



## ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΥΛΙΚΩΝ

**Εφαρμογές έξυπνων τηλεφώνων στην πρόβλεψη απώλειας ακοής  
λόγω υψηλού θορύβου και στην υποστήριξη ατόμων με  
προβλήματα ακοής**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

του

**ΓΚΙΝΑΚΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ**

**Επιβλέπων : Διονύσιος – Δημήτριος Κουτσούρης**  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2015

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Εφαρμογές έξυπνων τηλεφώνων στην πρόβλεψη απώλειας ακοής  
λόγω υψηλού θορύβου και στην υποστήριξη ατόμων με  
προβλήματα ακοής**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

του

**ΓΚΙΝΑΚΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ**

**Επιβλέπων : Διονύσιος – Δημήτριος Κουτσούρης**  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 28<sup>η</sup> Ιουλίου 2015.

*(Υπογραφή)*

.....  
Δ. Δ. Κουτσούρης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

*(Υπογραφή)*

.....  
Γ. Ματσόπουλος  
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

*(Υπογραφή)*

.....  
Α. Πρέντζα  
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΠΑ.ΠΕΙ.

Αθήνα, Ιούλιος 2015

*(Υπογραφή)*

.....

**ΓΚΙΝΑΚΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ**

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

© 2015 – All rights reserve

*Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή μου, κύριο Διονύσιο Κουτσούρη, για τη συνεργασία του, τον βοηθό του, κύριο Σωτήρη Παυλόπουλο, για την αμέριστη βοήθειά του, και την οικογένειά μου για τη στήριξή της.*

## Περίληψη

Η αναγνώριση της απώλειας ακοής που προκλήθηκε από έκθεση στο θόρυβο (Noise Induced Hearing Loss, NIHL) χρονολογείται από το 1713, όπου ο Ramazzini έκανε τη διατριβή του με θέμα τις ασθένειες των εργαζομένων και ανέδειξε το γεγονός ότι η έκθεση στο θόρυβο, είτε εργασιακό ή του περιβάλλοντος, μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια ακοής μέχρι και ολόκληρους πληθυσμούς. Έκτοτε, έχουν παρατηρηθεί πολυάριθμα περιστατικά απώλειας ακοής, χωρίς όμως να έχει γίνει κάποια εκτενής μελέτη του θέματος, είτε λόγω τεχνολογικών περιορισμών, είτε λόγω έλλειψης ορθής πληροφόρησης. Τα τελευταία χρόνια έχει διαπιστωθεί ότι ένας πολύ χρήσιμος τρόπος επισκόπησης, υποβοήθησης και πρόβλεψης τέτοιων προβλημάτων μπορεί να είναι τα κινητά τηλέφωνα, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως και έχουν πολυάριθμες δυνατότητες. Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την πιστοποίηση και εκτενέστερη μελέτη των υπαρχουσών ιδεών προς αυτό το σκοπό. Αρχικά, γίνεται προσπάθεια να προσεγγιστεί η χρήση των κινητών από τη μεριά του μηχανικού, δίνοντας έμφαση στα τεχνικά χαρακτηριστικά που τα διέπουν, όπως οι ηλεκτροακουστικοί περιορισμοί τους. Στη συνέχεια, αναλύονται διαθέσιμες εφαρμογές κινητών τηλεφώνων που αποσκοπούν στην εξέταση των χρηστών για βαρηκοΐα και μετέπειτα παρουσιάζονται και εκτιμώνται οι σημαντικότερες εφαρμογές υποβοήθησης της απώλειας ακοής, τόσο σε επίπεδο λογισμικού όσο και σε επίπεδο υλικού. Τέλος, γίνεται μία σύντομη επισκόπηση στο ευρύ θέμα της προγνωστικής μοντελοποίησης, το οποίο έχει να κάνει με τους διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν την πιθανότητα εκδήλωσης NIHL στο μέλλον.

**Λέξεις – κλειδιά:** απώλεια ακοής, κινητό τηλέφωνο, ηχόμετρο, ηχητική έκθεση, χάρτης θορύβου, ηχητική εξέταση, βαθμονόμηση

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

## Abstract

Recognising the lack of hearing caused by exposure to noise (Noise Induced Hearing Loss, NIHL) is dated back from 1713, when Ramazzini did his thesis on the diseases of workers and highlighted the fact that exposure to noise, either industrial or environmental, can lead to hearing deficiency entire populations. Since then, numerous cases of lack of hearing have been observed, but no extensive study has been conducted, either due to technical limitations or lack of valid information. In recent years it has been found that a very useful way to estimate, screen and predict such problems may be mobile phones, which are widely used and have numerous capabilities. This thesis deals with the validation and extensive study of existing ideas to this end. Firstly, an attempt is made to approach the use of cell phones from the point of view of the engineer, emphasizing on the technical characteristics governing them, such as their electroacoustical limitations. Next, available mobile applications designed to screen users are analysed and then the most important applications for assisting hearing deficiency are analysed and assessed. Finally, there is a brief overview of the general topic of predictive modelling, which analyses the several factors that affect the likelihood of NIHL in the future.

**Keywords:** *hearing loss, mobile phone, sound meter, noise exposure, acoustic measurement*



Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	4
1.1.	NIHL και κινητά τηλέφωνα.....	4
1.1.1.	Εκτιμήσεις για την επίδραση του NIHL στη δημόσια υγεία.....	4
1.1.1.1.	Έλλειψη ενός σαφή ορισμού του NIHL.....	4
1.1.1.2.	Εκτιμήσεις για τον αριθμό των ατόμων που εκτίθενται σε θόρυβο.....	4
1.1.2.	Ο ρόλος των κινητών τηλεφώνων.....	6
1.2.	Αντικείμενο της διπλωματικής.....	9
1.2.1.	Συνεισφορά.....	9
1.3.	Οργάνωση κειμένου.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΜΕΣΩ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΦΩΝΩΝ .....	11
2.1	Σχεδιασμός κινητών τηλεφώνων ως ηχόμετρα .....	11
2.1.1	Η αλυσίδα των οργάνων κατά την ηχογράφηση .....	11
2.1.2	Εξωτερικά μικρόφωνα .....	12
2.1.3	Επεξεργασία ήχου σε εφαρμογές ηχόμετρου .....	13
2.1.4	Προεπιλεγμένη εργοστασιακή βαθμονόμηση .....	14
2.1.4.1	Υπαρκτές προσεγγίσεις .....	14
2.1.4.2	Υπαρκτοί εξαρτώμενοι από την ένταση αλγόριθμοι βαθμονόμησης .....	15
2.2	Ακρίβεια των κινητών τηλεφώνων ως ηχόμετρα .....	17
2.3	Σφάλμα τοποθέτησης του μικροφώνου και μη τετριμμένες τοποθεσίες .....	21
2.4	Μετρήσεις έκθεσης στο θόρυβο μέσω κινητών τηλεφώνων .....	23
2.5	Ηλεκτροακουστική περιορισμοί των κινητών τηλεφώνων και των εξωτερικών μικρόφωνων .....	24
2.5.1	Αποκρίσεις συχνότητας των κινητών τηλεφώνων και των εξωτερικών μικρόφωνων .....	24
2.5.2	Κορεσμός του ηχητικού σήματος του τηλεφώνου σε υψηλές εντάσεις του θορύβου .....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΜΕΣΩ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΦΩΝΩΝ .....	29
3.1	Η έρευνα των Ghanem και Handzel (2015) .....	29
3.1.1	Η εφαρμογή uHear .....	29

3.1.2	Σχεδιασμός της μελέτης .....	29
3.1.3	Ανάλυση δεδομένων .....	30
3.1.4	Αποτελέσματα .....	30
3.1.5	Συζήτηση για τη μελέτη .....	32
3.2	Η εφαρμογή των Na, Joo, Yang .....	33
3.2.1	Διάγραμμα ροής του συστήματος .....	33
3.2.2	Ανάπτυξη της εφαρμογής .....	35
3.2.3	Βαθμονόμηση του κινητού τηλεφώνου .....	35
3.2.4	Βαθμονόμηση του μικροφώνου .....	35
3.2.5	Μετατόπιση του κατωφλίου ακοής (Hearing Threshold Shift, HTS) .....	38
3.2.6	Επικύρωση της εφαρμογής .....	38
3.2.7	Αποτελέσματα της μελέτης .....	38
3.2.7.1	Επίδραση του θορύβου στο HTS .....	38
3.2.7.2	Εφαρμογή του HTS σε ένα smartphone .....	40
3.2.7.3	Σύγκριση με τα παραδοσιακά όργανα .....	41
3.2.7.4	Ακουστικό test σε πραγματικό περιβάλλον .....	43
3.2.7.5	Αξιολόγηση της ευκολίας χρήσης της εφαρμογής .....	43
3.2.8	Συζήτηση για τη μελέτη .....	44
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΚΙΝΗΤΑ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΒΟΗΘΗΜΑΤΑ .....</b>		<b>45</b>
4.1	Noisemap .....	45
4.2	NoiseSpy .....	49
4.2.1	Η πλευρά του server .....	49
4.2.2	Online Interface .....	50
4.2.3	Απεικόνιση με βάση τη διαδρομή .....	51
4.2.4	Απεικόνιση στην πόλη σε πραγματικό χρόνο .....	51
4.2.5	Αξιολόγηση του συστήματος .....	53
4.2.5.1	Πείραμα στην πόλη .....	53
4.2.5.2	Πείραμα με βάση τη διαδρομή .....	54
4.2.6	Συζήτηση για τη NoiseSpy .....	55
4.2.6.1	Συνολικά αποτελέσματα και ποιότητα των δεδομένων .....	55
4.3	BioAid .....	57
4.3.1	Αρχιτεκτονική της BioAid .....	58
4.4	Εξωτερικά βοηθήματα .....	59
4.4.1	Η έρευνα των Debevc, Kozuh, Meier .....	60
4.4.1.1	Διαδικασία .....	60
4.4.1.2	Χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων .....	60
4.4.1.3	Αποτελέσματα .....	61
4.4.1.3.1	Προτιμώμενος τρόπος εκτέλεσης .....	61
4.4.1.3.2	Προτιμώμενος τρόπος εκτέλεσης με βάση την ηλικία .....	63
4.4.1.3.3	Προτιμώμενοι τρόποι φορέματος .....	64
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....</b>		<b>65</b>
5.1	Μέτρηση θορύβου μέσω κινητών τηλεφώνων .....	65

5.2	Ακουστική εξέταση μέσω κινητών τηλεφώνων .....	68
	5.2.1 Η έρευνα των Ghanem και Handzel (2015) .....	68
	5.2.2 Η έρευνα των Na, Joo, Yang .....	69
5.3	Κινητά και ακουστικά βοηθήματα .....	70
	5.3.1 Noisemap .....	70
	5.3.2 NoiseSpy .....	71
	5.3.3 Εξωτερικά βοηθήματα .....	72
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ .....		73
A.1	Αποτελεσματικότητα προγνωστικών μετρήσεων .....	73
A.2	Ποικιλία στην ευαισθησία .....	73
A.3	Προγνωστικοί παράγοντες .....	74
A.4	Σύνοψη των κύριων ευρημάτων .....	76
A.5	Συνολική πληρότητα και εφαρμοσιμότητα των ευρημάτων .....	76
	Συντομογραφίες .....	78
	Βιβλιογραφία .....	80

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η αξιολόγηση της επιρροής της απώλειας ακοής λόγω έκθεσης σε θόρυβο (Noise Induced Hearing Loss NIHL) στη δημόσια υγεία εμπεριέχει θεώρηση τόσο της έκτασής της σε έναν συγκεκριμένο πληθυσμό, όσο και της σοβαρότητας της επίδρασής της σε ανθρώπους που εκτίθενται σε εκτεταμένο θόρυβο γενικά. Όπως φαίνεται στον πίνακα 1.1, οι ασθένειες που είναι ιδιαίτερα επικρατούσες και σοβαρές, όπως οι καρδιαγγειακές ασθένειες και ο καρκίνος, έχουν προφανώς μεγάλη επίδραση στη δημόσια υγεία, σε αντίθεση με τις πιο σπάνιες ή ήπιες ασθένειες. Μολαταύτα, ακόμη και αν οι ιατρικές συνθήκες είναι σχετικά ήπιες, μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη δημόσια υγεία αν είναι εκτεταμένες. Επομένως, χρειάζεται μία ανάλυση της σημαντικότητας του NIHL στη δημόσια υγεία για να αξιολογηθεί προσεκτικά η έκταση και η σοβαρότητα της ασθένειας.

Σοβαρότητα/Έκταση της ασθένειας	Χαμηλή	Υψηλή
Χαμηλή	Χαμηλή επίδραση στη δημόσια υγεία	Πιθανή επίδραση στη δημόσια υγεία
Υψηλή	Πιθανή επίδραση στη δημόσια υγεία	Υψηλή επίδραση στη δημόσια υγεία

Πίνακας 1.1: Σχέση μεταξύ της έκτασης και της σοβαρότητας με την επίδραση στη δημόσια υγεία μίας ασθένειας

### **1.1. NIHL και κινητά τηλέφωνα**

#### **1.1.1. Εκτιμήσεις για την επίδραση του NIHL στη δημόσια υγεία**

Ανά τα χρόνια, οι εκτιμήσεις για την έκταση και τη σοβαρότητα του NIHL ποικίλουν εμφανώς. Οι βασικοί λόγοι για αυτήν την ποικιλία φαίνονται να είναι η έλλειψη ενός σαφή ορισμού του NIHL, η αβεβαιότητα για το μέγεθος του πληθυσμού που εκτίθεται σε επιβλαβείς εντάσεις θορύβου, και οι πολλοί τρόποι να αξιολογηθεί η επίδραση της ασθένειας στους ανθρώπους. Πρόσφατα ευρήματα ερευνών δείχνουν και ότι οι ηλικιωμένοι διατηρούν καλή ακοή με την πάροδο των χρόνων (υπονοώντας πως προηγούμενα συμπεράσματα για τη συνεισφορά της γήρανσης στη απώλεια ακοής μπορεί να είναι λανθασμένα) και ότι το NIHL μπορεί να είναι ένα αυξανόμενο πρόβλημα στα παιδιά και τους εφήβους. Και τα δύο αυτά ευρήματα, αν επιβεβαιωθούν, αναδεικνύουν το πόσο σημαντική είναι η επιρροή του NIHL στην απώλεια ακοής στον πληθυσμό.

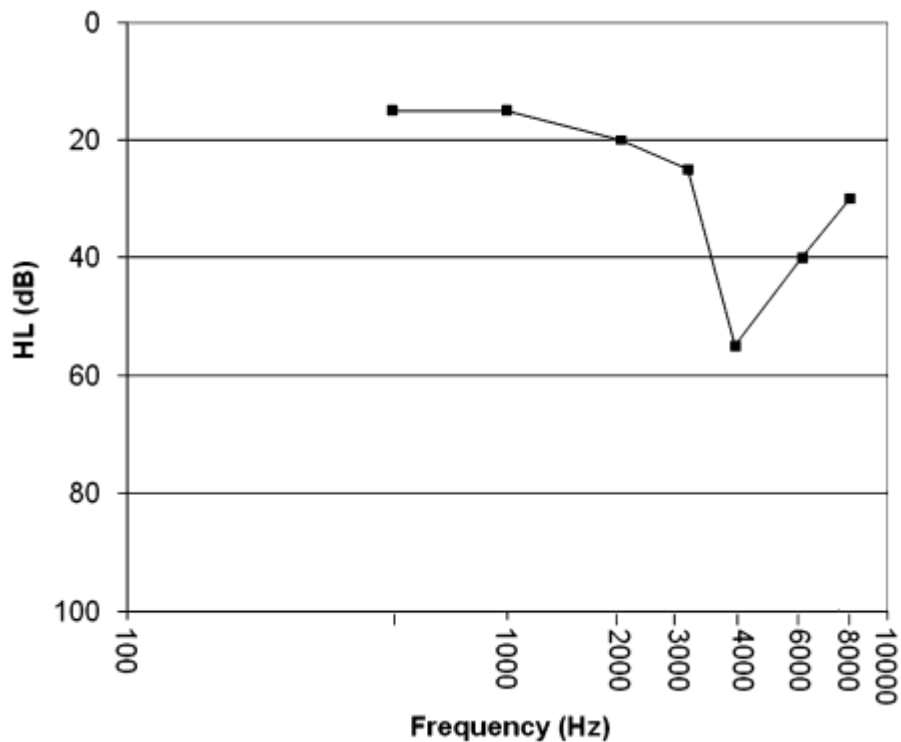
##### **1.1.1.1. Έλλειψη ενός σαφή ορισμού του NIHL**

Στις Ηνωμένες Πολιτείες υπάρχουν διαφορετικοί ορισμοί για το NIHL:

1. 10-dB αλλαγή από το βασικό ακουόγραμμα στο μέσο των εντάσεων ακουστικού κατωφλίου στα 2, 3, και 4 kHz.
2. 10-dB μετατόπιση από το βασικό ακουόγραμμα όπως περιγράφεται παραπάνω στα 2, 3, 4 kHz μεγαλύτερη ή ίση των 25 dB HL
3. Μέσο ακουστικό κατώφλι στα 0.5 (500 Hz), 1, 2, και 3 kHz μεγαλύτερο των 25 dB HL, με 1.5% μονοφωνική βλάβη για κάθε decibel μεγαλύτερο των 25 dB

Πολλοί άλλοι ορισμοί της απώλειας ακοής είναι σε χρήση σε διαφορετικές χώρες, καθώς δεν υπάρχουν διεθνή πρότυπα για την ανίχνευση του NIHL. Αυτοί οι ορισμοί διαφέρουν ακόμα και στις διαφορετικές πολιτείες των ΗΠΑ. Επομένως, η διαθέσιμη βιβλιογραφία ποικίλει, αφού κάποιες μελέτες χρησιμοποιούν τους κυβερνητικούς ορισμούς κάθε χώρας ενώ άλλες χρησιμοποιούν τα ακουστικά κατώφλια σε συγκεκριμένες συχνότητες που θεωρούν ευαίσθητες στο θόρυβο, ή άλλο συνδυασμό συχνοτήτων.

Μία άλλη μέθοδος ορισμού του NIHL είναι μέσω της παρουσίας ή απουσίας μία "βύθισης" στις υψηλές συχνότητες του ακουογράμματος. Μία τέτοια βύθιση συνήθως επικεντρώνεται γύρω στα 3000 με 4000 Hz και ανακάμπτει στα 8000 kHz, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1: Ακουογράμμα που δείχνει μία τυπική ακουστική "βύθιση" σε υψηλές συχνότητες λόγω NIHL

Ο ορισμός μίας βύθισης θορύβου που παρέχεται από τον Niskar κ.α. (2001) απαιτεί να πληρούνται όλα τα παρακάτω κριτήρια:

1. Κατώφλια < 15 dB HL στα 500 και 1000 Hz
2. Κατώφλι στα 3000, 4000, ή 6000 Hz τουλάχιστον 15 dB χειρότερο από τα κατώφλια στα 500 και 1000 Hz
3. Κατώφλι στα 3000, 4000, ή 6000 Hz τουλάχιστον 10 dB χειρότερο από το κατώφλι στα 8000 Hz

Ο Coles κ.α. (2000) πρότεινε έναν εναλλακτικό ορισμό της βύθισης θορύβου, περιλαμβάνοντας ένα ακουστικό κατώφλι στα 3000, 4000, ή 6000 Hz που είναι τουλάχιστον 10 dB μεγαλύτερο από ότι στα 1000 ή 2000 Hz, και τουλάχιστον 10 dB μεγαλύτερο από ότι

στα 8000 Hz. Μέχρι σήμερα, ωστόσο, δεν υπάρχει κάποιος ευρέως αποδεκτός ορισμός της ακουομετρικής βύθισης, παρόλο που κάποια δημοσιευμένα κριτήρια παρουσιάζουν καλή συμφωνία με την επαγγελματική κρίση (Rabinowitz κ.α. 2006α). Είναι εμφανές ότι η διάγνωση του NIHL, και οι εκτιμήσεις σχετικά με την έκτασή του, ποικίλουν σε συνάρτηση με τον ορισμό που επιλέγεται. Επομένως, συγκρίσεις μεταξύ μελετών πρέπει να δίνουν προσοχή στον τρόπο που συγκρίνουν τα εκάστοτε κριτήρια.

Επιπρόσθετα στους ακουομετρικούς ορισμούς, άλλες μελέτες της έκτασης του NIHL μπορεί να βασίζονται σε ατομικές αυτο-αναφορές σχετικά με τη δυσκολία στην ακοή, ή να χρησιμοποιούν άλλες εξεταστικές λεπτομέρειες όπως ωτακουστικές εκπομπές που μπορεί να είναι ευαίσθητοι δείκτες της ζημιάς του κοχλίου (Korres κ.α. 2009). Ως αποτέλεσμα της ετερογένειας αυτών των ορισμών, συγκρίσεις μεταξύ δημοσιευμένων μελετών για την έκταση του NIHL είναι συχνά αρκετά δύσκολες.

### **1.1.1.2. Εκτιμήσεις για τον αριθμό των ατόμων που εκτίθενται σε θόρυβο**

Μία μέθοδος κλειδί σε πολλές εκτιμήσεις της σημαντικότητας του NIHL για τη δημόσια υγεία είναι να υπολογίζεται στο περίπου το μέγεθος του πληθυσμού που εκτίθεται σε πιθανώς επικίνδυνες εντάσεις του θορύβου. Συνήθως, τέτοιες εκτιμήσεις επικεντρώνονται σε έκθεση στο θόρυβο σε εργασιακά περιβάλλοντα. Το 1981, η διοίκηση της εργασιακής υγείας και ασφάλειας των Ηνωμένων Πολιτειών (U.S. Occupational Safety and Health Administration, OSHA), εκτίμησε ότι 7.9 εκατομμύρια εργατών βιομηχανίας εκτίθονταν σε θόρυβο του οποίου η ένταση ήταν ημερησίως 80 dBA και άνω, ενώ η υπηρεσία προστασίας του περιβάλλοντος (U.S. Environmental Protection Agency, U.S EPA) το ίδιο έτος ανακάλυψε πως εννέα εκατομμύρια Αμερικάνοι εργάτες, κυρίως σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, εκτίθονταν σε εντάσεις θορύβου μεγαλύτερες των 85 dBA (NIOSH 1998). Προφανώς, δεν έχουν υπάρξει συγκρίσιμες μελέτες για τους εργαζόμενους των Ηνωμένων Πολιτειών τις τελευταίες δεκαετίες. Επομένως, τωρινές εκτιμήσεις του φορτίου του NIHL συνεχίζουν να βασίζονται σε εκείνα τα πιθανώς απαρχαιωμένα δεδομένα. Συγχρόνως, κάποιες πρόσφατες μελέτες παρατηρούν ότι ένα μεγάλο κομμάτι του πληθυσμού αναφέρει παρελθοντική ή τωρινή έκθεση στο θόρυβο. Ο Tak κ.α. (2009) ανέλυσαν δεδομένα από το 1999 έως το 2004 από την εξεταστική έρευνα της εθνικής υγείας και διατροφής (National Health and Nutrition Examination Survey, NHANES) για να καθορίσουν την έκταση της εργασιακής έκθεσης στο θόρυβο από αυτο-αναφορές. Διαπίστωσαν πως 22 εκατομμύρια εργάτες ανέφεραν έκθεση σε επικίνδυνο εργασιακό θόρυβο, και ανάμεσα σε αυτούς, 34% ανέφερε ότι δεν χρησιμοποιούσε προστατευτικές συσκευές για την ακοή.

Επίσης αξιοσημείωτο για τις περισσότερες εκτιμήσεις των εκτεθειμένων σε θόρυβο ανθρώπων που χρησιμοποιούνται για να καθοριστεί το φορτίο της απώλειας ακοής λόγω του θορύβου είναι το γεγονός ότι αποτυγχάνουν να προσεγγίσουν το μέγεθος του πληθυσμού που εκτίθεται σε πιθανώς βλαβερό θόρυβο έξω από το εργασιακό περιβάλλον. Αυτές οι πηγές θορύβου περιλαμβάνουν πυροβόλα όπλα, ηλεκτρικά εργαλεία, μοτοσυκλέτες, snowmobile, και άλλα θορυβώδη οχήματα. Επίσης περιλαμβάνουν ενισχυμένη μουσική σε συναυλίες, νυχτερινά μαγαζιά, ή σε προσωπικές μουσικές συσκευές. Για πολλές από αυτές τις πηγές, οι έρευνες για το θόρυβο έχουν καταγράψει ηχητικές εντάσεις σε ένα εύρος στο οποίο, ακόμα και σχετικά σύντομες εκθέσεις μπορούν να προκαλέσουν ζημιά. Αυστηρές επιδημιολογικές μελέτες που μετρούν είτε την πραγματική έκταση πιθανώς επιβλαβών εκθέσεων σε μη εργασιακό περιβάλλον ή τις σχέσεις τους με καταγεγραμμένη απώλεια ακοής παραμένουν σπάνιες και μερικές φορές αντιφατικές. Για παράδειγμα, η σχέση μεταξύ της αναφερόμενης χρήσης πυροβόλων όπλων για ψυχαγωγικούς σκοπούς και της απώλειας ακοής σε ενηλίκους έχει φανεί σε αρκετές μελέτες (Beckett κ.α. 2000), αλλά το επίπεδο του ρίσκου απώλειας ακοής από ενισχυμένη μουσική, παρότι έχει συζητηθεί εκτενώς, ιδιαίτερα με αναφορά σε εφηβικές

ηλικιακές ομάδες, παραμένει αμφιλεγόμενο (Zhao κ.α. 2010). Σε μία μελέτη για τους μαθητευόμενους σε εγκαταστάσεις κατασκευών, ο Neitzel κ.α. (2004) διαπίστωσαν ότι, όταν συγκρίνονταν με τις υψηλές εντάσεις εργασιακού θορύβου στις οποίες εκτίθονταν, μη εργασιακές εκθέσεις στο θόρυβο παρουσίαζαν μικρή επιπρόσθετη έκθεση για τους περισσότερους εργάτες, παρόλο που μπορεί να συμβάλλουν σημαντικά στη συνολική έκθεση των εργατών που απασχολούνταν συχνά σε θορυβώδεις δραστηριότητες. Πρόσφατες μελέτες, οι οποίες αναφέρουν αυξημένα επίπεδα απώλειας ακοής στους εφήβους, έχουν δώσει μεγαλύτερη προσοχή σε αυτά τα θέματα (Shargorodsky κ.α. 2010α), και επιπλέον μελέτες μπορεί να επιβεβαιώνουν ότι το ρίσκο της μη εργασιακής έκθεσης στο θόρυβο είναι μεγαλύτερο από ότι πίστευα προηγουμένως. Εντωμεταξύ, οποιαδήποτε χρήση μόνο εκτιμήσεων της έκθεσης σε εργασιακό θόρυβο για τον υπολογισμό του φορτίου του NIHL στον πληθυσμό θα παραμελήσει αναπόφευκτα της επίδραση του μη εργασιακού θορύβου επειδή παραμένει κατά πολύ άγνωστη.

### **1.1.2. Ο ρόλος των κινητών τηλεφώνων**

Οι αξιολογήσεις της έκθεσης στο θόρυβο παίζουν ρόλο κλειδί στην εκτίμηση και την πρόληψη του NIHL. Αυτές οι αξιολογήσεις χρησιμοποιούνται για να επιβεβαιώσουν τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς και να καθορίσουν ότι τα προγράμματα προστασίας της ακοής εφαρμόζονται περιλαμβάνοντας μηχανικές και διοικητικές κινήσεις, ακουομετρικά test και συντήρηση των συσκευών προστασίας της ακοής (Hearing Protection Devices, HPDs). Τα ατομικά επίπεδα έκθεσης των εργατών παραμένουν σπανίως γνωστά και είναι δύσκολο να εντοπιστούν. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι οι προτυποποιημένες εκστρατείες θορυβικής έκθεσης απαιτούν όργανα που μπορεί να είναι ακριβά και δύσκολα εφαρμόσιμα. Συμπληρωματικά σε αυτές τις διαδικασίες, ανεπίσημες έρευνες για το θόρυβο που έχουν διεξαχθεί με φθηνότερα ηχόμετρα δεν χαρακτηρίζονται από μετρολογική ποιότητα. Τα προτυποποιημένα όργανα έκθεσης στο θόρυβο, τα θορυβικά δοσίμετρα και τα ηχόμετρα διαβεβαιώνουν την ποιότητα των μετρήσεων επειδή συνάδουν με τις προτυποποιημένες απαιτήσεις για τα βασικά ηλεκτροακουστικά χαρακτηριστικά, περιλαμβάνοντας τη γραμμικότητα, την απόκριση συχνότητας και την κατευθυντικότητα. Παρόλα αυτά, η χρήση τους από μικρές εταιρείες, εργάτες ή το ευρύ κοινό, παραμένει περιορισμένη, επειδή είναι ακριβή και δύσκολη στην πρόσβαση.

Σύμφωνα με την Ericsson (2013), υπάρχουν περίπου 1.6 δισεκατομμύρια άνθρωποι ανά την υφήλιο που έχουν smartphones και ο αριθμός προβλέπεται να φτάσει τα 5.6 δισεκατομμύρια έως το 2019. Η βελτίωση της κινητής τεχνολογίας έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη χιλιάδων τύπων εφαρμογών κινητών τηλεφώνων, συμπεριλαμβανομένων εφαρμογών που μετρούν τις εντάσεις του θορύβου. Οποιοδήποτε κινητό τηλέφωνο με ένα λειτουργικό σύστημα που υποστηρίζει προγραμματιζόμενες εφαρμογές μπορεί πιθανόν να χρησιμοποιηθεί ως όργανο για την έκθεση στο θόρυβο, αφού ήδη τα smartphone έχουν ενσωματωμένο μικρόφωνο και ηχητικά κομμάτια hardware. Αυτή η μόδα έρχεται παράλληλα με την έκτακτη ανάγκη, από περίπου το 2005, για όργανα έκθεσης στο θόρυβο χαμηλού κόστους, όπως είναι το NI-100 από την 3M ή το PocketEar από την SoundEar A/S, τα οποία παρέχουν μία βασική εκτίμηση του θορύβου που λαμβάνεται με περιορισμένη ποιότητα και χωρίς να συνάδουν με τις προτυποποιημένες απαιτήσεις. Η χρήση των κινητών τηλεφώνων για τη μέτρηση της έκθεσης στο θόρυβο εκμεταλλεύεται την πανταχού παρουσία τους, συμπεριλαμβάνοντας τον εργασιακό χώρο και τις ψυχαγωγικές δραστηριότητες. Χωρίς την αγορά κάποιου επιπλέον εξοπλισμού, ένας χρήστης μπορεί να κατεβάσει από τον διαδίκτυο και να χρησιμοποιήσει πολύ εύκολα μία εφαρμογή ηχόμετρου (Sound Level Meter, SLM).

Σε αντίθεση με τα προτυποποιημένα επαγγελματικά όργανα μέτρησης της έκθεσης στο θόρυβο, το μικρόφωνο και άλλα κομμάτια υλικού και λογισμικού ενός κινητού τηλεφώνου δεν



έχουν σχεδιαστεί για να μετρούν θόρυβο. Ενώ τα κινητά τηλέφωνα έχουν τεχνικές δυνατότητες για να μετρούν εντάσεις του θορύβου, η ευρεία χρήση τους για τη μέτρηση της έκθεσης σε εργασιακό θόρυβο παραμένει περιορισμένη εξαιτίας της έλλειψης επίσημων διαδικασιών βαθμονόμησης και δυσκολιών σχετικά με τη διαδικασία της μέτρησης. Επιπλέον, οι σχεδιαστικές κατευθυντήριες γραμμές και τα πρότυπα που ορίζουν τις απαιτήσεις των παραδοσιακών οργάνων μέτρησης θορύβου εφαρμόζονται δύσκολα σε λύσεις σχετικές με τα κινητά τηλέφωνα. Τα προτυποποιημένα όργανα μέτρησης είναι γραμμικά (ανεξάρτητα από την ένταση) για ένα μεγάλο εύρος θορυβικών εντάσεων και έχουν επίπεδη απόκριση συχνότητας (ανεξάρτητη από τη συχνότητα και την ένταση). Η εργοστασιακή τους βαθμονόμηση αποτελείται από τον καθορισμό του επιπέδου ευαισθησίας του οργάνου με βάση μία προτυποποιημένη διαδικασία βαθμονόμησης. Αυτή η παραδοσιακή προσέγγιση μίας μοναδικής, ανεξάρτητης από την ένταση και τη συχνότητα, τιμής βαθμονόμησης, όπως η ευαισθησία στα 1 kHz, δεν είναι κατάλληλη για λύσεις βασισμένες σε κινητά τηλέφωνα επειδή μία εφαρμογή ηχόμετρου μπορεί να τρέχει σε διαφορετικά smartphone τα οποία έχουν διαφορετικά μικρόφωνα και διαφορετικά κομμάτια hardware και λογισμικού με μεταβλητή ποιότητα. Οι ηλεκτροακουστικοί περιορισμοί της ακουστικής αλυσίδας του τηλεφώνου απαιτούν νέες μεθόδους βαθμονόμησης και/ή τη χρήση εξειδικευμένου εξωτερικού hardware.

