

**Περιπτωσιολογική μελέτη (case study)  
εντοπισμού ηχοδιαφυγών με  
ακουστική απεικόνιση**

Θεόδωρος Αργουδέλης  
Διπλ. Μηχανολόγος  
Μηχανικός  
Σύμβουλος Ακουστικής  
στην ΑΛΦΑ  
ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ Α.Ε.  
Αποστολοπούλου 73,  
Χαλάνδρι  
teo@vibro.gr

Νικόλαος Αργουδέλης  
Διπλ. Μηχανολόγος  
Μηχανικός  
M.Sc. Sound and Vibration  
Studies  
University of Southampton  
Αποστολοπούλου 73,  
Χαλάνδρι  
tech@alphacoustic.com

Αντώνιος Αργουδέλης  
B. Eng Industrial  
Engineering  
M. Sc. Environmental and  
Architectural Acoustics  
M. Sc. Project Management  
Αποστολοπούλου 73,  
Χαλάνδρι  
antonios@alphacoustic.com

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή αφορά περιπτωσιολογική μελέτη (case study) εντοπισμού ηχοδιαφυγής σε σύνθετα διαχωριστικά ξύλου και γυάλινων πλαισίων εντός κτιρίου γραφείων με την μέθοδο της ακουστικής απεικόνισης. Η επιλογή αυτής της μεθόδου έναντι συμβατικής ηχομέτρησης έγινε με κριτήριο την ανάγκη για αυξημένη ακρίβεια εντοπισμού των σημείων ηχοδιαφυγής. Αξιοποιήθηκαν δύο (2) διαφορετικοί αισθητήρες ηχητικών κυμάτων με ξεχωριστά εύρη συχνοτήτων, έτσι ώστε να αξιολογηθεί παράλληλα η αποτελεσματικότητά τους στο κύριο φάσμα ακουστικού ενδιαφέροντος για παρόμοιου τύπου εφαρμογές ( $f < 2\text{kHz}$ ). Στόχος της εργασίας είναι η ανάδειξη και αξιοποίηση της μεθόδου ακουστικής απεικόνισης. Με βάση την επεξεργασία των αποτελεσμάτων και την αξιολόγηση της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε, καταγράφηκαν ορισμένα γενικά συμπεράσματα όπως η απλούστευση της διαδικασίας εντοπισμού ηχοδιαφυγών σε σύνθετες περιπτώσεις, η ακρίβεια της μεθόδου ακουστικής απεικόνισης, η μείωση του απαιτούμενου χρόνου ηχομετρήσεων, η αποφυγή καταστροφικών μεθόδων (NDT) για τον εντοπισμό τυχόν κατασκευαστικών αστοχιών, αλλά και η ταυτόχρονη ανίχνευση και ιεράρχηση σε εφαρμογές πολλαπλών εστιών ηχοδιαφυγών με διενέργεια μίας μόνο μέτρησης.

### **Case study of sound leak detection with acoustic imaging method**

### ABSTRACT

This paper presents a case study of sound leakage detection in composite office partitions of wood and glass frames using the method of acoustic imaging. The use of this method over conventional sound measurement was based on the need for increased accuracy in locating sound leakage points. Two (2) different sound wave sensors with separate frequency ranges were used, in order to simultaneously evaluate their effectiveness in the main acoustic spectrum of interest for similar applications ( $f < 2\text{kHz}$ ). The aim of the paper is to highlight and utilize the acoustic imaging method. Based on the processing of the results and the evaluation of the

*methodology used, some general conclusions were recorded. Some of them are the simplification of the sound leak detection process in complex cases, the accuracy of the acoustic imaging method, the reduction of the required time of sound measurements, the avoidance of destructive methods (NDT) to detect any construction failures, but also the simultaneous detection and classification of multiple sources of sound leakage with a single measurement.*

## Εισαγωγή

Η εργασία αυτή αφορά περιπτώσιολογική μελέτη (case study) εντοπισμού ηχοδιαφυγής σε σύνθετα διαχωριστικά ξύλου και γυάλινων πλαισίων εντός κτιρίου γραφείων με την μέθοδο της ακουστικής απεικόνισης.

