειριστήριο της λειτουργίας ελέγχου πομπού από τον δέκτη.

Όταν είναι απενεργοποιημένο ο πομπός λειτουργεί συνεχώς όταν η τροφοδοσία είναι ενεργοποιημένη.

Ο διακόπτης ελέγχου στάθμης ισχύος **Power level** έχει έξι ρυθμίσεις από Min έως Max και ρυθμίζει την ισχύ εξόδου της μονάδας πομπού. Το επίπεδο έχει ρυθμιστεί ώστε να ταιριάζει με το μέγεθος της περιοχής που δοκιμάζεται.

Σε κανονικά ενεργοποιημένη μεγάλων φορτηγών φορτίου το επίπεδο ισχύος έχει οριστεί σε Max, αλλά κατά τη δοκιμή στις μικρές καμπίνες ή στις θύρες των διαφραγμάτων μειώνεται το επίπεδο ισχύος αναλόγως. Το πραγματικό επίπεδο ισχύος που απαιτείται μπορεί να συναχθεί όταν εκτελώντας την διαδικασία ανοικτής ποσότητας επικάλυψης που περιγράφεται παρακάτω.λ

Η πολύχρωμη ενδεικτική λυχνία LED δείχνει την κατάσταση της μπαταρίας και αναβοσβήνει όταν είναι σε λειτουργία. Ένα πράσινο φως που αναβοσβήνει σημαίνει ότι οι μπαταρίες είναι ικανοποιητικές. Ένα κόκκινο φως που αναβοσβήνει σημαίνει ότι η τάση της μπαταρίας είναι ανεπαρκής για τη λειτουργία.

Μεταβλητή έξοδος:: αυτό επιτρέπει τη δοκιμή των στεγανών θυρών και είναι χρήσιμο για τη μείωση του επιπέδου dB ή κατά την τοποθέτηση του πομπού, κορυφή του φορτίου κοντά στο κάλυμμα της πτέρυγας.

Variable output control:

Max Position 130dB

Position 5 119dB

Position 4 108dB

Position 3 97dB

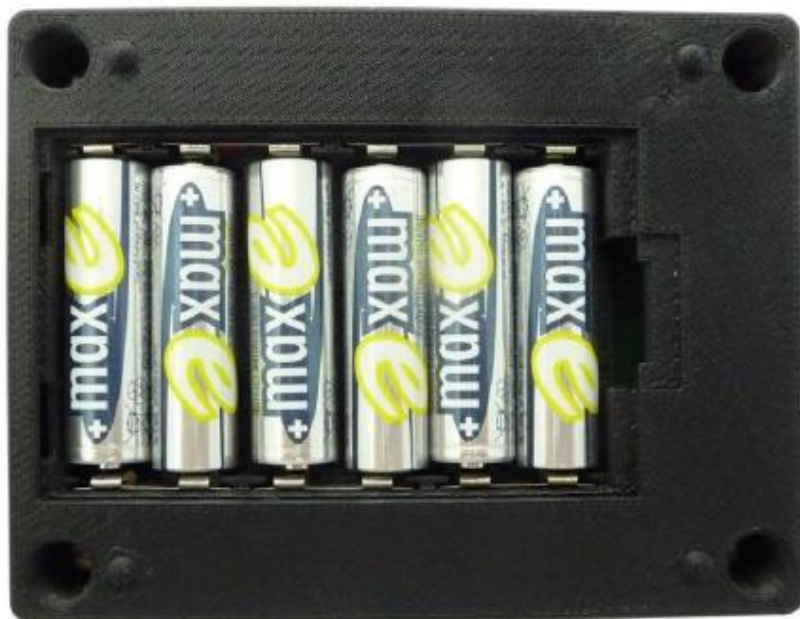
Position 2 86dB

Min Position 75dB

Η διαφορά μεταξύ κάθε θέσης είναι : 11dB

### **Αλλαγή των μπαταριών**

Για να αλλάξετε τις μπαταρίες, απενεργοποιήστε τη βάση για πρόσβαση στην μπαταρία, υπάρχει ένα αφαιρούμενο κάλυμμα. Βεβαιωθείτε ότι είναι σωστή η πολικότητα που παρατηρείται κατά την εισαγωγή των μπαταριών.



**Σχήμα 25.** Αλλαγή μπαταριών πομπού.

### **Φόρτιση των μπαταριών**

Ένας φορτιστής μπαταριών έξι κυψελών τροφοδοτείται και μπορεί να φορτίσει και τις έξι AA μπαταρίες ταυτόχρονα. Ο μέγιστος χρόνος φόρτισης είναι 3 ώρες.

Ο φορτιστής θα λειτουργεί από παροχή 100 έως 240 V AC 50-60 Hz και παρέχεται με μια ευρωπαϊκή πρίζα και κατάλληλο προσαρμογέα.



**Σχήμα 25.** Φόρτιση μπαταριών πομπού.

## Εξωτερικό τροφοδοτικό

Ο πομπός δέχεται εξωτερική τροφοδοσία που κυμαίνεται από 12 έως 24 V dc και 0.5A αντί για τις εσωτερικές μπαταρίες, επιτρέποντας στον επιθεωρητή μεγαλύτερη ευελιξία για τη διεξαγωγή επιθεώρησης καλύμματος καταπακίου χωρίς περιορισμούς χρόνου λειτουργίας του πομπού.

Η εκκόλαψη είναι σίγουρη και στο kit παρέχεται ένα καλώδιο ρεύματος 1,8 m τερματιζόμενο σε δύο κόκκινα και μαύρα κλιπ κροκοδείλου.

Η εξωτερική πρίζα βρίσκεται στο πλάι του πομπού με το περίβλημα 3.4, και θα χρειαστεί να αφαιρέσετε τον πομπό από τη θήκη για πρόσβαση σε αυτό.

Η εξωτερική πρίζα δεκτών διαθέτει βύσμα ισχύος 2,5 mm και ο κεντρικός πείρος είναι θετικός. Υπάρχει προστασία αντίστροφης πολικότητας σε αυτή την είσοδο.



**Σχήμα 25.** Εξωτερική τροφοδοσία 12-24 V.

## Δέκτης Hatch Sure

Ο δέκτης παρέχεται σε μια ανθεκτική στις καιρικές συνθήκες θήκη και με μάντες μέσης για άνετη και ασφαλή λειτουργία hands free.



**Σχήμα 26.** Ο δέκτης εν ώρα εργασίας.

Ο δέκτης μπορεί εύκολα να αφαιρεθεί από την θήκη ανοίγοντας το φερμουάρ για να έχετε πρόσβαση στο διαμέρισμα των μπαταριών. Ο δέκτης προστατεύεται περαιτέρω από εξωτερικό πορτοκαλί κάλυμμα από καουτσούκ που μπορούν επίσης να αφαιρεθούν.

Ο σύνδεσμος BNC για το μικρόφωνο επιθεώρησης βρίσκεται στο πίσω μέρος της θήκης του δέκτη, δείτε το Σχήμα 27





**Σχήμα 27.** BNC σύνδεση για το μικρόφωνο. .

Η μονάδα δέκτη διαθέτει ενσωματωμένο ηχείο δίνοντας στον χειριστή μία ένδειξη του ηχητικού επιπέδου, χωρίς να χρειάζεται να συνδέσετε τα ακουστικά.

#### **Σύνδεση ακουστικών**

Η υποδοχή ακουστικών θα δέχεται οποιοδήποτε τύπο ακουστικών με Βύσμα υποδοχής 3,5 mm. Θα λειτουργήσει με στερεοφωνικά, μονοφωνικά ακουστικά ή μεμονωμένα ακουστικά. Η υποδοχή ακουστικών βρίσκεται στα δεξιά πλευρά του δέκτη μέσω μιας οπής στο πορτοκαλί προστατευτικό κάλυμμα, δείτε το Σχήμα 28.