Τα προτυποποιημένα όργανα μέτρησης του θορύβου μπορούν να ακολουθούν δύο βασικές δειγματοληπτικές προσεγγίσεις, και οι δύο σχετιζόμενες με έναν συγκεκριμένο τύπο οργάνου μέτρησης. Η ολοήμερη προσέγγιση αποτελείται από συνεχόμενες μετρήσεις που διεξάγονται από θορυβικά δοσίμετρα κατά τη διάρκεια μία ολόκληρης εργασιακής μέρας. Τα θορυβικά δοσίμετρα μεταφέρονται από τον εργάτη με το μικρόφωνο τοποθετημένο πάνω στον ώμο στην πλευρά του πιο εκτεθειμένου αυτιού. Η δεύτερη προσέγγιση αποτελείται από διάφορες χωριστές μετρήσεις κατά τη διάρκεια έργων αντιπροσωπευτικών της εργασιακής μέρας, που διεξάγονται με ηχόμετρα. Τα ηχόμετρα είναι τοποθετημένα εκεί όπου θα ήταν το κεφάλι του εργάτη. Νέες προκλήσεις σχετικά με τα όργανα μέτρησης του θορύβου μέσω κινητών τηλεφώνων είναι:

1. Οι τοποθετήσεις του μικροφώνου που προτείνονται από τα πρότυπα δεν υιοθετούνται από τα ενσωματωμένα μικρόφωνα των κινητών.
2. Ο μετρητής που χρησιμοποιείται για πεδιακή βαθμονόμηση μέσω κινητών δεν είναι κατάλληλος για μακροπρόθεσμες μετρήσεις.
3. Η ακουστική αλυσίδα ενός κινητού τηλεφώνου δεν είναι κατάλληλη για να λαμβάνει μετρήσεις υψηλών εντάσεων του θορύβου.

Παρόλα αυτά, τα κινητά τηλέφωνα σαφώς και έχουν τεχνικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα παραδοσιακά όργανα: υποστηρίζουν προγραμματιζόμενες εφαρμογές, ενσωματώνουν ποικίλες τεχνολογίες και αισθητήρες και μπορούν να παρέχουν μία ισχυρή διαδραστικότητα με τους χρήστες. Μία λύση για τη μέτρηση της έκθεσης στο θόρυβο που βασίζεται σε κινητά τηλέφωνα μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτά τα πλεονεκτήματα για να βελτιώσει την ποιότητα των μετρήσεων.

### Υπόβαθρο και ανάγκες

Υπάρχει έλλειψη έρευνας σχετικά με τα ηλεκτροακουστικά χαρακτηριστικά των κινητών τηλεφώνων. Συγκεκριμένα εξωτερικά μικρόφωνα έχουν σχεδιαστεί αποκλειστικά για μετρήσεις θορύβου μέσω smartphone. Προορίζονται για να χρησιμοποιηθούν ως ηχόμετρα, χρησιμοποιώντας τη δεύτερη δειγματοληπτική προσέγγιση. Στοχεύουν στο να έχουν καλύτερα ακουστικά χαρακτηριστικά από τα ενσωματωμένα μικρόφωνα, ιδιαίτερα σχετικά με την κατευθυντικότητα και την απόκριση συχνότητας. Λίγα από αυτά ενσωματώνουν επίσης έναν προενισχυτή και μετατροπείς A/D και μάλιστα καλύπτουν τις απαιτήσεις για να θεωρηθούν

επαγγελματικά. Παρόλο που αυτά τα εξωτερικά μικρόφωνα βελτιώνουν την ποιότητα των μετρήσεων της έντασης του θορύβου, το κόστος και η προσβασιμότητά τους παραμένουν εμπόδιο για την ευρεία χρήση των κινητών τηλεφώνων για θορυβικές μετρήσεις. Επιπρόσθετα, η χρήση εξωτερικών μικρόφωνων διαφορετικού τύπου, δηλαδή που δεν είναι σχεδιασμένα για μετρούν θόρυβο, όπως τα μικρόφωνα των ακουστικών, δεν έχει ερευνηθεί.

Οι περισσότερες από τις εφαρμογές ηχόμετρου για κινητά τηλέφωνα που είναι διαθέσιμες μέσω του "app stores" (Google Play, Apple app store, Nokia Store) έχουν σχεδιαστεί και χρησιμοποιούνται για ψυχαγωγικούς σκοπούς. Από τη στιγμή που τα πιο τεκμηριωμένα projects προέρχονται από ακαδημαϊκούς που ειδικεύονται στην επιστήμη των υπολογιστών, οι ερευνητικές τους προκλήσεις επικεντρώνονταν περισσότερο σε θέματα όπως η επεκτασιμότητα ή η μυστικότητα, παρά στην ποιότητα των μετρήσεων του θορύβου ή τη συμφωνία με τους κανονισμούς. Μία ανασκόπηση των υπαρχουσών εφαρμογών δείχνει ότι η πιο συχνή εργοστασιακή βαθμονόμηση αποτελείται από μόνο μία διόρθωση, ανεξάρτητη από την ένταση και τη συχνότητα, άσχετα με το μοντέλο του τηλεφώνου. Πιο διαμορφούμενες και ακριβείς προσεγγίσεις αποτελούνται από τη βαθμονόμηση ενός κινητού τηλεφώνου που εξαρτάται από το μοντέλο ή το συγκεκριμένο κομμάτι. Οι αλγόριθμοι βαθμονόμησης, οι οποίοι υλοποιούνται στις εφαρμογές ηχόμετρου για να προσαρμόσουν την ευαισθησία το τηλεφώνου, μπορούν να είναι είτε εξαρτώμενοι από την ένταση, είτε από τη συχνότητα ή ένας συνδυασμός και των δύο προσεγγίσεων. Οι αλγόριθμοι που εξαρτώνται από τη συχνότητα αποτελούνται από διορθώσεις που εφαρμόζονται στην επί διόρθωση πίεση της έντασης (Sound Pressure Level, SPL) και οι αλγόριθμοι που εξαρτώνται από την ένταση χρησιμοποιούν φίλτρα για να διορθώσουν και να κάνουν επίπεδη την απόκριση συχνότητας των σημάτων. Ενώ όλοι οι αλγόριθμοι βαθμονόμησης που περιγράφονται στη βιβλιογραφία βασίζονται σε διορθώσεις της πίεσης SPL, μέχρι στιγμής δεν έχουν ερευνηθεί ούτε αλγόριθμοι που εξαρτώνται από τη συχνότητα ούτε ένας συνδυασμός των δύο.

Στη μόνη μελέτη που συζητάει λεπτομερώς την εργοστασιακή βαθμονόμηση των κινητών τηλεφώνων, ο Stevens (2012) παρουσιάζει τα διαφορετικά παραδείγματα και αλγορίθμους βαθμονόμησης και περιγράφει τη βαθμονόμηση που προτείνει για την εφαρμογή NoiseTube με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1. Έναν αλγόριθμο που να εξαρτάται από το μοντέλο του τηλεφώνου, επειδή εκτίμησε ότι οι διαφορές μεταξύ της εκάστοτε συσκευής του ίδιου μοντέλου ήταν αρκετά μικρές και έτσι η βαθμονόμηση μπορεί να είναι ανεξάρτητη από την κάθε συσκευή.
2. Έναν αλγόριθμο που να εξαρτάται από την ένταση, καθώς μία βαθμονόμηση εξαρτώμενη από τη συχνότητα θεωρήθηκε ανούσια, αφού εκτίμησε πως η απόκριση συχνότητας του μοντέλου του κινητού τηλεφώνου που χρησιμοποίησε ήταν "αρκετά επίπεδη".
3. Καμία πεδιακή βαθμονόμηση, καθώς συμπέρανε ότι οι διαφορές μεταξύ δύο μετρήσεων βαθμονόμησης που διεξήχθησαν σε μία περίοδο πέντε μηνών με ένα κινητό τηλέφωνο, ήταν και πάλι "αρκετά μικρές".

## **1.2. Αντικείμενο της διπλωματικής**

### **1.2.1. Συνεισφορά**

Το κόστος και η χρησιμότητα των προτυποποιημένων οργάνων μέτρησης της έκθεσης στο θόρυβο περιορίζουν την ευρεία χρήση τους τόσο σε εργασιακά όσο και σε ψυχαγωγικά θορυβώδη περιβάλλοντα. Τα κινητά τηλέφωνα μπορούν εύκολα να δράσουν ως ηχόμετρα, όμως η ποιότητα των τωρινών λύσεων δεν έχει ερευνηθεί επαρκώς ούτε έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να αντικαταστήσει τα επαγγελματικά όργανα. Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι να

μελετήσει εκτενώς τη διαθέσιμη βιβλιογραφία αναφορικά με τις προσπάθειες που έχουν γίνει προς την κατεύθυνση της χρήσης των κινητών ως συσκευές εκτίμησης του περιβαλλοντολογικού θορύβου και ως εργαλεία εκτίμησης των συνεπειών του θορύβου στην πρόβλεψη της απώλειας στην ακοή που αυτός προκαλεί..

### **1.3. Οργάνωση κειμένου**

Καταρχήν, η παρούσα μελέτη ερεύνησε αναλυτικά τη διαδικασία με την οποία τα κινητά τηλέφωνα μετρούν το θόρυβο. Εξετάζονται θέματα υλικού (hardware), λογισμικού (software), απαραίτητης βαθμονόμησης και άλλα θέματα που έχουν να κάνουν με την επεξεργασία στην οποία υπόκειται κάθε ηχητικό σήμα σε ένα smartphone. Δεύτερον, παρουσιάζονται οι σημαντικότερες μελέτες όσον αφορά σε προσπάθειες που έχουν γίνει στο θέμα της ακουστικής εξέτασης μέσω κινητών τηλεφώνων. Γίνεται αναφορά στις σημαντικότερες εφαρμογές και στην ποιότητα και την εφαρμοσιμότητά τους. Τρίτον, στην εργασία παρουσιάζονται οι σημαντικότερες εφαρμογές που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για smartphone και προσφέρουν πληροφορίες και/ή υποβοήθηση σχετικά με τον θόρυβο από τον οποίο υποφέρουν οι χρήστες. Τέλος, γίνεται μία αναφορά σχετικά με το θέμα της προβλεπτικής μοντελοποίησης, το οποίο στην ουσία αναφέρεται στους τρόπους με τους οποίους μπορεί κανείς να προβλέψει εάν ένα άτομο πρόκειται να αναπτύξει απώλεια ακοής στο μέλλον και από ποιους παράγοντες εξαρτάται αυτή η πιθανότητα.

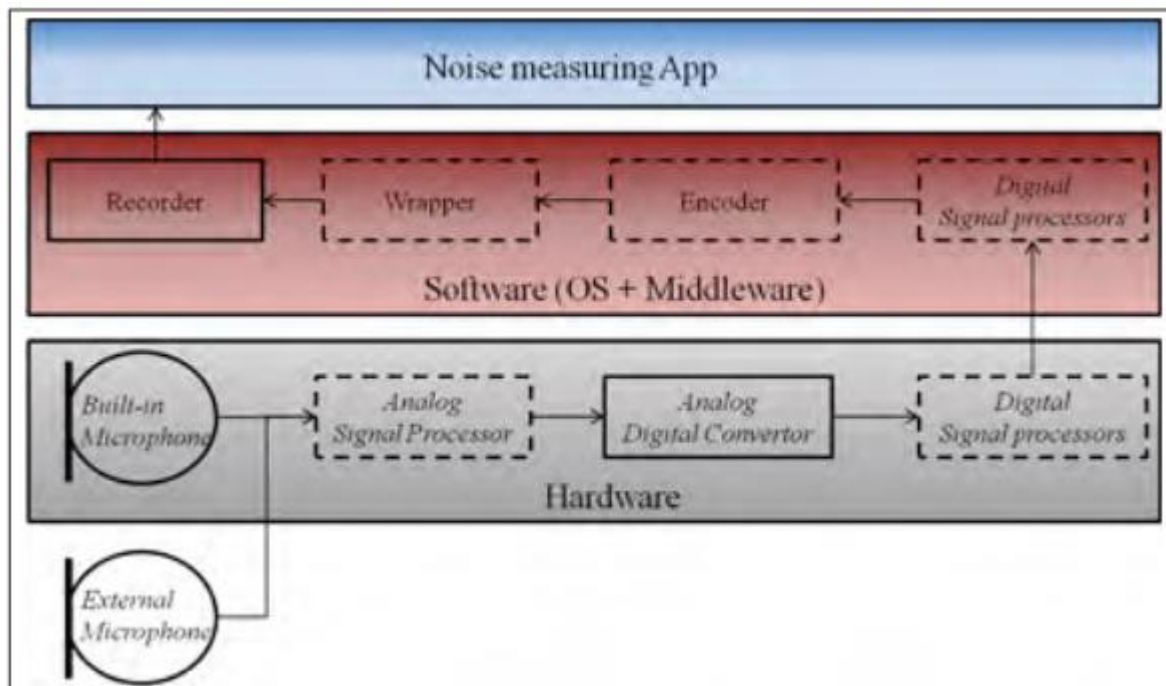
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΜΕΣΩ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΦΩΝΩΝ

#### 2.1. Σχεδιασμός κινητών τηλεφώνων ως ηχόμετρα

##### 2.1.1. Η αλυσίδα των οργάνων κατά την ηχογράφηση

Η αλυσίδα των οργάνων κατά την ηχογράφηση περιλαμβάνει όλα τα κομμάτια hardware και λογισμικού που συμμετέχουν στην ηχογράφηση και καταγραφή ενός ακουστικού σήματος. Καθώς το σήμα περνά από το κάθε παραπάνω κομμάτι, προστίθεται κάποιος θόρυβος, γεγονός που συνεπάγεται τη σημαντική επιρροή που έχει η αλυσίδα στην ποιότητα των μετρήσεων του τηλεφώνου. Το σχήμα 2.1, το οποίο υιοθετήθηκε από τον Stevens το 2012, παρουσιάζει αναλυτικά ένα προς ένα τα διάφορα κομμάτια της αλυσίδας. Σύμφωνα με τον Stevens, οι ταμπέλες που υποδηλώνονται με πλάγια γράμματα αφορούν σε κομμάτια τα οποία δεν αναγνωρίζονται από την εφαρμογή ή που η εφαρμογή δεν μπορεί να τα ελέγξει. Επιπλέον, τα κουτιά που περιβάλλονται με διακεκομμένες γραμμές αναφέρονται σε κομμάτια που δεν υπάρχουν σε όλες τις συσκευές, ή που απλώς δεν φαίνονται από την οπτική γωνία της εφαρμογής.



Σχήμα 2.1: Τα κομμάτια της αλυσίδας (Stevens, 2012)

Αρχικά, τα ενσωματωμένα μικρόφωνα στα κινητά τηλέφωνα ήταν ECM (Electret Condenser Microphones). Τα ECM, όμως, παρουσιάζουν δύο βασικούς περιορισμούς: το μεγάλο τους μέγεθος και τα ανομοιογενή ηλεκτροακουστικά χαρακτηριστικά τους, όπως για παράδειγμα η ονομαστική τους ευαισθησία. Από το 2010 και μετά, τα μικρόφωνα MEMS (MicroElectrical-Mechanical System) έχουν γίνει η προτιμότερη λύση για τα κινητά τηλέφωνα. Είναι μικρότερα από τα ECM και παρουσιάζουν εξαιρετική ομοιογένεια στη φάση και την ευαισθησία τους.

Με βάση τις πληροφορίες των κατασκευαστών, τα μικρόφωνα MEMS έχουν ομοιοκατευθυντική απόκριση με ένα δυναμικό εύρος γύρω στα 120 dB, λόγω σήματος προς θόρυβο γύρω στα 60 dB και επίπεδη απόκριση συχνότητας από τα 60 με 100 Hz έως τα 15 με 20 kHz. Στα κινητά είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστούν τα είδη μικρόφωνων που είναι ενσωματωμένα και τις περισσότερες φορές κρίνεται απαραίτητη η κατακερμάτιση της συσκευής προς τον σκοπό αυτό. Παρ' όλα αυτά, τα χαρακτηριστικά του μικροφώνου από μόνα τους δεν έχουν ουσιώδη χρήση, αφού η ευαισθησία τους επηρεάζεται από κομμάτια του hardware, όπως ο μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό (A/D), και η απόκριση συχνότητας από την τοποθέτηση του μικροφώνου μέσα στο κινητό. Το μόνο χαρακτηριστικό του μικροφώνου που μπορεί να ληφθεί υπόψιν είναι η μεταβλητότητα της ευαισθησίας του, η οποία δίνεται στις προδιαγραφές του με μία σταθερή παρέκκλιση σε dB ή με τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές της.

Η στιγμιαία τάση, η οποία βγαίνει ως έξοδος από το μικρόφωνο, μετατρέπεται από τον μετατροπέα A/D σε δείγματα. Η συχνότητα δειγματοληψίας και η μορφή της ψηφιοποιημένης ηχητικής ροής καθορίζονται από το ηχητικό πλαίσιο του λειτουργικού συστήματος που διαχειρίζεται τα κομμάτια του κινητού τηλεφώνου. Για εφαρμογές ηχόμετρου που χρησιμοποιούν διαμόρφωση 16-bit PCM (Pulse-Code-Modulation), η στιγμιαία τάση μετατρέπεται σε δείγματα που λαμβάνουν τιμές μεταξύ του -32768 και +32767, όπου το -32768 αντιπροσωπεύει την ελάχιστη τιμή της τάσης και το +32768 τη μέγιστη. Πέρα από τις παραμορφώσεις που εισάγονται από το μικρόφωνο και τον μετατροπέα A/D, τα κινητά τηλέφωνα ενσωματώνουν επίσης συγκεκριμένη επεξεργασία ήχου όπως αυτόνομο έλεγχο κέρδους, συμπίεση θορύβου, ακυρωτή ηχούς και εξισορρόπηση. Σύμφωνα με την Android (2013), ο αυτόματος έλεγχος κέρδους (AGC, Automatic Gain Control) ομαλοποιεί την έξοδο του ληφθέντος σήματος αυξάνοντας ή μειώνοντας την είσοδο από το μικρόφωνο ώστε να ταιριάζει με μία προκαθορισμένη ένταση και έτσι η συνολική ένταση που εξέρχεται να είναι σταθερή. Η παρουσία ή απουσία αυτών των χαρακτηριστικών εξαρτάται από τον εκάστοτε κατασκευαστή και τις απαιτήσεις του λειτουργικού συστήματος. Το αν τα χαρακτηριστικά επεξεργασίας ήχου είναι ελέγξιμα από την εφαρμογή εξαρτάται από το hardware και από την πρόσβαση που παρέχεται από το λειτουργικό σύστημα του τηλεφώνου. Στο επίπεδο του λογισμικού, όπως φαίνεται στο σχεδιάγραμμα 2.2, διάφορα αντικείμενα χειρίζονται την επεξεργασία του ήχου: ο encoder και ο wrapper εφαρμόζουν την κωδικοποίηση και τη μορφοποίηση της ηχητικής ροής σε ψηφιακά δεδομένα και ο recorder επιτρέπει στις εφαρμογές του τηλεφώνου να ελέγχουν και να προσδιορίζουν παραμέτρους του ηχητικού σήματος που καταγράφεται, όπως η μορφή του και η συχνότητα δειγματοληψίας.

### **2.1.2. Εξωτερικά μικρόφωνα**

Τα ενσωματωμένα μικρόφωνα μπορούν να προσπεραστούν χρησιμοποιώντας εξωτερικά μικρόφωνα, τα οποία συνδέονται στη θύρα αναλογικού ήχου του τηλεφώνου (τη θύρα USB για τα Android). Τα εξωτερικά μικρόφωνα ενσωματώνονται σε μεγάλη ποικιλία ακουστικών. Επιπλέον, τα εξωτερικά μικρόφωνα που σχεδιάζονται συγκεκριμένα για ακουστικές μετρήσεις τηλεφώνου έχουν σκοπό να προσφέρουν καλύτερη κατευθυντικότητα και απόκριση συχνότητας από τα ενσωματωμένα. Για παράδειγμα, το MicW i436 είναι ένα μικρόφωνο ηλεκτρίτη που συνδέεται στο κινητό με ένα ηχητικό βύσμα (Σχήμα 2.2). Παρόλο που η Studiosixdigital υποστηρίζει ότι δεν υπάρχει καμία βελτίωση στην απόκριση συχνότητας με το MicW σε σχέση με το ενσωματωμένο μικρόφωνο του iPhone, η

Faberacoustical (2012b) επισημαίνει πως η επίπεδη απόκριση συχνότητάς του και η ομοιοκατευθυντικότητά του έχουν σχεδιαστεί ώστε να πλησιάζουν ικανοποιητικά τις επιδόσεις ενός επαγγελματικού ηχόμετρου. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα, σύμφωνα με τη Faberacoustical

(2012b) είναι το μέγεθός του, το οποίο επιτρέπει την πεδιακή βαθμονόμηση χρησιμοποιώντας έναν βαθμονομητή ήχου και έναν αντάπτορα.



Σχήμα 2.2: Εικόνες από εξωτερικά μικρόφωνα: MicW i436 από την MicW στα αριστερά και iTestMic από την Studiosixdigital στα δεξιά

Άλλα μικρόφωνα εξωτερικών μετρήσεων έχουν κομμάτια hardware που επιτρέπουν την παράκαμψη σημαντικού μέρους της αλυσίδας. Το μικρόφωνο iTestMic ενσωματώνει έναν προενισχυτή, μετατροπείς A/D και διεπαφή ψηφιακού ήχου USB. Έχει σχεδιαστεί για συσκευές με λογισμικό iOS και ανταποκρίνεται στις επαγγελματικές προδιαγραφές όσον αφορά στην απόκριση συχνότητας, τη γραμμικότητα και τα κατευθυντικά χαρακτηριστικά.

### 2.1.3. Επεξεργασία ήχου σε εφαρμογές ηχόμετρου

Εδώ θα παρουσιαστούν οι βασικές επεξεργασίες ήχου που γίνονται στις εφαρμογές ηχόμετρου για τον υπολογισμό της έντασης του θορύβου, εκτός από την εργοστασιακή βαθμονόμηση που θα παρουσιαστεί λεπτομερώς σε επόμενη παράγραφο.

Τα βασικά κομμάτια των εφαρμογών ηχόμετρου είναι ο αποκωδικοποιητής, το φίλτρο και ο υπολογισμός της έντασης του θορύβου, συμπεριλαμβανομένων και των αλγορίθμων βαθμονόμησης. Στα παραδοσιακά όργανα οι υπολογισμοί γίνονται είτε χρησιμοποιώντας μόνο κομμάτια hardware στα αναλογικά όργανα είτε ένα συνδυασμό hardware και λογισμικού στα ψηφιακά όργανα. Στις εφαρμογές ηχόμετρου, ο υπολογισμός του θορύβου μιμείται τη διαδικασία των επαγγελματικών οργάνων μέσω ψηφιακής επεξεργασίας του ήχου που εφαρμόζεται στον κώδικα της εκάστοτε εφαρμογής. Ο υπολογισμός αυτός δεν αναλύεται λεπτομερώς στις εμπορικές εφαρμογές, με εξαίρεση τους ανοιχτούς κώδικες των εφαρμογών NoiseTube, Stevens (2012), και WideNoise, WideTag (2014), οι οποίοι καθιστούν εφικτή την λεπτομερή ανάλυση των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό.

Ο αποκωδικοποιητής ήχου επεξεργάζεται το σήμα από τον μετατροπέα A/D. Το φίλτρο εφαρμόζει τις συχνότητες στάθμης A και Γ, οι οποίες είναι μία προσέγγιση που στοχεύει στο να αντιπροσωπεύσει την ευαισθησία του ανθρώπινου αυτιού στην ένταση του ήχου. Η στάθμη A ακολουθεί την ευαισθησία του αυτιού ως προς τη συχνότητα σε χαμηλή ένταση ενώ η στάθμη Γ σε υψηλή. Τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή NoiseTube είναι IIR (Infinite Impulse Response) τα οποία εφαρμόζονται στη γλώσσα προγραμματισμού Java. Σχεδιάζονται για να πληρούν τις απαιτήσεις του διεθνούς προτύπου IEC (2002). Σύμφωνα με

τον Stevens (2012), το φίλτρο στάθμης A της NoiseTube βρίσκεται εντός ορίων της ανοχής επαγγελματικών ηχόμετρων σε όλες τις συχνότητες εκτός από εκείνες μεταξύ 10 και 12.5 kHz.

Ο υπολογιστής της έντασης του θορύβου (noise level calculator) υπολογίζει τις εντάσεις των φιλτραρισμένων σημάτων. Στην εφαρμογή NoiseTube, η ισοδύναμη της στάθμης A συνεχής ένταση του θορύβου,  $L_{A,1sec}$  σε dB(A), υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση με  $p_{ref}$ , την ηχητική πίεση αναφοράς που ισούται με 20  $\mu$ Pa,  $p_A$ , την ισοδύναμη της στάθμης A ηχητική πίεση που μετριέται και  $f_s$  τη συχνότητα δειγματοληψίας.

$$L_{A,eq1sec} = 20 \log_{10} \left( \frac{\sqrt{\frac{1}{f_s} \sum_{i=1}^{f_s} P_A^2(i)}}{p_{ref}} \right)$$

Η λειτουργία της βαθμονόμησης στις περισσότερες εφαρμογές ηχόμετρου εκμεταλλεύεται τη συνειδητή ανάμειξη που μπορεί να έχει ο χρήστης έτσι ώστε να βελτιώνεται η ποιότητα της εκάστοτε εφαρμογής. Έτσι, επιτρέπει στον χρήστη να προσαρμόζει την ένταση του θορύβου στο τηλέφωνο. Η Rana κ.α ανέπτυξαν το 2010 έναν αλγόριθμο, ο οποίος εφαρμόζεται στην εφαρμογή EarPhone και εκμεταλλεύεται αισθητήρες που είναι ενσωματωμένοι στο τηλέφωνο (αισθητήρα εγγύτητας, αισθητήρες αδράνειας, αισθητήρα μαγνητόμετρου και GPS) ώστε να εντοπίζεται η θέση του τηλεφώνου πάνω στο σώμα (παλάμη, τσέπη, τσάντα κτλπ.) κατά τη διάρκεια των ηχητικών μετρήσεων. Ο αλγόριθμος δεν λαμβάνει υπόψιν τις μετρήσεις που προήλθαν ενώ το τηλέφωνο βρισκόταν στην τσέπη ή στην τσάντα και έτσι βελτιώνεται η ποιότητα των υπολογισμών. Εξαιρουμένης της βαθμονόμησης και της εντόπισης της θέσεως του τηλεφώνου, οι τωρινές εφαρμογές ηχόμετρου εκμεταλλεύονται ελάχιστα την αλληλεπίδραση χρήστη-τηλεφώνου και τις τεχνολογίες των smartphone ώστε να βελτιώσουν την ποιότητα των ηχητικών μετρήσεων.

## 2.1.4. Προεπιλεγμένη εργοστασιακή βαθμονόμηση στα κινητά τηλέφωνα

### 2.1.4.1. Υπαρκτές προσεγγίσεις

Σε αντίθεση με τα επαγγελματικά όργανα μέτρησης της έκθεσης στο θόρυβο, το μικρόφωνο του κινητού τηλεφώνου και τα υπόλοιπα κομμάτια hardware και λογισμικού δεν έχουν σχεδιαστεί για να μετρούν θόρυβο. Τα επαγγελματικά όργανα είναι γραμμικά (ανεξάρτητα της έντασης) για ευρεία κλίμακα εντάσεων θορύβου και έχουν επίπεδη απόκριση συχνότητας, δηλαδή ανεξάρτητη της συχνότητας και της έντασης. Η εργοστασιακή τους βαθμονόμηση αφορά στον προσδιορισμό του επιπέδου ευαισθησίας του οργάνου με βάση μία προτυποποιημένη διαδικασία βαθμονόμησης. Αυτή η παραδοσιακή προσέγγιση μίας μοναδικής, ανεξάρτητης της συχνότητας και της έντασης, βαθμονόμησης δεν είναι κατάλληλη για τα κινητά τηλέφωνα, καθώς μία εφαρμογή ηχόμετρου μπορεί να εφαρμόζεται κάθε φορά σε διαφορετικά κινητά που έχουν μικρόφωνα και κομμάτια hardware και λογισμικού με χαρακτηριστικά που ποικίλουν.

Η βαθμονόμηση του κινητού τηλεφώνου αποσκοπεί στο να εξισορροπήσει τα συστημικά λάθη που προέρχονται από το μικρόφωνο και άλλα κομμάτια hardware ή λογισμικού της αλυσίδας. Υπάρχουν τρεις περιπτώσεις βαθμονόμησης κινητών: μία κοινή βαθμονόμηση για όλα τα κινητά, μία βαθμονόμηση για κάθε μοντέλο και μία βαθμονόμηση για κάθε συσκευή ξεχωριστά. Είναι προφανές ότι οι εφαρμογές ηχόμετρου με μοναδική βαθμονόμηση για όλα

τα τηλέφωνα είναι σαφώς πιο ανακριβείς από αυτές με βαθμονόμηση που εξαρτάται από το μοντέλο ή τη συσκευή. Οι δύο τελευταίες προσεγγίσεις, όμως, παραμένουν σπάνιες : στην πιο εκτενή μελέτη για τη βαθμονόμηση των κινητών, την έρευνα του Stevens (2012), διαπιστώθηκε ότι μόνο 4 υπάρχουσες εφαρμογές είχαν ρυθμίσεις βαθμονόμησης που εξαρτώνται από το μοντέλο του smartphone. Αρχικά οι εφαρμογές ηχόμετρου βαθμονομούνται κατά την παραγωγή τους στο εργοστάσιο σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά είτε ενός συγκεκριμένου μοντέλου ή μίας “μέσης” συσκευής, δηλαδή μίας θεωρητικής συσκευής με τα μέσα χαρακτηριστικά των πραγματικών συσκευών. Η τεχνολογική προσέγγιση που αναπτύχθηκε από τον Stevens για τη βαθμονόμηση και σύμφωνα με ένα μοντέλο και σύμφωνα με μία συγκεκριμένη συσκευή αποτελείται από μία βάση δεδομένων που περιλαμβάνει τιμές βαθμονόμησης από διάφορα μοντέλα ή συσκευές που εμπεριέχονται στην εφαρμογή. Κάθε φορά που η εφαρμογή ξεκινάει, το όνομα του μοντέλου ανιχνεύεται και στη συνέχεια εξετάζεται εάν οι τιμές βαθμονόμησης για το συγκεκριμένο μοντέλο εμπεριέχονται στη βάση δεδομένων. Εάν η απόκριση είναι θετική, τότε ανακτώνται οι τιμές που σχετίζονται με το μοντέλο και χρησιμοποιούνται στην υλοποίηση του αλγορίθμου.

Οι αλγόριθμοι βαθμονόμησης χρησιμοποιούνται για να προσαρμόσουν την ευαισθησία του κινητού και μπορούν να είναι είτε εξαρτώμενοι από την ένταση ή τη συχνότητα ή ένα συνδυασμό των δύο. Οι εξαρτώμενοι από την ένταση αλγόριθμοι αποτελούνται από διορθώσεις που εφαρμόζονται στην πίεση του θορύβου (Sound Pressure Level, SPL) προς διόρθωση, ενώ οι εξαρτώμενοι από τη συχνότητα αλγόριθμοι κάνουν χρήση φίλτρων για να διορθώσουν την απόκριση συχνότητας των ηχητικών σημάτων. Μέχρι σήμερα (2015) δεν έχει υπάρξει κάποιος εξαρτώμενος από τη συχνότητα αλγόριθμος βαθμονόμησης. Ο Stevens (2012) πρότεινε τη χρήση τεχνικών ψηφιακού φίλτραρίσματος με φίλτρα FIR (Finite Impulse Response) ή IIR (Infinite Impulse Response) των οποίων οι συντελεστές θα υπολογίζονται από μετρήσεις βαθμονόμησης, παρόλα αυτά δεν δοκιμάστηκε κάποιος αλγόριθμος. Σε μία μελέτη που ερευνούσε την ακρίβεια των εφαρμογών ηχόμετρου στα iOS, οι Brown και Evans επισημαίνουν τη χρήση ενός εξαρτώμενου από τη συχνότητα αλγόριθμου για την εργοστασιακή βαθμονόμηση της εφαρμογής Real Time Manager της Studiosixdigital (2013a). Ο αλγόριθμος αυτός αντισταθμίζει την επίδραση του ενσωματωμένου υπερηχητικού φίλτρου του iPhone. Μολαταύτα, η Studiosixdigital (2013a) δεν περιγράφει τον αλγόριθμο.

Η βαθμονόμηση της εφαρμογής NoiseTube, που αναπτύχθηκε από τον Stevens (2012), χρησιμοποιεί έναν εξαρτώμενο από την ένταση αλγόριθμο βαθμονόμησης και μπορεί να έχει σχεδιαστεί είτε σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά ενός συγκεκριμένου μοντέλου ή μίας συσκευής. Βασίζεται σε τρεις υποθέσεις:

Πρώτον, ότι τα ίδια μοντέλα συμπεριφέρονται επαρκώς παρόμοια ώστε να εγγυάται, για γενικούς σκοπούς, η διόρθωση των μετρήσεων χρησιμοποιώντας σημεία βαθμονόμησης καθορισμένα για το συγκεκριμένο μοντέλο και όχι για τη συγκεκριμένη συσκευή.

Δεύτερον, ότι η απόκριση συχνότητας των κινητών τηλεφώνων που χρησιμοποιούνται στην έρευνα είναι αρκετά επίπεδη.

Τρίτον, ότι τα χαρακτηριστικά του μικροφώνου παραμένουν σταθερά με την πάροδο του χρόνου, ή τουλάχιστον δεν μεταβάλλονται τόσο ώστε να χρειάζεται αναβαθμονόμηση, όπως συμβαίνει στις επαγγελματικές εφαρμογές ηχόμετρου.

#### **2.1.4.2. Υπαρκτοί εξαρτώμενοι από την ένταση αλγόριθμοι βαθμονόμησης**

Σύμφωνα με τον Stevens (2012), οι περισσότερες εργοστασιακές βαθμονομήσεις εφαρμογών ηχόμετρου βασίζονται σε εξισορροπητικό αλγόριθμο που εξαρτάται από την ένταση (δηλαδή



σε αλγόριθμο που αποκόπτει περιττές εντάσεις) και λίγες εφαρμογές βασίζονται σε κλιμακωτό αλγόριθμο.