Στον χώρο που εξετάστηκε, υπήρχε ζήτημα ηχο-εμπιστευτικότητας μεταξύ του meeting room και των παρακείμενων γραφειακών χώρων. Λόγω του σύνθετου διαχωριστικού τοίχου (στοιχεία από ξύλο & γυάλινο πλαίσιο), ο εντοπισμός του κύριου σημείου ηχοδιαφυγής δεν ήταν εύκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια. Με την χρήση κατάλληλου οργάνου ακουστικής απεικόνισης, εντοπίστηκαν τα κύρια σημεία ηχοδιαφυγής. Κατά την διαδικασία των μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί αισθητήρες, με σκοπό να ποσοτικοποιηθεί η αποτελεσματικότητά τους κυρίως στο φάσμα των χαμηλότερων συχνοτήτων (< 2 kHz).

Στόχος της εργασίας είναι η ανάδειξη και αξιοποίηση της ακουστικής απεικόνισης με την χρήση του κατάλληλου αισθητήρα μικροφώνων για την απλούστευση της διαδικασίας εντοπισμού ηχοδιαφυγών σε σύνθετες περιπτώσεις, με ταυτόχρονα πλεονεκτήματα την ακρίβεια, την μείωση του χρόνου ηχομετρήσεων και χωρίς τη διενέργεια καταστροφικών μεθόδων (NDT).

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές του πίνακα 2 του Ελληνικού Κτιριοδομικού Κανονισμού (ΦΕΚ 3985 Β/2023).

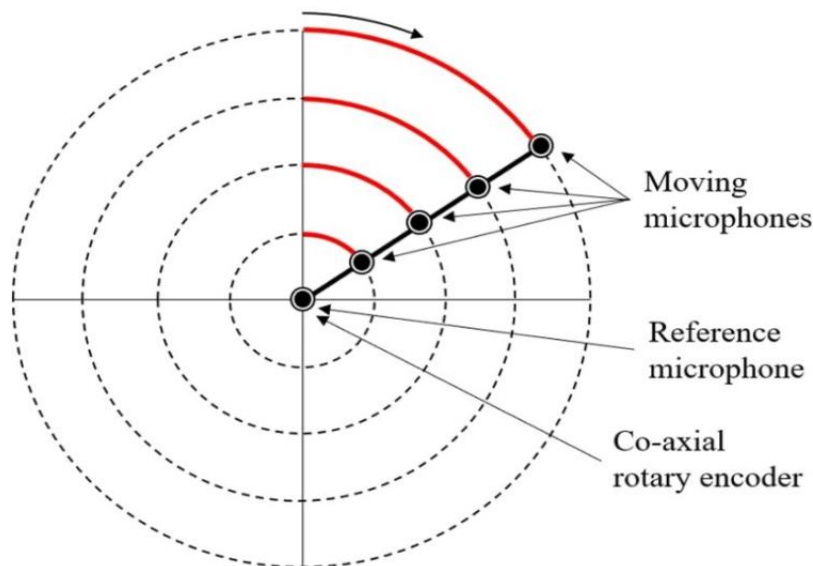
### 1. Ακουστική Απεικόνιση

Η ακουστική απεικόνιση είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται αποτελεσματικά για τον εντοπισμό και την ανάλυση πηγών ήχου σε συγκεκριμένο περιβάλλον. Χρησιμοποιώντας μια κάμερα και μια διάταξη μικροφώνων συνδεδεμένων σε ένα σύστημα επεξεργασίας σήματος, είναι δυνατή η δημιουργία ενός «οπτικοακουστικού χάρτη» που απεικονίζει την ένταση και την ακριβή θέση των ηχητικών πηγών. Η μέθοδος αυτή βρίσκει εφαρμογή σε διάφορους τομείς όπως η βιομηχανία και η ακουστική, με μια από τις πιο διαδεδομένες χρήσεις της να είναι ο αποτελεσματικός εντοπισμός ηχοδιαφυγών, δηλαδή ανεπιθύμητων διαρροών ήχου από ένα χώρο ή μια συσκευή εν λειτουργία [2].