**Σχήμα 28.** Υποδοχή ακουστικών. .



Αυτό έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει στον επιθεωρητή την επιλογή οποιουδήποτε ακουστικά προτιμούν ή έχουν στη διάθεσή τους. Το κιτ είναι εφοδιασμένο με ακουστικά τύπου λαιμού που μπορούν να φοριέται κάτω από προστατευτικό καπέλο ασφαλείας.

### **Μπαταρία**

Ο δέκτης απαιτεί μία μόνο 9 V PP3 αλκαλική ή επαναφορτιζόμενη μπαταρία. Το σετ παρέχεται με δύο MaxE επαναφορτιζόμενες 9 V μπαταρίες.

Οι μπαταρίες "MaxE" που παρέχονται θα διατηρήσουν την πλήρη φόρτιση τους μέχρι και (συνήθως NiMH μπαταρίες μπορούν να χάσουν έως και 20% της χρέωσης τους μετά από μια εβδομάδα).

Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης μπορεί να είναι βέβαιος ότι οι μπαταρίες είναι έτοιμες για χρήση ακόμα κι αν χρεώθηκε πριν από λίγο καιρό.

### **Προφυλάξεις μπαταρίας**

Πάντοτε αφαιρέστε τις μπαταρίες από τον πομπό όταν δεν χρησιμοποιείται περισσότερο από μερικές ημέρες

Χρησιμοποιείτε πάντα μπαταρίες υψηλής ποιότητας για να αποφύγετε διαρροές

Ποτέ μην αναμειγνύετε νέες και χρησιμοποιημένες μπαταρίες, καθώς αυτό μπορεί να προκαλέσει μπαταρίες να διαρρεύσουν

## Αλλαγή της μπαταρίας

Η μπαταρία βρίσκεται πίσω από ένα αφαιρούμενο κάλυμμα στο πίσω μέρος του περιβλήματος του δέκτη. Αφαιρέστε τον δέκτη από το πορτοκαλί προστατευτικό του για να αποκτήσετε πρόσβαση σε αυτό το κάλυμμα, δείτε το Σχήμα 29.



Σχήμα 29. Υποδοχή ακουστικών. .

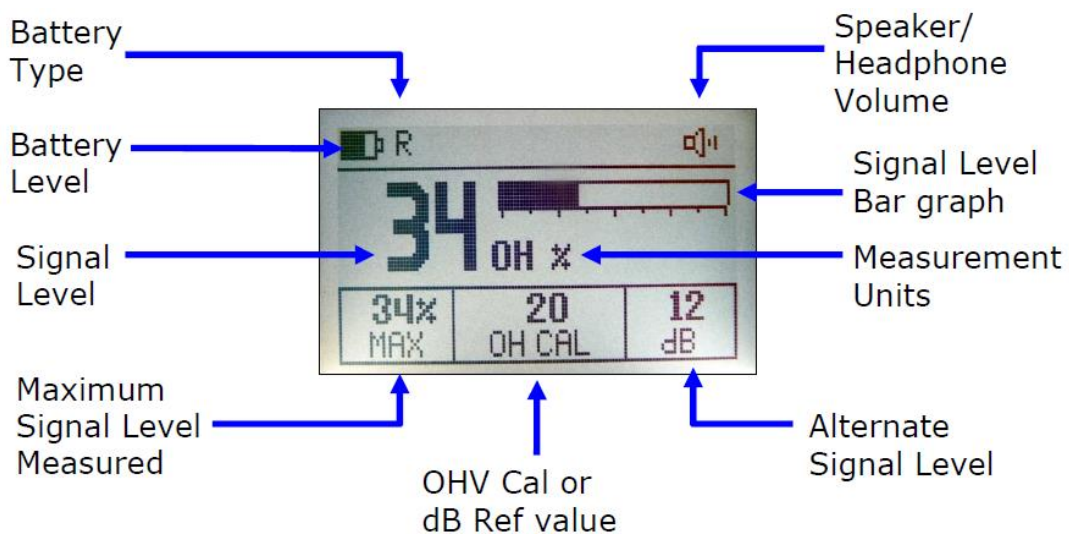
## Φόρτιση της μπαταρίας

Παρέχεται φορτιστής μπαταρίας που μπορεί να φορτίσει και τα δύο PPV 9 V μπαταρίες ταυτόχρονα. Ο μέγιστος χρόνος φόρτισης είναι 5 ώρες.

Ο φορτιστής θα λειτουργεί από παροχή 100 έως 240 V AC 50-60 Hz και παρέχεται με μια ευρωπαϊκή πρίζα και κατάλληλο προσαρμογέα.

## Οθόνη δέκτη

Ο δέκτης διαθέτει μεγάλη οθόνη LCD που μπορεί να φωτιστεί για χρήση σε σκοτεινές συνθήκες. Η οθόνη εμφανίζει την παραλαβή στο επίπεδο σήματος υπερήχων σε μονάδες dB ή Open Hatch μαζί με ένα γράφημα.



Σχήμα 30. Οθόνη του δέκτη.

## Λειτουργίες πληκτρολογίου του δέκτη



OH dB	HOLD MAX	Power
Backlight	SET OH	Volume increase
Remote		Volume decrease

Σχήμα 31. Πληκτρολόγιο του δέκτη.

## Μικρόφωνο και Τηλεσκοπική επέκταση

Το μικρόφωνο επιθεώρησης χρησιμοποιείται για την αναζήτηση διαρροών γύρω από τις σφραγίδες καταπακτών φορτίου. Αποτελείται από έναν υπερηχητικό δέκτη συναρμολογημένο σε ένα εύκαμπτο γάντι από ανοξείδωτο χάλυβα 200 mm. Ένα μανίκι από καουτσούκ προσαρμόζεται για την εξάλειψη του θορύβου κατά την τοποθέτηση, βλέπε Σχήμα 32.



Σχήμα 31. Μικρόφωνο.

Για να επιτραπεί στον επιθεωρητή να φτάσει σε όλες τις περιοχές της σφραγίδας καταπακτής, η τηλεσκοπική επέκταση παρέχεται, Σχήμα 32



**Σχήμα 32.** Τηλεσκοπική επέκταση.

Αυτό το κομμάτι επέκτασης μπορεί εκτείνεται μέχρι 1,2 m (4 πόδια) σε μήκος. Το μικρόφωνο επιθεώρησης συνδέεται στο άκρο της προέκτασης με ένα βύσμα BNC, βλέπε σχήμα 33.



**Σχήμα 33.** BNC επέκτασης.

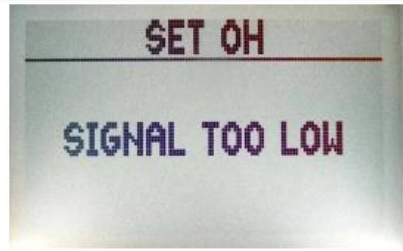
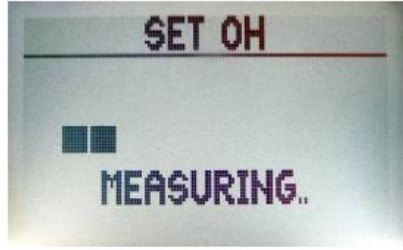
## Λειτουργία διάταξης

Ανοίξτε τις τιμές καταπακτών



Η τιμή ανοιχτού καλύμματος είναι το επίπεδο σήματος υπερήχων που μετράται με το δέκτη όταν το κάλυμμα του καλύμματος είναι πλήρως ή μερικώς ανοιχτό ή μέσω θυρίδας πρόσβασης. Αυτό το επίπεδο σήματος ορίζεται στη συνέχεια για να υποδείξει 100%.

## Επίπεδο ισχύος πομπού

Όταν ρυθμίζετε την Ανοιχτή Θήκη, ξεκινάτε πάντα με τη μεταδιδόμενη στάθμη ισχύος ρυθμισμένη στο Max. Αν δοκιμάζετε μια μικρή καμπίνα στη περιοχή του καταστρώματος τότε θα πρέπει πιθανώς να μειώσετε το επίπεδο ισχύος σε ποσότητα, στην πράξη θα πρέπει να μειώσετε μόνο το επίπεδο ισχύος αν βρείτε ποσότητα υπερήχων να διεισδύει μέσω του χάλυβα και δεν μπορείτε να πάρετε ένα 0% διαβάζοντας οπουδήποτε.