Στον εξισορροπητικό αλγόριθμο, ένα σταθερό αντιστάθμισμα (offset),  $\Delta_{\text{phone}}$ , προστίθεται στις αδιόρθωτες εντάσεις θορύβου του τηλεφώνου. Το  $\Delta_{\text{phone}}$  είναι η διαφορά μεταξύ της έντασης αναφοράς και της αδιόρθωτης έντασης σε μία συγκεκριμένη ένταση αναφοράς.

$$L_{p,\text{calibrated}} = L_{p,\text{uncalibrated}} + \Delta_{\text{phone}} \quad 1.1$$

Το σχήμα 2.3, που υιοθετήθηκε από τον Stevens (2012), δείχνει τις βαθμονομημένες εντάσεις θορύβου ενός τηλεφώνου χρησιμοποιώντας τον εξισορροπητικό αλγόριθμο με  $\Delta_{\text{phone}}$  υπολογισμένο στα 85 dB(A).

Στον κλιμακωτό αλγόριθμο, ένας σταθερός παράγοντας (factor),  $S_{\text{phone}}$ , πολλαπλασιάζεται στις αδιόρθωτες εντάσεις θορύβου του τηλεφώνου. Το  $S_{\text{phone}}$  είναι ο λόγος της έντασης αναφοράς ως προς την αδιόρθωτη ένταση σε μία συγκεκριμένη ένταση αναφοράς.

$$L_{p,\text{calibrated}} = S_{\text{phone}} \times L_{p,\text{uncalibrated}} \quad 1.2$$

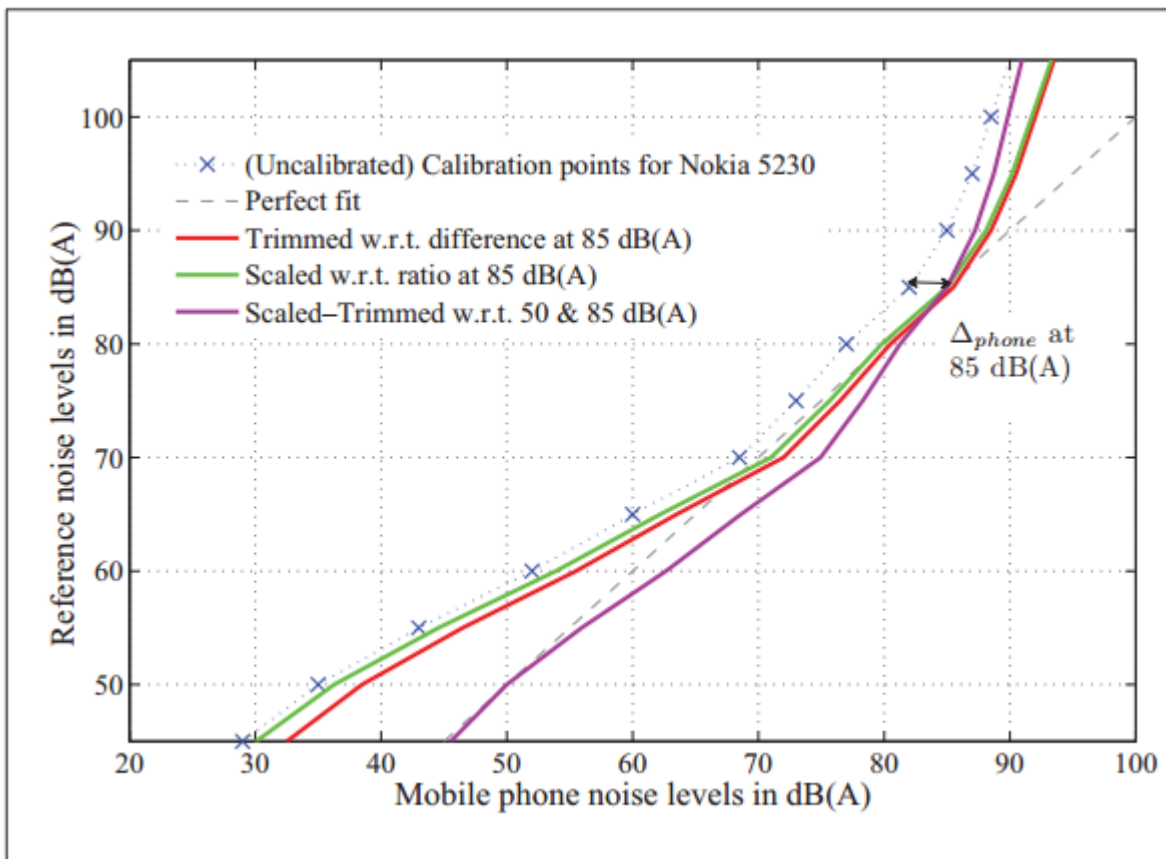
Το σχήμα 2.3 δείχνει τις βαθμονομημένες εντάσεις θορύβου ενός τηλεφώνου χρησιμοποιώντας τον κλιμακωτό αλγόριθμο με  $S_{\text{phone}}$  υπολογισμένο στα 85 dB(A).

Υπάρχει και ο συνδυασμός των δύο αλγορίθμων, κατά τον οποίο ένα σταθερό offset προστίθεται στις αδιόρθωτες εντάσεις και έπειτα πολλαπλασιάζονται με ένα σταθερό παράγοντα. Σε αντίθεση με τους παραπάνω αλγόριθμους, οι οποίοι απαιτούν ένα σημείο βαθμονόμησης (ένα ζευγάρι έντασης θορύβου και της αντίστοιχης έντασης θορύβου αναφοράς), ο συνδυασμός τους απαιτεί τουλάχιστον δύο σημεία βαθμονόμησης. Ο παράγοντας και το offset είναι αντιστοίχως η κλίση και η τομή με τον άξονα y της γραμμικής εξίσωσης μεταξύ των δύο σημείων.

$$L_{p,\text{calibrated}} = S_{\text{phone}} \times L_{p,\text{uncalibrated}} + \Delta_{\text{phone}} \quad 1.3$$

Το σχήμα 2.3 δείχνει τις βαθμονομημένες εντάσεις θορύβου ενός τηλεφώνου χρησιμοποιώντας τον συνδυασμό των δύο αλγορίθμων με σημεία βαθμονόμησης τα 50 και 85 dB(A). Στους τρεις προηγούμενους αλγόριθμους, το offset και ο παράγοντας παραμένουν σταθεροί ανεξάρτητα από την ένταση του θορύβου. Τα συστημικά λάθη αντισταθμίζονται μόνο σε εντάσεις θορύβου που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς των offset και των λόγων, οι οποίες στην περίπτωση του σχήματος 2.3 είναι η ένταση αναφοράς στα 85 dB(A) για τους πρώτους δύο και στα 50 και 85 dB(A) για τον συνδυασμό τους.

Ο Stevens (2012) παρουσίασε έναν γραμμικό αλγόριθμο παρεμβολής που στοχεύει στην αντιμετώπιση των συστημικών λαθών που βασίζονται στην ένταση του θορύβου. Χρησιμοποιεί πολλαπλές γραμμικές εξισώσεις υπολογισμένες από δύο διαδοχικά σημεία βαθμονόμησης. Για κάθε τιμή έντασης προς βαθμονόμηση, ο αλγόριθμος επιλέγει δύο σημεία βαθμονόμησης από ένα σύνολο υπολογισμένων βαθμονομημένων σημείων, των οποίων οι εντάσεις εμπεριέχουν την ένταση προς βαθμονόμηση. Ένας παράγοντας και ένα offset υπολογίζονται λύνοντας τη γραμμική εξίσωση μεταξύ αυτών των δύο σημείων και η βαθμονομημένη ένταση υπολογίζεται από την εξίσωση 1.3. Θεωρητικά, αυτός ο αλγόριθμος έχει ως αποτέλεσμα μία τέλεια αντιστάθμιση των συστημικών λαθών με βαθμονομημένες εντάσεις που ταιριάζουν απόλυτα με τις εντάσεις αναφοράς, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3: Υπαρκτές μέθοδοι βαθμονόμησης, υπολογισμένες αριθμητικά για ένα Nokia 5230 (Stevens, 2012)

## 2.2. Ακρίβεια των κινητών τηλεφώνων ως ηχόμετρα

Κανένα πρότυπο δεν περιγράφει ή προτείνει ηλεκτροακουστικές απαιτήσεις συγκεκριμένα για κινητά που χρησιμοποιούνται ως ηχόμετρα. Παρόλα αυτά, υπάρχουν test έχουν εφαρμοστεί για να αξιολογήσουν την επίδοση μίας εφαρμογής ηχόμετρου σε συνδυασμό με ένα εξωτερικό μικρόφωνο. Σύμφωνα με τις αναφορές της Studiosixdigital (2013c), ένα iPad2 που χρησιμοποιεί τα AudioTools 5.5 με μία εξωτερική ηχητική διεπαφή (interface) iAudioInterface2 και ένα AudioControl CM-145 μικρόφωνο, ικανοποιεί τις απαιτήσεις ενός επαγγελματικού ηχόμετρου. Η εφαρμογή ηχόμετρου χρησιμοποιήθηκε μόνο ως μετρητής θορύβου, αφού το περισσότερο μέρος της διαδικασίας ηχητικής καταγραφής το αναλαμβάνουν το εξωτερικό μικρόφωνο και η διεπαφή (interface) ήχου. Τα αποτελέσματα των test έδειξαν ότι η επεξεργασία των υπολογισμών και τα φίλτρα της εφαρμογής ήταν κατάλληλα για ένα επαγγελματικό ηχόμετρο.

Οι μελέτες που αξιολόγησαν την ποιότητα των μετρήσεων στα smartphone βασίστηκαν σε συγκρίσεις ανάμεσα στις εντάσεις θορύβου της εκάστοτε εφαρμογής και στις μετρήσεις σε ένα επαγγελματικό ηχόμετρο. Ο στόχος αυτών των μελετών ήταν πιο πολύ να εξετασθεί η επίδοση μίας συγκεκριμένης εφαρμογής παρά των κινητών γενικότερα.

Η SafetyAwakenings (2013) εξέτασε την ακρίβεια 30 εφαρμογών ηχόμετρου σε iOS με ένα iPad και το ενσωματωμένο του μικρόφωνο. Οι εντάσεις του θορύβου για διάφορες ηχητικές πηγές μετρήθηκαν από τις εφαρμογές και συγκρίθηκαν με αυτές ενός

επαγγελματικού ηχόμετρου. Για κάθε μία από τις παραπάνω εφαρμογές χρησιμοποιήθηκε η εργοστασιακή βαθμονόμηση. Κάθε ένας από τους 4 τύπους θορύβου (σήματα ήχου στα 1 kHz

και 8kHz, μια ηχητική μέτρηση 30 δευτερολέπτων, και μία προκαταγεγραμμένη έκρηξη) εκπέμφθηκε με την ίδια ένταση. Το περιβάλλον των μετρήσεων δεν περιγράφεται εκτενώς, καθώς η SafetyAwakening (2013) αναφέρει μόνο ότι οι μετρήσεις δεν έλαβαν τόπο σε ακουστικό εργαστήριο. Η ανάλυση των μετρήσεων δείχνει ότι μόνο 3 από τις 30 εφαρμογές είχαν ικανοποιητικά αποτελέσματα (παρόμοια με αυτά των επαγγελματικών οργάνων). Ο πίνακας 2.1 περιέχει τις διαφορές σε dBA ανάμεσα στις μετρήσεις των επαγγελματικών ηχόμετρων και αυτές των τριών προαναφερθέντων iOS εφαρμογών. Εκ των 30 εφαρμογών συνολικά οι 13 θεωρήθηκαν ανεπαρκείς.

Πηγές θορύβου	Ένταση θορύβου επαγγελματικού ηχόμετρου σε dB	Διαφορά της εφαρμογής SPLnFFT σε dB	Διαφορά της εφαρμογής SoundMeter+ σε dB	Διαφορά της εφαρμογής SPL Meter σε dB
Σήμα ήχου (1 kHz)	88.5	0.4	2.8	-0.2
Σήμα ήχου (8 kHz)	94.3	-0.4	8.0	6.8
Θόρυβος 30 δευτερολέπτων	82.2	0.2	0.3	Μη διαθέσιμο (n/A)
Έκρηξη	87.6	0.1	3.1	0.1

Πίνακας 2.1: Διαφορές σε dB μεταξύ επαγγελματικού ηχόμετρου και μετρήσεων των 3 καλύτερων εφαρμογών iOS, σύμφωνα με τη SafetyAwakenings (2013)

Οι Brown και Evans (2011) ερεύνησαν την ακρίβεια των εφαρμογών SignalScope Pro της Faberacoustical (2013) και Real Time Analyzer της Studiosixdigital (2013) για ένα iPhone 3GS και το ενσωματωμένο του μικρόφωνο. Οι μετρήσεις έγιναν σε πραγματικές συνθήκες με πραγματικές πηγές θορύβου. Οι Brown και Evans (2011) έδειξαν ότι, σε αντίθεση με τη SignalScope Pro της Faberacoustical (2013), η Real Time Analyzer εκτελεί έναν αλγόριθμο εξαρτώμενο από τη συχνότητα με μία ώθηση στις χαμηλές συχνότητες για να εξισορροπήσει την επίδραση του υψηλερατού φίλτρου που εφαρμόζεται στο iPhone 3GS. Όπως φαίνεται στον πίνακα 2.2, οι διαφορές μεταξύ των εντάσεων θορύβου στάθμης A σε dBA μετρούμενες από τη SignalScope Pro και των μετρήσεων του ηχόμετρου ήταν μικρότερες από 4 dBA για τις διάφορες πραγματικές πηγές θορύβου. Οι Brown και Evans (2011) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι "χρειάζεται προσοχή στη μέτρηση εντάσεων θορύβου κάτω των 40 dBA, πάνω των 80 dBA ή με σημαντικά συστατικά χαμηλών συχνοτήτων."

Πηγή θορύβου	Ηχόμετρο (dBA)	SignalScope Pro (dBA)	Διαφορά (dBA)
Αίθουσα συνεδριάσεων	38.8	39.4	0.6
Ήσυχο γραφείο	49.6	45.8	3.6
Κομπρέσορας	54.2	54.6	-0.4
Δρόμος	75	72.2	-2.8
Κόρνα αυτοκινήτου	87.5	84	-3.5

Πίνακας 2.2: Διαφορά, σε dBA, μεταξύ των μετρήσεων του ηχόμετρου και των εντάσεων θορύβου που μετρήθηκαν από την εφαρμογή SignalScope Pro με ένα iPhone 3GS

Ο Santini (2009) εκτίμησε την ακρίβεια των εντάσεων θορύβου που μετρούνται από μη βαθμονομημένο κινητό τηλέφωνο. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν σε ένα ήσυχο δωμάτιο με 3 κινητά και ένα ηχόμετρο τοποθετημένο πάνω στο τραπέζι. Ενώ τα αποτελέσματα της μελέτης δεν παρέχουν στατιστική ανάλυση των μετρήσεων, η αξία της έγκειται στη χρήση ηχητικών πηγών πραγματικού περιβάλλοντος (ηχητικές καταγραφές διασταύρωσης δρόμων) σε ένα εργαστηριακό περιβάλλον.

Η δουλειά του Stevens (2012) πάνω στην ποιότητα της εφαρμογής NoiseTube ήταν η πιο εκτενής έρευνα. Ο Stevens (2012) έκανε διάφορες μετρήσεις για να εκτιμήσει και να πιστοποιήσει τις ακόλουθες υποθέσεις πάνω στις οποίες βασίστηκε η εφαρμογή NoiseTube:

1. Έναν αλγόριθμο βαθμονόμησης εξαρτώμενο από το μοντέλο του τηλεφώνου
2. Έναν αλγόριθμο εξαρτώμενο από την ένταση του θορύβου χωρίς να εξαρτάται από τη συχνότητα

Με βάση τις μετρήσεις βαθμονόμησης που διεξήχθησαν με διάφορες συσκευές του ίδιου μοντέλου τηλεφώνου, ο Stevens (2012) έδειξε ότι, για τις συγκεκριμένες συσκευές που εξετάσε, οι διαφορές μεταξύ των διαφορετικών συσκευών του ίδιου μοντέλου ήταν αρκετά μικρές για να πιστοποιήσουν τη χρήση ενός αλγόριθμου εξαρτώμενου από το μοντέλο αντί ενός αλγόριθμου εξαρτώμενου από κάθε συσκευή ξεχωριστά.

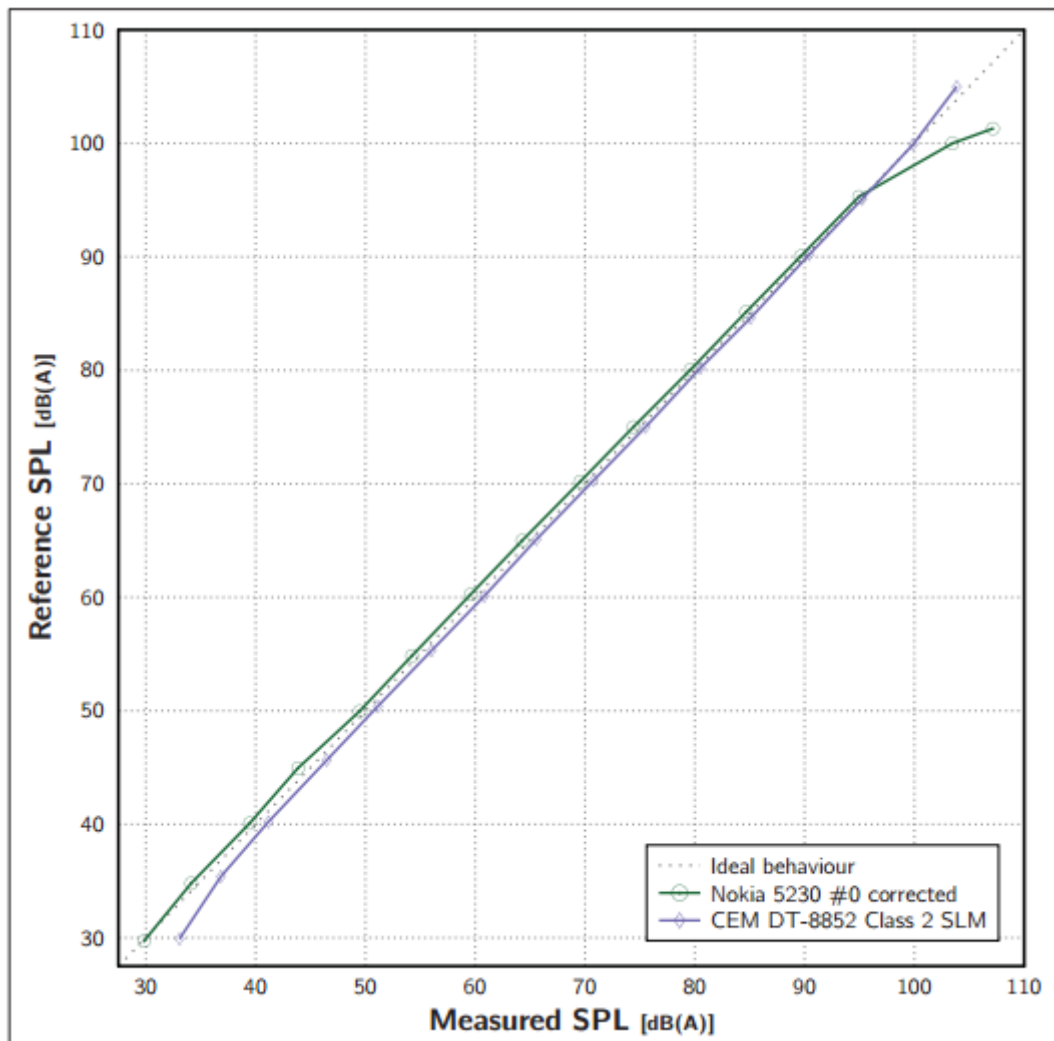
Με βάση μετρήσεις που διεξήχθησαν με 27 σήματα καθαρού τόνου, από 50 Hz έως 20 kHz για ηχητικές εντάσεις από 60 dB μέχρι 90 dB, ο Stevens (2012) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η απόκριση συχνότητας των τηλεφώνων που εξετάσε ήταν "αρκετά επίπεδη" και επομένως δεν έκρινε απαραίτητο έναν αλγόριθμο εξαρτώμενο από τη συχνότητα.

Η σταθερότητα των χαρακτηριστικών του μικροφώνου στον χρόνο εξετάστηκε με δύο μετρήσεις βαθμονόμησης που διεξήχθησαν σε μία περίοδο πέντε μηνών, με μόνο ένα κινητό τηλέφωνο. Παρότι η μεταβολή ήταν μόνο 0.29 dB, ο Stevens (2012) πρότεινε τη διεξαγωγή επιπλέον μετρήσεων σε μεγαλύτερες χρονικές περιόδους και με παραπάνω από ένα τηλέφωνο. Γενικώς, οι μετρήσεις του Stevens παρουσιάζουν διάφορους περιορισμούς:

1. Οι μετρήσεις βαθμονόμησης διεξήχθησαν (σε εργαστηριακό περιβάλλον) με μόνο μία τεχνητή πηγή λευκού θορύβου
2. Μόνο λίγες συσκευές ενός μοντέλου κινητού τηλεφώνου ερευνήθηκαν λεπτομερώς

Η πιστοποίηση της βαθμονόμησης της εφαρμογής NoiseTube έγινε από τον Stevens (2012) σε εργαστηριακά και εξωτερικά περιβάλλοντα. Η διαδικασία πιστοποίησης στο εργαστήριο αποτελούνταν από τη μέτρηση σημάτων λευκού θορύβου σε 16 θορυβικές εντάσεις με μία τηλεφωνική συσκευή σε δωμάτιο χωρίς ηχώ. Οι εντάσεις θορύβου του τηλεφώνου συγκρίθηκαν με τις μετρήσεις ενός συστήματος αναφοράς. Είναι αξιοσημείωτο ότι ο αλγόριθμος βαθμονόμησης που εφαρμόστηκε στο τηλέφωνο ήταν συγκεκριμένα φτιαγμένος για τη συγκεκριμένη συσκευή, το οποίο σημαίνει πως το ίδιο τηλέφωνο χρησιμοποιήθηκε για μετρήσεις βαθμονόμησης και πιστοποίησης. Αυτή η προσέγγιση της βαθμονόμησης παραμένει πάντα πιο ακριβής από μία προσέγγιση που εξαρτάται από το μοντέλο του κινητού, η οποία βασίζεται στις μέσες μετρήσεις από διάφορες συσκευές του συγκεκριμένου μοντέλου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων, τα οποία φαίνονται στο σχήμα 2.3, ο Stevens (2012) επισήμανε ένα μέσο απόλυτο σφάλμα γύρω στο 1 dB, το οποίο πέφτει κάτω από τα 0.6 dB για θορυβικές εντάσεις κάτω των 100 dBA. Το σχήμα 2.3 δείχνει επίσης καθαρά τον περιορισμό του αλγόριθμου βαθμονόμησης σε υψηλές εντάσεις ξεκινώντας από τα 95 dBA εξαιτίας του κορεσμού της ακουστικής αλυσίδας του κινητού τηλεφώνου. Η απόκριση συχνότητας του βαθμονομημένου τηλεφώνου αξιολογήθηκε κάνοντας χρήση καθαρών ηχητικών τόνων διαφορετικών συχνοτήτων και εντάσεων. Ο Stevens (2012) ανέφερε ότι η

απόκριση συχνότητας του βαθμονομημένου κινητού δεν κάλυπτε τις απαιτήσεις ώστε να θεωρηθεί το τηλέφωνο ως επαγγελματικό ηχόμετρο.



Σχήμα 2.3: Μετρήσεις πιστοποίησης για τον λευκό θόρυβο που έγιναν από το βαθμονομημένο Nokia 5230 και ένα επαγγελματικό ηχόμετρο (Stevens, 2012)

Επομένως, οι αποκλίσεις μεταξύ των μεθοδολογιών μέτρησης επισημαίνουν την έλλειψη μίας σταθερής μεθοδολογίας για την αξιολόγηση των κινητών τηλεφώνων ως ηχόμετρα. Οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν είτε με μετρήσεις σε εργαστηριακά περιβάλλοντα με τεχνητό θόρυβο είτε με μετρήσεις σε πραγματικές συνθήκες. Επιπλέον, ο αριθμός των μοντέλων τηλεφώνων που ερευνήθηκε είναι περιορισμένος (iPad 2, iPhone 3GS, Nokia N95 8GB, Nokia 5230s), πάντα με το ενσωματωμένο μικρόφωνο του καθενός και με μόνο μία συσκευή από το κάθε μοντέλο. Ο Stevens (2012) παρείχε μέχρι σήμερα την πιο εκτενή έρευνα σχετικά με τα κινητά τηλέφωνα ως ηχόμετρα, όμως η μελέτη του ερεύνησε μόνο ένα μοντέλο τηλεφώνου (και το ενσωματωμένο του μικρόφωνο) και ακολούθησε μία διαδικασία με διάφορους περιορισμούς.

### 2.3. Σφάλμα τοποθέτησης του μικροφώνου και μη τετριμμένες τοποθεσίες

Η τοποθέτηση του μικροφώνου που απαιτείται για τα δοσίμετρα θορύβου και τα ηχόμετρα συνοψίζεται στον πίνακα 2.3. Επιπρόσθετα σε αυτές τις τετριμμένες τοποθετήσεις του μικροφώνου, έχουν συζητηθεί και μελετηθεί στη βιβλιογραφία και άλλες τοποθετήσεις για μετρήσεις της έκθεσης στο θόρυβο:

1. Μέσα στις συσκευές, το οποίο παρουσιάζεται στα άρθρα των Michael κ.α. (2011) και Mazur και Voix (2013). Τα μικρόφωνα ενσωματώνονται μέσα στο ακουστικό, το οποίο εισέρχεται στο αυτί.
2. Οι Byrne και Reeves (2008) ερευνήσαν μη τετριμμένες τοποθετήσεις θορυβικών δοσίμετρων, όπως στο στήθος του ατόμου ή με το μικρόφωνο να κρέμεται από το καπέλο του ατόμου.

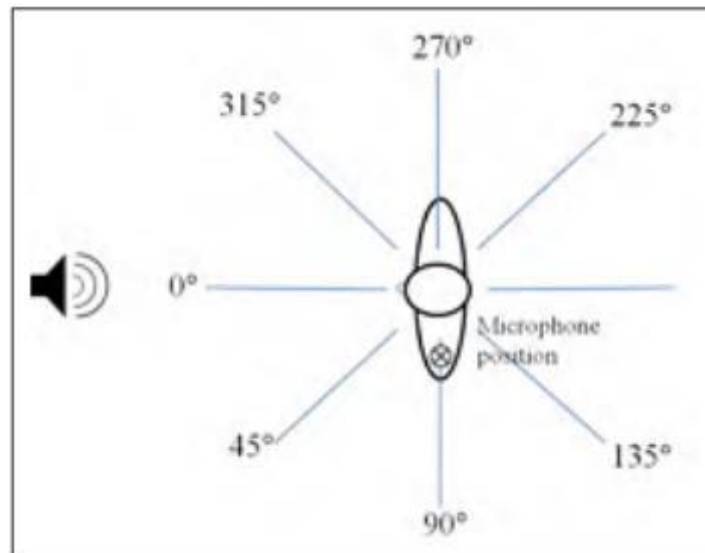
Όργανο	Τοποθεσία μικροφώνου
Θορυβικό δοσίμετρο	Στην κορυφή του ώμου στην πλευρά του πιο εκτεθειμένου αυτιού: τουλάχιστον 0.1 μέτρα από την είσοδο του εξωτερικού καναλιού του αυτιού και περίπου 0.04 μέτρα πάνω από τον ώμο
Ηχόμετρο	Στο κεντρικό επίπεδο του κεφαλιού του εργάτη, σε μία γραμμή με τα μάτια, με τον άξονά του παράλληλο στην όραση του εργάτη, και χωρίς την παρουσία του εργάτη. Αν ο εργάτης πρέπει να είναι παρών: 0.1 μέτρα και 0.4 μέτρα από την είσοδο του εξωτερικού καναλιού του αυτιού και δίπλα στο πιο εκτεθειμένο αυτί.

Πίνακας 2.3: Προτιμώμενες τοποθεσίες του μικροφώνου ISO (2008)

Το σφάλμα τοποθέτησης του μικροφώνου έχει οριστεί από τους Giardino και Seiler (1996) ως "η διαφορά μεταξύ της μέτρησης του ακουστικού πεδίου που επηρεάζεται από την παρουσία του ατόμου με τη μέτρηση του ακουστικού πεδίου χωρίς την παρουσία ατόμου μετρούμενη στο κέντρο του κεφαλιού". Το σφάλμα αυτό προκαλείται από τις σκιές του σώματος και τις ανακλάσεις. Ο Seiler (1982) έδειξε ότι το σφάλμα τοποθέτησης του μικροφώνου εξαρτάται ιδιαίτερα από τη συχνότητα, τον τύπο του ακουστικού πεδίου (διάχυτο ή ελεύθερο πεδίο) και τη γωνία μεταξύ της ηχητικής πηγής και της θέσης του μικροφώνου σε καταστάσεις ελεύθερου πεδίου. Στη μελέτη τους σχετικά με τις αβεβαιότητες που σχετίζονται με τις μετρήσεις θορυβικών δοσίμετρων, οι Giardino και Seiler (1996) επισήμαναν ότι το σφάλμα του μικροφώνου είναι γενικώς μεγαλύτερο από όλα τα σφάλματα που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά των οργάνων. Επίσης απέδειξαν πως η ακρίβεια σε αυτές τις μετρήσεις είναι στο εύρος των  $\pm 2.0$  dBA για τις καταστάσεις στις οποίες οι μετρήσεις διεξάγονται σε διάχυτο πεδίο ή όταν "το μικρόφωνο του δοσίμετρου είναι τοποθετημένο στον ώμο του πιο εκτεθειμένου αυτιού του εργάτη". Τελικώς, κατέληξαν σε δύο κύρια συμπεράσματα:

1. στις περιπτώσεις που ο εργάτης βρίσκεται σε κίνηση σε σχέση με τη θορυβική πηγή, τα σφάλματα των μετρήσεων προσεγγίζουν εκείνα του διάχυτου πεδίου"
2. αν το μικρόφωνο του θορυβικού δοσίμετρου είναι συνεχώς τοποθετημένο στην πλευρά του πιο εκτεθειμένου αυτιού, τα συνολικά σφάλματα που παρουσιάζονται στη μέτρησή του ελαχιστοποιούνται"

Ο πίνακας 2.4 συνοψίζει τα αποτελέσματα των Giardino και Seiler (1996) και δείχνει τον τρόπο με τον οποίο το ακουστικό πεδίο επηρεάζει την εκτίμηση της μέτρησης του δοσίμετρου. Η τοποθέτηση του μικροφώνου (στον αριστερό ώμο) και η γωνία που αναφέρονται στον πίνακα απεικονίζονται στο σχήμα 2.4. Σχετικά με την επίδραση του ακουστικού πεδίου, σύμφωνα με τον Giardino κ.α. (1976), περιβάλλοντα με μικρές ή και καθόλου ανακλαστικές επιφάνειες ή με εξαιρετικά κατευθυντικές πηγές θορύβου επιτείνουν το σφάλμα τοποθέτησης του μικροφώνου.

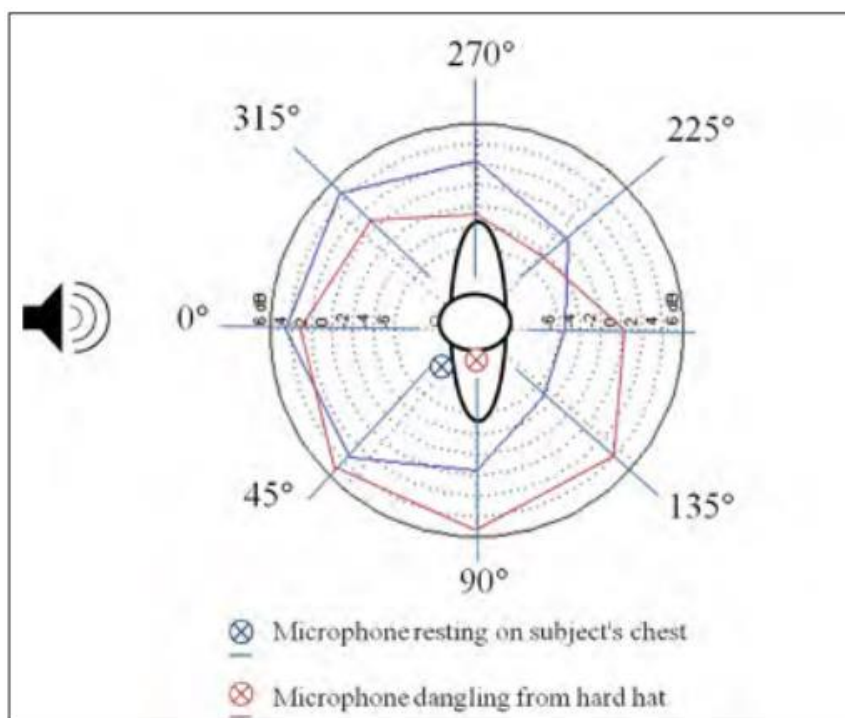


Σχήμα 2.4: Οι γωνίες τοποθέτησης του μικροφώνου (Stevens, 2012)

Διάχυτο πεδίο ή γωνία (ελεύθερο πεδίο)	Εκτιμώμενο σφάλμα δοσίμετρου
Διάχυτο πεδίο	Υπερεκτίμηση κατά 1 dB
0° έως 225°	Υπερεκτίμηση κατά 3 dB
270° έως 315°	Υποεκτίμηση κατά 4.3 dB

Πίνακας 2.4: Διαφορά μεταξύ του θορύβου εκτιμώμενου από ένα πραγματικό και ιδανικό θορυβικό δοσίμετρο

Η μελέτη σχετικά με τις μη τετριμμένες τοποθετήσεις του μικροφώνου από τους Byrne και Reeves (2008) δείχνει ότι, τα συνολικά σφάλματα εξαιτίας της τοποθέτησης είναι πολύ μικρά στο διάχυτο πεδίο. Στο ελεύθερο πεδίο, τα σφάλματα εξαρτώνται ιδιαίτερος από τη θέση του μικροφώνου, τη θέση της πηγής του θορύβου και το φάσμα του θορύβου. Στο διάχυτο πεδίο και όταν το μικρόφωνο βρίσκεται στο στήθος του ατόμου ή κρέμεται από το καπέλο του, οι εντάσεις θορύβου στάθμης A υπερεκτιμώνται κατά περίπου 1 dB και υποεκτιμώνται ελαφρώς κατά λιγότερο από 1 dB αντιστοίχως. Τα σφάλματα τοποθέτησης του μικροφώνου στο ελεύθερο πεδίο, για το φάσμα θορύβου μηχανημάτων, σε διάφορες γωνίες απεικονίζεται στο σχήμα 2.5. Για να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα, το Exposure Smart Protector, κατασκευασμένο από την doseBusters, που είναι η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη των Byrne και Reeves (2008), υπολογίζει την έκθεση στο θόρυβο από την υψηλότερη θορυβική ένταση που λαμβάνεται από ένα εκ των δύο μικροφώνων, τοποθετημένων σε κάθε πλευρά του κεφαλιού. Αυτή η προσέγγιση διαφέρει από εκείνη με το μικρόφωνο στον ώμο και σύμφωνα με τους Byrne και Reeves (2008) "παρέχει μία "συντηρητική" εκτίμηση της πραγματικής έκθεσης στο θόρυβο ενός εργάτη σε κατευθυντικό ηχητικό πεδίο".