Η αρχή λειτουργίας των μεθόδων ακουστικής απεικόνισης βασίζεται στην καταγραφή από κάθε μικρόφωνο της διαφοράς φάσης και του πλάτους του ηχητικού κύματος, τα οποία στη συνέχεια επεξεργάζονται για να δημιουργήσουν έναν χάρτη έντασης ήχου σε μια δεδομένη επιφάνεια. Η επεξεργασία πραγματοποιείται συνήθως μέσω αντιστροφής της μεθόδου «δέσμης εκπομπής» (beamforming). Στη «δέσμη εκπομπής» μια συσκευή πομπός εκπέμπει καθορισμένες μορφές κυμάτων και το σήμα που μεταφέρουν κατευθύνεται προς μία συσκευή λήψης. Το σήμα αυτό συγκρίνεται με άλλα που διαχέονται προς κάθε κατεύθυνση. Στην ακουστική

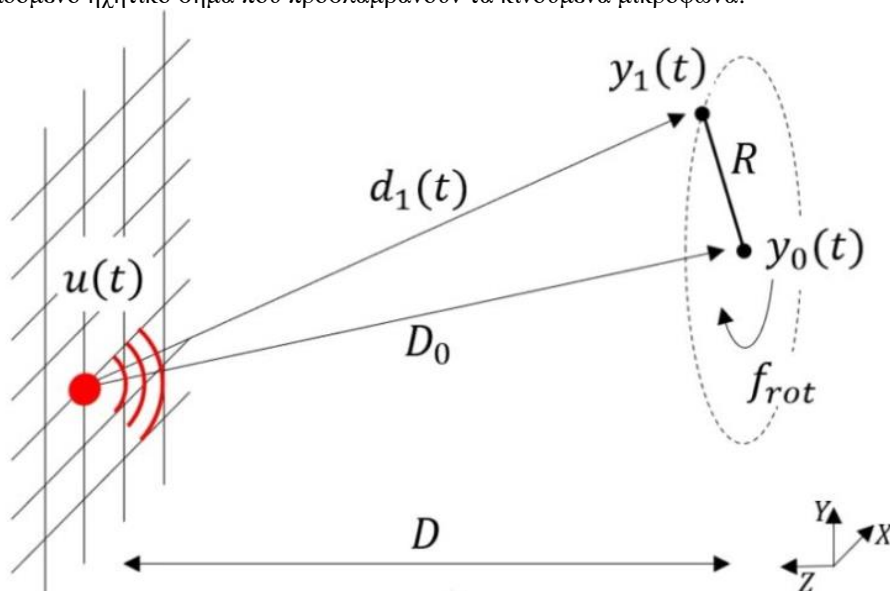
απεικόνιση η τεχνική αυτή αντιστρέφεται. Ενισχύονται τα ηχητικά σήματα που φτάνουν στα μικρόφωνα λήψης από μια επιθυμητή κατεύθυνση και ελαττώνονται τα ηχητικά κύματα από διαφορετικές κατευθύνσεις που θεωρούνται θόρυβος περιβάλλοντος. Έτσι επιτρέπεται η ανάδειξη των ισχυρότερων ηχητικών πηγών σε σχέση με το θόρυβο του περιβάλλοντος. Στην μέθοδο «δέσμης εκπομπής» (beamforming) χρησιμοποιούνται πολλαπλά μικρόφωνα τοποθετημένα σε σταθερές θέσεις για να εστιάζουν σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις, δημιουργώντας έτσι τις "δέσμες" που επιτρέπουν την ανίχνευση ηχητικών πηγών με βάση τη γωνία πρόσπτωσης των ηχητικών κυμάτων [3]. Η ακρίβεια της μεθόδου εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό και τη διάταξη των μικροφώνων, καθώς και από την πολυπλοκότητα του αλγορίθμου επεξεργασίας των σημάτων [4].

Μια νέα εδραιωμένη μέθοδος ακουστικής απεικόνισης είναι η Coherence Scanning Holography (CSH) που αναπτύχθηκε από την εταιρεία Seven Bel. Σε αντίθεση με τις σταθερές θέσεις των μικροφώνων που αξιοποιούνται στην μέθοδο beamforming, εδώ προκρίνεται η χρήση κινούμενων μικροφώνων για τη συλλογή ακουστικών δεδομένων. Η καταγραφή του προσπίπτοντος ηχητικού κύματος γίνεται κατά μήκος μιας κυκλικής τροχιάς. Λόγω της κίνησης των μικροφώνων σε σχέση με την σταθερή πηγή ήχου, τα δεδομένα του ήχου που λαμβάνονται σε μια πλήρη περιστροφή περιέχουν μια μετατόπιση των συχνοτήτων λόγω του φαινομένου Doppler. Ένα σταθερό μικρόφωνο στο κέντρο της περιοχής σάρωσης χρησιμοποιείται ως μικρόφωνο αναφοράς χωρίς την επίδραση της μετατόπισης Doppler. Τέλος, ένας μαγνητικός περιστροφικός κωδικοποιητής που είναι ομοαξονικά ευθυγραμμισμένος με τον άξονα περιστροφής της γραμμικής διάταξης, μετρά τη γωνιακή θέση σε σχέση με τον προκαθορισμένο άξονα περιστροφής. [1]