<b>1.</b>	Assuming the microphone is in position and the transmitter is operating normally	
<b>2.</b>	Press and hold the SET OH key	<b>SET OH</b>
<b>3a</b>	If the signal is too weak this message is shown  Is the transmitter turned on? Is the microphone connected? Has the transmitter moved?	
<b>3b</b>	If the received signal is within the correct range this message is shown while the signal level is evaluated. The progress bar will fill to the right while the receiver is measuring	


Σχήμα 34. Διαδικασία μέτρησης

4.	When the signal level has been measured the screen displays the OH signal level set at 100% and the OH CAL value	
5.	<p>You can now use the Volume UP and DOWN arrow keys to adjust the calibration value if required.</p> <p>Each key press changes the OH CAL value by 1</p>	
6.	<p>After 2 seconds of no key presses the screen changes back to the normal measuring screen and the new OH calibration is applied and saved.</p> <p>This new open hatch calibration value will be saved into memory and retained even while the receiver is turned off or the batteries are removed.</p>	



**Σχήμα 35.** Διαδικασία μέτρησης

### Λειτουργία δοκιμής εκπομπού

Ο δέκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ταχεία δοκιμή που παράγει κάθε εκπομπός σε ανεπαρκή ενέργεια υπερήχων. Αυτό συνήθως θα διεξάγεται στην αρχή κάθε έρευνας..

1.	Turn on the transmitter. Make sure the Remote switch is in the Off (0) position and the Power level is set to MAX.	
2.	Connect the microphone to the receiver either directly or using the telescopic extension.	
3.	On the receiver press and hold both the Volume UP and DOWN keys until the Emitter Test screen is displayed	



<p><b>4.</b></p>	<p>Place the inspection microphone over each emitter and observe the value on the receiver screen</p>	
<p><b>5.</b></p>	<p>A reading above 40% for a good emitter and the words "OK" will be displayed on the right.  Anything less indicates a potentially faulty emitter</p>	
<p><b>6.</b></p>	<p>There will be a small fluctuation in the readings – this is normal  Also each emitter will generate slightly different levels of ultrasound – this is normal</p>	
<p><b>7.</b></p>	<p>If it's found 1 or 2 emitters are not working then the hatch cover inspection could still be carried out. You will then need to return the transmitter for repair as soon as possible</p>	
<p><b>8.</b></p>	<p>When you have completed the test press any key to exit the Emitter Test screen</p>	

**Σχήμα 35.** Λειτουργία δοκιμής εκπομπού



## **Κατευθυντήριες γραμμές επιθεώρησης καλύμματος καλύμματος**

Πρέπει να διεξαχθεί η διεξαγωγή της επιθεώρησης του καλύμματος του καλύμματος την κατάρτιση και την εμπειρία, έτσι ώστε ο επιθεωρητής μπορεί να αξιολογήσει τις πολλές διαφορετικές καταστάσεις και τύπους σκαφών που θα συναντηθούν.

Συνεπώς, πέρα από το πεδίο εφαρμογής αυτού του εγχειριδίου, αποτελεί ένα λεπτομερή οδηγό για το όλο θέμα της δοκιμής κάλυψης του καλύμματος.

## **Δοκιμή εξοπλισμού**

Συνιστάται να εκτελέσετε προηγουμένως μια δοκιμασία εκπομπής και μετά από οποιαδήποτε έρευνα για την εγκατάσταση του εξοπλισμού ώστε να λειτουργεί σωστά σε όλη την έρευνα.

## **Θέση πομπού**

Το φορτίο κατέχεται σε διάφορα μεγέθη και σχήματα, μερικά έχουν εσωτερικά εμπόδια όπως οι κεντρικές δοκοί ή τα καταστρώματα και μερικοί μπορεί να είναι μακρύς και στενός, επιλέγοντας έτσι το σωστό μέρος ώστε η θέση του πομπού είναι ζωτικής σημασίας κατά το σχεδιασμό μιας επιτυχημένης έρευνας.

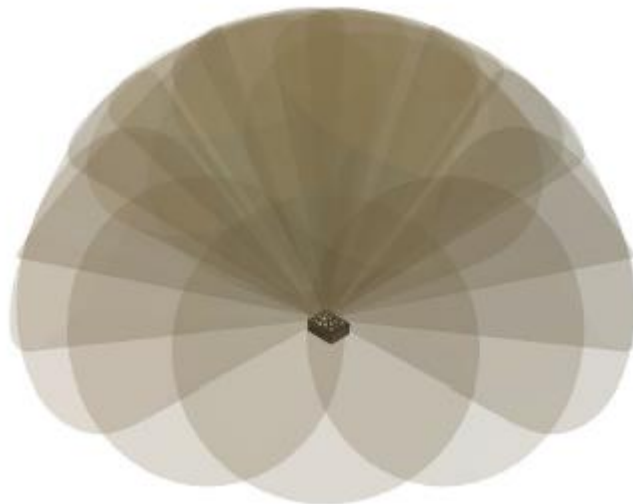
Η ενέργεια υπερήχων θα ταξιδέψει σε ευθεία γραμμή από τη θέση που εκπέμπει, σχηματίζοντας μια κωνική δοκό, καθώς απομακρύνεται από το πομπό. Καθώς οι 19 εκπομποί τοποθετούνται εξίσου σε μια ακτινική το ηχητικό πεδίο θα καλύψει μια ευρεία περιοχή όπως φαίνεται στο Σχήμα 36.

Ωστόσο, οι δοκιμές έδειξαν επίσης ότι σε ένα κλειστό χώρο όπως το ένα φορτίο κρατά το επίπεδο του σήματος είναι λιγότερο εξασθενημένο και πιο ομοιόμορφα διανέμονται.

Για μια έκταση 15m x 25m x 6m (LxWxH) με το που βρίσκεται στο κέντρο του δαπέδου το χαμηλότερο επίπεδο σήματος που μετρήθηκε, δηλ. η πιο μακρινή γωνία μακριά, ήταν -20dB κάτω από το επίπεδο αναφοράς (20dB = 10 φορές λιγότερα)



**Σχήμα 36.** Πλάτος διανομής δέσμης πομπού (πλάγια όψη)

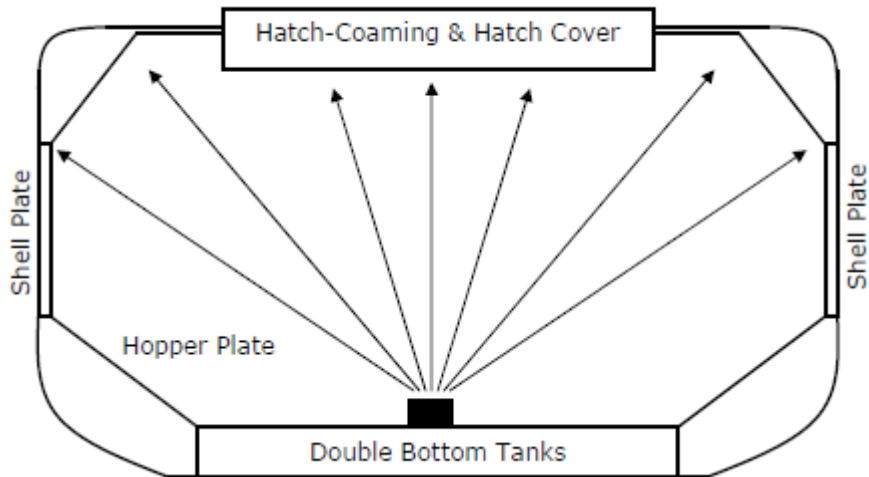


**Σχήμα 37.** Πλάτος διανομής δέσμης πομπού (λοξή όψη)

Όταν επιλέγετε θέση πομπού, προσπαθήστε να φτιάξετε μια στολή ηχητικό πεδίο που θα φτάσει στο πίσω μέρος ολόκληρης της σφράγισης του καλύμματος περιοχή. Εάν υπάρχουν εσωτερικά εμπόδια που μπορεί να προκαλέσουν υπερήχους σκιές ή ήσυχες περιοχές θεωρούν τη μετακίνηση του πομπού και διεξάγοντας την έρευνα σε δύο στάδια.