Σχήμα 2.5: Μέσα σφάλματα τοποθέτησης μικροφώνου (σε dB) για τις θέσεις “Αριστερό στήθος” και “Κρεμάμενο στα αριστερά” (Stevens, 2012)

#### 2.4. Μετρήσεις έκθεσης στο θόρυβο μέσω κινητών τηλεφώνων

Οι περισσότερες εφαρμογές που έχουν σχεδιαστεί συγκεκριμένα για έκθεση στο θόρυβο σε εργασιακό περιβάλλον χαρακτηρίζονται από μία λειτουργικότητα ηχητικής μέτρησης. Λίγες εφαρμογές παρέχουν ένα χαρακτηριστικό διαμορφούμενου θορυβικού δοσίμετρου, όπως η εφαρμογή SoundOfTheCity, από τον Ruge κ.α. (2013) για τηλέφωνα Android και η εφαρμογή SoundMeter της Faberacoustical (2013) για συσκευές iOS. Μολαταύτα, η ακρίβεια στις μετρήσεις τους δεν έχει εξετασθεί ποτέ. Γενικώς, αυτές οι εφαρμογές έχουν σχεδιαστεί κυρίως για να χρησιμοποιηθούν με το τηλέφωνο κρατούμενο στο χέρι και αυτή η προσέγγιση δεν είναι και η πιο κατάλληλη για μακροπρόθεσμες μετρήσεις της έκθεσης στο θόρυβο.

Η πεδιακή βαθμονόμηση της εφαρμογής NoiseTube, που τη δημιούργησε ο Steves (2012), παραμένει μέχρι σήμερα η πιο εκτενής μελέτη που ερευνά τη μέτρηση θορύβου μέσω τηλεφώνου σε πραγματικό περιβάλλον. Αποτελούνταν από τη μέτρηση θορυβικών εντάσεων κατά τη διάρκεια ενός περίπατου σε αστική περιοχή με ένα φορητό επαγγελματικό ηχόμετρο και ένα κινητό τηλέφωνο που είχε βαθμονομηθεί με αλγόριθμο εξαρτώμενο από τη συγκεκριμένη συσκευή. Παρόλο που η διαφορά στις εντάσεις του θορύβου μετά το συνολικό περίπατο των 81 λεπτών ήταν λιγότερο από 1 dB, ο Stevens (2012) δεν κατέληξε σε απτά συμπεράσματα με βάση τη μέτρηση: καταρχήν, σε περιόδους που φυσούσε αρκετά οι εντάσεις θορύβου του τηλεφώνου υπερεκτιμώνταν κατά 10 dBA και, επίσης, ακόμα σημαντικότερο, οι δύο συσκευές δεν έκαναν τις ίδιες μετρήσεις. Ενώ το ηχόμετρο μετρούσε την ενός δευτερολέπτου ένταση του θορύβου,  $L_{A,S}$ , κάθε δευτερόλεπτο, η εφαρμογή NoiseTube μετρούσε την ενός δευτερολέπτου ένταση  $L_{A,eq}$  κάθε δύο δευτερόλεπτα. Αφού ο στόχος της NoiseTube είναι να μετράει τον θόρυβο του εξωτερικού περιβάλλοντος, η μέτρηση πιστοποίησής της διεξήχθη σε αστικό περιβάλλον όπου, σύμφωνα με τον Steves (2012), η βασική πηγή θορύβου ήταν ο θόρυβος της κυκλοφορίας. Επομένως, το εύρος των



μετρούμενων θορυβικών εντάσεων δεν αντιπροσώπευε απόλυτα τα πραγματικά περιβάλλοντα έκθεσης στο θόρυβο, τα οποία είναι κυρίως οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

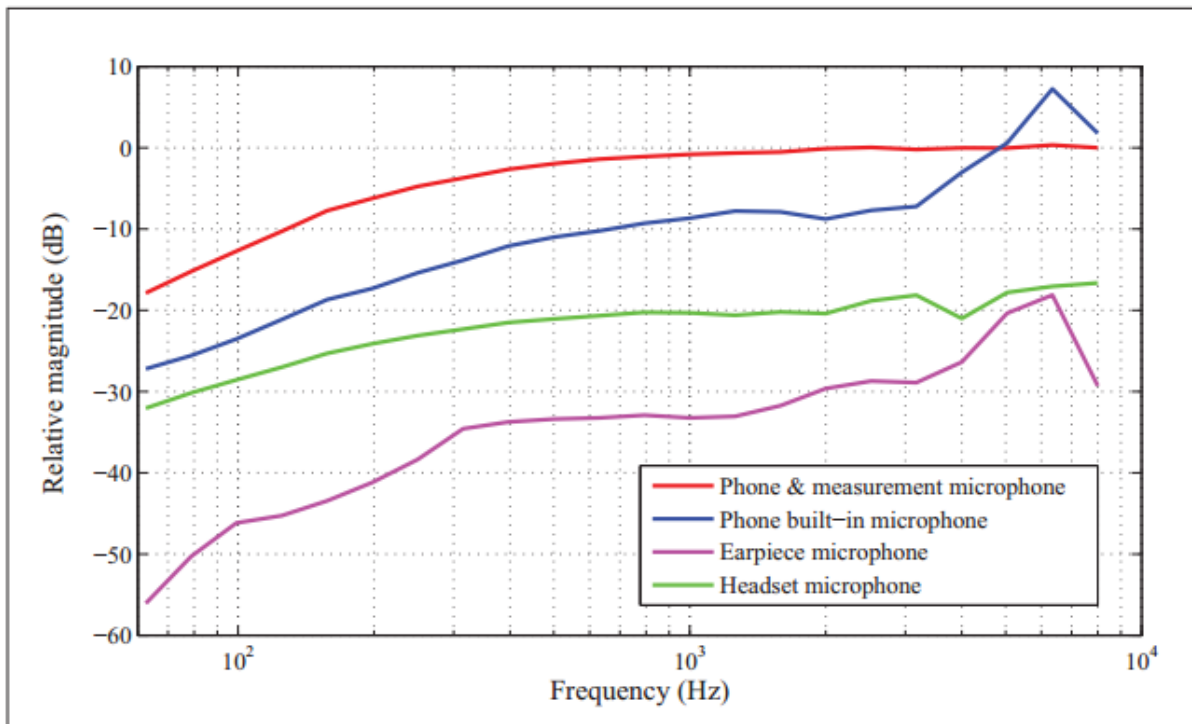
Η Rana κ.α. (2010) ερεύνησαν τα σφάλματα σχετικά με τις μετρήσεις των τηλεφώνων σε πραγματικά περιβάλλοντα κάνοντας χρήση μίας εφαρμογής ηχόμετρου και τεσσάρων διαφορετικών τοποθετήσεων των τηλεφώνων: κρατούμενο στο χέρι, μέσα στην τσέπη του παντελονιού, πάνω στη ζώνη και μέσα στην τσάντα. Σύμφωνα με τη Rana κ.α. (2010), η ηχητική πηγή ήταν "μία αλυσίδα από ευρείς παλμούς ενός δευτερολέπτου ποικίλου πλάτους". Ακολουθώντας μία διαδικασία μέτρησης που δεν είναι διαθέσιμη στη βιβλιογραφία, οι εντάσεις θορύβου που μετρήθηκαν με το ηχόμετρο συγκρίθηκαν με τις καταγραφές της εφαρμογής ηχόμετρου. Η Rana κ.α. (2010) δήλωσαν ότι η εφαρμογή τους είχε ακρίβεια  $\pm 2.7$  dB για το τηλέφωνο κρατούμενο στο χέρι,  $\pm 3.1$  dB για το τηλέφωνο στην τσέπη του παντελονιού και  $\pm 4.1$  dB για το τηλέφωνο μέσα στην τσάντα.

## **2.5. Ηλεκτροακουστικοί περιορισμοί των κινητών τηλεφώνων και των εξωτερικών μικρόφωνων**

Οι μετρήσεις που παρουσιάζονται σε αυτήν την ενότητα περιλαμβάνουν μετρήσεις που επικεντρώθηκαν στις αποκρίσεις συχνότητας των τηλεφώνων και των εξωτερικών μικρόφωνων και στον κορεσμό που εμφανίζεται σε υψηλές εντάσεις του θορύβου. Όλες οι μετρήσεις των κινητών τηλεφώνων διεξήχθησαν χρησιμοποιώντας μία εφαρμογή μέτρησης θορύβου χωρίς κανένα είδος βαθμονόμησης. Οι μετρήσεις με το ενσωματωμένο μικρόφωνο και με τα εξωτερικά μικρόφωνα διεξήχθησαν με την ίδια τηλεφωνική συσκευή.

### **2.5.1. Αποκρίσεις συχνότητας κινητών τηλεφώνων και εξωτερικών μικρόφωνων**

Οι αποκρίσεις συχνότητας υπολογίστηκαν από τις μετρήσεις σε ένα θάλαμο με περιορισμένη ηχώ. Το σχήμα 2.6 παρουσιάζει το σχετικό πλάτος της απόκρισης συχνότητας της μέτρησης του τηλεφώνου (με το εξωτερικό μικρόφωνο, τα ακουστικά, και το τηλέφωνο με το ενσωματωμένο μικρόφωνο), αφού αφαιρεθεί από το πλάτος των μετρήσεων ενός συστήματος αναφοράς. Μπορεί να φανεί από το σχήμα 2.6 και συγκεκριμένα από την απόκριση συχνότητας της μέτρησης που διεξήχθη με το μικρόφωνο αναφοράς που ήταν συνδεδεμένο στο τηλέφωνο, ότι το σήμα του μικροφώνου επεξεργάζεται ηχητικά σαν ένα υπερπερατό φίλτρο που παρουσιάζει roll-off γύρω στα 380 Hz και ρυθμό 6 dB/οκτάβα. Αυτή η επεξεργασία εμφανίστηκε επίσης στις μετρήσεις του ενσωματωμένου μικρόφωνου και των ακουστικών καθώς φαίνονται παρόμοια σχήματα στα αριστερά των αποκρίσεων συχνότητάς τους. Ακόμα, μπορούν να φανούν μη γραμμικότητες στο πλάτος της απόκρισης συχνότητας για συχνότητες άνω του 1 kHz στο σχήμα 2.6: οι αποκρίσεις συχνότητας του ενσωματωμένου μικρόφωνου και του ακουστικού του τηλεφώνου παρουσιάζουν και οι δύο μία κορυφή κεντραρισμένη γύρω στα 6350 Hz που φτάνει μέχρι τα 10 dB.

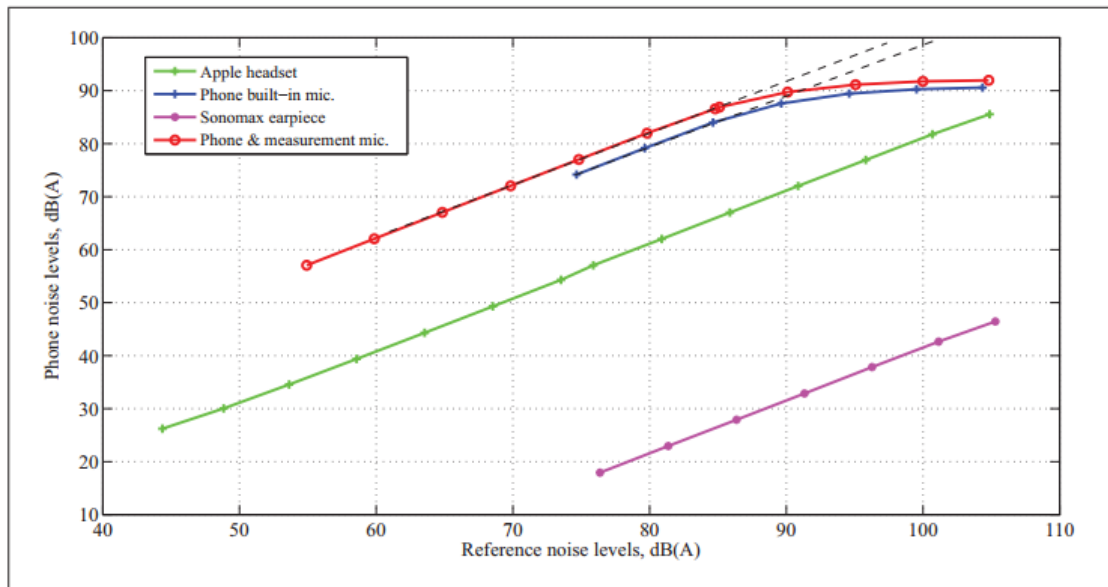


Σχήμα 2.6: Σχετικό πλάτος των αποκρίσεων συχνότητας αφού αφαιρεθεί από το πλάτος του συστήματος αναφοράς, κατά τη μέτρηση μίας εκ των πηγών στα 90 dBA (Stevens, 2012)

### 2.5.2. Κορεσμός του ηχητικού σήματος του τηλεφώνου σε υψηλές εντάσεις του θορύβου

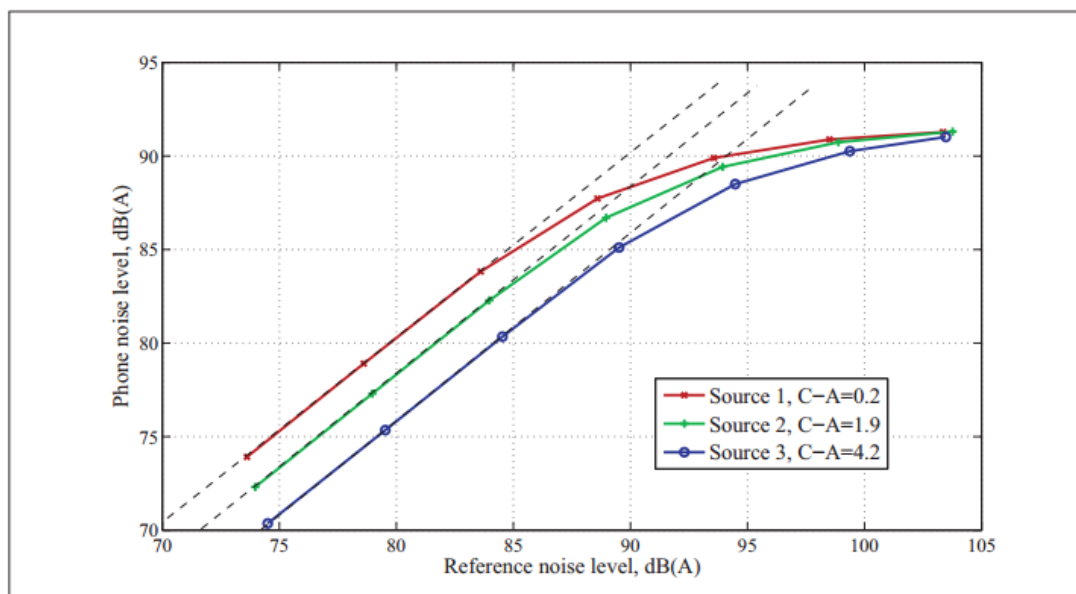
Ο κορεσμός του ηχητικού σήματος του τηλεφώνου σε υψηλές εντάσεις του θορύβου ερευνήθηκε κάνοντας χρήση και της φασματικής ανάλυσης και των συνολικών εντάσεων του θορύβου. Το σχήμα 2.7 δείχνει τις εντάσεις στάθμης A του θορύβου του τηλεφώνου μετρούμενες σε θάλαμο χωρίς ηχώ. Επισημαίνει τα εξής:

1. Μεγάλη μεταβολή στην ευαισθησία της συσκευής. Σε μία ένταση αναφοράς των 80 dBA, η διαφορά (offset) μεταξύ των ακουστικών και του ακουστικού του τηλεφώνου ήταν 40 dBA και μεταξύ των ακουστικών και του ενσωματωμένου μικρόφωνου ήταν 16 dBA.
2. Η γραμμικότητα της έντασης του θορύβου του ακουστικού του τηλεφώνου και των ακουστικών για ένα εύρος εντάσεων από 75 μέχρι 105 dBA. Σε μία ένταση αναφοράς των 105 dBA, οι συσκευές μέτρησαν 47 και 86 dBA, αντιστοίχως.
3. Μη γραμμικότητες στην ένταση για τις μετρήσεις του ενσωματωμένου μικρόφωνου και για τις μετρήσεις που διεξήχθησαν με το μικρόφωνο αναφοράς συνδεδεμένο στο κινητό τηλέφωνο. Ο κορεσμός εμφανίστηκε σε μία ένταση θορύβου αναφοράς των 86 dBA και σε ένταση θορύβου του τηλεφώνου στα 85 dBA.
4. Μία μέγιστη ένταση θορύβου στην οποία υφίσταται ο κορεσμός για τις μετρήσεις του ενσωματωμένου μικρόφωνου, στην οποία έφτασε για ένταση αναφοράς στα 104 dBA και για ένταση τηλεφώνου στα 91 dBA.

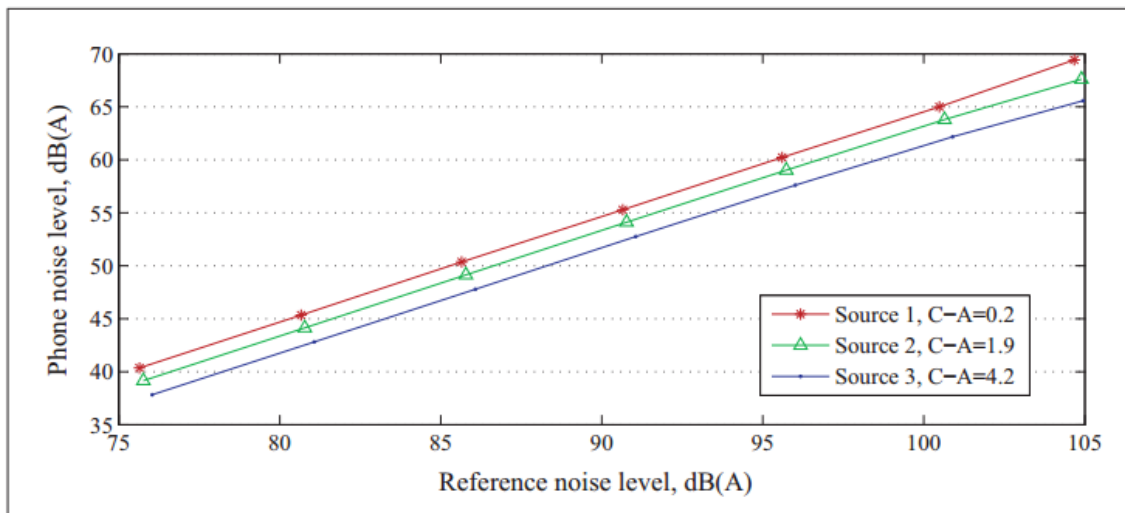


Σχήμα 2.7: Εντάσεις θορύβου του κινητού τηλεφώνου μετρούμενες στον θάλαμο χωρίς ηχώ (Stevens, 2012)

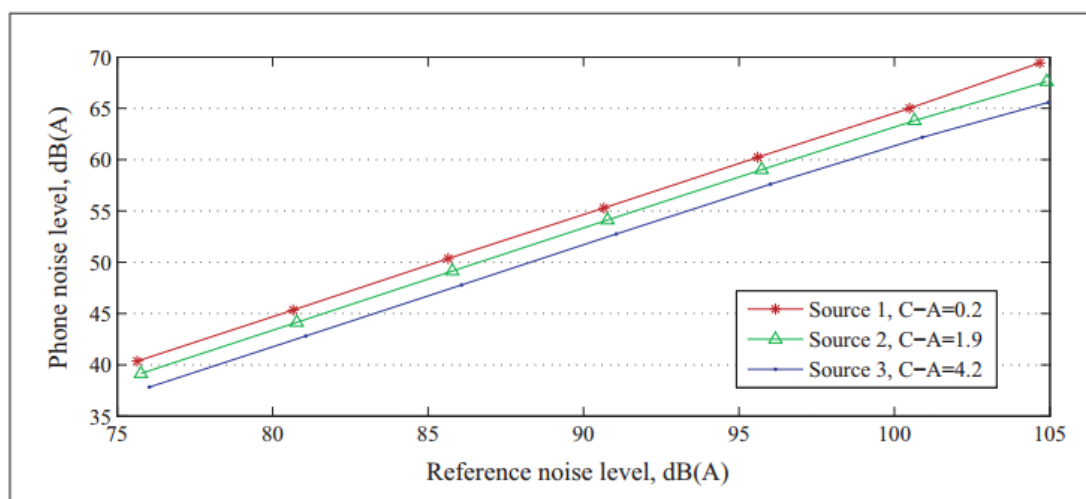
Το σχήμα 2.8 παρουσιάζει τις εντάσεις θορύβου του ενσωματωμένου μικρόφωνου και τις εντάσεις αναφοράς που μετρήθηκαν στον θάλαμο και για τις τρεις πηγές. Ενώ η διαφορά μεταξύ των εντάσεων αναφοράς μετρούμενων από τις τρεις πηγές ήταν 0.9 dBA, είναι φανερό πως τα offset μεταξύ των εντάσεων του τηλεφώνου μετρούμενων από τις πηγές 1 και 3, σε μία ένταση θορύβου αναφοράς των 85 dBA, ήταν 4.4 dBA. Το σχήμα 2.8 επισημαίνει επίσης ότι, καθώς ο κορεσμός αυξάνεται, το offset μεταξύ της μέτρησης της κάθε πηγής μειώνεται, από 4.4 dBA σε λιγότερο από 0.4 dBA. Για τα ακουστικά και το ακουστικό του τηλεφώνου, το offset μεταξύ των μετρήσεων των πηγών 1 και 3 ήταν σταθερό στα εύρη πάνω από τις εντάσεις. Τα σχήματα 2.9 και 2.10 δείχνουν ένα offset των 1.3 dBA για τις μετρήσεις των ακουστικών και ένα offset των 3 dBA για τη μέτρηση του ακουστικού του τηλεφώνου.



Σχήμα 2.8: Εντάσεις θορύβου για το ενσωματωμένο μικρόφωνο κατά τη μέτρηση και των τριών πηγών στον θάλαμο χωρίς ηχώ (Stevens, 2012)



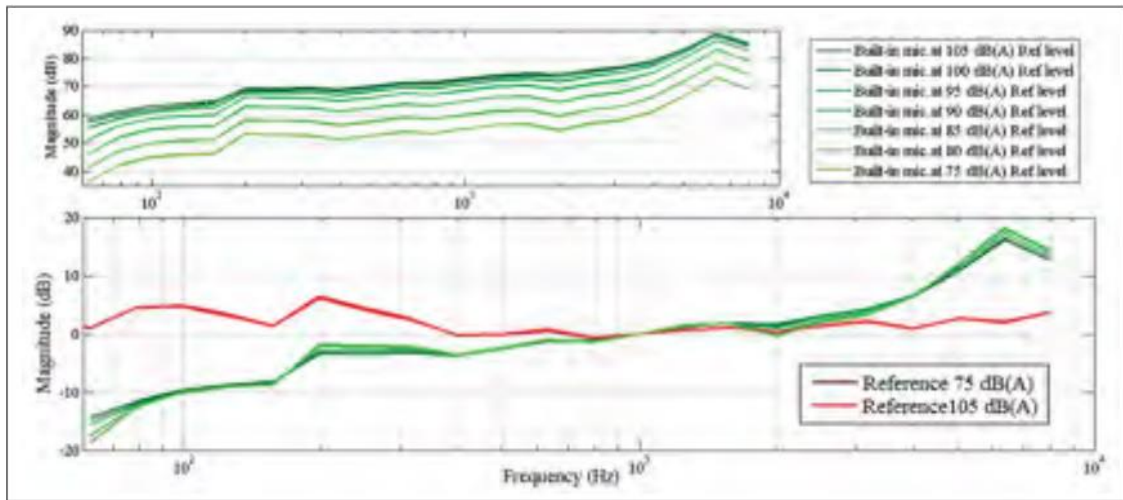
Σχήμα 2.9: Μετρούμενες εντάσεις του θορύβου από το ακουστικό του τηλεφώνου, χωρίς βαθμονόμηση, όπως συγκρίθηκαν με τις εντάσεις αναφοράς κατά τη μέτρηση των τριών πηγών στο θάλαμο χωρίς ηχώ (Stevens, 2012)



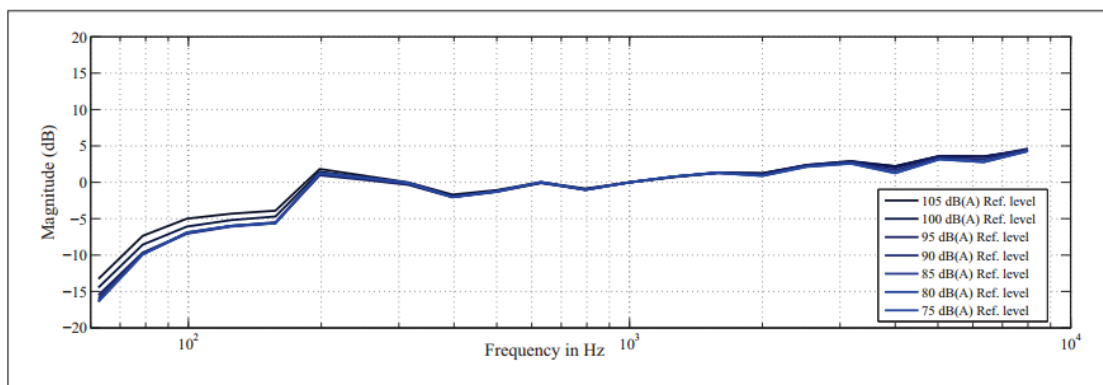
Σχήμα 2.10: Μετρούμενες εντάσεις του θορύβου από τα ακουστικά, χωρίς βαθμονόμηση, όπως συγκρίθηκαν με τις εντάσεις αναφοράς κατά τη μέτρηση των τριών πηγών στο θάλαμο χωρίς ηχώ (Stevens, 2012)

Μία φασματική ανάλυση του κορεσμού σε υψηλές εντάσεις παρουσιάζεται για το ενσωματωμένο και το εξωτερικό μικρόφωνο στα σχήματα 2.11, 2.12, και 2.13. Το πάνω γράφημα του σχήματος 2.11 δείχνει τις αποκρίσεις συχνότητας για τις μετρήσεις που διεξήχθησαν με το ενσωματωμένο μικρόφωνο για την πηγή 1 και για εντάσεις του θορύβου από 75 μέχρι 105 dBΑ. Το κάτω γράφημα δείχνει τις αποκρίσεις συχνότητας για τις επτά εντάσεις θορύβου, με το πλάτος τους να ομαλοποιείται στο 1 kHz. Από το σχήμα 2.12 (μετρήσεις με το μικρόφωνο αναφοράς συνδεδεμένο στο κινητό τηλέφωνο) και από το 2.11 (μετρήσεις του ενσωματωμένου μικρόφωνα) φαίνονται μετατοπίσεις 1 με 3 dB στο πλάτος της απόκρισης συχνότητας σε πολλαπλά εύρη συχνοτήτων και για εντάσεις θορύβου άνω των 85 dBΑ. Παρόλα αυτά, οι αποκρίσεις συχνότητας των συσκευών των οποίων οι εντάσεις του θορύβου δεν παρουσίασαν κορεσμό στις υψηλές τιμές τους (το ακουστικό του τηλεφώνου και

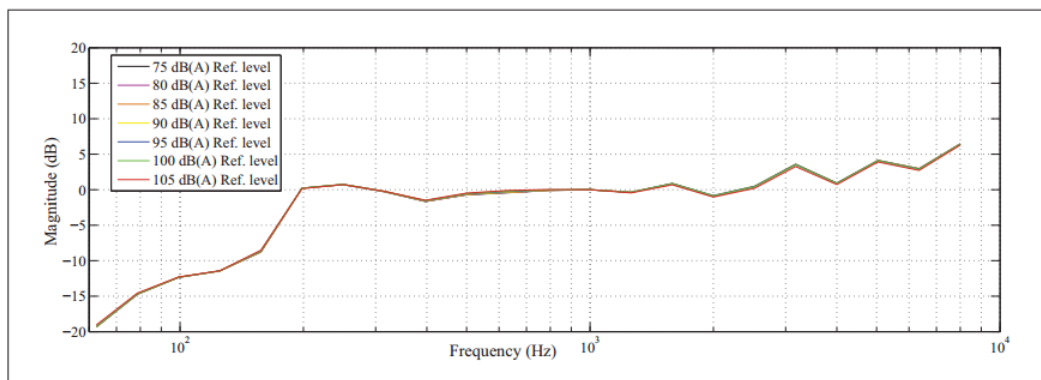
τα ακουστικά) δεν είχαν παρόμοιες μετατοπίσεις στο πλάτος τους, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.13, το οποίο παρουσιάζει την απόκριση συχνότητας των μετρήσεων για τα ακουστικά.



Σχήμα 2.11: Αποκρίσεις συχνότητας των μετρήσεων που διεξήχθησαν με το ενσωματωμένο μικρόφωνο (πάνω), αποκρίσεις συχνότητας με το πλάτος ομαλοποιημένο στα 1 kHz (κάτω) (Stevens, 2012)



Σχήμα 2.12: Αποκρίσεις συχνότητας των μετρήσεων που διεξήχθησαν με το μικρόφωνο αναφοράς συνδεδεμένο στο κινητό τηλέφωνο με το πλάτος ομαλοποιημένο στα 1 kHz (Stevens, 2012)



Σχήμα 2.13: Αποκρίσεις συχνότητας των μετρήσεων που διεξήχθησαν με τα ακουστικά με το πλάτος ομαλοποιημένο στα 1 kHz (Stevens, 2012)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΜΕΣΩ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΦΩΝΩΝ

#### 3.1. Η έρευνα των Ghanem και Handzel (2015)

##### 3.1.1. Η εφαρμογή uHear

Η εφαρμογή uHear v1.0 (Unitron, Victoria, BC, Canada) τρέχει σε συσκευές iOS (iPod, iPhone, iPad) και είναι διαθέσιμη για δωρεάν λήψη από το iTunes store. Αποτελείται από τρεις ενότητες: (1) ένα test ευαισθησίας σε καθαρό ηχητικό τόνο, (2) ένα test ομιλίας με θόρυβο, και (3) ένα ερωτηματολόγιο. Για τους σκοπούς της έρευνας των Ghanem και Handzel (2015), οι συμμετέχοντες εκπλήρωσαν το test ευαισθησίας και το ερωτηματολόγιο. Το ερωτηματολόγιο περιλαμβάνει 12 ερωτήσεις σε συνήθεις ακουστικές συνθήκες. Αυτές οι ερωτήσεις υιοθετήθηκαν από το HDDA (The Hearing-Department Daily Activities Scale), το οποίο έχει σχεδιαστεί για χρήση από οικογενειακούς γιατρούς.