Εικόνα 1.1. Σκίτσο περιστρεφόμενης διάταξης σαρωτή ήχου με μικρόφωνο αναφοράς και κινούμενα μικρόφωνα [1]

Για την επεξεργασία, τον υπολογισμό και την δημιουργία ακουστικών εικόνων από τα δεδομένα ήχου που λαμβάνονται, δημιουργείται ένα κατάλληλο θεωρητικό «επίπεδο ανακατασκευής» (μητρώο) το οποίο είναι παράλληλο με το επίπεδο της μέτρησης, σε απόσταση όπου εντοπίζεται η εκάστοτε ηχητική πηγή. Ως πρώτο βήμα, το ηχητικό σήμα του κινούμενου μικροφώνου μεταφέρεται σε ένα συγκεκριμένο σημείο του «επιπέδου ανακατασκευής» στον κατάλληλο χρόνο. Το ηχητικό σήμα που έχει προσληφθεί από το κινούμενο μικρόφωνο επεξεργάζεται έτσι ώστε να φαίνεται ότι εκπέμπεται από το συγκεκριμένο σημείο. Σημειώνεται ότι η μετατόπιση Doppler αντισταθμίζεται πλήρως για το εκάστοτε σημείο όπου βρίσκεται πραγματικά μια ηχητική πηγή. Για τα υπόλοιπα σημεία μακριά από τη σημειακή πηγή, συνυπολογίζεται μια πρόσθετη μετατόπιση Doppler στο διαδιδόμενο ηχητικό σήμα που προσλαμβάνουν τα κινούμενα μικρόφωνα.



Εικόνα 1.2. Σκίτσο με μικρόφωνο αναφοράς και κινούμενα μικρόφωνα συμπεριλαμβανομένου του επιπέδου μέτρησης και ανακατασκευής [1]

Αξιοποιώντας την συσχέτιση μεταξύ των δύο προσλαμβανόμενων σημάτων που προέρχονται από τα κινούμενα μικρόφωνα και το μικρόφωνο αναφοράς, υπολογίζεται αλγοριθμικά μια ισχυρή τιμή για το σημείο όπου βρίσκεται στην πραγματικότητα μια πηγή ήχου και μια ασθενής τιμή για σημεία όπου δεν υπάρχει καθόλου ή υπάρχει μικρή εκπομπή ήχου. Αυτές οι τιμές χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενός χρωματικού χάρτη που αντιπροσωπεύει την κατανομή των πηγών ήχου σε ολόκληρο το επίπεδο ανακατασκευής με τις αντίστοιχες τιμές ηχητικής πίεσης. Τέλος, ο χάρτης επικαλύπτεται με μια ληφθήσα εικόνα του πεδίου της μέτρησης για να δώσει στον χρήστη μια σαφή ένδειξη της χωρικής θέσης των ηχητικών πηγών [1].

Η μέθοδος CSH ξεχωρίζει λόγω της βασικής αρχής λειτουργίας της, απαιτώντας πολύ λιγότερα μικρόφωνα-δέκτες των ηχητικών κυμάτων. Λόγω του κυκλικού επιπέδου το οποίο σαράνουν η καταγραφή ακουστικών δεδομένων από κάθε

κατεύθυνση είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στην αναγνώριση πηγών ήχου σε περίπλοκα περιβάλλοντα. Επιπρόσθετα αυτό οδηγεί σε μικρότερες διατάξεις καταγραφής. Η μέθοδος CSH είναι προτιμητέα για εφαρμογές που απαιτούν ακρίβεια συνδυαστικά με ταχύτητα επεξεργασίας των αποτελεσμάτων [2].