Ωστόσο, ο υπέρηχος θα αναπηδήσει από τις επίπεδες επιφάνειες χάλυβα και θα μπει μέσα τις περισσότερες περιοχές, αλλά μπορεί επίσης να απορροφηθεί από μαλακότερα υλικά όπως το ίδιο το φορτίο

Η απλούστερη κατάσταση είναι μια σχεδόν τετράγωνη χωρητικότητα χωρίς κανένα εσωτερικά εμπόδια, εδώ ο πομπός βρίσκεται στο κέντρο της αναμονής και η έρευνα μπορεί να διεξαχθεί χωρίς να χρειαστεί μετακινήσει τον πομπό, δείτε το Σχήμα 38 που δείχνει μια διατομή μέσω πλοίου μεταφοράς χύδην φορτίου.

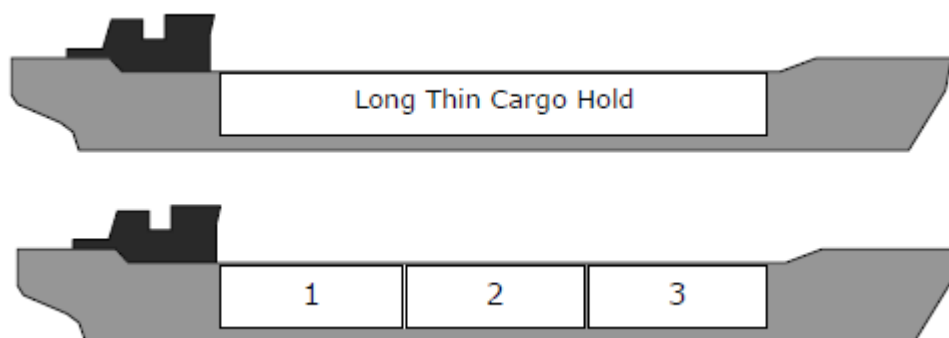


**Σχήμα 38.** Ο πομπός τοποθετείται κεντρικά

## Μετρήσεις σε μακρύ σκάφος

Ορισμένα σκάφη έχουν μακρύ στενό φορτίο φορτίου (δηλαδή 11 μέτρα πλάτος 55 μ μακρύς). Για να πραγματοποιήσετε μια υπερηχητική έρευνα η περιοχή συγκράτησης πρέπει να δοκιμάζονται σε ξεχωριστές ενότητες, όπου κάθε τμήμα είναι κοντά σε τετράγωνο, που φαίνεται στο Σχήμα 39.

Ο πομπός είναι τοποθετημένος στο κέντρο του πρώτου, η έρευνα διαρροών που πραγματοποιήθηκε κανονικά ξεκίνησε με τη λήψη ενός. Ανοίξτε την τιμή Hatch και, στη συνέχεια, ο πομπός μετακινείται στο κέντρο του και ακολουθεί το επόμενο τμήμα και η έρευνα.



**Σχήμα 39.** Ο διαχωρισμός των μακρύ σκαφών κατά χωριστά Τμήματα. Για τον σκοπό της δοκιμής, ο πομπός τοποθετείται κεντρικά

## Επίπεδο ισχύος πομπού

Ο πομπός είναι εξοπλισμένος με 6 θέσεις ισχύος από Ελάχιστη έως Μέγιστη. Για δοκιμές καλύμματος καταπακτών στα μεγάλα σκάφη, στο μέγιστο όριο πρέπει να χρησιμοποιηθεί το επίπεδο ισχύος. Ωστόσο, κατά τη δοκιμή μικρών σκαφών, τις καμπίνες του καταστρώματος ή τις στεγανές θύρες των διαφραγμάτων, ενδέχεται να χρειαστεί να μειώνεται αναλόγως.



**Σχήμα 40.** Ρύθμιση τιμής ανοικτής επίστρωσης χρησιμοποιώντας μια θύρα πρόσβασης

Όταν επιχειρείτε να ορίσετε την τιμή ανοικτής αντιστοίχισης, υπάρχουν δύο άκρα που πρέπει να γνωρίζουν.

Πάρα πολύ σήμα υπερήχων - Πιο κοντά στον πομπό (ή τη περιοχή φορτίου είναι πολύ μικρή) η ενέργεια υπερήχων μπορεί να διεισδύσει μέσω του χάλυβα και δεν μπορείτε να πάρετε 0% ανάγνωση οπουδήποτε.

1. Σε αυτή την περίπτωση προσπαθήστε να μειώσετε το επίπεδο ισχύος του πομπού μονάδα με τον έλεγχο στάθμης ισχύος.
2. Πολύ μικρό σήμα υπερήχων - Εάν η περιοχή φορτίου είναι πολύ μεγάλη (μακριά) και ο δέκτης είναι απλά πολύ μακριά από τη θέση του πομπού η ενέργεια υπερήχων μπορεί να είναι κάτω από το ελάχιστο που απαιτείται για να ορίσετε μια τιμή ανοικτής εκκόλαψης.

Σε αυτήν την περίπτωση σκεφτείτε να χωρίσετε την περιοχή σε μικρότερα τμήματα. Επίσης, εκτελέστε μια δοκιμασία εκπομπής για την επαλήθευση του πομπού σωστά. Επιβεβαιώστε επίσης ότι η μονάδα πομπού έχει ρυθμιστεί σε ισχύ MAX.

## Ακούγοντας διαρροές

Μόλις έχει οριστεί η Τιμή Ανοιχτής Επίστρωσης και η επίστρωση καλύπτει και οι καταπακτές πρόσβασης έχουν κλείσει είστε έτοιμοι να αρχίσετε να ψάχνετε διαρροές. Εάν τα καλύμματα του καλύμματος είναι απολύτως σφραγισμένα, μπορεί να ακούσετε μικρές ποσότητες υπερήχων που διαρρέουν γύρω από αρθρωτές αρθρώσεις ή γωνίες των καλύμματα των θυρών.

Μερικές φορές τα καλύμματα εξαερισμού φορτίου είναι πηγές και η υπεριώδης ακτινοβολία θα διαρρεύσει και από εκεί. Αν δεν είστε ενεργός ακούγοντας οποιοσδήποτε διαρροές υπερήχων είναι ύποπτες / προσεκτικές - είναι ο πομπός είναι ενεργοποιημένος;

Όταν ψάχνετε για διαρροές, η χρήση των ακουστικών είναι η ταχύτερη μέθοδος σάρωσης κατά μήκος μιας άρθρωσης καθώς ακούγεται ο υπέρηχος πριν καταχωρίσει στην οθόνη των δεκτών. Μόλις ο υπέρηχος έχει ακουστεί ο επιθεωρητής μπορεί να σταματήσει, να επικεντρωθεί στην περιοχή και να εντοπίσετε το τμήμα διαρροής, στη συνέχεια με κιμωλία το σημειώνετε με σαφήνεια.