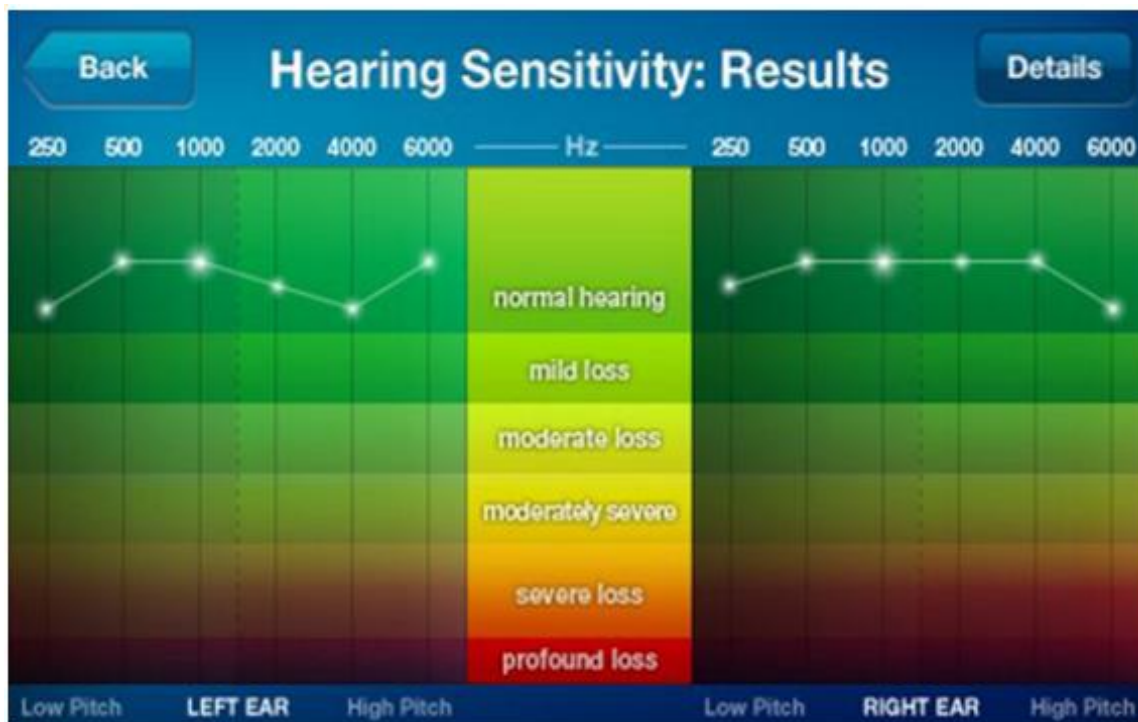
Το test ηχητικής ευαισθησίας της uHear καθορίζει τα κατώφλια για την αγωγιμότητα του αέρα στα 250, 500, 1.000, 2.000, 4.000 και 6.000 Hz για κάθε χρόνο. Για τους σκοπούς της έρευνας χρησιμοποιήθηκε ένα iPhone 4S (Apple Inc., Cupertino, CA, USA). Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν ακουστικά Sennheiser CX300 (Sennheiser GmbH & Co., Germany) σε τρία διαθέσιμα μεγέθη και με ελαστικά καλύμματα που μπορούν να αντικατασταθούν. Η uHear κάνει χρήση ενός παλμού διάρκειας 267 ms και μίας απλής “10 dB πάνω και 5 dB κάτω” προσέγγισης. Το χαμηλότερο κατώφλι με δύο θετικές αποκρίσεις καταγράφεται ως η ηχητική ευαισθησία. Η χρονική καθυστέρηση ανάμεσα στους ηχητικούς τόνους είναι τυχαία για την αποφυγή πρόληψης. Στο τέλος της διαδικασίας μέτρησης, τα αποτελέσματα ηχητικής ευαισθησίας παρουσιάζονται σύμφωνα με συχνότητες στον οριζόντιο άξονα και τη σοβαρότητα της ηχητικής βλάβης ανά συχνότητα στον κάθετο άξονα (Σχήμα 3.1). Τα ηχητικά κατώφλια των έξι συχνοτήτων υπολογίζονται κατά μέσο όρο (pure tone average, PTA) και ομαδοποιούνται σε έξι βαθμούς σοβαρότητας, από φυσιολογική απώλεια ακοής (normal hearing) έως βαθύτατη απώλεια ακοής (profound loss).

##### 3.1.2. Σχεδιασμός της μελέτης

Η εφαρμογή uHear επαληθεύτηκε για την εγγυρότητά της σε σχέση με τα επαγγελματικά όργανα. Αποδείχθηκε καλό εξεταστικό εργαλείο για να αποκλείει μέση ηχητική βλάβη (PTA>40 dB). Τρία εξεταστικά εργαλεία συγκρίθηκαν στη μελέτη των Ghanem και Handzel (2015):

1. Κατώφλι αγωγιμότητας του αέρα κάνοντας χρήση ενός κλινικού φορητού ακουόμετρου (Interacoustics Clinical Audiometer AC33).
2. Αυτοδιαχειριζόμενο uHear test για ευαισθησία σε καθαρό ηχητικό τόνο χρησιμοποιώντας μία εφαρμογή smartphone.
3. Ερωτηματολόγιο της εφαρμογής uHear.

Τα πρώτα δύο test έλαβαν τόπο σε ένα ήσυχο δωμάτιο που δεν ήταν ηχομονωτικό. Η ένταση του περιβάλλοντος στο δωμάτιο θορύβου μετρήθηκε με ένα ηχόμετρο TES-1350A (TES Electronic Corp., Taipei, Taiwan) και ήταν κυρίως γύρω στα 41-42 dBA και δεν ξεπερνούσε τα 50 dBA ηχητικής πίεσης (Sound Pressure Level, SPL). Και τα τρία test ολοκληρώθηκαν για κάθε άτομο σε τυχαία σειρά και ο χρόνος που χρειάστηκε για την ολοκλήρωση του καθενός μετρήθηκε με ένα χρονόμετρο και καταγράφηκε.



Σχήμα 3.1: Η εμφάνιση των αποτελεσμάτων του test ηχητικής ευαισθησίας της uHear όπως εμφανίζεται σε μία οθόνη smartphone (Ghanem, Handzel, 2015)

### 3.1.3. Ανάλυση δεδομένων

Το PTA (pure tone average) υπολογίστηκε ως η μέση τιμή των ακουστικών κατώφλιων στα 250, 500, 1.000, 2.000, 4.000 και 6.000 Hz. Για τον σκοπό της εξέτασης, η αποτυχία ορίστηκε όταν  $PTA > 40$  dB σε οποιοδήποτε αυτί, εξαιρουμένης της συχνότητας 6.000 Hz, και έτσι, οι βαθμοί 1 και 2 θεωρήθηκαν επιτυχία ενώ οι βαθμοί 3 και πάνω αποτυχία. Τα αποτελέσματα που συλλέχθηκαν από το φορητό ακουόμετρο θεωρήθηκαν ως “το χρυσό πρότυπο” σε αυτή τη ρύθμιση, και έτσι η ευαισθησία και η ακρίβεια των test της uHear εκτιμήθηκαν αναλόγως.

Ζευγαρωτά test χρησιμοποιήθηκαν για να συγκριθούν τα κατώφλια καθαρού ηχητικού τόνου (pure-tone) που βρέθηκαν μέσω της εφαρμογής uHear, με τα κατώφλια που βρέθηκαν από το φορητό ακουόμετρο. Για τον υπολογισμό της συσχέτισης μεταξύ του ερωτηματολογίου της uHear και των μετρήσεων του ακουόμετρου έγινε χρήση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης του Pearson. Η στατιστική σημαντικότητα ορίστηκε για  $P < 0.05$ . Για την εφαρμογή όλων των στατιστικών αναλύσεων χρησιμοποιήθηκαν το Microsoft Excel 2010 για PC (Microsoft Inc, Redmond, WA, USA) και το SPSS 16.0.1 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA).

### 3.1.4. Αποτελέσματα

#### Κατώφλια ακουομετρίας καθαρού ηχητικού τόνου

Τα μέσα κατώφλια καθαρού ηχητικού τόνου ανά συχνότητα όπως μετρήθηκαν από την εφαρμογή uHear και από το φορητό ακουόμετρο φαίνονται στον πίνακα 3.1. Τα μέσα κατώφλια της uHear ήταν υψηλότερα (που σημαίνει χειρότερη ακοή) από τα μέσα κατώφλια του ακουόμετρου για κάθε εξεταζόμενη συχνότητα. Επίσης υπολογίστηκαν οι διαφορές σε dB των μέσων κατωφλίων της εφαρμογής uHear με τα μέσα κατώφλια του ακουόμετρου.

Συχνότητα (Hz)	Μέσο κατώφλι ακουόμετρου (dB)	Μέσο κατώφλι εφαρμογής uHear (dB)	Διαφορά (dB)
250	43.17	60.19	17.02
500	46.25	53.27	7.02
1000	45.77	49.13	3.36
2000	48.27	48.65	0.38
4000	53.46	57.79	4.33
6000	53.27	64.90	11.63

Πίνακας 3.1: Μέσα κατώφλια καθαρών ηχητικών τόνων, όπως μετρήθηκαν από την εφαρμογή uHear και το φορητό ακουόμετρο (Ghanem, Handzel, 2015)

### Ερωτηματολόγιο uHear

Για τον καθορισμό μίας συσχέτισης μεταξύ των αποτελεσμάτων του ερωτηματολογίου της uHear και των κατωφλίων καθαρών ηχητικών τόνων, όπως μετρήθηκαν και από την εφαρμογή και από ένα ακουόμετρο, χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson. Οι συντελεστές υπολογίστηκαν για τις συχνότητες 500, 1000 και 2000 Hz για κάθε αυτί, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.2. Υψηλότερη επίδοση στο ερωτηματολόγιο και χαμηλότερα κατώφλια καθαρού ηχητικού τόνου συνεπάγονται καλύτερη ακοή, και αντιστρόφως. Όλοι οι συντελεστές ήταν βαρυσήμαντοι εκτός από τα ακουομετρικά αποτελέσματα στα 2000 Hz στο αδύναμο αυτί.

Συχνότητα (Hz)	uHear καλό αυτί	uHear κακό αυτί	Φορητό ακουόμετρο καλό αυτί	Φορητό ακουόμετρο κακό αυτί
500	r = -0.42	r = -0.51	r = -0.47	r = -0.47
1000	r = -0.43	r = -0.46	r = -0.50	r = -0.60
2000	r = -0.53	r = -0.43	r = -0.48	r = -0.37

Πίνακας 3.2: Συσχετίσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων του ερωτηματολογίου και των κατωφλίων καθαρού ηχητικού τόνου. Όπου r = ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson (Ghanem, Handzel, 2015)

### Διάρκεια των test

Ο μέσος χρόνος ολοκλήρωσης των test ήταν  $386.31 \pm 96.75$  s με το φορητό ακουόμετρο και  $371.50 \pm 73.31$  s με την εφαρμογή uHear. Ο απαραίτητος χρόνος ολοκλήρωσης και των δύο test ήταν επίσης ασυσχέτιστος με την ηλικία και το φύλο του κάθε εξεταζόμενου.

### Σύνοψη επιτυχίας/αποτυχίας στην εξέταση

Μία σύνοψη των αποτελεσμάτων και των τριών test παρουσιάζεται στον πίνακα 3.3. Τα αποτελέσματα της uHear συμφωνούσαν με αυτά του φορητού ακουόμετρου για 24 από τους εξεταζόμενους (92%). Και οι 21 εξεταζόμενοι που απέτυχαν στο test του ακουόμετρου απέτυχαν και στο test της εφαρμογής, γεγονός που συνεπάγεται 100% ευαισθησία. Δύο εξεταζόμενοι απέτυχαν στη uHear αλλά πέτυχαν στο ακουόμετρο.



Εξεταζόμενοι (αρ.)	Ερωτηματολόγιο uHear	Κατώφλια uHear	Κατώφλια φορητού ακουόμετρου
18	Αποτυχία	Αποτυχία	Αποτυχία
2	Επιτυχία	Επιτυχία	Επιτυχία
3	Επιτυχία	Αποτυχία	Αποτυχία
1	Αποτυχία	Επιτυχία	Επιτυχία
2	Αποτυχία	Αποτυχία	Επιτυχία

Πίνακας 3.3: Σύνοψη των αποτελεσμάτων (Επιτυχία/Αποτυχία)

### 3.1.5. Συζήτηση για τη μελέτη

Στα πλαίσια της μελέτης, ορίστηκε ένα PTA (pure tone average) των 40 dB ως η διαχωριστική γραμμή επιτυχίας/αποτυχίας. Όταν εξεταζόντουσαν από την εφαρμογή uHear, όλα τα άτομα βρέθηκε ότι έχουν χειρότερα κατώφλια ακοής στα 250, 300, 500, 4000 και 6000 Hz από αυτά του φορητού ακουόμετρου. Είχαν ίσα κατώφλια στα 2000 Hz και η μέση διαφορά τους ήταν μόνο 3.36 dB στα 1000 Hz. Σημειωτέον πως οι δύο παραπάνω συχνότητες θεωρούνται οι πιο σημαντικές όσον αφορά σε λειτουργικά σημαντική βαρηκοΐα. Η ασυμφωνία μεταξύ των κατωφλίων της εφαρμογής uHear και του ακουόμετρου σημαίνει ότι, παρόλο που η uHear μπορεί να μην είναι ικανή να καθορίσει επακριβώς το επίπεδο της βλάβης στην ακοή, είναι εξίσου χρήσιμη με ένα φορητό ακουόμετρο για τους σκοπούς της εξέτασης. Επιπλέον, όλοι οι εξεταζόμενοι που απέτυχαν στο test του ακουόμετρου απέτυχαν και στη uHear, που σημαίνει 100% ευαισθησία.

Τα αυξημένα κατώφλια της uHear είναι σύμφωνα με προηγούμενες μελέτες, και μπορεί να οφείλονται σε διάφορους παράγοντες. Ένας είναι η επίδραση της ποιότητας των ακουστικών. Η μη βέλτιστη τοποθέτηση των ακουστικών στο εξωτερικό του τηλεφώνου μπορεί να προκαλέσει φαινόμενο εξαερισμού, δηλαδή διαρροή ακουστικής ενέργειας και είσοδο περιβάλλοντος θορύβου. Μολαταύτα, αυτός ο περιβάλλοντας θόρυβος δεν μπορεί να εξηγήσει τις διαφορές ανάμεσα στην εφαρμογή και το ακουόμετρο, καθώς τα test και των δύο έλαβαν τόπο κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

Το ερωτηματολόγιο της uHear έχει επικυρωθεί ως χρήσιμο όργανο για τον προσδιορισμό της βλάβης στην ακοή στην καθημερινότητα των ανθρώπων με ευαισθησία 80%. Στην έρευνα των Ghanem και Handzel (2015) επιδείχθηκε ευαισθησία 86%. Τα αποτελέσματά της έδειξαν επίσης ότι τα score του ερωτηματολογίου συσχετιζόντουσαν σημαντικά με τα κατώφλια και της uHear και του ακουόμετρου στα 500, 1000, 2000 Hz (με εξαίρεση τα 2000 Hz στο χειρότερο αντί, Πίνακας 3.2). Τρία άτομα πέρασαν το test του ερωτηματολογίου και απέτυχαν και στα δύο ακουστικά test. Η χαμηλότερη ευαισθησία του ερωτηματολογίου σε σχέση με αυτή της uHear και του φορητού ακουόμετρου, αναδεικνύει τις δυσκολίες που υπάρχουν όταν εξετάζονται άτομα για την ακοή τους μόνο με βάση τις δηλώσεις τους. Άλλα εργαλεία για ακουστική εξέταση, όπως το HHIE-S (Hearing Handicap Inventory for the Elderly Screening), είχαν ευαισθησίες που κυμαίνονταν μεταξύ 53 και 72%. Ένας άνθρωπος είναι πιθανόν να απαντήσει ένα ερωτηματολόγιο για την ακουστική του κατάσταση με βάση προσωπικές, οικογενειακές, επαγγελματικές και κοινωνικές ανάγκες. Αυτές οι ανάγκες μπορεί να μειώνονται όσο αυξάνεται η ηλικία. Ένας φαύλος κύκλος μπορεί να δημιουργηθεί καθώς η απώλεια ακοής τήνει να περιορίζει το άτομο κοινωνικά, περιορίζοντας περισσότερο τις επικοινωνιακές ανάγκες ενός ηλικιωμένου και, πιθανόν, μειώνοντας περισσότερο την ευαισθησία της εξέτασης μέσω ερωτηματολογίου.

Οι γηραιότεροι είναι λιγότερο πιθανό να χρησιμοποιήσουν την τεχνολογία και τους υπολογιστές από τους νεότερους. Έχουν προταθεί διάφοροι λόγοι, όπως η έλλειψη πρόσβασης

σε συγκεκριμένες τεχνολογίες, το κόστος, και η έλλειψη γνώσης ή ενδιαφέροντος. Άλλες μελέτες έχουν δείξει ότι οι γνωστικές ικανότητες είναι σημαντικοί παράγοντες πρόβλεψης της χρήσης της τεχνολογίας.

Οι Ghanem και Handzel (2015) υπέθεσαν πως ο απαραίτητος χρόνος για τη συμπλήρωση των βασιζόμενων σε smartphone test μπορεί να αναδείξει την ευκολία χρήσης και την πρακτικότητα της οθόνης αφής. Στην παρούσα μελέτη, οι διάρκειες των test δεν συσχετίζονταν σημαντικά με την ηλικία και ήταν παρόμοιες με αυτές του φορητού ακουόμετρου, δείχνοντας έτσι ότι η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι πρακτική για όλες τις ηλικίες. Παρόλο που κανένας από τους συμμετέχοντες στη μελέτη δεν είχαν χρησιμοποιήσει smartphone στο παρελθόν, όλοι ολοκλήρωσαν τα test επιτυχώς ακολουθώντας λίγες σύντομες οδηγίες. Σε μία τυπική οικιακή χρήση, θέματα πρακτικότητας μπορούν να λυθούν με τη βοήθεια ενός φροντιστή ή ενός μέλους της οικογένειας.

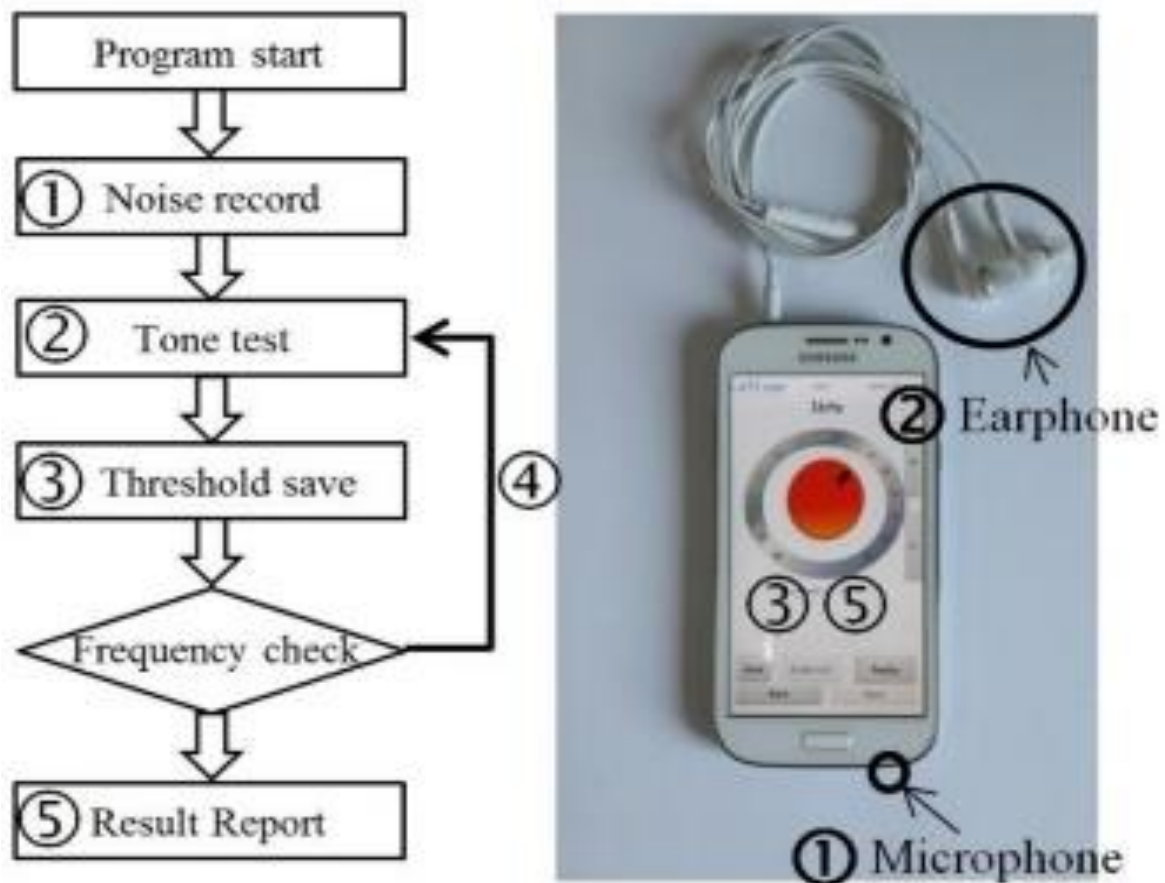
Το ρυθμιστικό και νομικό καθεστώς των εφαρμογών smartphone ή tablet δεν έχει καθιερωθεί ακόμα. Τέτοιες εφαρμογές θεωρούνται ακόμα αρκετά απόμακρες από τις συνήθεις διαδικασίες ώστε να εγκριθούν ως ιατρικές συσκευές. Είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι η εφαρμογή uHear εξυπηρετεί ως ένα test που αποσκοπεί μόνο στην απόφαση για το αν ένα άτομο πρέπει να προβεί σε περαιτέρω εκτίμηση της ακοής του, και όχι στο να αντικαταστήσει ένα κλασικό ακουόγραμμα.

Η μελέτη των Ghanem και Handzel (2015) έγινε με σχετικά μικρή ομάδα δειγμάτων. Χρησιμοποιώντας μεγαλύτερο πληθυσμό ασθενών ίσως είχε ακόμα καλύτερα αποτελέσματα. Μολαταύτα, η εφαρμογή uHear αποδείχθηκε πως είναι ένα πρακτικό και χρήσιμο εξεταστικό όργανο για την ακουστική βλάβη. Διατίθεται δωρεάν στο Internet και είναι ιδιαίτερος εύχρηστο. Τέλος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο σπίτι, γεγονός που την καθιστά ιδιαίτερα ευνοϊκή για όσους δυσκολεύονται να προσεγγίσουν επίσημες ακουομετρικές εγκαταστάσεις.

## **3.2. Η εφαρμογή των Na, Joo, Yang**

### **3.2.1. Διάγραμμα ροής του συστήματος**

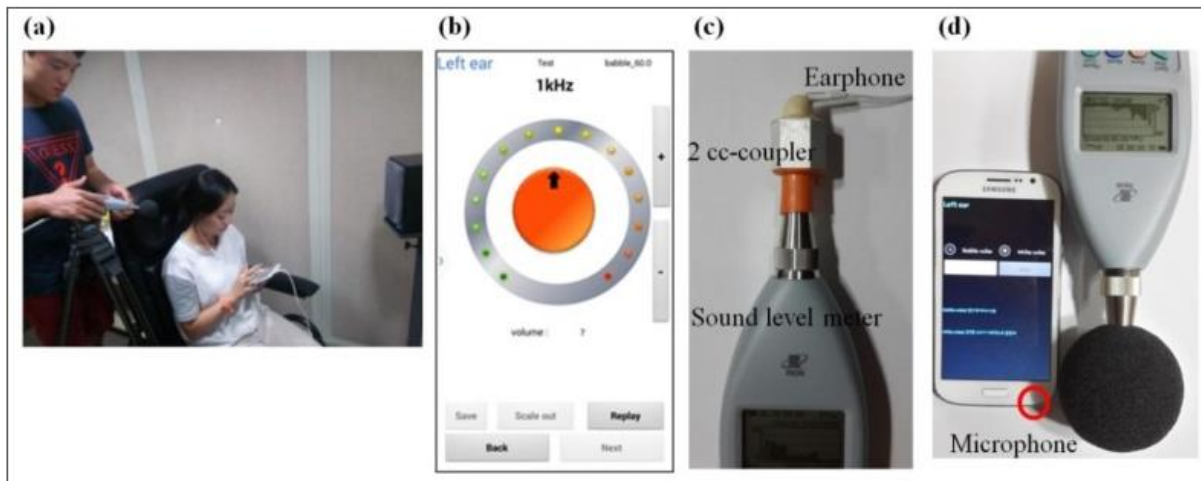
Πριν εξηγηθούν οι μέθοδοι της συγκεκριμένης μελέτης, θα περιγραφεί συνοπτικά η διαδικασία της εξέτασης. Στο σχήμα 3.2 φαίνεται η διαγραμματική αναπαράσταση μίας εφαρμογής και ενός smartphone με ένα ακουστικό. Αφού τρέξουμε την εφαρμογή σε ένα smartphone, ο χρήστης επιλέγει το mode που ανταποκρίνεται στον τύπο θορύβου που αναπαριστά καλύτερα τον υπάρχοντα θόρυβο του περιβάλλοντος. Υπάρχουν δύο mode, είτε λευκός θόρυβος, ο οποίος περιέχει όλες τις συχνότητες και, επομένως, συχνά χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση ενός περίπλοκου περιβάλλοντος, όπως ένα σταθμό μετρό ή μία κατασκευαστική περιοχή, είτε θόρυβος babble, ο οποίος αντιπροσωπεύει τον θόρυβο σε μέρη όπως μία καφετέρια ή ένα δωμάτιο που γίνεται party. Αφού ο χρήστης επιλέξει τον θόρυβο, το smartphone καταγράφει αυτόματα τον περιβάλλοντα θόρυβο για μία περίοδο 5 s χρησιμοποιώντας ένα ενσωματωμένο μικρόφωνο (Σχήμα 3.2). Έπειτα, ο χρήστης συνδέει τα ακουστικά και ξεκινάει τα test καθαρού ηχητικού τόνου για να εκτιμηθεί το κατώφλι ακοής για τις συχνότητες των 500, 1000, 2000, και 4000 Hz.



Σχήμα 3.2: Ένα διάγραμμα ροής της εφαρμογής που δείχνει τα βήματα της ακουστικής εξέτασης σε θορυβώδη περιβάλλοντα (Na, Joo, Yang, 2014)

Κατά τη διάρκεια κάθε test καθαρού τόνου, ένας τόνος διάρκειας 2 s εισάγεται μέσω του ακουστικού. Αν ο χρήστης καταφέρει να ακούσει τον τόνο, τότε προσαρμόζει την ένταση προς τα πάνω ή προς τα κάτω αγγίζοντας τα κουμπιά. Επαναλαμβάνοντας αυτή τη διαδικασία, ο χρήστης μπορεί να σώσει την ένταση στην οποία μόλις ξεκινάει να ακούει πατώντας το κουμπί “save” στο smartphone, και η ένταση αυτή ορίζεται ως το κατώφλι ακοής για τη συγκεκριμένη συχνότητα. Μόλις πατηθεί το κουμπί “save”, ενεργοποιείται το κουμπί “next” για τον έλεγχο της επόμενης συχνότητας. Συνολικά ελέγχονται τέσσερις συχνότητες με σειρά 1000, 500, 2000, 4000, και 1000 Hz, η οποία είναι και η σειρά που χρησιμοποιείται γενικά σε μία κλινική κατά τη διάρκεια μίας ακουομετρίας καθαρού τόνου. Το test για τα 1000 Hz επαναλήφθηκε μία ακόμα φορά και πάρθηκε ο μέσος όρος των δύο μετρούμενων κατωφλίων ως τελικός, επειδή η συγκεκριμένη συχνότητα κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική στο εύρος συχνοτήτων που ακούγεται η ομιλία. Μετά από διαδοχικά test από τα 500 Hz μέχρι τα 4000 Hz, το smartphone δείχνει τα ακουστικά κατώφλια που μετρήθηκαν. Επίσης, η εφαρμογή κρίνει την ακουστική κατάσταση του εξεταζόμενου ως φυσιολογική, ήπια, μέση, και σοβαρή.

Το σχήμα 3.3 δείχνει ένα παράδειγμα ενός σεναρίου ανάπτυξης και ελέγχου μίας εφαρμογής ακουστικής εξέτασης (Σχήμα 3.3a) και του interface που απεικονίζεται για το test των 1000 Hz (Σχήμα 3.3b). Όλα τα πειράματα για τη συλλογή δεδομένων έλαβαν τόπο σε ένα ηχητικά μονωμένο δωμάτιο για να ελέγχεται ο περιβάλλοντας θόρυβος, και οι εξεταζόμενοι καθόντουσαν σε μία καρέκλα. Δύο ηχεία (Quad 9L Active, Quad Loudspeakers, Huntingdon, UK) χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή του θορύβου και τοποθετήθηκαν σε γωνία  $\pm 60^\circ$  από την κεντρική γραμμή και 1 μέτρο μακριά από τον εξεταζόμενο.



Σχήμα 3.3: Το test της εφαρμογής σε ένα ηχομονωτικό δωμάτιο (Na, Joo, Yang, 2014)

### 3.2.2. Ανάπτυξη της εφαρμογής

Στην μελέτη των Na, Joo, Yang (2014), αναπτύχθηκε μία εφαρμογή smartphone βασισμένη σε μία πλατφόρμα Android και ελέγχθηκε χρησιμοποιώντας το smartphone Galaxy (Samsung, Suwon, Korea). Οι καθαροί τόνοι (500, 1000, 2000, 4000 Hz, 2-s διάρκεια) καταγράφηκαν απευθείας από το κλινικό ακουόμετρο (Orbiter 922, GN Otometrics, Taastrup, Denmark) κάνοντας χρήση ενός μετατροπέα A/D. Υποθέθηκε ότι ο θόρυβος του περιβάλλοντος ήταν είτε λευκός θόρυβος, που δημιουργήθηκε μέσω Matlab (Mathworks, Natick, MA, USA), ή θόρυβος babble που καταγράφηκε σε έναν πολυσύχναστο δρόμο.

### 3.2.3. Βαθμονόμηση του ακουστικού

Για να παραχθούν οι ηχητικοί τόνοι των test, χρησιμοποιήθηκε ένα ακουστικό που πήγαινε πακέτο με ένα smartphone. Το ακουστικό μεταφέρει έναν ηχητικό τόνο για κάθε συχνότητα ώστε να ελεγχθεί το ακουστικό κατώφλι. Η ένταση του ήχου σε ένα smartphone μπορεί γενικά να ελεγχθεί χρησιμοποιώντας μία μονάδα από το 0 μέχρι το 15. Το 0 δεν παράγει ήχο, ενώ το 15 παράγει τον δυνατότερο ήχο. Βαθμονομώντας το ακουστικό, έγινε κατανοητή η πραγματική ένταση του ήχου που έβγαινε από το ακουστικό σε μονάδες dB και όχι σε μονάδες προγράμματος (0-15). Ο πίνακας 3.4 παρουσιάζει ένα παράδειγμα της βαθμονόμησης του ακουστικού για ένα τυπικό τόνο συχνότητας 1000 Hz. Οι μονάδες για τον έλεγχο της έντασης σε ένα smartphone φαίνονται στην αριστερή στήλη. Οι πραγματικές εξόδους σε μονάδες dB χρησιμοποιώντας ένα ηχόμετρο φαίνονται στη δεξιά στήλη. Για παράδειγμα, ένας τόνος συχνότητας 1000 Hz στη μονάδα 5 στην κλίμακα του προγράμματος παράχθηκε μέσω ακουστικού, και η πραγματική έξοδος μετρήθηκε 25.9 dB. Μετά την ολοκλήρωση του πίνακα της βαθμονόμησης του ακουστικού, ο οποίος περιγράφει τις μονάδες προγράμματος έναντι των πραγματικών εξόδων, οι μονάδες εφαρμόστηκαν στην εφαρμογή.

### 3.2.4. Βαθμονόμηση του μικροφώνου

Για να πιαστεί ο περιβάλλοντας θόρυβος χρησιμοποιήθηκε ένα ενσωματωμένο μικρόφωνο στο smartphone. Ομοίως με τη βαθμονόμηση του ακουστικού, το μικρόφωνο βαθμονομήθηκε για να παρέχει ένα επίπεδο έντασης μεταξύ συγκεκριμένων επιπέδων (Σχήμα 3.3d). Το καταγεγραμμένο από το μικρόφωνο σήμα παρουσιάζεται σε μονάδες προγράμματος από το 0

μέχρι το 30 και όχι σε μονάδες dB. Για την ολοκλήρωση του πίνακα βαθμονόμησης, το μικρόφωνο βαθμονομήθηκε χρησιμοποιώντας ένα ηχόμετρο και δύο ηχεία. Θόρυβος παράχθηκε κάνοντας χρήση των ηχείων σε ένα ηχητικά μονωμένο δωμάτιο. Το smartphone και το ηχόμετρο τοποθετήθηκαν 1 μέτρο μακριά από τα ηχεία. Έπειτα, ο ήχος μετρήθηκε συγχρόνως και από τα δύο. Εντάσεις θορύβου που κυμαίνονταν

Έξοδος σε μονάδες προγράμματος	Καταγεγραμμένη ένταση σε dB
1	6.9
2	7.8
3	14.9
4	20.9
5	25.9
6	29
7	31.9
8	34
9	35.9
10	37.9
11	39.9
12	41.9
13	44
14	46.9
15	49.9

Πίνακας 3.4: Βαθμονόμηση εξόδου στα 1kHz (Na, Joo, Yang, 2014)

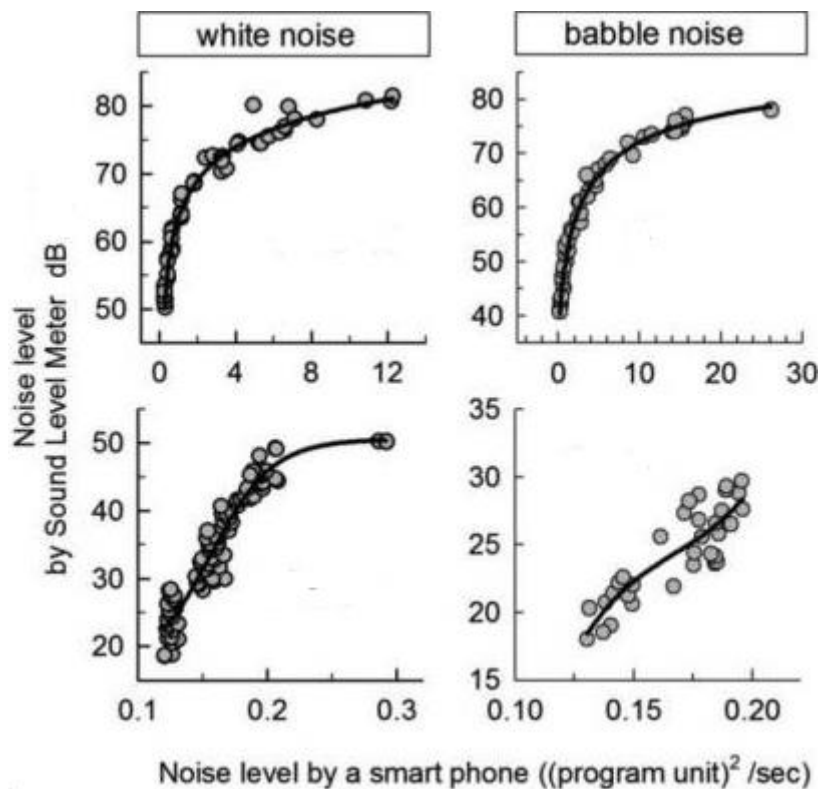
από 0 έως 80 dB βαθμονομήθηκαν στην κλίμακα του συστήματος μειώνοντας την κάθε ένταση σε βήματα των 5 dB χρησιμοποιώντας έναν εξασθενητή (Texio, Yokohama, Japan). Το σχήμα 3.4 παριστά γραφικά την ένταση του θορύβου που καταγράφηκε από το smartphone (οριζόντιος άξονας) έναντι της έντασης του θορύβου που καταγράφηκε από το ηχόμετρο (κάθετος άξονας) και για τις δύο περιπτώσεις θορύβου (λευκό και babble).