## 2. Εξοπλισμός & Μεθοδολογία Μετρήσεων

Οι ακουστικές μετρήσεις έγιναν με τους αισθητήρες P132 (Frequency range: 250Hz – 10,5 kHz) & P50 (Frequency range: 700 Hz – 10,5 kHz) της εταιρείας Seven Bel GmbH οι οποίοι διαθέτουν 14 και 6 μικρόφωνα MEMS αντίστοιχα. Τόσο η επί τόπου, όσο και η μετέπειτα αλγοριθμική επεξεργασία τους έγινε με την χρήση του λογισμικού Acoutect της ίδιας εταιρείας.

Οι μετρήσεις έγιναν σε κλειστό χώρο γραφείων και συγκεκριμένα στο meeting room. Εντός του meeting room τοποθετήθηκε σε κατάλληλη απόσταση (2-3m) από το υπό εξέταση χώρισμα και  $\geq 1.5m$  από ανακλαστικές επιφάνειες, ο εξοπλισμός λήψης και καταγραφής των ηχητικών κυμάτων (αισθητήρας – δέκτης). Εκτός του χώρου, τοποθετήθηκε σε απόσταση μεγαλύτερη των τριών (3) μέτρων σύστημα ενισχυτή-ηχείου με σήμα λευκού θορύβου σε ζώνες του 1/3 οκτάβας (σύστημα εκπομπού) σε στάθμη ηχητικής πίεσης 60dB(A).

Μετά το πέρας της μέτρησης πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση των αποτελεσμάτων με χρήση κατάλληλου λογισμικού, ώστε να αναδειχθούν επί τόπου τα κυριότερα σημεία ηχητικών διαφυγών. Ακόμα, με σκοπό την ποιοτική αξιολόγηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν οι δύο αισθητήρες που αναφέρθηκαν, ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα με την χρήση λογισμικού κυρίως στις χαμηλότερες συχνότητες (<2kHz) σε επόμενο στάδιο.

## 3. Αποτελέσματα μετρήσεων

Με βάση την μεθοδολογία που περιγράφηκε πραγματοποιήθηκε σειρά μετρήσεων για την επιβεβαίωση του αποτελέσματος με κύριο στόχο τον εντοπισμό των ηχοδιαφυγών μεταξύ του meeting room και παρακείμενου γραφειακού περιβάλλοντος. Επιπλέον στόχος ήταν η ποιοτική αξιολόγηση των διαφορετικών διατάξεων αισθητήρων μικροφώνων που χρησιμοποιήθηκαν, ώστε να ποσοτικοποιηθεί η επίπτωση του συχνοτικού εύρους του αισθητήρα στην ακουστική αποτύπωση που παράγεται αλγοριθμικά και κατ' επέκταση στην δυνατότητα εντοπισμού των κύριων ηχητικών πηγών στο εξεταζόμενο πεδίο.

Στην παρακάτω εικόνα η ανάλυση των δεδομένων που λήφθηκαν από τον αισθητήρα P132 έδωσε σαν αποτέλεσμα τα κύρια σημεία ηχοδιαφυγής που αποτυπώνονται χρωματικά ανάλογα με την έντασή τους. Πιο συγκεκριμένα, το κυριότερο σημείο διαφυγής του ήχου παρουσιάζεται στο αριστερό πάνω μέρος του τοίχου (σημείο 1), στο σημείο συναρμογής της εξωτερικής ξύλινης επένδυσης του διαχωριστικού (SPL=39.1dB). Το δεύτερο σημείο ενδιαφέροντος χαμηλότερης έντασης είναι στην άνω δεξιά πλευρά του διαχωριστικού (σημείο 2) και συγκεκριμένα στο σημείο που εφάπτεται με το δομικό στοιχείο του κτιρίου (δοκάρι). Τέλος μια αρκετά μικρότερης έντασης εστία ηχοδιαφυγής (SPL=35.7dB), παρατηρήθηκε πάλι στο σημείο συναρμογής του διαχωριστικού με το δομικό στοιχείο αλλά στο κέντρο περίπου της τοιχοποιίας (σημείο 3).

Εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει ακόμα, ότι με την μέθοδο της ακουστικής απεικόνισης καταγράφονται και οι κυριότερες ηχητικές ανακλάσεις στο υπό εξέταση πεδίο. Στην προκειμένη περίπτωση παρουσιάζονται χαρακτηριστικά στο σημείο 4, δίπλα στο σημείο της πρωτεύουσας ηχητικής διαφυγής αλλά και στην επιφάνεια του τραπεζιού (σημείο 5). Από τον χρωματισμό είναι εμφανές ότι η ανάκλαση στο σημείο του δομικού στοιχείου, είναι αρκετά πιο έντονη λόγω της εγγύτητας αλλά και της έντασης της κύριας ηχοδιαφυγής.