**Σχήμα 41.** Σάρωση ενός κοινού καλύμματος



**Σχήμα 42.** Σημειώνοντας μια διαπεραστική σφραγίδα

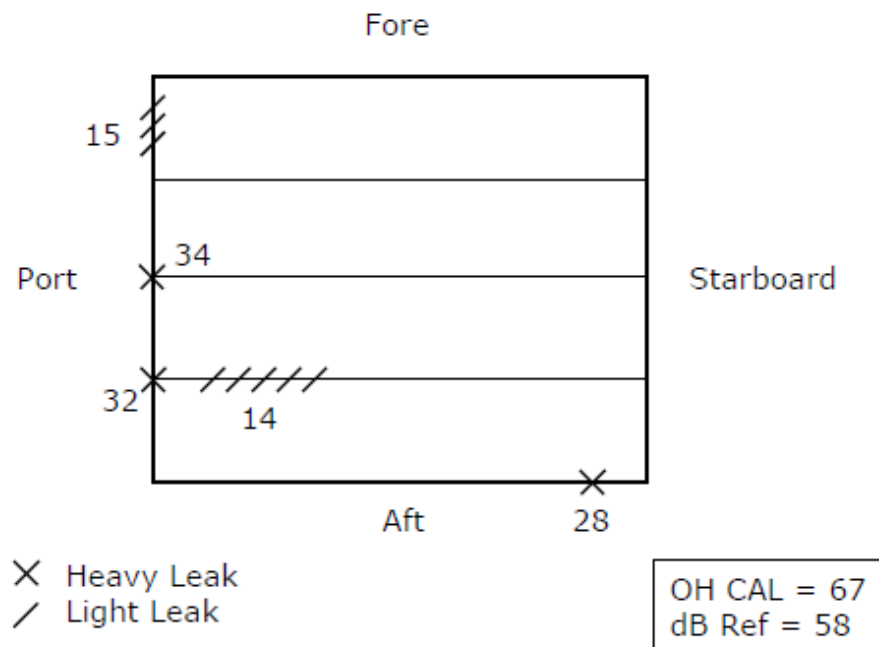


**Σχήμα 43.** Σάρωση σε μια βαθιά αρθρωτή άρθρωση

## Εγγραφή αποτελεσμάτων έρευνας

Κατά τη διεξαγωγή έρευνας καλύμματος καταπακτών οι μέθοδοι σήμανσης και οι περιοχές εγγραφής στις οποίες έχουν εντοπιστεί διαρροές θα διαφέρουν το συμβαλλόμενο μέρος που απαιτεί την έρευνα, ώστε να υπάρχουν συστάσεις για μορφές πέρα από το πεδίο εφαρμογής του παρόντος εγχειριδίου, ωστόσο είναι τυπική μορφή που φαίνεται στο Σχήμα 44.

Εκτός θα πρέπει πάντα να καταγράφει την τιμή OH CAL και την τιμή αναφοράς dB που λαμβάνεται μετά τη ρύθμιση της τιμής Open Hatch.



. Σχήμα 44. Τυπικό αποτέλεσμα μέτρησης



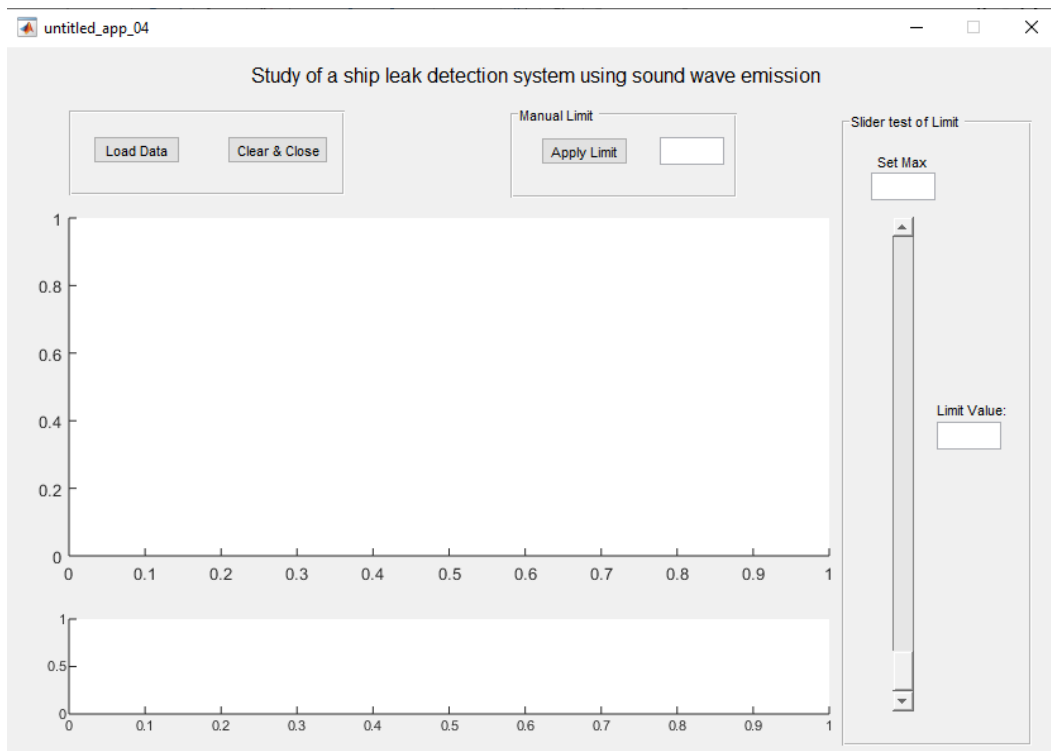
## 4. Επεξεργασία πειραματικών αποτελεσμάτων

### 4.1 Layout του προγράμματος – επεξηγήσεις

Στόχος; στο πειραματικό μέρος της εργασίας, η υλοποίηση λογισμικού με σκοπό τον σαφή προσδιορισμό της θέσης ενός κενού ή διαρροής κατά την έρευνα στο αμπάρι ενός πλοίου με συσκευή υπερήχων.

Υλοποιήθηκε πρόγραμμα με τη χρήση του MATLAB σε πλήρη συμβατότητα με τα δεδομένα της συσκευής..

Παρουσιάζουμε τη τελική μορφή του προγράμματος που ελέγχει την επεξεργασία των μετρήσεων και που η αρχική του εικόνα φαίνεται στο σχήμα 45



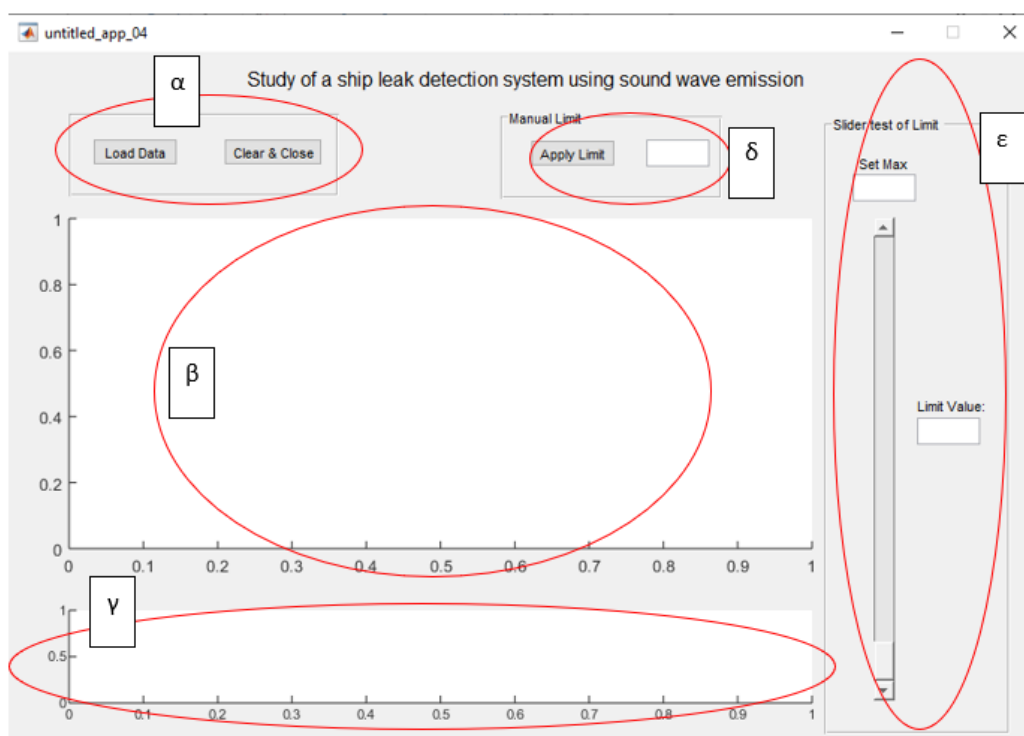
. Σχήμα 45. Αρχικό παράθυρο του προγράμματος

Το παράθυρο του προγράμματος χωρίζεται στις εξής περιοχές:

- α) την περιοχή των κουμπιών load και close
- β) την περιοχή σχεδίασης των δεδομένων
- γ) την περιοχή αποτύπωσης της επιφάνειας
- δ) την περιοχή δοκιμής ορίου
- ε) την περιοχή μικρομεταβολής του ορίου (slider).