Τα δεδομένα χωρίστηκαν σε δύο ομάδες: 20-50 dB και 50-80 dB. Οι παράμετροι των εξισώσεων συνοψίζονται στον πίνακα 3.5. Οι μεταβλητές ‘x’ και ‘f’ στον πίνακα 3.5 αναπαριστούν τη μέση ισχύ ((program unit)<sup>2</sup>/s) που μετρήθηκε από το μικρόφωνο του smartphone και την ένταση του θορύβου σε dB που εκτιμήθηκε ως η πραγματική τιμή της έντασης, αντίστοιχα. Τελικώς, η εφαρμογή μπορούσε να παρέχει μία φυσική ένταση του

θορύβου με βάση αυτού του πίνακα βαθμονόμησης του μικροφώνου όταν μετρούνταν ο θόρυβος του περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας το ενσωματωμένο μικρόφωνο.

Θόρυβος	0-40 dB	40-70 dB
Λευκός	$f = y_0 + ax + bx^2 + cx^3$ $y_0 = -176.56$ $a = 3388.97$ $b = -19628.85$ $c = 39152.25$	$f = y_0 + a\ln x  + b\ln x ^2 + c\ln x ^3$ $y_0 = 51.3$ $a = 8.61$ $b = 0.86$ $c = -0.27$
	0-50 dB	50-80 dB
Babble	$f = D + (A-D) / (1 + 10^{(x - \log C)B})$ $A = 50.55$ $B = -18.06$ $\log C = 0.155$ $D = 16.00$	$f = y_0 + a\ln x  + b\ln x ^2 + c\ln x ^3$ $y_0 = 63.63$ $a = 8.33$ $b = -0.76$ $c = 0.09$

Πίνακας 3.5: Πίνακας βαθμονόμησης του μικροφώνου (Na, Joo, Yang, 2014)



Σχήμα 3.4: Οι σχέσεις μεταξύ των εντάσεων που μετρήθηκαν από το smartphone και το ηχώμετρο. Ο λευκός θόρυβος (αριστερά) και ο θόρυβος babble (δεξιά) παρουσιάστηκαν

χρησιμοποιώντας δύο ηχεία. Οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν τα δεδομένα από τις μετρήσεις. Οι γραμμές αντιπροσωπεύουν την γραμμική παρεμβολή τους (Na, Joo, Yang, 2014)

### **3.2.5. Μετατόπιση του κατωφλίου ακοής (Hearing Threshold Shift, HTS)**

Τα ακουστικά κατώφλια για όλες τις συχνότητες (500, 1000, 2000, και 4000 Hz) μετρήθηκαν χρησιμοποιώντας ένα smartphone είτε με την παρουσία θορύβου είτε σε ένα ήσυχο περιβάλλον. Η ένταση του θορύβου κυμαινόταν από 30 μέχρι 80 dB σε βήματα των 10 dB, και η μετατόπιση του ακουστικού κατωφλίου υπολογίστηκε από τη διαφορά των δύο κατωφλίων που μετρήθηκαν στο θορυβώδες και το ήσυχο περιβάλλον. Τριάντα έξι εξεταζόμενοι ηλικίας 20-66 ετών συμμετείχαν στη μελέτη. Το ανθρώπινο test σε αυτή τη μελέτη αναθεωρήθηκε και εγκρίθηκε από την κλινική ομάδα της Samsung (Samsung Medical Center Institute Review Board, Seoul, Korea).

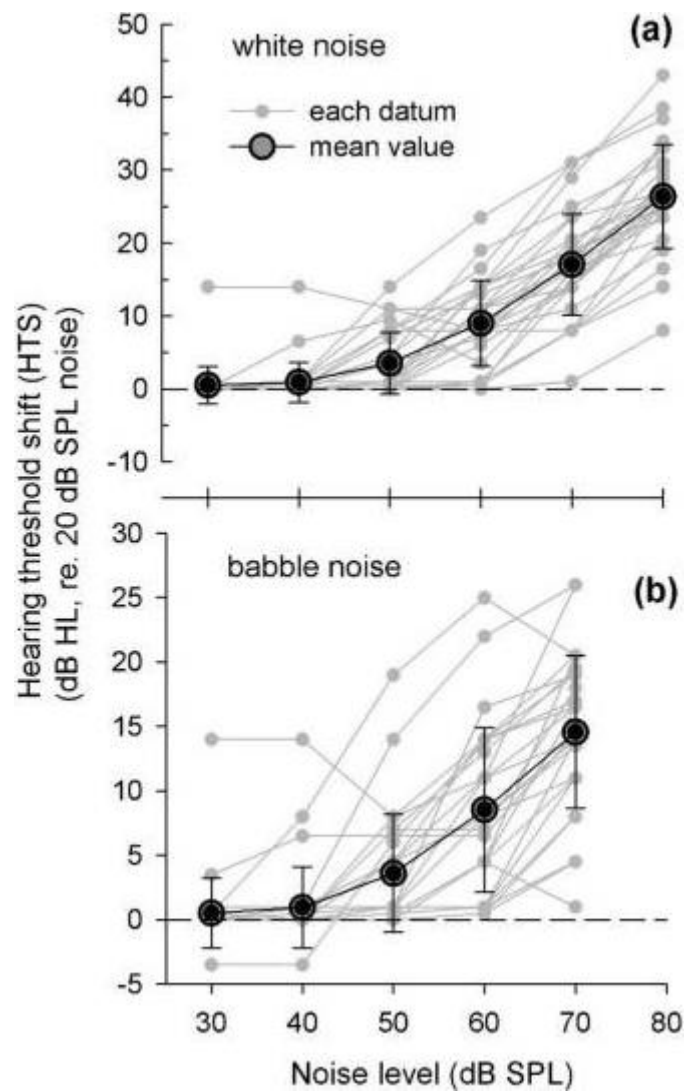
### **3.2.6. Επικύρωση της εφαρμογής**

Δέκα εννέα εξεταζόμενοι με φυσιολογική ακοή και τρεις με ήπια ακουστική βλάβη (20-66 ετών, 15 θηλυκά και 4 αρσενικά) συμμετείχαν στην επικύρωση της εφαρμογής. Εξετάστηκαν με το smartphone σε ένα ηχητικά μονωμένο δωμάτιο. Όταν ένα άτομο εξέταζε την ακοή του με το smartphone, πέντε διαφορετικές συνθήκες θορύβου (ησυχία, 40 και 60 dB θόρυβος babble, και 40 και 60 dB λευκός θόρυβος) παρουσιάζονταν από τα ηχεία. Για να εξεταστεί αν είναι κατάλληλη η εφαρμογή σε πραγματικά περιβάλλοντα, ένας εξεταζόμενος εξέταζε την ακοή του έξω από μία κλινική, δηλαδή σε μία καφετέρια, σε μία στάση λεωφορείου ή σε ένα δημόσιο πάρκο ή και μέσα σε ένα λεωφορείο. Για να εκτιμηθεί η αξιοπιστία της εφαρμογής, κάθε εξεταζόμενος ερευνήθηκε με ένα ερωτηματολόγιο αποτελούμενο από τις ακόλουθες τρεις ερωτήσεις: "Ε1. Για πόσο χρονικό διάστημα έχετε χρησιμοποιήσει ένα smartphone: (1) ποτέ (2) 0-6 μήνες (3) 6-12 μήνες (4) 1-3 χρόνια (5) πάνω από 3 χρόνια. Ε2. Πιστεύω πως η εφαρμογή είναι δύσχρηστη: (1) Συμφωνώ από απόλυτα έως (5) Διαφωνώ κάθετα. Ε3. Πιστεύω πως χρειάζομαι χρόνο εξάσκησης (1) λιγότερο από 5 λεπτά (2) 5-15 λεπτά (3) 15-30 λεπτά (4) 30-60 λεπτά."

### **3.2.7. Αποτελέσματα της μελέτης**

#### **3.2.7.1. Επίδραση του θορύβου στο HTS**

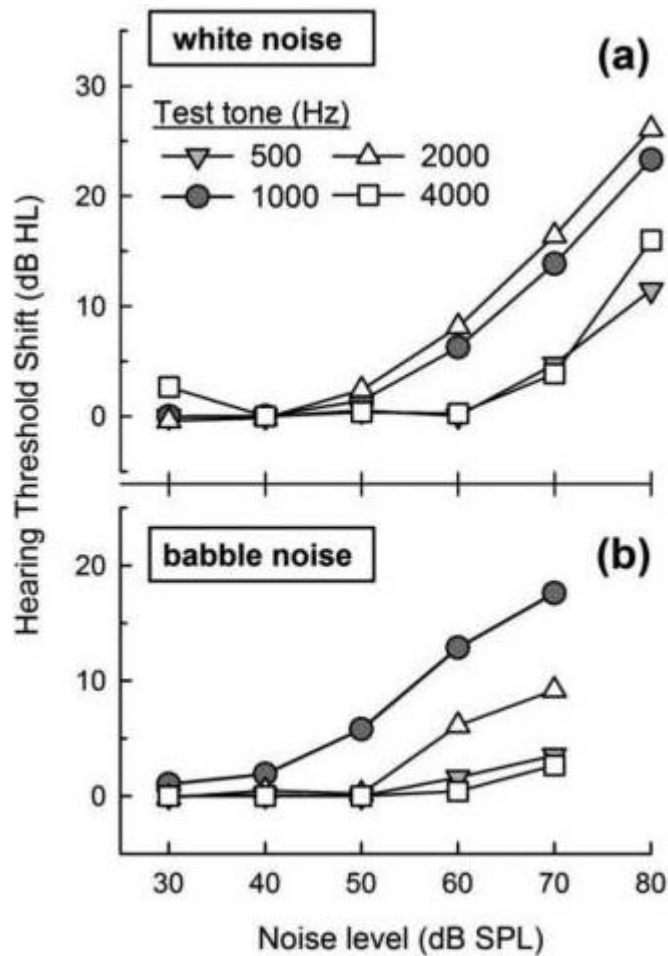
Το σχήμα 3.5 δείχνει ένα παράδειγμα μετατόπισης του κατωφλίου ακοής (HTS) για έναν τυπικό καθαρό τόνο των 1000 Hz σε σχέση με την ένταση του θορύβου του περιβάλλοντος. Και οι δύο τύποι θορύβου, λευκός και babble προσομοιώθηκαν μέσω δύο ηχείων. Το ατομικό HTS (μικρές γκρι τελείες) και το μέσο ατομικό HTS (μαύρος κύκλος) παραστήθηκαν γραφικά ως συνάρτηση της έντασης του θορύβου. Καθώς η ένταση αυξάνεται, το HTS αυξάνεται μέχρι τα 45 dB. Το HTS για το λευκό θόρυβο είναι υψηλότερο από εκείνο του θορύβου babble επειδή ο λευκός θόρυβος είναι παρών συνέχεια και παράγει εντονότερο φαινόμενο μάσκας από τον babble θόρυβο. Για την εκτίμηση του HTS σε μία συγκεκριμένη ένταση θορύβου, χρησιμοποιήθηκε γραμμική οπισθοδρόμηση σε κάθε διάστημα των 10 dB θορύβου.



Σχήμα 3.5: Ένα παράδειγμα του HTS ως συνάρτηση της έντασης του λευκού θορύβου (a) και του θορύβου babble (b). Τα ατομικά δεδομένα (μικρές γκρι τελείες,  $n = 15$ ) και το μέσο HTS αναπαρίστανται γραφικά σε σχέση με την ένταση του θορύβου (Na, Joo, Yang, 2014)

Στο σχήμα 3.6 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των ατομικών HTS για τέσσερις διαφορετικούς καθαρούς ηχητικούς τόνους (500, 1000, 2000, και 4000 Hz) σαν συνάρτηση είτε του λευκού θορύβου ή του θορύβου babble. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.6, υπολογίστηκε η γραμμική οπισθοδρόμηση του HTS για την ομάδα δεδομένων κάθε συχνότητας. Η γραμμική οπισθοδρόμηση μεταξύ δύο γνωστών τιμών μπορεί να εκτιμήσει το HTS για μία τυπική ένταση θορύβου, π.χ. το HTS στα 55 dB θόρυβο καθορίζεται με μία γραμμική οπισθοδρόμηση των δύο τιμών HTS στα 50 και 60 dB θόρυβο.





Σχήμα 3.6: Μέση τιμή του HTS για έναν ηχητικό τόνο (500, 1000, 2000, και 4000 Hz) με την παρουσία περιβάλλοντος θορύβου, είτε λευκού (a) είτε babble (b) (Na, Joo, Yang, 2014)

Χαμηλός θόρυβος περιβάλλοντος (κάτω από 40 dB) δεν επηρέασε το HTS, ενώ θόρυβος εντονότερος των 50 dB προκάλεσε μεγαλύτερο HTS. Μία σύγκριση των HTS από τους τόνους των 500 Hz έως των 4000 Hz υποδεικνύει ότι οι τόνοι των 1000 και 2000 Hz καλύφθηκαν πιο πολύ από τον θόρυβο περιβάλλοντος. Ο εξωτερικός θόρυβος επηρεάζει αισθητά λιγότερο τα test στους τόνους των 500 και 4000 Hz.

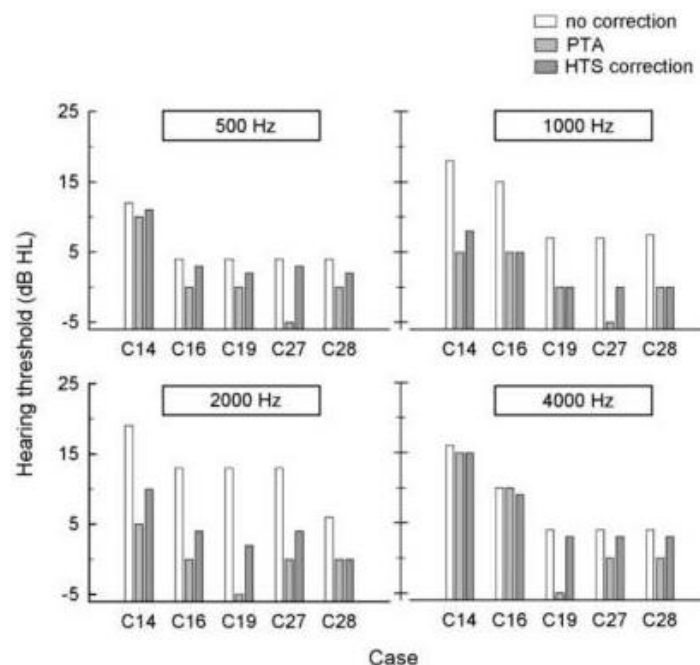
### 3.2.7.2. Εφαρμογή του HTS σε ένα smartphone

Οι πίνακες βαθμονόμησης του ακουστικού και του μικροφώνου και οι πίνακες του HTS υλοποιήθηκαν στην εφαρμογή. Όταν η εφαρμογή ξεκινάει, ο χρήστης επιλέγει τον τύπο του περιβάλλοντος θορύβου. Έπειτα, το μικρόφωνο μετράει τον περιβάλλοντα θόρυβο για μία περίοδο των 5 s. Τα HTS για κάθε συχνότητα υπολογίζονται με βάση την ένταση του θορύβου. Στη συνέχεια, ο χρήστης ξεκινάει να εξετάζεται χρησιμοποιώντας το ακουστικό. Ο χρήστης μπορεί να ελέγχει την ένταση μέχρι τα ελάχιστα dB στα οποία μπορεί ένας άνθρωπος να εντοπίσει τον ήχο. Μετά το τέλος της διαδικασίας εξέτασης για όλες τις συχνότητες, η εφαρμογή υπολογίζει το ακουστικό κατώφλι διορθώνοντας το HTS από το αρχικά μετρούμενο κατώφλι. Τελικά, το smartphone αναφέρει το ακουστικό κατώφλι πριν και μετά τη διόρθωση με βάση τον περιβάλλοντα θόρυβο.

### 3.2.7.3. Σύγκριση με τα παραδοσιακά όργανα

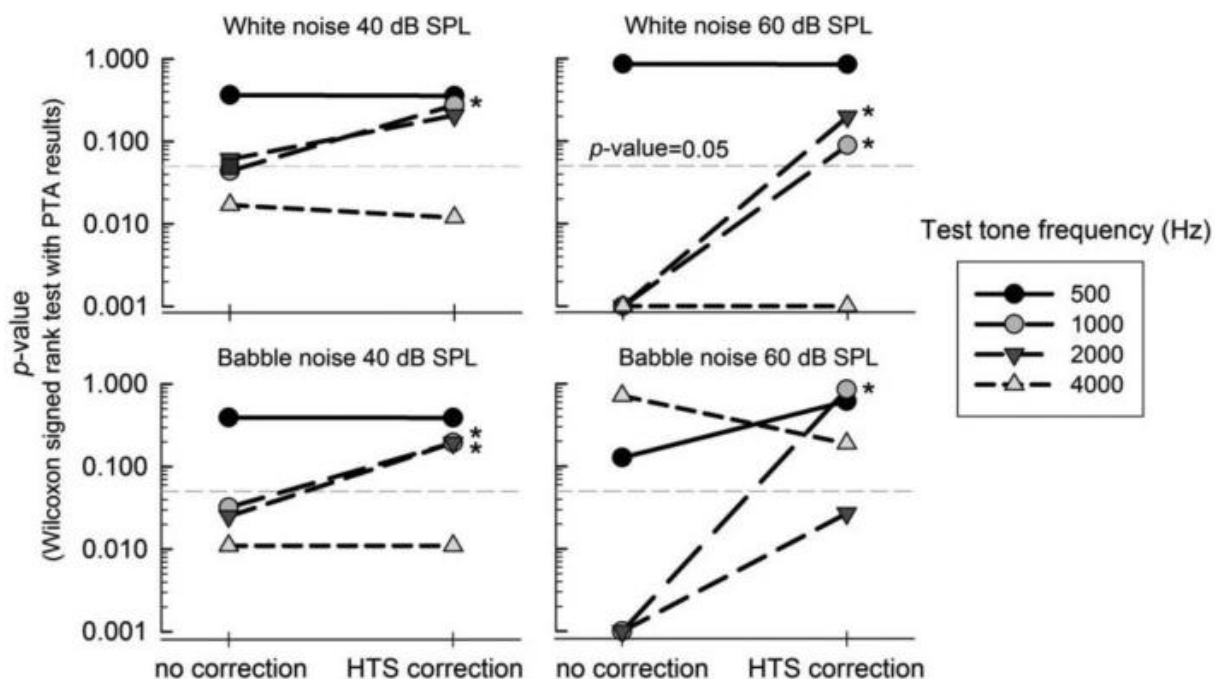
Για να εκτιμηθεί η επίδοση της εφαρμογής, συγκρίθηκαν τα κατώφλια που μετρήθηκαν από ένα PTA και το smartphone πριν και μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου διόρθωσης του HTS. Το PTA είναι ένα παραδοσιακό test που χρησιμοποιείται ευρέως σε κλινικές. Τα ακουστικά κατώφλια τριών ατόμων μετρήθηκαν με τη χρήση του PTA από έναν έμπειρο γιατρό, και επίσης τα άτομα αυτά εξετάστηκαν μέσω του smartphone. Πριν ξεκινήσουν το test, τα άτομα εξασκήθηκαν στη χρήση της εφαρμογής μέχρι να τους γίνει οικία. Η εξάσκηση αυτή δεν διήρκεσε περισσότερο από 15 λεπτά για κανέναν. Τα test έλαβαν τόπο σε ηχητικά μονωμένο δωμάτιο με την παρουσία είτε λευκού ή babble θορύβου (40 και 60 dB, μετρούμενα στη θέση του εξεταζόμενου) που προσομοιώθηκαν με δύο ηχεία. Για στατιστική επικύρωση της εφαρμογής, 42 αυτιά (από 21 άτομα) εξετάστηκαν με PTA και με το smartphone.

Αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 3.7. Η ακοή εξετάστηκε μέσω του smartphone με την παρουσία θορύβου babble. Κάθε μπάρα δείχνει τα αποτελέσματα του ακουστικού κατωφλίου από το smartphone χωρίς τη διόρθωση του HTS (λευκή μπάρα), του PTA (γκρι μπάρα), και από το smartphone με τη διόρθωση του HTS (σκούρα γκρι μπάρα) για τέσσερις τόνους των 500, 1000, 2000, και 4000 Hz σε κάθε πάνελ. Τα γραφήματα υποδεικνύουν ότι η παρουσία θορύβου έχει ως αποτέλεσμα αυξημένο ακουστικό κατώφλι. Επιπρόσθετα, τα ακουστικά κατώφλια χωρίς διόρθωση HTS είναι υψηλότερα από εκείνα με το PTA και από εκείνα με διόρθωση HTS. Για παράδειγμα, το ακουστικό κατώφλι από το PTA είναι 0 dB για τον τόνο των 1000 Hz για τον εξεταζόμενο C28, ενώ το ακουστικό κατώφλι από το smartphone χωρίς διόρθωση HTS είναι 8 dB. Μολαταύτα, μετά τη διόρθωση του HTS, το κατώφλι από το smartphone είναι 0 dB, το οποίο είναι πανομοιότυπο με το αντίστοιχο από το PTA. Παρόλο που το σφάλμα στο κατώφλι κάθε εξεταζόμενου ποικίλει, η γενική τάση των δεδομένων δείχνει πως η διόρθωση HTS μπορεί να αποδώσει ένα πιο ακριβές ακουστικό κατώφλι.



Σχήμα 3.7: Παραδείγματα της εκτίμησης της επίδοσης των test στα 500, 1000, 2000, και 4000 Hz παρουσία λευκού θορύβου 60 dB. Οι λευκές, οι γκρι, και οι σκούρες γκρι μπάρες αναπαριστούν τα ακουστικά κατώφλια που μετρήθηκαν από ένα smartphone, από ένα PTA, και από ένα smartphone με διόρθωση κατωφλίου HTS, αντίστοιχα.

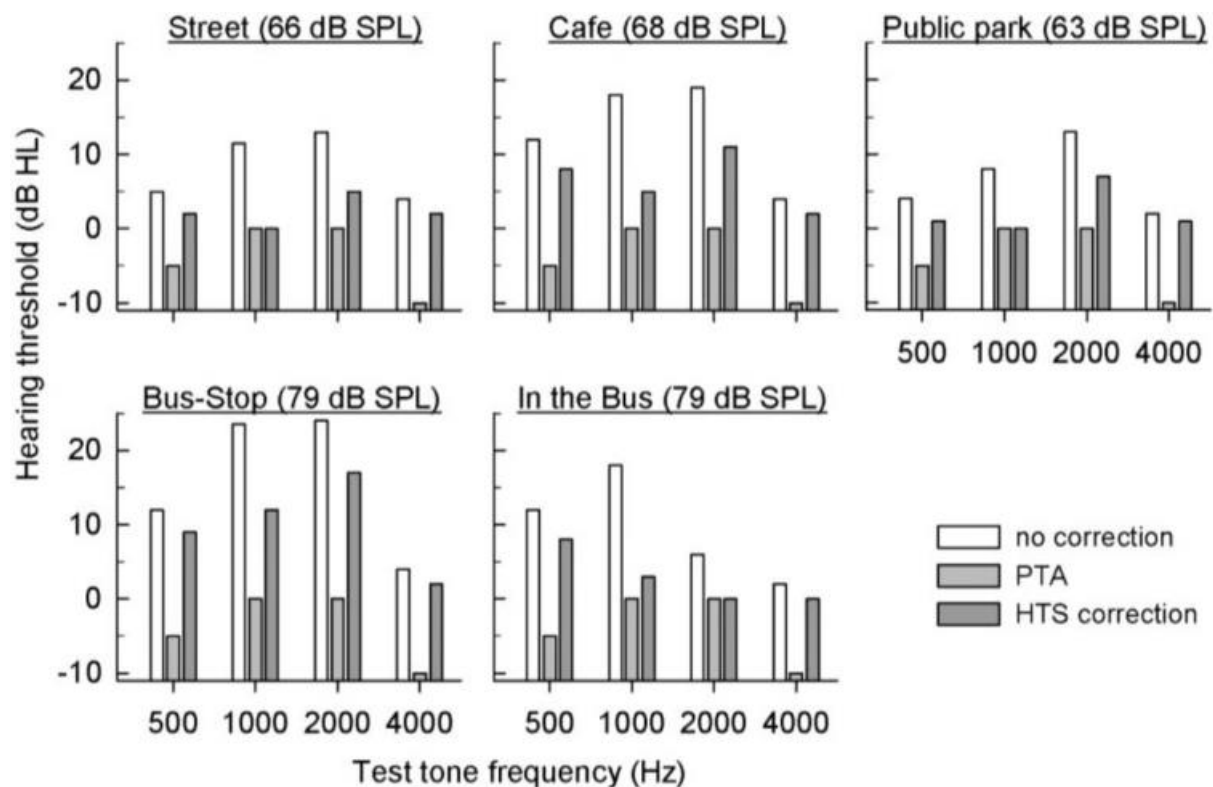
Ένα test Wilcoxon (στατιστικό test συσχέτισης) εφαρμόστηκε ανάμεσα στα αποτελέσματα από το PTA και εκείνα από το smartphone για να επικυρωθεί το ακουστικό test του smartphone. Στην έρευνα των Na, Joo, Yang (2014) υποθέθηκε το μετρούμενο από το PTA κατώφλι ως κατώφλι αναφοράς. Η παράμετρος  $p$  του συνδυαστικού test αποκάλυψε πόσο παρόμοια ήταν τα κατώφλια από τα δύο όργανα. Αν η τιμή της  $p$  είναι μικρότερη από 0.05, υπάρχει μία στατιστικά σημαντική διαφορά, π.χ. το κατώφλι του smartphone είναι λάθος. Επομένως, ήταν αναμενόμενο η  $p$  να αυξηθεί μετά τη διόρθωση του HTS. Το σχήμα 4.8 δείχνει την επιρροή της διόρθωσης του HTS στην παράμετρο  $p$ . Σε κάθε πάνελ, ο θόρυβος του περιβάλλοντος τέθηκε στα 40 dB λευκός, 60 dB λευκός, 40 dB babble, και 60 dB babble. Υπολογίστηκαν οι τιμές της  $p$  μεταξύ των δεδομένων του PTA και του smartphone με ή χωρίς διόρθωση HTS. Τα αποτελέσματα δείχνουν μία βελτίωση (αυξημένη  $p$ ) στα 1000 και 2000 Hz μετά τη διόρθωση. Το κατώφλι της τιμής  $p$  για να αποφανθεί αν η διαφορά είναι σημαντική ή ασήμαντη ανάμεσα στις δύο ομάδες τέθηκε στο 0.05. Η αποτελεσματικότητα της διόρθωσης του HTS αναπαραστάθηκε μέσω του συμβόλου “\*” σε κάθε πάνελ εάν η  $p$  αλλάζει από μικρότερο του 0.05 σε μεγαλύτερο του 0.05 μετά τη διόρθωση, το οποίο συνεπάγεται πως η διόρθωση έκανε τα κατώφλια των δύο ομάδων στατιστικά παρόμοια, ενώ προηγουμένως δεν ήταν. Υπήρξε μία σημαντική βελτίωση στα 1000 και 2000 Hz και για τις δύο περιπτώσεις θορύβου. Για παράδειγμα, η  $p$  στα 1000 Hz και 60 dB babble θόρυβο άλλαξε από 0.001 χωρίς διόρθωση HTS σε 0.850 με διόρθωση. Αυτή η αλλαγή υποδεικνύει ότι η διόρθωση HTS βελτίωσε την ομοιότητα των κατωφλίων του PTA και του smartphone. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.8, δεν παρατηρήθηκε καμία βελτίωση για τρεις περιπτώσεις στα 4000 Hz. Όμως, δεν υπήρξαν περιπτώσεις που να αμβλύνουν τις διαφορές μεταξύ των δύο, δηλαδή περιπτώσεις όπου η  $p$  από μεγαλύτερη του 0.05 έγινε μικρότερη.



Σχήμα 3.8: Επίδραση της διόρθωσης HTS στη συσχέτιση με τα κατώφλια PTA ( $n = 42$ ). Ο θόρυβος του περιβάλλοντος ήταν λευκός και babble στα 40 και 60 dB. Κάθε σύμβολο υποδεικνύει τις συχνότητες κάθε ηχητικού τόνου. Η περιγραφή του συμβόλου “\*” βρίσκεται στο κείμενο (Na, Joo, Yang, 2014)

### 3.2.7.4. Ακουστικό test σε πραγματικό περιβάλλον

Τα ακουστικά κατώφλια μετρήθηκαν σε μία κλινική κατασκευάζοντας ένα θορυβώδες περιβάλλον μέσω ηχείου. Για να εξεταστεί προκαταρκτικά η συμβατότητα της εφαρμογής σε πραγματικά περιβάλλοντα, ένας εξεταζόμενος εξέτασε την ακοή του σε διάφορα περιβάλλοντα χρησιμοποιώντας την εφαρμογή έξω από την κλινική. Τα περιβάλλοντα εξέτασης ήταν ένας δρόμος, μία καφετέρια, ένας σταθμός λεωφορείου, ένα δημόσιο πάρκο και μέσα σε ένα λεωφορείο. Το σχήμα 3.9 δείχνει τα ακουστικά κατώφλια που βρέθηκαν από το test του smartphone χωρίς διόρθωση HTS (λευκή μπάρα), του PTA (γκρι μπάρα), και του smartphone με διόρθωση HTS (σκούρα γκρι μπάρα) για τέσσερις τόνους συχνοτήτων 500, 1000, 2000, και 4000 Hz. Οι μέσες εντάσεις θορύβου στο δρόμο, την καφετέρια, τη στάση λεωφορείου, το πάρκο, και μέσα στο λεωφορείο ήταν 66, 68, 79, 63, και 79 dB, αντίστοιχα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το κατώφλι με διόρθωση είναι συγκριτικά παρόμοιο με το κατώφλι του PTA.



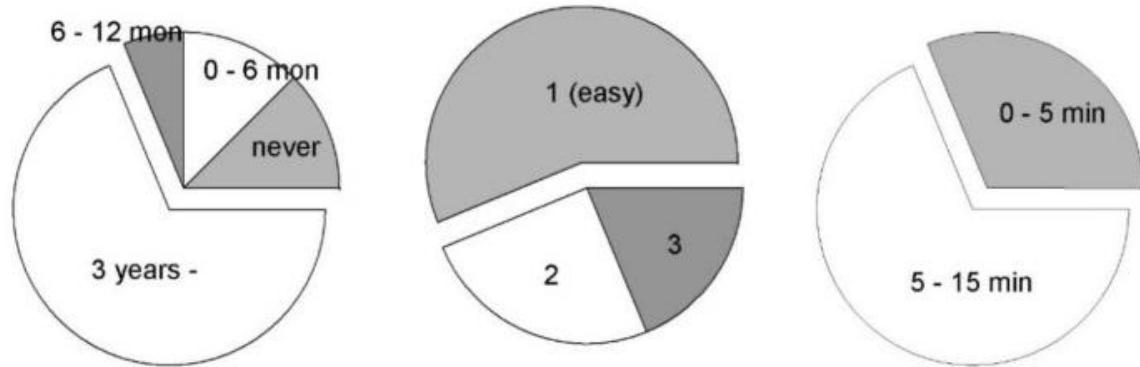
Σχήμα 3.9: Ακουστικά κατώφλια των test στα 500, 1000, 2000, και 4000 Hz έξω από την κλινική.

### 3.2.7.5. Αξιολόγηση της ευκολίας χρήσης της εφαρμογής

Αφού το πλεονέκτημα της εφαρμογής είναι η εύκολη πρόσβαση χωρίς την επίσκεψη σε κλινική, η ευκολία χρήσης είναι ένα σημαντικό θέμα. Για να εξερευνηθεί η πολυπλοκότητα της εφαρμογής, πραγματοποιήθηκε μία μελέτη βασισόμενη σε ερωτηματολόγιο. Στο σχήμα 3.10 συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων και οι απαντήσεις στους στις ερωτήσεις. Το ερωτηματολόγιο χορηγήθηκε σε 16 συμμετέχοντες. Από αυτούς, το 81%

πίστευε ότι η εφαρμογή είναι πολύ εύκολη (ή εύκολη) στη χρήση. Όλοι χρειάστηκαν ένα χρόνο εξάσκησης λιγότερο των 15 λεπτών πριν την έναρξη του test.