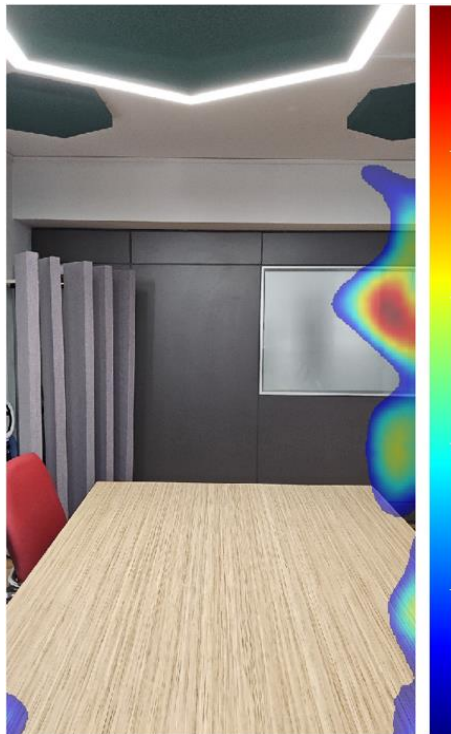


Εικόνα 3.2 Ακουστική Απεικόνιση με την πηγή σε παρακείμενο χώρο γραφείων – Αισθητήρας P132

Και στα τρία σημεία που αναφέρθηκαν, πραγματοποιήθηκε αυτοψία κατά την οποία εντοπίστηκαν κατασκευαστικές ατέλειες όπως ελλειπής σφράγιση μεταξύ δομικού στοιχείου και σύνθετου διαχωριστικού αλλά και μη σωστή εφαρμογή της ξύλινης επένδυσης με αποτέλεσμα την ύπαρξη διακένου και επομένως διαφυγή του θορύβου. Επίσης επιβεβαιώθηκαν και οπτικά τα αποτελέσματα της ακουστικής απεικόνισης, δεδομένου ότι η συναρμογή της μεταλλικής κάσας του κουφώματος με την υπόλοιπη τοιχοποιία και το υαλοστάσιο δεν παρουσιάζουν κάποιο ορατό διάκενο ή μη ενδεδειγμένη από ακουστικής σκοπιάς κατασκευή.

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης των καταγραφών που λήφθηκαν με τον αισθητήρα P50. Όπως είναι εμφανές, η εικόνα που σχηματίστηκε δεν παρουσιάζει ομοιότητες ή κοινά σημεία με την προηγούμενη ανάλυση. Η κύρια αιτία αυτού, είναι το εύρος των συχνοτήτων που είναι ικανός να καταγράψει ο συγκεκριμένος αισθητήρας (700 Hz – 10,5 kHz). Αποδεικνύεται πως

το κατώφλι των 700Hz για εφαρμογές παρόμοιου τύπου είναι αρκετά υψηλό δεδομένου ότι ο αισθητήρας δεν μπορεί να καταγράψει πληροφορία κάτω από αυτή την συχνότητα. Με βάση την ανάλυση της προηγούμενης μέτρησης, η κύρια ηχητική στάθμη που εντοπίστηκε εντός του δωματίου, ήταν στις συχνότητες 250-900Hz. Λόγω του εύρους λειτουργίας του αισθητήρα στην παρούσα μέτρηση, μεγάλο μέρος της των ηχητικών κυμάτων στις συχνότητες αυτές δεν κατέστη δυνατό να καταγραφεί.



Εικόνα 3.2 Ακουστική Απεικόνιση με την πηγή σε παρακείμενο χώρο γραφείων – Αισθητήρας P50

Τέλος, αξιολογώντας τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων με τον P50 αισθητήρα, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα πως η θύρα που βρίσκεται δεξιά της υπό εξέταση τοιχοποιίας αποτελεί την αιτία που όλες οι ηχοστάθμες καταγράφονται στην δεξιά πλευρά της εικόνας. Παρότι η θύρα ήταν κλειστή κατά την διάρκεια των μετρήσεων, ηχητικά κύματα στις υψηλές συχνότητες μέσω διαφυγών εντοπίστηκαν από τον αισθητήρα και αποτυπώθηκαν κυρίως ως ανάκλαση στον υαλοπίνακα του meeting room, αλλά και δευτερευόντως στο τραπέζι και το ξύλινο στοιχείο της τοιχοποιίας. Η στάθμη της ηχητικής πίεσης που καταγράφηκε από τα μικρόφωνα του αισθητήρα ήταν στο μέγιστο (σημείο με κόκκινο χρώμα)  $SPL=37.7dB$ , ίδιας περίπου έντασης με την προηγούμενη μέτρηση.