## 4.2 Αρχικοί Υπολογισμοί στο background

Το πρόγραμμα στην ουσία των υπολογισμών του, αφού φορτώσει τα δεδομένα (ζεύγη τιμών x-y) εφαρμόζει μια ρουτίνα if – then – else κατά την οποία εξετάζει κάθε τιμή του y αν είναι κάτω από το όριο που έχει τεθεί και αποθηκεύει το αποτέλεσμα της σύγκρισης.



Σχήμα 46. Επεξηγήσεις των περιοχών

Το κουμπί “Load” φορτώνει στο πρόγραμμα ένα αρχείο txt δύο στηλών που αντιστοιχούν σε ζεύγη τιμών (Σχήμα 46).

Το κουμπί “Clear & Close” καθαρίζει την μνήμη του προγράμματος και το κλείνει.

Η περιοχή σχεδίασης των δεδομένων εμφανίζει γι αρχή τα δεδομένα που φορτώθηκαν ενώ με τη χρήση των κουμπιών apply limit ή του slider αλλάζει εμφανίζοντας και επιπλέον πληροφορίες.

Η περιοχή σχεδίασης της επιφάνειας εμφανίζει μια ευθεία γραμμή που αντιστοιχεί στην επιφάνεια ενώ με την εφαρμογή του ορίου εμφανίζει κενά (ή βυθίσματα) που αντιστοιχούν στις περιοχές με σφάλμα.

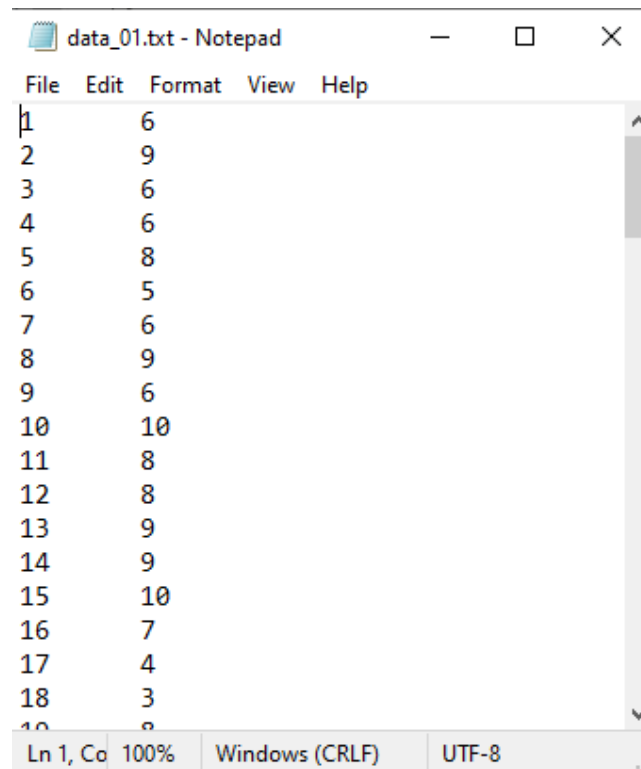
Το κουμπί “Apply Limit” λειτουργεί σε συνδυασμό με το διπλανό του κουτί εισαγωγής τιμής. Ο χρήστης εισάγει στο κουτί την τιμή που θέλει να θέσει ως όριο και πατάει το κουμπί. Τότε αλλάζουν οι προαναφερθείσες περιοχές σχεδίασης ώστε να εμφανίσουν και τα σχετικά αποτελέσματα από την εφαρμογή του ορίου.

Η μπάρα κύλισης (slider) για την μελέτη της μικρομεταβολής του ορίου συνδυάζεται με το πάνω κουτί απ όπου ο χρήστης εισάγει το μέγιστο όριο που θέλει ενώ σε κάθε χρήση της και μεταβολή της επιστρέφει την τιμή του όριο στο λευκό κουτί δίπλα της.

## 4.2 Εφαρμογή σε πραγματικά στοιχεία

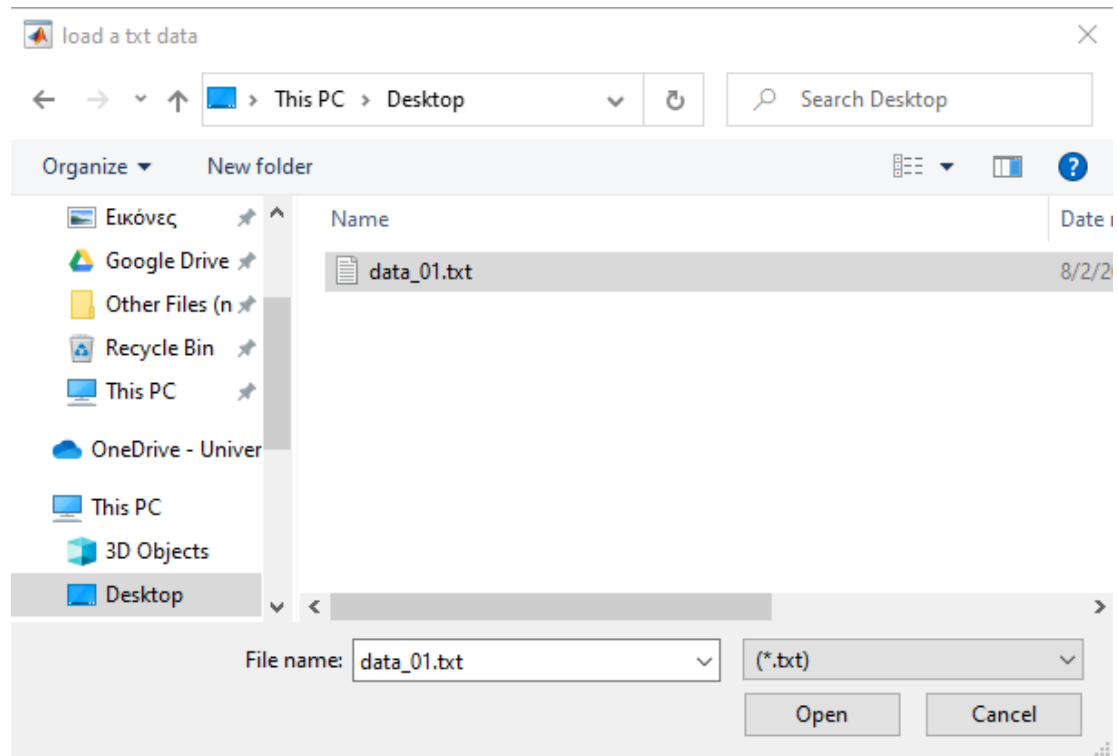
### Παράδειγμα

Έστω αρχείο τιμών σε ζεύγη και σε μορφή txt όπως φαίνεται στην εικόνα του Σχήματος 47 που ακολουθεί.