Q1: Duration of smartphone use    Q2: System complex (level 1 - 5)    Q3: Application practice time



Σχήμα 3.10: Ευχρηστία της εφαρμογής (n = 16)

### 3.2.8. Συζήτηση για τη μελέτη

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκε μία μελέτη που παρουσιάζει την ανάπτυξη μίας εφαρμογής ακουστικής εξέτασης και η προσβασιμότητά της στην καθημερινότητα των ανθρώπων. Μετά την ολοκλήρωση ενός test καθαρού ηχητικού τόνου, η εφαρμογή ανέφερε τα ακουστικά κατώφλια για τέσσερις συχνότητες και διόρθωνε αυτόματα το HTS με βάση την ένταση του θορύβου του περιβάλλοντος. Μία προκαταρκτική εκτίμηση έδειξε ότι η εφαρμογή μπορεί να εκτιμήσει ορθά το ακουστικό κατώφλι ακόμα και σε ένα θορυβώδες περιβάλλον. Τυπικά, η διόρθωση HTS είχε ως αποτέλεσμα μία σημαντική βελτίωση στα 1000 και 2000 Hz. Κατά τη διάρκεια ανάπτυξης της εφαρμογής, έχει θεωρηθεί ότι η αυτοεξέταση πρέπει να είναι εύκολα προσβάσιμη και εύχρηστη. Τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου έδειξαν πως οι περισσότεροι συμμετέχοντες πίστευαν ότι η εφαρμογή είναι εύχρηστη και χρειάζεται λιγότερο από 15 λεπτά εξάσκησης πριν τη χρήση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΚΙΝΗΤΑ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΒΟΗΘΗΜΑΤΑ

#### 4.1. NoiseMap

Οι χάρτες θορύβου σήμερα έχουν δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας ιδιαίτερα ακριβά όργανα που μετρούν δεδομένα υψηλής ακρίβειας σε προκαθορισμένες τοποθεσίες. Αυτά τα δεδομένα έχουν προεκταθεί κάνοντας χρήση μοντέλων τοπίου και εργαλείων προσομοίωσης. Ακόμα και αν τα μοντέλα αυτά είναι ακριβή, οι χάρτες που δημιουργούνται είναι ανακριβείς εξαιτίας του μικρού αριθμού σημείων μέτρησης και της έλλειψης πηγών θορύβου. Η αύξηση των σημείων μέτρησης χρησιμοποιώντας περισσότερα όργανα και ανθρώπινο δυναμικό είναι πολύ ακριβή.

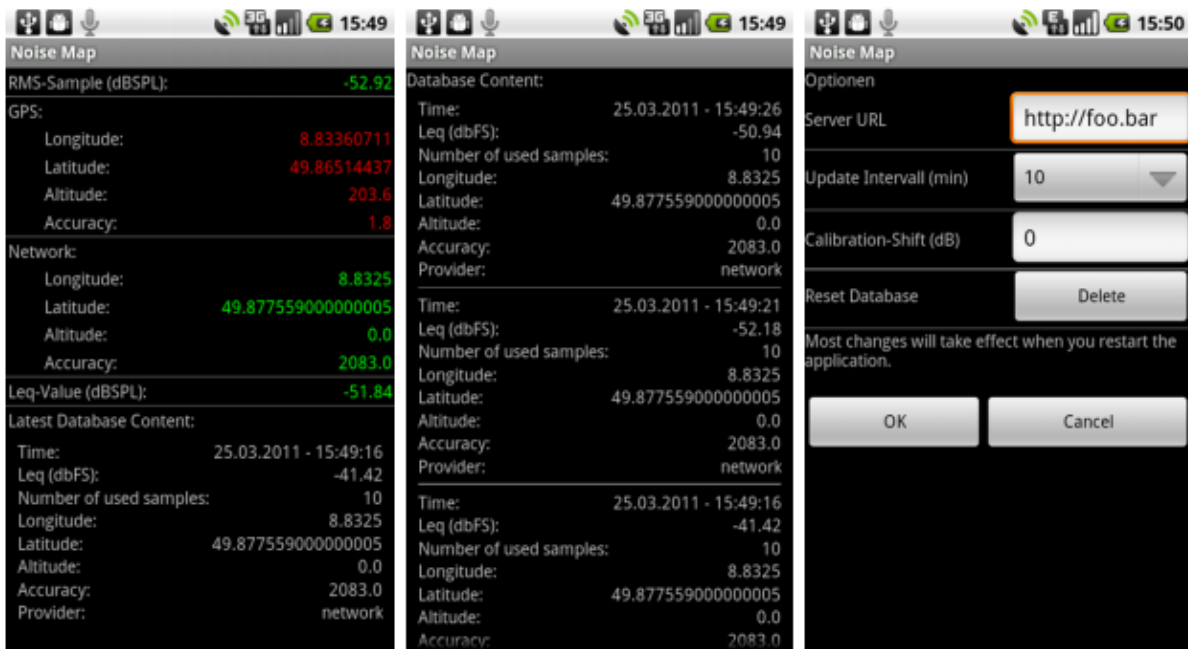
Εφαρμόζοντας συμμετοχική αντίληψη, είναι επιθυμητή η ενεργοποίηση χαρτών θορύβου πραγματικού χρόνου. Τα smartphone, και στην πραγματικότητα τα περισσότερα κινητά τηλέφωνα, είναι εξοπλισμένα με GPS και μικρόφωνο. Η NoiseMap είναι μία κινητή εφαρμογή, που πρώτα εκδόθηκε για τα Android, η οποία μετατρέπει ένα smartphone σε ένα κινητό όργανο μέτρησης του θορύβου.

Η εφαρμογή μετατρέπει τον εισερχόμενο ήχο σε δείγματα για να μεταφράσει το διακριτό ψηφιακό σήμα σε μία τιμή της πλήρους κλίμακας dB (dBFS, dB full scale). Σε αυτή την κλίμακα το 0 dBFS αναπαριστά την μέγιστη ένταση που μπορεί να μετρήσει το μικρόφωνο και όλες οι υπόλοιπες τιμές dBFS είναι αρνητικές. Αυτή η τιμή πρέπει να μετατραπεί σε dB SPL, όπου το SPL σημαίνει Sound Pressure Level. Το SPL είναι ένα σύστημα αναφοράς σχετικό με τη δοσμένη τιμή έντασης του ήχου. Αυτή η τιμή είναι συνήθως 20  $\mu$ Pa που θεωρείται ως το κατώφλι της ανθρώπινης ακοής.

Για την μετατροπή του dBFS σε dB SPL πρέπει να προστεθεί μία βαθμονομημένη τιμή ώστε  $dB SPL = dBFS + x_{cal}$ . Η NoiseMap είναι ένα ενσωματωμένο εργαλείο βαθμονόμησης. Δοσμένου ενός σταθερού θορύβου η  $x_{cal}$  υπολογίζεται από την εφαρμογή. Για να αυξηθεί η συμμετοχή, η βαθμονόμηση πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ευκολότερη.

Αφού ο ήχος είναι δυναμικός, οι ηχητικές μετρήσεις υπολογίζονται κατά μέσο όρο στην πάροδο του χρόνου χρησιμοποιώντας την τιμή RMS κάθε 11025 δειγμάτων, που αντιστοιχεί σε μισό δευτερόλεπτο για συχνότητα 22050 Hz. Αυτά τα RMS δείγματα χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για τον υπολογισμό του  $L_{eq}$ . Το  $L_{eq}$  αντιπροσωπεύει την ισοδύναμη μακροπρόθεσμη ένταση του ήχου και συνήθως χρησιμοποιείται για μακρόχρονες μετρήσεις. Αντιπροσωπεύει το σταθερό επίπεδο πίεσης του ήχου (SPL) που είναι ισοδύναμο προς τα δείγματα στο συγκεκριμένο χρονικό εύρος. Ο αναλυτικός υπολογισμός του  $L_{eq}$  έχει παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 2. Στη NoiseMap, αυτό το χρονικό εύρος εξαρτάται από την ταχύτητα του smartphone, καθώς σε υψηλότερες ταχύτητες χρειάζεται μεγαλύτερη χρονική ευκρίνεια.

Η NoiseMap ζητάει επίσης την τωρινή τοποθεσία (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος, υψόμετρο, ακρίβεια). Η Android μπορεί να παρέχει την τοποθεσία χρησιμοποιώντας τριγωνισμό WLAN ή GPS. Το GPS χρησιμοποιείται πάντοτε αν είναι διαθέσιμο. Επειδή όμως μπορεί να μην είναι πάντα διαθέσιμο, ειδικά μέσα σε κτίρια, ο τριγωνισμός χρησιμοποιείται σαν δείκτης για να επιτρέψει μετρήσεις. Μέσω της NoiseMap, οι τριγωνισμένες τοποθεσίες μπορούν εύκολα να φιλτραριστούν. Όλα τα δεδομένα φαίνονται στο κεντρικό παράθυρο της NoiseMap όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1a.



(a) Main screen

(b) Database view

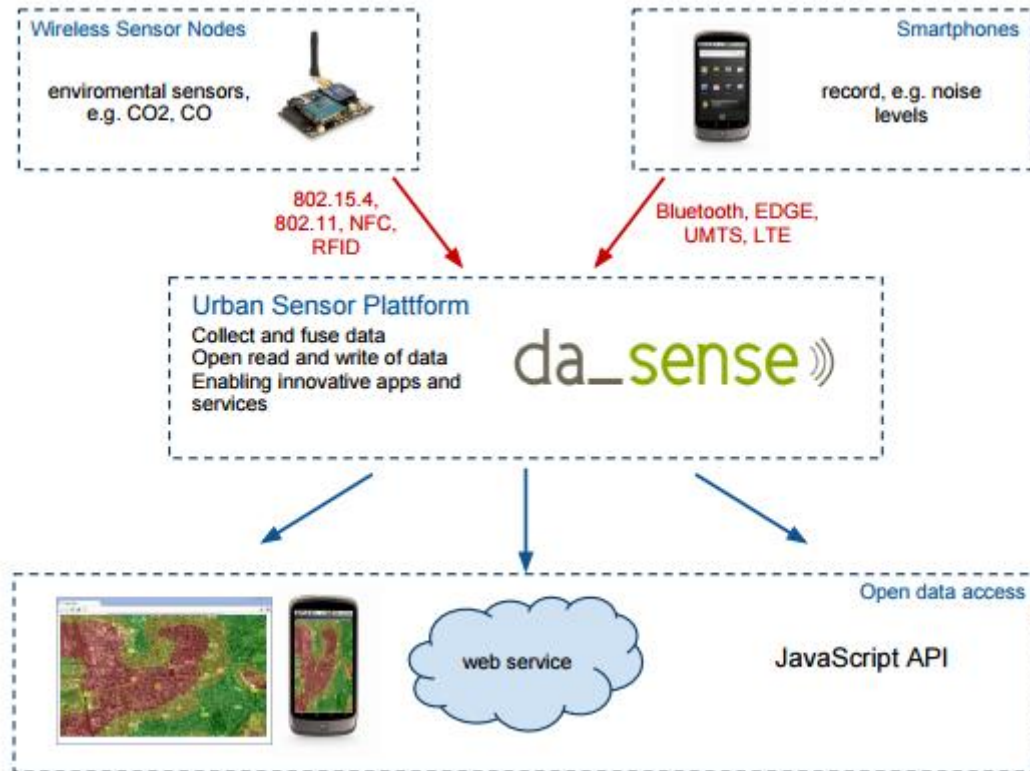
(c) Options

Σχήμα 4.1: Παραδείγματα του interface της NoiseMap (Schweizer)

Τα τελικά δείγματα μεταδίδονται στην υπηρεσία διαδικτύου χρησιμοποιώντας το JavaScript Object Notation (JSON), ένα ελαφρύ format ανταλλαγής δεδομένων. Όλες οι τωρινές μετρήσεις που δεν έχουν μεταδοθεί ακόμα στον server φαίνονται στο σχήμα 4.1b. Το διάστημα της μετάδοσης δειγμάτων καθώς και το καταληκτικό σημείο της υπηρεσίας διαδικτύου μπορούν να αλλάξουν από το πάνελ των ρυθμίσεων, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1c. Χρησιμοποιώντας τις προεπιλεγμένες ρυθμίσεις, τα δεδομένα μεταδίδονται στην πλατφόρμα *da\_sense*. Γενικά έχουν μαζευτεί δεδομένα από περίπου 27000 σημεία μέσω 7 διαφορετικών κινητών που καλύπτουν μία περιοχή περίπου 1 km<sup>2</sup>. Οι χάρτες πραγματικού χρόνου είναι διαθέσιμοι στο [www.da\\_sense.de](http://www.da_sense.de).

### da\_sense

Το *da\_sense* είναι μία πλατφόρμα αστικής ανίχνευσης ανοιχτού λογισμικού που συλλέγει δεδομένα από συμμετοχικά δίκτυα. Ενώ η NoiseMap παρέχει την ηχορύπανση, τα CO<sub>2</sub>, CO, και άλλα αέρια του περιβάλλοντος συλλέγονται μέσω ασύρματων αισθητήρων. Τα δεδομένα από τη NoiseMap μεταδίδονται σε μία διαδικτυακή υπηρεσία και γράφονται στη βάση δεδομένων της *da\_sense*. Μία επισκόπηση της αρχιτεκτονικής της *da\_sense* δίνεται στο σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2: Επισκόπηση της da\_sense (Schweizer)

Αυτό που καθιστά τη da\_sense σημαντική για τη NoiseMap είναι τρία χαρακτηριστικά κλειδιά:

1. Έλεγχος πάνω από συλλεγμένα δεδομένα
2. Άμεση ενημέρωση όλων των δεδομένων
3. Ελεύθερη πρόσβαση στα δεδομένα

1. Για να γίνει δυνατός ο έλεγχος όλων των δεδομένων από το χρήστη, η da\_sense παρέχει διαχείριση χρήστη που δουλεύει κοντά στην εφαρμογή NoiseMap. Όλα τα δεδομένα που παρέχονται από τη NoiseMap συνδέονται με ένα λογαριασμό χρήστη και μπορούν να γίνουν ιδιωτικά. Τα ιδιωτικά δεδομένα είναι ορατά μόνο στο χρήστη μετά τη σύνδεσή του. Πιστεύεται ότι το να παρέχεται στο χρήστη το δικαίωμα να ελέγχει τα δεδομένα του είναι σημαντικό για τη μυστικότητα των δεδομένων, καθώς επίσης και για την ποιότητά τους. Ένας χρήστης μπορεί να θέλει να χρησιμοποιήσει τη NoiseMap για να μετρήσει την ηχορύπανση σε διαφορετικά σενάρια, όπως για παράδειγμα την ηχηρότητα του αυτοκινήτου του. Τέτοιες μετρήσεις δεν είναι χρήσιμες για ένα παγκόσμιο χάρτη θορύβου και μπορούν να φιλτραριστούν από το χρήστη. Οι ιδιωτικές μετρήσεις εξασφαλίζουν πως η NoiseMap δεν είναι μόνο ένα ερευνητικό εργαλείο αλλά ένα πολύπλευρο εργαλείο μέτρησης θορύβου. Στο σχήμα 4.3α φαίνεται ένα απόσπασμα της διαχείρισης χρήστη της da\_sense. Μία μικρή κλειδαριά υποδηλώνει τα ιδιωτικά δεδομένα.



Data Account

On this page you will only find `log` data. Here you can see data details via tooltips, create filter views of data by adding filters and modify your data via the context menu (right-click). You can also change the visibility of data by clicking on locking icons (shortcut). [Note: Multi-selection by pressing CTRL.]

ID	Value	Timestamp	Datentyp	Filter
254	-50.410896060441	21.03.2011 22:14:28	IP	
268	-50.5754661560059	21.03.2011 22:18:37	IP	
272	-50.4997940063477	21.03.2011 22:19:25	IP	
282	-50.459197980469	21.03.2011 22:21:17	Stationsname	
283	-50.3395478993555	21.03.2011 22:21:36	IP	
284	-50.2100170654295	21.03.2011 22:21:56	IP	
314	-50.1514053344727	21.03.2011 22:35:23	Stationsname	
321	-50.1822357177734	21.03.2011 22:36:29	Abteilungen der Überfahrten	
323	-50.1444282531798	21.03.2011 22:37:11	IP	
324	-50.28572002002	21.03.2011 22:37:32	IP	
340	-50.4287528891699	21.03.2011 22:39:25	IP	
341	-49.6419563293457	21.03.2011 22:40:03	IP	
342	-50.3483123779297	21.03.2011 22:40:22	IP	
344	-49.7453861328125	21.03.2011 22:41:00	IP	
352	-49.8013534543898	21.03.2011 22:44:37	IP	
353	-49.804759979248	21.03.2011 22:44:57	IP	
354	-47.9174194331938	21.03.2011 22:45:16	IP	
355	-50.2954025268355	21.03.2011 22:45:35	IP	
356	-50.288330645752	21.03.2011 22:45:55	IP	

(a) User management



(b) Map visualization

Σχήμα 4.3: Διαχείριση της `da_sense` (Schweizer)

- Ένα άλλο σημαντικό κομμάτι της `da_sense` είναι το ότι όλα τα δεδομένα παρουσιάζονται χρησιμοποιώντας χάρτες και γραφήματα. Με αυτό τον τρόπο, οι χρήστες ενημερώνονται άμεσα για όλα τα δεδομένα τους. Υπάρχει ο χάρτης που μπορεί να φιλτραριστεί για να δείχνει οποιαδήποτε πληροφορία για το χρήστη. Είναι επίσης διαθέσιμο για το κοινό χωρίς εγγραφή για να δίνεται μία ιδέα της `da_sense` και για να ενισχύεται η αμεσότητα των πληροφοριών και η συμμετοχή. Ο χάρτης είναι επίσης σημαντικός για τις αρχές ώστε να δείχνουν πραγματικού χρόνου χάρτες θορύβου χρησιμοποιώντας χιλιάδες σημεία δεδομένων. Η απεικόνιση είναι προς το παρόν εφαρμόσιμη στο Google Maps, αλλά στο μέλλον θα υποστηρίζονται και άλλες πλατφόρμες, όπως το OpenStreetMaps, το Bing Maps, και το Oni Maps. Τα σημεία δεδομένων συγκεντρώνονται ανάλογα με το επίπεδο του zoom ώστε να κλιμακώνονται. Για την επίτευξη αυτού, χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος συγκέντρωσης. Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να δει τη μέση ένταση καθώς και το πως αλλάζουν τα δεδομένα με την πάροδο του χρόνου. Γίνεται επίσης να επιλεγεί μία συγκεκριμένη τοποθεσία για να φανεί το 24ωρο γράφημα του θορύβου της περιοχής.

Η NoiseMap χρησιμοποιείται στο κινητό τηλέφωνο και μπορεί να θέλει να έχει πρόσβαση σε όλες τις μετρήσεις του. Ως εκ τούτου, έχει δημιουργηθεί μία εφαρμογή `da_sense` για Android, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 4.4. Το επόμενο βήμα είναι να συνδυαστεί η εφαρμογή `da_sense` με τη NoiseMap ώστε να είναι δυνατή η πρόσβαση σε όλα τα δεδομένα με ένα πάτημα του κουμπιού.

- Η ελεύθερη πρόσβαση στα δεδομένα είναι ιδιαίτερα σημαντική για την επιτυχία κάθε συμμετοχικού project. Πρέπει να είναι εύκολη η ανάγνωση και η γραφή στην πλατφόρμα. Η `da_sense` επιτρέπει την πρόσβαση στα δεδομένα σε διαφορετικά επίπεδα. Η ευκολότερη πρόσβαση είναι μέσω της ιστοσελίδας. Άμεση πρόσβαση στα δεδομένα παρέχεται από μία υπηρεσία διαδικτύου χρησιμοποιώντας ένα JavaScript API (Application User Interface).



(a) Map visualization

(b) Graph visualization

Σχήμα 4.4: Η da\_sense για Android (Schweizer)

## 4.2. NoiseSpy

Η εφαρμογή NoiseSpy τρέχει σε ένα κινητό τηλέφωνο, το οποίο μπορεί να είναι οποιοδήποτε από τη σειρά 60 της Nokia, τρίτης γενιάς, και προγραμματίζεται με τη γλώσσα Native Symbian C++. Κανονικά, τα δεδομένα θορύβου δειγματοποιούνται με συχνότητα ένα δείγμα το δευτερόλεπτο. Παρόλα αυτά η συχνότητα μπορεί να ρυθμιστεί από το χρήστη αν το επιθυμεί. Κάθε ένα από τα δεδομένα συνδυάζεται με τις τελευταίες έγκυρες πληροφορίες για την τοποθεσία με βάση το GPS, όπως το γεωγραφικό μήκος, το γεωγραφικό πλάτος, η ταχύτητα, η ημερομηνία και η ώρα. Η ταυτότητα (ID) του τηλεφώνου, το όνομα χρήστη, το ID του ταξιδιού και το επίπεδο της μπαταρίας του κινητού προστίθενται στα δεδομένα.

Κάθε φορά που τρέχει το λογισμικό στο κινητό τηλέφωνο, τα δεδομένα θορύβου παρουσιάζονται γραφικά στην οθόνη του τηλεφώνου παράλληλα με τις πληροφορίες για τις άλλες τοποθεσίες, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5. Επιπλέον, ο χρήστης παροτρύνεται να επιλέξει για ανίχνευση τοποθεσίας το ενσωματωμένο GPS του τηλεφώνου ή ένα εξωτερικό GPS που μπορεί να συνδεθεί στο τηλέφωνο μέσω Bluetooth. Μόλις εγκατασταθεί η σύνδεση GPS, τα δεδομένα ξεκινούν να αποθηκεύονται στη μνήμη του κινητού. Κάθε φορά που τρέχει το λογισμικό στο κινητό, δημιουργείται ένα αρχείο στο οποίο το όνομα περιλαμβάνεται η τωρινή χρονοσήμανση.

### 4.2.1. Η πλευρά του server

Η βάση δεδομένων είναι επίσης συνδεδεμένη με την πραγματικού χρόνου μόλυνση, ηχορύπανση, κυκλοφορία, καιρό και περιβαλλοντικές πληροφορίες αποθηκευμένες στη βάση δεδομένων του MobSens, το οποίο είναι μέρος του MESSAGE project. Το MESSAGE project καθιστά δυνατή τη διαχείριση το τοπικού περιβάλλοντος κάθε ατόμου και των ιδιωτικών του χώρων χρησιμοποιώντας τα κινητά τηλέφωνα στην καθημερινότητά τους.

Το κομμάτι του συστήματος που έχει να κάνει με τον server τρέχει σε έναν κλασικό Apache server με βάση δεδομένων PHP και PostgreSQL. Η PHP χρησιμοποιείται για γραφή πάνω στον server και η PostgreSQL για επιπλέον αποθηκευτικό χώρο.

Εφόσον τα περισσότερα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας δεν παρέχουν τηλέφωνα με διευθύνσεις IP που μπορούν να δρομολογούνται, όλες οι αιτήσεις επικοινωνίας πρέπει να ξεκινούν από την πλευρά του client. Αυτές οι κλήσεις στέλνονται από τον client στον server πάνω από HTTP χρησιμοποιώντας POST requests, με τις παραμέτρους να περνούν μέσα από τα δεδομένα του POST request. Έπειτα, η απάντηση που δέχεται ο client χρησιμοποιείται για να ενημερωθεί η

κατάσταση της εφαρμογής. Η μέθοδος POST χρησιμοποιείται για να στέλνει τα δεδομένα θορύβου στον server. Οι παράμετροι περνούν σε ένα κείμενο PHP μέσω γραμματοσειράς προς τον server και μετά ο server παίρνει τα δεδομένα και τα καταχωρεί στη βάση δεδομένων. Το κείμενο PHP μετατρέπει επίσης τα δεδομένα σε μορφή XML ή KML ώστε να απεικονίζονται σε ένα online διαδικτυακό interface, όπως περιγράφεται στην επόμενη ενότητα.



Σχήμα 4.5: Η πρώτη μορφή απεικόνισης σε συσκευή όπου ο χρήστης βλέπει ένα γράφημα ημερομηνίας/χρόνου ενώ συλλέγει δεδομένα (Kanjo)

#### 4.2.2. Online interface

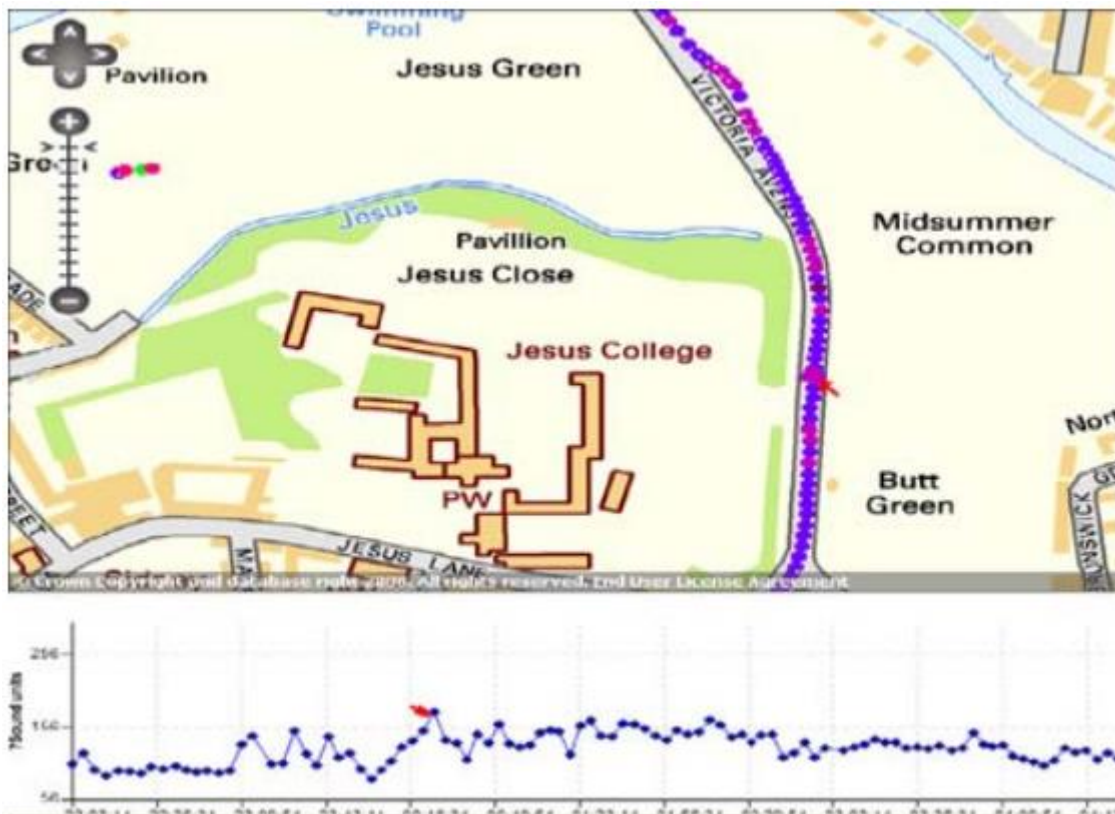
Οι στόχοι του online interface είναι η συνεχής αυτοεξέταση και ενημέρωση. Επιτρέπει στους χρήστες να εξερευνούν τα δεδομένα τους για να παίρνουν αποφάσεις για τον τρόπο που αλληλοεπιδρούν με τον θόρυβο του περιβάλλοντος. Οι χάρτες επιτρέπουν τον καθορισμό του αριθμού των ανθρώπων που υπόκεινται σε διάφορα επίπεδα περιβάλλοντος θορύβου, την πηγή αυτού του θορύβου (π.χ. δρόμος, ράγες, αέρας, βιομηχανία) και τις τοποθεσίες των ανθρώπων.

Οι χάρτες θορύβου έχουν δημιουργηθεί για τους ακόλουθους σκοπούς. Καταρχήν, παρέχουν μία επισκόπηση του περιβάλλοντος θορύβου σε μεγάλες αστικές περιοχές. Επιπρόσθετα, η σάρωση των χαρτών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή πληροφοριών για εντάσεις θορύβου που μπορούν να συνδεθούν σε δεδομένα πληθυσμού ώστε να εκτιμηθεί ο αριθμός των ανθρώπων που υπόκεινται σε ηχορύπανση. Αυτό οδηγεί στην τρίτο σκοπό – που είναι και το σημαντικότερο σημείο στη χαρτοποίηση του θορύβου – τη βοήθεια στην κατάστρωση κατάλληλων σχεδίων για την αντιμετώπιση της ηχορύπανσης.

Ένα επιπλέον όφελος του θορυβικού μοντέλου είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογηθούν οι επιδράσεις των συγκοινωνιών ή και άλλων έργων. Κατά αυτόν τον τρόπο, η επίδραση ενός προτεινόμενου νέου δρόμου μπορεί να αξιολογηθεί και να σχεδιαστεί με μειωμένο θόρυβο, εάν κριθεί απαραίτητο. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς καθίσταται εφικτή η κοστολογική ανάλυση ενός έργου πριν αυτό ξεκινήσει να δημιουργείται.

### 4.2.3. Απεικόνιση με βάση τη διαδρομή

Η πρόσβαση σε συγκεκριμένα δεδομένα είναι θέμα μίας πολιτικής που εφαρμόζει ο κάθε χρήστης με μία ξεχωριστή οντότητα πρόσβασης στη βάση δεδομένων. Οι χρήστες πρέπει να χρησιμοποιήσουν το όνομα χρήστη και τον κωδικό πρόσβασής τους για να μπορέσουν να δουν τα δεδομένα τους. Όταν ο χρήστης κοιτάζει τις πληροφορίες ενός ταξιδιού πάνω στον χάρτη ηχορύπανσης, ο χάρτης επισημαίνει τον ίδιο τον χρήστη ενώ όλα τα υπόλοιπα ταξίδια γίνονται λιγότερο επιφανή και φαίνονται στο φόντο χωρίς να εξαφανίζονται εντελώς. Για την ακρίβεια, η διαφάνεια του ταξιδιού που ενδιαφέρει μειώνεται, ενώ τα υπόλοιπα ταξίδια γίνονται θολά σε βαθμό που επιλέγεται από το χρήστη μέσα από το σύστημα. Όταν ο χρήστης κλικάρει ένα ταξίδι στο χάρτη, ο κατάλογος των ταξιδιών επιλέγει αυτόματα το συγκεκριμένο ταξίδι. Την ίδια στιγμή εμφανίζεται ένα γράφημα κάτω από το χάρτη που δείχνει την ένταση του θορύβου σε σχέση με το χρόνο (Σχήμα 4.6). Η λίστα των διαδρομών μπορεί να ταξινομηθεί. Αν ο χρήστης έχει κατά νου μία συγκεκριμένη ημερομηνία, μπορεί να χρησιμοποιήσει το ημερολόγιο για να προχωρήσει κατευθείαν στη συγκεκριμένη ημέρα. Έπειτα, μπορεί να επιλέξει συγκεκριμένα δρομολόγια που φαίνονται στον χάρτη.



Σχήμα 4.6: Δεδομένα θορύβου που συλλέχθηκαν από ποδηλάτες και υπερθέθηκαν πάνω σε ένα Ordnance Survey Map μαζί με ένα γράφημα χρόνου (Kanjo)

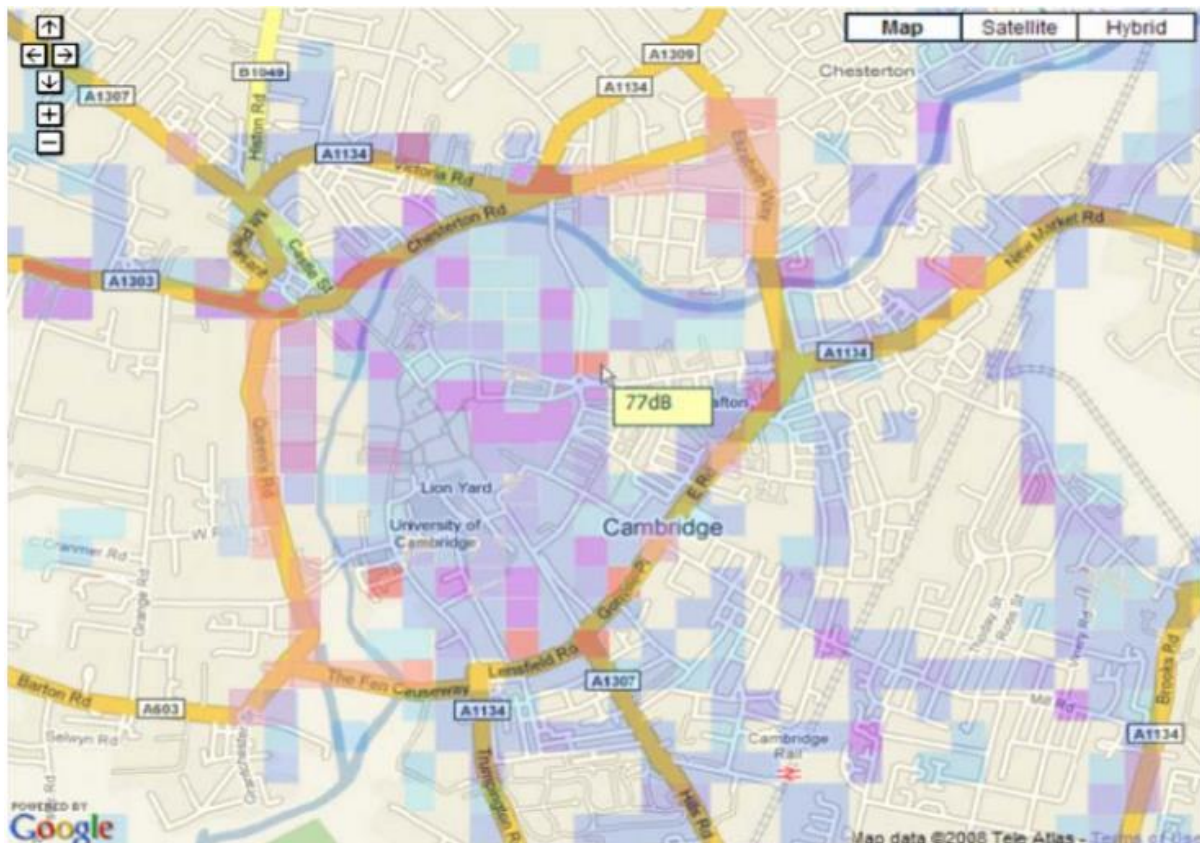
### 4.2.4. Απεικόνιση στην πόλη σε πραγματικό χρόνο

Η μέθοδος για να παρασταθούν γραφικά τα δεδομένα της πόλης είναι να χωριστεί η περιοχή Α σε τετράγωνα και να τοποθετηθούν τα σημεία δεδομένων στο σωστό τετράγωνο με βάση τη θέση στο GPS. Όταν ο χρήστης επιλέγει μία θέση στο χάρτη, τότε αυτή η θέση γίνεται αυτόματα το κέντρο της απεικόνισης του χάρτη. Έπειτα υπολογίζονται και παρίστανται γραφικά η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση κάθε τετραγώνου. Οι χρήστες μπορούν να

αλλάξουν το μέγεθος των τετραγώνων και έτσι τα δεδομένα να παρίστανται γραφικά εντός ορίων του σφάλματος θέσης του GPS.