#### 4. Συμπεράσματα

Μετά την φασματική και χρονική επεξεργασία των καταγραφών-απεικονίσεων και την επισκόπηση της βιβλιογραφίας, μπορούν να εξαχθούν τα εξής γενικά συμπεράσματα:

- (1) Αξιοποιώντας την μέθοδο της ακουστικής απεικόνισης, εντοπίστηκαν τα κύρια σημεία ηχοδιαφυγής του σύνθετου χωρίσματος. Η σύγκριση των τιμών της ηχοστάθμης που καταγράφηκαν σε διαφορετικά σημεία του διαχωριστικού ανέδειξε τον βαθμό σημαντικότητας των σημείων ηχοδιαφυγής, γεγονός που οδήγησε στην ιεράρχησή τους. Με τον τρόπο αυτό οι ηχομονωτικές ενέργειες πραγματοποιήθηκαν εστιάζοντας στην σειρά σημαντικότητας.
- (2) Στην υπό εξέταση εφαρμογή, η σύγκριση των δεδομένων που κατέγραψαν οι δύο διαφορετικοί αισθητήρες P132 & P50 φαίνεται να παρουσιάζουν αξιόλογες διαφορές. Συγκεκριμένα εντοπίζονται σωστά οι ηχητικές πηγές λόγω διαφυγών από την διάταξη μικροφώνων που έχει ευρύτερο συχνοτικό πεδίο λειτουργίας (P132), καθώς η ηχητική ενέργεια των χαμηλών συχνοτήτων είναι ευκολότερο να διαπερνά δομικά στοιχεία του χώρου. Επιπρόσθετα ο αισθητήρας με χαμηλότερο συχνοτικό εύρος, παρουσιάζει αρκετά εστιασμένα τα σημεία των πηγών διαφυγής του ήχου. Αντίθετα η διάταξη μικροφώνων με εύρος λειτουργίας άνω των 700Hz παρουσιάζει πιο «ανοιγμένο» προφίλ των πηγών θορύβου που εντοπίζονται. Ακόμη, λόγω των ηχητικών δεδομένων από τις υψηλότερες συχνότητες που καταγράφει, ουσιαστικά «αποκλείει» στην συγκεκριμένη εφαρμογή τον εντοπισμό των κύριων ηχητικών διαφυγών οδηγώντας σε εσφαλμένη εκτίμηση της κατάστασης. Γίνεται επομένως σαφές, ότι η χρήση της κατάλληλης διάταξης μικροφώνων θα πρέπει να γίνεται ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή.
- (3) Η μέθοδος της ακουστικής απεικόνισης παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα. Μεγαλύτερη ακρίβεια, εντοπισμό και οπτική αναπαράσταση πηγών θορύβου σε πραγματικό χρόνο, κάλυψη μεγάλων περιοχών και ταυτόχρονη ανίχνευση πολλαπλών πηγών θορύβου. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομείται χρόνος και πόροι που απαιτούνται για την διενέργεια των ηχομετρήσεων. Παράλληλα βελτιώνεται το τελικό αποτέλεσμα της επεξεργασίας των ακουστικών δεδομένων. Επίσης, ανιχνεύει ηχομονωτικές κατασκευαστικές ατέλειες χωρίς φυσική επέμβαση (μη καταστροφικός έλεγχος).

#### 5. Βιβλιογραφία

- [1] Seven Bel. “What is Coherence Scanning Holography?” Seven Bel Website.
- [2] Gan W.S. “Acoustical Imaging: Techniques and Applications for Engineers.” Wiley (2012).
- [3] Hald, J. “Basic theory and advanced methods for acoustic holography and beamforming.” Technical University of Denmark (2009).
- [4] Johnson, D. H., & Dudgeon, D. E. “Array signal processing: concepts and techniques.” PTR Prentice Hall (1993).