**Σχήμα 47.** Αρχείο txt με ζεύγη τιμών

Αρχικά ο χρήστης του προγράμματος πατάει το κουμπί “Load Data” όπου και του εμφανίζει παράθυρο για την επιλογή του αρχείου (Σχήμα 48)



**Σχήμα 48.** Νέο αναδυόμενο παράθυρο επιλογής αρχείου δεδομένων.

Με την επιλογή του αρχείου από τη συσκευή υπερήχων, τα δεδομένα σχεδιάζονται στην κεντρική περιοχή σχεδίασης (Σχήμα 49).



Σχήμα 49. Αποτύπωση αρχείου δεδομένων με τη μορφή σήματος.

### 4.3 Εύρεση σημείων ρωγμών με δύο τεχνικές

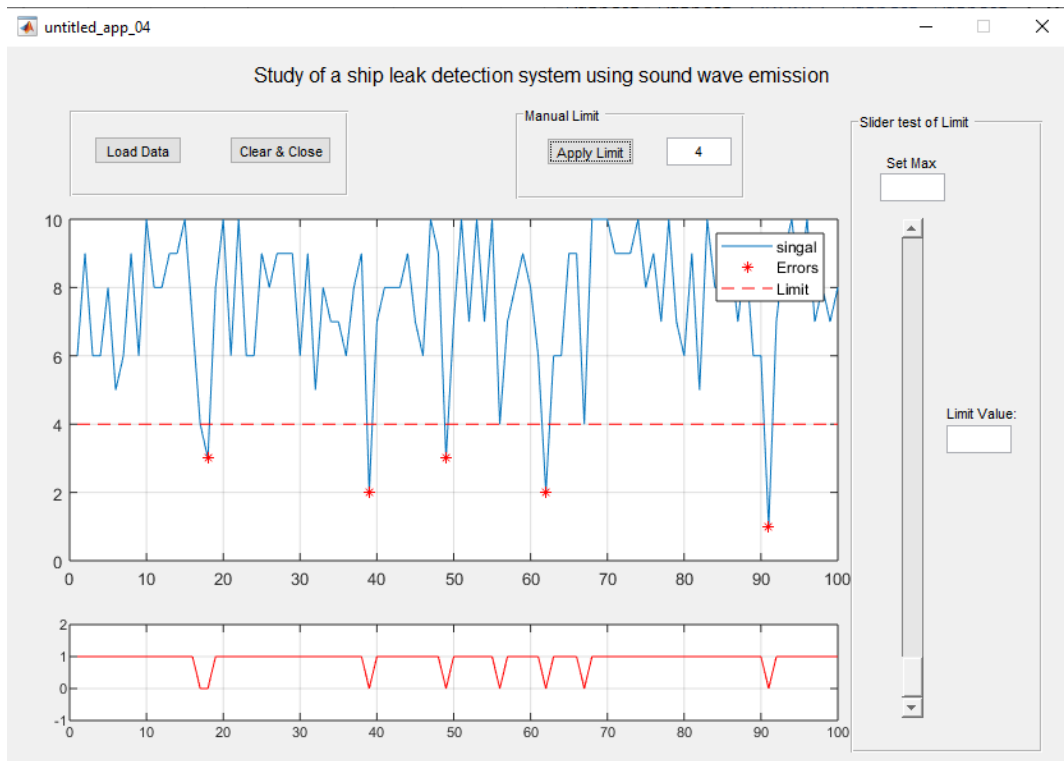
✓ *Εφαρμογή ορίου – Τρόπος Α: μοναδική τιμή και κουμπί “apply Limit”*

Στην περίπτωση αυτή ο χρήστης εισάγει μια επιθυμητή τιμή ορίου στο λευκό κουτί δίπλα από το κουμπί “apply Limit” και στην συνέχεια πατάει το κουμπί.

Εδώ το πρόγραμμα θα εφαρμόσει αλγόριθμό διαχωρισμού των τιμών των ζευγών x-y σε τιμές πάνω και κάτω από το όριο. Μόλις ολοκληρώσει, θα σημειώσει τα σημεία κάτω από το όριο με έναν κόκκινο αστερίσκο ( \* ) ενώ θα εμφανίσει και με μια κόκκινη διακεκομμένη γραμμή (----) το όριο που τέθηκε.

Στην δευτερεύουσα περιοχή σχεδίασης, το πρόγραμμα θα επιστρέψει μια σταθερή τιμή (1) για όλες τις τιμές που είναι πάνω από το όριο και θα αναπαραστήσει τις τιμές που είναι κάτω από το όριο με «βύθισμα».





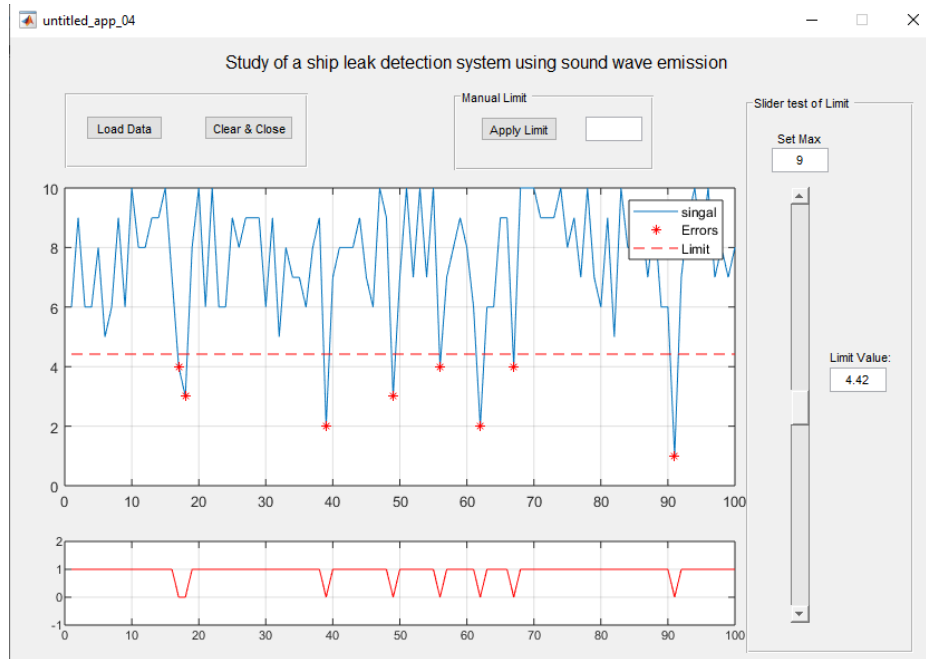
**Σχήμα 50.** Αποτύπωση του αποτελέσματος της εφαρμογής ορίου στα δεδομένα.

✓ *Εφαρμογή ορίου – Τρόπος Β: χρήση μπάρας κύλισης*

Στην περίπτωση αυτή ο χρήστης για αρχή εισάγει στο πάνω κουτί «set limit» το άνω όριο που θέλει να ελέγξει. Έπειτα ξεκινά και μετακινεί την μπάρα κύλισης προς τα επάνω.

Σε κάθε μετακίνηση της μπάρας, το πρόγραμμα υπολογίζει την τιμή του ορίου, την εμφανίζει στο λευκό κουτί δίπλα από την μπάρα ενώ ταυτόχρονα το εφαρμόζει στα δεδομένα σχεδιάζοντας τα σημεία κάτω από το όριο με έναν κόκκινο αστερίσκο ( \* ) καθώς και μια κόκκινη διακεκομμένη γραμμή (----) που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο όριο.

Όπως και στον τρόπο Α για την εφαρμογή ορίου, στην δευτερεύουσα περιοχή σχεδίασης, το πρόγραμμα θα επιστρέψει μια σταθερή τιμή (1) για όλες τις τιμές που είναι πάνω από το όριο και θα αναπαραστήσει τις τιμές που είναι κάτω από το όριο με «βύθισμα».



**Σχήμα 51.** Μελέτη ορίου σε δεδομένα με χρήση μπάρας κύλισης.

Ανεξαρτήτως τρόπου μελέτης του ορίου σε δεδομένα μορφής txt, η δευτερεύουσα περιοχή σχεδίασης αναπαριστά την επιφάνεια η οποία με βάσει τις τιμές του αρχείου έχει μια σταθερή συμπεριφορά (ευθεία γραμμή) ενώ στις περιοχές που υπάρχει πρόβλημα και οι τιμές είναι κάτω από ένα όριο (υπάρχει δηλαδή ρωγμή) αναπαρίσταται με ένα βύθισμα.

Το πρωτότυπο και καινοτόμο λογισμικό επιτυγχάνει το mapping στα αποτελέσματα της συσκευής υπερήχου και καθίσταται απαραίτητο συμπλήρωμα του οργάνου με σκοπό την πληρέστερη εξακρίβωση των ρωγμών στη περιοχή.

## 5. Συμπεράσματα

Τα σημαντικά πλεονεκτήματα της μεθόδου των υπερήχων για τον μη καταστροφικό έλεγχο των υλικών καθιστούν τη φορητή τεχνική μία από τις πρώτες επιλογές. Η μεγάλη διεισδυτική ικανότητα, επιτρέπει την ανίχνευση ατελειών σε μεγάλο βάθος (μπορούν να ελεγχθούν αντικείμενα με μήκος και πάχος αρκετών μέτρων).

Ένα από τα πλέον σημαντικά στοιχεία είναι ο ακριβής προσδιορισμός της θέσης και μεγέθους εσωτερικών ατελειών και χαρακτηρισμός του προσανατολισμού, μορφής και τύπου τους.

Στη παρούσα εργασία αφού αναπτύχθηκε θεωρητικά και επεξηγήθηκε η τεχνική, στη συνέχεια παρουσιάστηκαν τόσο οι αισθητήρες όσο και οι διαφορετικοί τρόποι απεικόνισης.

Ολοκληρώνοντας την έρευνα αναπτύχθηκε σε συνεργασία με την εταιρεία που αντιπροσωπεύει το επιστημονικό όργανο, πρωτότυπο λογισμικό επεξεργασίας των δεδομένων σε real time χρόνο.

Η απαίτηση για αναφορά με πλήρη περιγραφή των ατελειών (mapping) αλλά και το σαφή προσδιορισμό της θέσης τους πλέον είναι εφικτή. Η συνέχεια της ερευνάς αποσκοπεί στη βελτίωση του λογισμικού και στη δημιουργία τρισδιάστατων διαγραμμάτων πιστοποιώντας τη εφαρμογή της τεχνικής σε ανάδειξη ατελειών σε συνάρτηση με το βάθος, πληροφορία που η τεχνική μπορεί να αναδείξει.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Matikas, T. E., M. Rousseau, P. Gatignol, (1993),. “Theoretical Analysis for the Reflection of a Focused Ultrasonic Beam from a Fluid-Solid Interface”, Journal of the Acoustical Society of America, vol. 93(3), pp. 1407-1416,
2. Zoidis, N., E. Tatsis, C. Vlachopoulos, A. Gotzamanis, J. S. Clausen, D. Aggelis, T. E. Matikas, (2013),. “Inspection, Evaluation and Repair Monitoring of Cracked Concrete Floor Using NDT Methods”, Construction and Building Materials, vol. 48, pp. 1302-1308,
3. Baaklini, G., N. Meyendorf, T. E. Matikas, R. S. Gilmore, 2000, eds., “Nondestructive Methods for Materials Characterization”, vol. 591, (Materials Research Society,).
4. Osmont, D., M. Dupont, R. Gouyon, M. Lemistre, D. Baalageas, 2001, “Damage and Damaging Impact Monitoring by PZT Sensors-Based HUMS”, SPIE, vol. 3986, pp. 85-92.
5. Aggelis, D. G., E. Z. Kordatos, D. V. Soulioti, T. E. Matikas, (2010), “Combined Use of Thermography and Ultrasound for the Characterization of Subsurface Cracks in Concrete”, Construction and Building Materials, vol.24(10), pp. 1888-1897, .
6. Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι, Θεόδωρος Ματίκας Δημήτριος Αγγέλης (2015) ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780 Ζωγράφου
7. Web: [www.cygnus-instruments.com](http://www.cygnus-instruments.com)
8. Bar-Cohen, Y., S. S. Lih, A. K. Mal, (2001) “NDE of Composites Using Leaking Lamb Waves”, NDT&E Journal,.
9. Diamanti, K., J. M. Hodgkinson, C. Soutis, (2002) "Damage Detection of Composite Laminates Using PZT Generated Lamb Waves", Structural Health Monitoring, D. Balageas, ed., pp. 398-405, (DEStech Publications Inc.).
10. Light, G. M., A. Minachi, R. L. Spinks, (2001) "Development of a Guided Wave Technique to Detect Defects in Thin Steel Plates Prior to Stamping", Proc. of 7th ASME NDE Topical Conference, vol. 20, pp. 163-165, .
11. Lin, X., F. G. Yuan, (2001), “Damage Detection of a Plate Using Migration Technique”, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, vol. 12(7), (2001).
12. Mal, A., "NDE for Health Monitoring of Aircraft and Aerospace Structures", Proc. of 7th ASME NDE Topical Conference, vol. 20, pp. 149-155, .

13. Devilla, F., E. Roldan, C. Tirano, R. Mares, S. Nazarian, R. Osegueda, (2001), "Defect Detection in Thin Plates Using S0 Lamb Wave Scanning", Proc. of SPIE Advanced Nondestructive Evaluation for Structural and Biological Health Monitoring, vol. 4335, pp. 121-130.
14. Dassios, K. G., T. E. Matikas, (2013), "Damage Assessment in a SiC-Fiber Reinforced Ceramic Matrix Composite", Journal of Engineering, vol. 2013, pp. 6, published online

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB

```
function varargout = untitled_app_05(varargin)

gui_Singleton = 1;

gui_State = struct('gui_Name', mfilename, ...
    'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
    'gui_OpeningFcn', @untitled_app_05_OpeningFcn, ...
    'gui_OutputFcn', @untitled_app_05_OutputFcn, ...
    'gui_LayoutFcn', [] , ...
    'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function untitled_app_05_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)

handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);

function varargout = untitled_app_05_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)

varargout{1} = handles.output;
```

```

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

global x;

global y;

[filename,pathname]=uigetfile('*.*txt','load a txt data');

FLNM=filename;

if filename~=0

filename = ([pathname filename]);

[x,y]=textread(filename);

FLNM=filename;

format long

axes(handles.axes1)

plot(x,y,'b-');

grid on

end

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),

get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

set(hObject,'BackgroundColor','white');

end

function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)

global x

global y

limit=str2num(get(handles.edit1,'string'));

for i=1:length(y)

```



```

if y(i)<=limit;
a(i)=0;
else a(i)=1;
end
end
b=find(y<limit);
xlimit=[x(1),x(end)];
ylimite=[limit, limit];
axes(handles.axes1)
cla
plot(x,y,x(b),y(b),'r*',xlimit,ylimite,'r--')
grid on
legend('singal','Errors','Limit')
axes(handles.axes2)
cla
plot(x,a,'r')
grid on
ylim([-max(a) 2*max(a)])
function slider1_Callback(hObject, eventdata, handles)
global x
global y
limitmax=str2num(get(handles.edit4,'string'));
set(handles.slider1,'min',0);
set(handles.slider1,'max',limitmax);
format short g

```

```

limit=(get(handles.slider1,'value'));

set(handles.edit7,'string',limit);

for i=1:length(y)

if y(i)<=limit;

a(i)=0;

else a(i)=1;

end

end

b=find(y<limit);

xlimit=[x(1),x(end)];

ylimit=[limit, limit];

axes(handles.axes1)

cla

plot(x,y,x(b),y(b),'r*',xlimit,ylimit,'r--')

grid on

legend('singal','Errors','Limit')

axes(handles.axes2)

cla

plot(x,a,'r')

grid on

ylim([-max(a) 2*max(a)])

function slider1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),

get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);

```

```
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)

clc

close gcbf

clear all
```