Οι χρήστες μπορούν να επιλέξουν να δουν μία συγκεκριμένη ώρα και ημερομηνία στο χάρτη. Μπορούν επίσης να δουν ιστορικά δεδομένα ως υπέρθεση με τα δεδομένα πραγματικού χρόνου.

Ο στόχος εδώ είναι να παρέχεται στους χρήστες όσο το δυνατόν περισσότερη πληροφορία χωρίς να μπερδεύονται ή να χαλάει η οθόνη (Σχήμα 4.7). Επιπλέον, αυτός ο τρόπος απεικόνισης γίνεται ορατός από όλους τους χρήστες και επομένως είναι σημαντικό να παρέχεται ένας βαθμός ανωνυμίας για κάθε ατομικό ταξίδι.



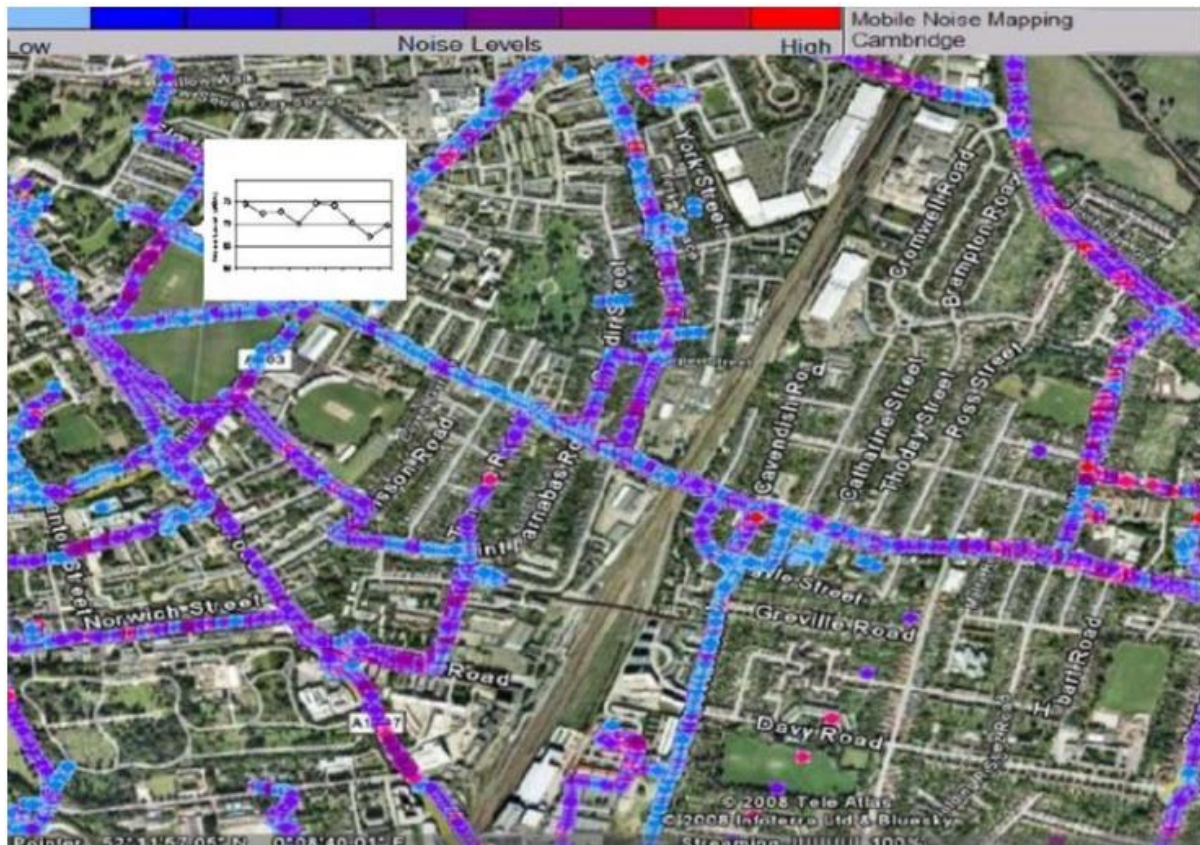
Σχήμα 4.7: Φωτογραφία GoogleMaps της απεικόνισης στην πόλη που δείχνει τα συλλεγμένα δεδομένα θορύβου σε μία περίοδο δύο εβδομάδων (Kanjo)

Και στους δύο τρόπους απεικόνισης τα ίχνη έχουν κωδικοποιηθεί χρωματικά ανάλογα με την επίδρασή τους. Για το χρωματισμό χρησιμοποιήθηκαν δέκα αποχρώσεις του μπλε και κόκκινου. Υψηλότερα επίπεδα επίδρασης του θορύβου χρωματίζονται με τις πιο σκούρες αποχρώσεις του κόκκινου. Παρόμοια, διαδρομές που έχουν χαμηλότερη επίδραση θορύβου χρωματίζονται με πιο ανοιχτές αποχρώσεις του μπλε.

Επίσης οι χρήστες μπορούν να δουν την ίδια διαδρομή με διαφορετικούς τρόπους απεικόνισης, συμπεριλαμβανομένης της υπέρθεσης σε Google Maps (Σχήμα 4.7), σε Ordnance Survey OpenSpace (Σχήμα 4.6) και σε Google Earth (Σχήμα 4.8).

#### 4.2.5. Αξιολόγηση του συστήματος

Κατά τη διάρκεια της πρώιμης ανάπτυξης της εφαρμογής, οι χρήστες ζητήθηκε να χρησιμοποιήσουν το σύστημα σε μία ποικιλία τοποθεσιών. Αυτό έγινε για να εξετασθεί η σταθερότητα και η χρησιμότητα του συστήματος. Αυτή η πρώτη φάση ήταν σημαντική καθώς κατέστησε δυνατό στους παραγωγούς να αναγνωρίσουν τα τεχνικά θέματα και τα θέματα χρήστη πριν ακόμα έρθει το σύστημα σε εφαρμογή.



Σχήμα 4.8: Δοκιμαστικές ηχητικές μετρήσεις στο Κέμπριτζ. Τα χρωματιστά ίχνη αντιπροσωπεύουν την ένταση σε dBA (Κανζο)

##### 4.2.5.1 Πείραμα στην πόλη

Έχουν συλλεχθεί σημαντική ποσότητα δεδομένων από πολλές δοκιμές της NoiseSpy ξεκινώντας από το καλοκαίρι του 2007, αλλά εδώ παρουσιάζονται δεδομένα μόνο από ένα πείραμα δύο εβδομάδων με οχτώ χρήστες.

Για αυτό το πείραμα επιλέχθηκε να δοκιμαστεί το σύστημα σε ποδηλάτες. Οι ηλικίες των συμμετεχόντων κειμήνονταν από 23 έως 52 έτη και 2 από τους χρήστες ήταν γυναίκες. Οι διαδρομές των οχτώ ποδηλάτων και οι χρόνοι εκκίνησης των διαδρομών τους δεν ήταν προγραμματισμένες. Τρεις δούλευαν για μία τοπική εταιρία κούριερ με ποδηλάτες και ξεκινούσαν από το γραφείο τους τριγυρίζοντας στην πόλη του Cambridge για μερικές ώρες. Οι υπόλοιποι ήταν φοιτητές με καμία ιδιαίτερη γνώση της επιστήμης του περιβάλλοντος.

Ζητήθηκε από τους χρήστες να συλλέξουν δεδομένα για δύο ή τρεις ώρες τη μέρα για την περίοδο των δύο εβδομάδων.

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν κινητά τηλέφωνα Nokia, τα οποία τοποθετήθηκαν γύρω από τους λαιμούς των χρηστών για είναι το μικρόφωνο ανοιχτό στον αέρα, και το μικρό εξωτερικό GPS τοποθετήθηκε στην τσέπη του κάθε ποδηλάτη.

Τα μοντέλα ήταν Nokia N95 και τρία N80 με GPS (Holux GPSlim 236 SiRFStarIII). Τα δεδομένα που συλλέγονταν από το εκάστοτε ποδήλατο περνούσαν αυτόματα στο σύστημα πραγματικού χρόνου με GPRS. Στο σχήμα 4.8 φαίνεται η απεικόνιση σε χάρτη των δεδομένων θορύβου στην έκταση του Cambridge πάνω σε Google Earth. Τα χρώματα αντιπροσωπεύουν την ατομική ένταση του θορύβου κατά τη διάρκεια της δοκιμής.



Σχήμα 4.9: Ένας ποδηλάτης κούριερ που συλλέγει δεδομένα για το σύστημα NoiseSpy (Kanjo)

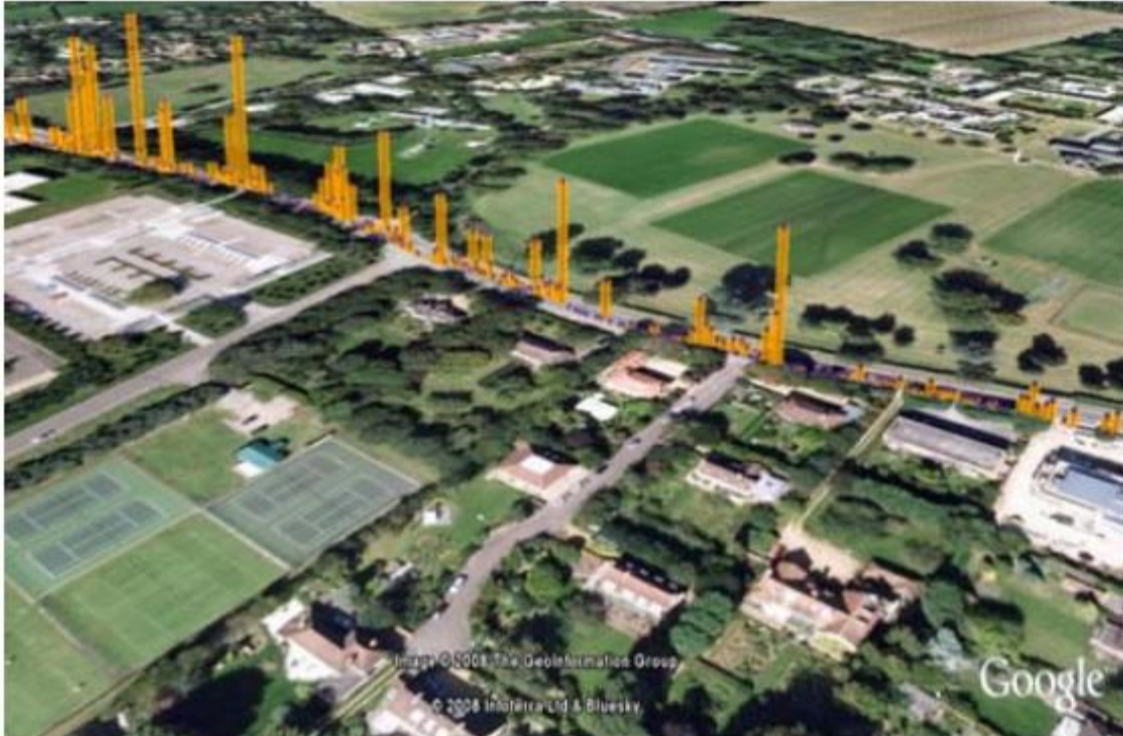
#### 4.2.5.2. Πείραμα με βάση τη διαδρομή

Η χρησιμότητα των προκαθορισμένων διαδρομών για μερικές δοκιμές ήταν για να επιβεβαιωθεί η αξιοπιστία και η επαναληπτικότητα των αποτελεσμάτων. Χρησιμοποιήθηκαν δύο διαδρομές κατά μήκος των οδών Madingley και Huntingdon (Σχήμα 4.10). Και οι δύο δρόμοι έχουν έντονη κίνηση με πολλές λωρίδες, λεωφορεία και στάσεις λεωφορείων. Άρα

ήταν προσδοκώμενο να υπάρχει μεγάλη ποικιλία δεδομένων στο συγκεκριμένο πείραμα και να δουλέψουν ορθά τα GPS.

Σε άλλες περιπτώσεις δοκιμάστηκαν εξερευνητικές διαδρομές στη γύρω περιοχή. Αυτές οι διαδρομές είχαν ως σκοπό να ερευνηθεί η ποικιλία του θορύβου στην περιοχή, δηλαδή αν η έντασή του έχει απότομες κορυφές ή βυθίσεις.

Για κάθε διαδρομή υπολογίστηκε ο Βαθμός Υπέρβασης Θορύβου, ο οποίος αναπαριστά το ποσοστό του χρόνου που πέρασε σε ή πάνω από συγκεκριμένα dB. Για παράδειγμα, ένας βαθμός υπέρβασης 40 για τα 80 dB σημαίνει ότι για 40% του χρόνου της διαδρομής η ένταση του θορύβου ήταν ίση ή μεγαλύτερη από τα 80 dB.



Σχήμα 4.10: Μετρήσεις θορύβου στην οδό Madingley, Cambridge. Το πορτοκαλί γράφημα υποδηλώνει ευρείες ποικιλίες στις εντάσεις του θορύβου εκφραζόμενες σε dBA (Kanjo)

Στο σχήμα 4.10, η ένταση του θορύβου κορυφώνεται κοντά στα 80 dB όταν η διαδρομή περνάει από μεγάλες διασταυρώσεις του δρόμου όπου η κυκλοφορία των αυτοκινήτων είναι πιο έντονη.

#### 4.2.6. Συζήτηση για τη NoiseSpy

##### 4.2.6.1. Συνολικά αποτελέσματα και ποιότητα των δεδομένων

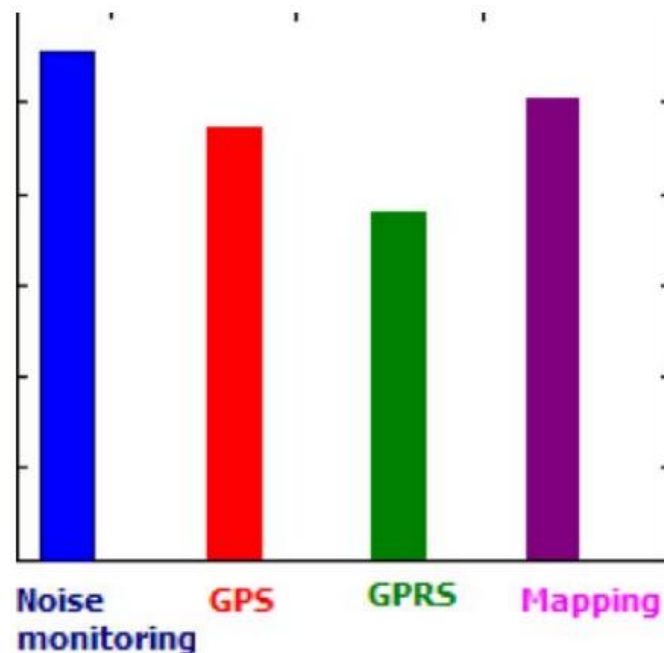
Κατά την περίοδο συλλογής των δεδομένων παρατηρήθηκε ότι περίπου 30% των δεδομένων δεν έφτασαν στη βάση δεδομένων. Κάποια χάθηκαν εξαιτίας των εξής προβλημάτων:

1. Αποσύνδεση GPRS σε κάποια σημεία της πόλης
2. Μη ενεργοποιημένο GPS
3. Κλειστή εφαρμογή NoiseSpy μετά από κατά λάθος απενεργοποίηση κατά τη χρήση του τηλεφώνου.

Σχεδόν όλοι οι συμμετέχοντες βρίσκουν την ιδέα του να βλέπουν πληροφορίες σχετικά με το θόρυβο στο τοπικό περιβάλλον τους ελκυστική, χρήσιμη και διασκεδαστική. Συγκεκριμένα, η



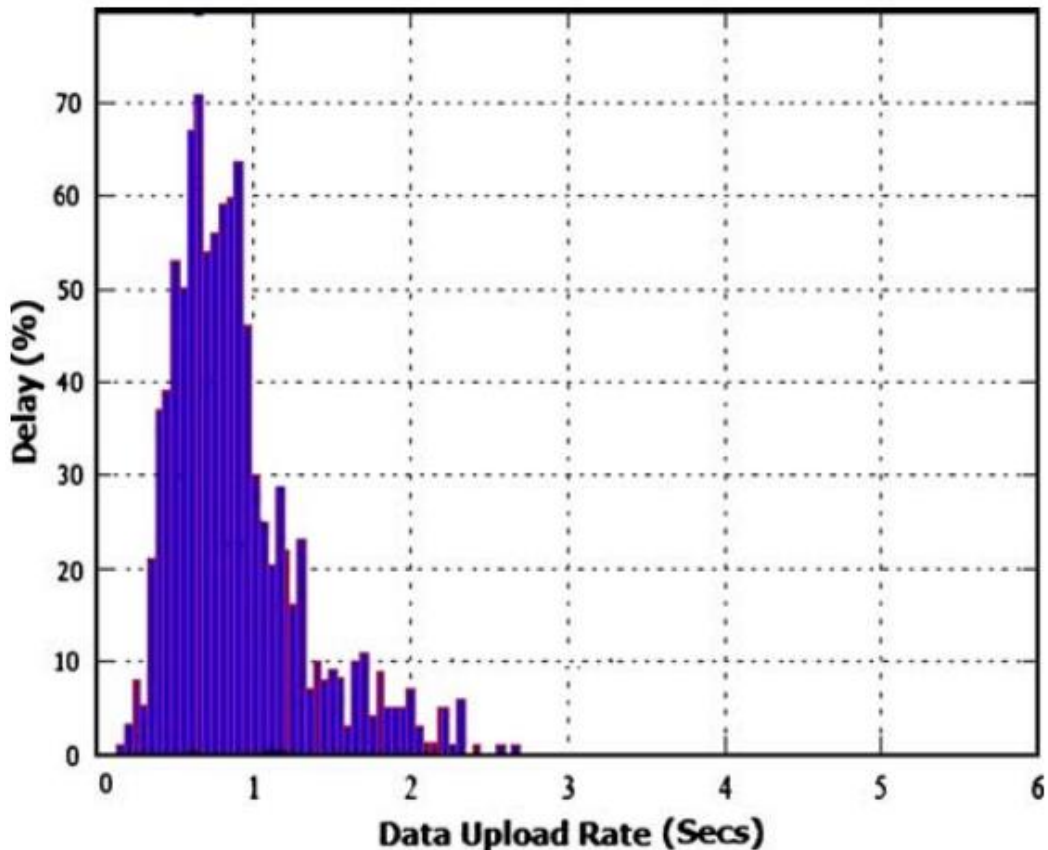
ικανότητα να βλέπουν ένα γράφημα των εντάσεων του θορύβου στο τηλέφωνο ήταν το αγαπημένο τους κομμάτι, πέρα από τα online εργαλεία χάρτη και την εύρεση τοποθεσίας (Σχήμα 4.11).



Σχήμα 4.11: Ένα ιστόγραμμα που δείχνει τα αγαπημένα χαρακτηριστικά του συστήματος (Kanjo)

Με το να αναπαρίστανται οι εντάσεις του θορύβου με χρώματα στο χάρτη στις τοποθεσίες που δημιουργούνται, ήταν επιθυμητό ο χρήστης να καταλαβαίνει τον θόρυβο στη φυσική περιοχή χρησιμοποιώντας την αναπαράσταση του χάρτη. Με το σύστημα που περιγράφεται εδώ, οι τιμές του θορύβου είναι τα βασικά χαρακτηριστικά, παρόλο που ο χάρτης δεν παρουσιάζει με απόλυτη ακρίβεια το τοπίο. Αυτό ισχύει επειδή η ποσότητα της κίνησης τη χρονική στιγμή της επίσκεψης κάθε τοποθεσίας είναι καθοριστική για την αντίληψη και εμπειρία εκείνου του μέρους. Επομένως, μία τοποθεσία είναι σχετική όχι μόνο ως προς τη θέση, αλλά και ως προς το χρόνο με την αντίστοιχη ένταση κίνησης, κάτι που δεν αναπαρίσταται απευθείας από ένα χάρτη.

Το GPRS, όπως και άλλα ασύρματα δίκτυα ευρείας κλίμακας, παρουσιάζει τα παρακάτω χαρακτηριστικά: χαμηλό και με διακυμάνσεις εύρος ζώνης, υψηλή και μεταβλητή καθυστέρηση και περιστασιακή απώλεια δεδομένων. Για να διασαφηνιστούν τα χαρακτηριστικά της μετάδοσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στο σύστημα της NoiseSpy, έχουν διεξαχθεί μία σειρά από πειράματα ώστε να εκτιμηθεί η επίδοση του GPRS. Σε πέντε από τους χρήστες ζητήθηκε να συλλέξουν δεδομένα για μία εβδομάδα με διαφορετικό ρυθμό μετάδοσης (ρυθμό που μεταφέρονται τα δεδομένα στη βάση δεδομένων του server) που κυμαίνεται από 1 μέχρι 10 sec. Ως αποτέλεσμα αυτού του πειράματος, παρατηρήθηκε ότι η ποιότητα του σήματος αυξάνεται όταν ο ρυθμός μετάδοσης μειώνεται, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.12.



Σχήμα 4.12: Γράφημα που αναπαριστά την καθυστέρηση σε πραγματικό χρόνο σε διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων (Kanjo)

### 4.3. BioAid

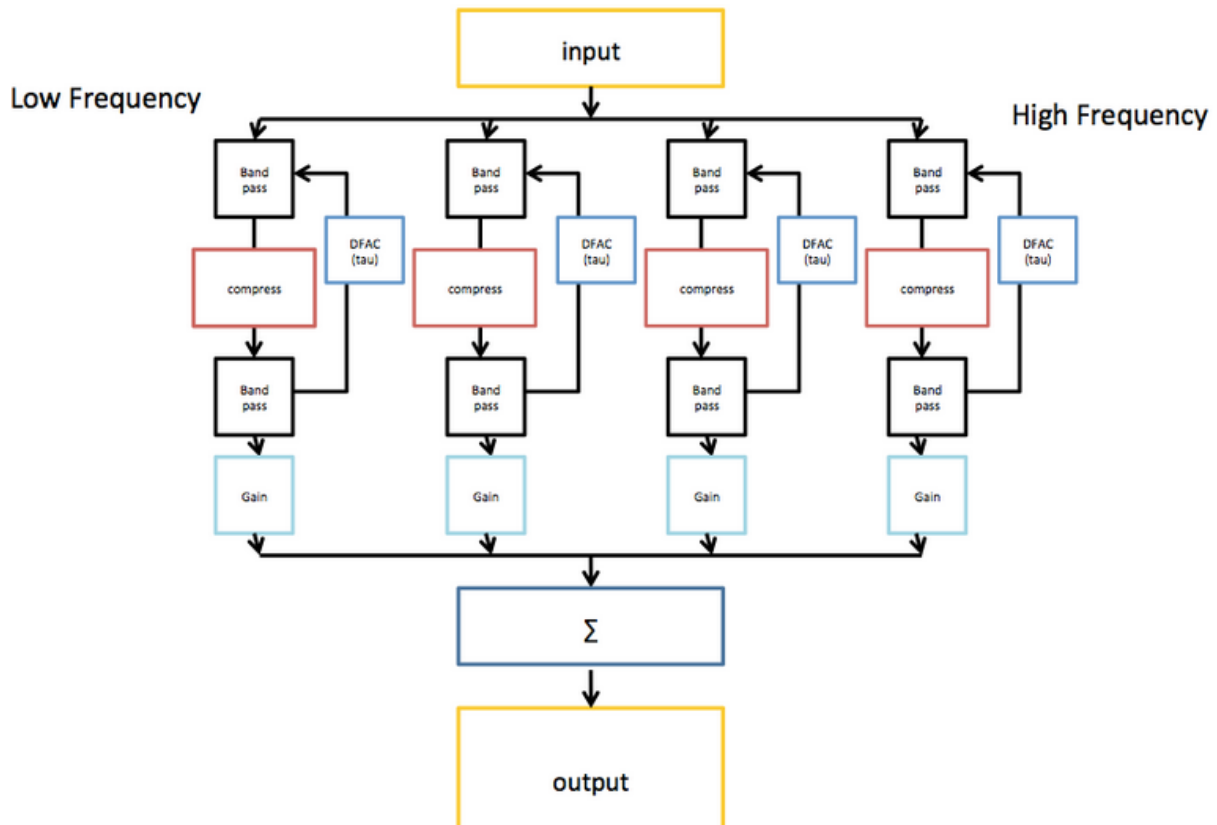
Η BioAid είναι μία εφαρμογή λογισμικού διαθέσιμη δωρεάν από το iTunes Store της Apple, η οποία μετατρέπει μία συσκευή iOS σε ακουστικό βοήθημα. Αυτό γίνεται λαμβάνοντας την ηχητική ροή από το εσωτερικό μικρόφωνο, επεξεργάζοντάς την σε πραγματικό χρόνο, και έπειτα παίζοντάς την μέσω των ακουστικών που είναι συνδεδεμένα στη συσκευή.

Η BioAid δεν σχεδιάστηκε για ψυχαγωγικούς σκοπούς ή για λόγους εντυπωσιασμού. Η ανάπτυξη και η εκτίμηση του αλγορίθμου έχει διεξαχθεί από μία ομάδα ερευνητών του εργαστηρίου ηχητικής έρευνας στο πανεπιστήμιο του Essex. Η BioAid είναι ένας καινοτόμος σχεδιασμός ακουστικού βοηθήματος που ακόμα έχει πολύ μέλλον για να αναπτυχθεί περαιτέρω. Δεν υπήρχαν πολλές πιθανότητες για την εφαρμογή να φτιαχτεί ως ένα συμβατικό ακουστικό βοήθημα για διάφορους λόγους. Χρειάζονταν πολλοί οικονομικοί πόροι ώστε να πειστεί κάποιος κατασκευαστής να υιοθετήσει τον αλγόριθμο. Παρόλα αυτά, οι ερευνητές ήθελαν να κάνουν κάτι πιο δραστικό, και αυτό ήταν να περάσουν κατευθείαν στην παραγωγή χρησιμοποιώντας ένα κινητό τηλέφωνο ως ένα φορητό πειραματικό ακουστικό βοήθημα. Με αυτό τον τρόπο, καθίσταται δυνατό να ελέγχεται η αξιοπιστία της εφαρμογής και να ενημερώνεται με βάση τις εμπειρίες των ανθρώπων σε όλο τον κόσμο, και όχι μόνο μέσα στο εργαστήριο.

Εργαστηριακά test με εθελοντές που υποφέρουν από ακουστική βλάβη βρίσκονται ακόμα σε εξέλιξη. Αυτά τα test γίνονται χρησιμοποιώντας μία λίγο διαφορετική έκδοση της BioAid, που έχει κλιμακωθεί κατάλληλα, και αποτελείται από κλασικά βοηθήματα που συνδέονται σε ένα laptop. Η επεξεργασία σήματος που θα συνέβαινε φυσιολογικά μέσα στο ακουστικό βοήθημα εκφορτώνεται στο laptop, καθιστώντας πιο εύκολη την αλλαγή των παραμέτρων στο

ακουστικό βοήθημα. Ο αλγόριθμος BioAid έχει προοπτικές για χρήση σε πολλές εφαρμογές πέρα, από την εφαρμογή iPhone.

#### 4.3.1. Αρχιτεκτονική της BioAid



Σχήμα 4.13 : Η αρχιτεκτονική της BioAid σε μορφή μπλοκ. Φαίνονται μόνο 4 κανάλια για απλότητα (AP Audioplastic)

Το πρώτο στάδιο επεξεργασίας στην BioAid περιλαμβάνει μία αποσύνθεση του σήματος σε διάφορα εύρη συχνοτήτων. Αυτό γίνεται για να προσομοιωθεί η αποσύνθεση συχνοτήτων που γίνεται από τον κοχλία του αυτιού. Η αποσύνθεση στην εφαρμογή γίνεται μέσω 7 μη επικαλυπτόμενων Butterworth IIR (Infinite Impulse Response) φίλτρων κεντραρισμένων σε ακουστικές συχνότητες μεταξύ των 125 και 8000 Hz. Το ενεργειακό φάσμα είναι επίπεδο όταν τα κανάλια αθροίζονται. Τα φίλτρα είναι όλα δεύτερης τάξης. Στην εργαστηριακή έκδοση της εφαρμογής, έχει διαπιστωθεί κάποιο κέρδος στη χρήση 11 καναλιών, με επιπλέον κανάλια μεταξύ των 500 και 1000, 1000 και 2000, 2000 και 4000, και 4000 και 8000 Hz.

Σε κάθε εύρος ζώνης γίνεται μία στιγμιαία διαδικασία συμπίεσης για να προσομοιωθεί η δράση των ενεργών κομματιών της ακουστικής περιφέρειας. Κάτω από το κατώφλι συμπίεσης, τα σήματα εισόδου και εξόδου έχουν μία γραμμική σχέση. Πάνω από ένα συγκεκριμένο κατώφλι η κυματομορφή μορφοποιείται ώστε να αυξάνεται κατά 0.2 dB στην έξοδο για κάθε dB αύξηση της εισόδου. Στον κώδικα, αυτό εφαρμόζεται ως ένα αλγόριθμος μορφοποίησης κυματομορφής, ο οποίος αμέσως τροποποιεί τις τιμές των δειγμάτων. Η στιγμιαία συμπίεση δεν χρησιμοποιείται συχνά στους συμβατικούς αλγορίθμους ακουστικών βοηθημάτων, καθώς εισάγει παραμόρφωση. Οι ακροατές που έχουν φυσιολογική ακοή θεωρούν αυτή την

παραμόρφωση ιδιαίτερα δυσάρεστη. Μολαταύτα, πιστεύεται από τους ερευνητές του Essex ότι λίγη παραμόρφωση μπορεί να φανεί χρήσιμη σε έναν ακροατή με περιορισμένη ακοή εάν μειωθεί την παραμόρφωση που συμβαίνει σε ένα υγιές ακουστικό σύστημα.

Μετά από το στάδιο στιγμιαίας συμπίεσης, το σήμα φιλτράρεται από μία δεύτερη ομάδα φίλτρων με την ίδια συνάρτηση μεταφοράς όπως των πρώτων. Η διαδικασία στιγμιαίας συμπίεσης εισάγει αρμονική παραμόρφωση που επεκτείνεται περαιτέρω από το εύρος συχνοτήτων του σήματος περιορισμένου εύρους. Μπορεί επίσης να εισάγει παραμορφωτικά προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης που επεκτείνονται πάνω και κάτω από το εύρος. Η δεύτερη ομάδα φίλτρων μειώνει την εξάπλωση της ενέργειας του σήματος στο φάσμα συχνοτήτων.

Η έξοδος του δευτερεύοντος σταδίου χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενός σήματος ανατροφοδότησης. Αυτό το σήμα αποκαλείται DFAC (Delayed Feedback Attenuation Control) και χρησιμοποιείται για να μορφοποιήσει το επίπεδο της απόσβεσης στην είσοδο κάθε στιγμιαίου συμπιεστή.

Για να γίνουν οι ήχοι ακουστοί σε ακροατές με ακουστική βλάβη, πρέπει να παρέχεται ένα κέρδος στις περιοχές συχνοτήτων που έχουν επηρεαστεί. Αυτό γίνεται σε κάθε κανάλι πριν το εκάστοτε σήμα αθροιστεί και έπειτα παρουσιαστεί στον ακροατή.

#### **4.4. Εξωτερικά βοηθήματα**

Σύμφωνα με τη διαθέσιμη βιβλιογραφία, η σύνδεση ακουστικών συσκευών μέσω smartphone απευθείας με ένα ακουστικό βοήθημα δεν έχει μελετηθεί και αναλυθεί εκτενώς. Η πιο συνήθης σύνδεση μεταξύ smartphone και άλλων συσκευών είναι μέσω Bluetooth. Το 2008, πάνω από τα μισά τηλέφωνα στην αγορά είχαν Bluetooth. Τα τελευταία χρόνια, οι περισσότεροι από τους κατασκευαστές ακουστικών βοηθημάτων (Hearing Aids, HA), όπως οι Phonak, Starkey, Siemens και Oticon, καθώς και παραγωγοί κινητών τηλεφώνων, όπως οι Samsung και Nokia, φιλοδοξούν να ενισχύσουν τις λειτουργικότητες των κινητών για τη σύνδεση στα HA.

Δυστυχώς, εφόσον το Bluetooth χρησιμοποιεί σημαντική ποσότητα ενέργειας και χρειάζεται μεγάλη συσκευή, δεν έχει υπάρξει ακόμα επιτυχής απευθείας σύνδεση κινητού με HA μέσω Bluetooth. Επομένως, οι κατασκευαστές έχουν παράγει κυρίως μη ευθείες λύσεις για τη σύνδεση των δύο. Δουλεύει χρησιμοποιώντας επιπλέον προσαρμογείς (αντάπτορες), οι οποίοι ακολουθούν το σήμα Bluetooth από το smartphone στον προσαρμογέα και μετά μεταφέρουν το σήμα με τη βοήθεια ενός άλλου ασύρματου συστήματος στο HA. Τέτοια ασύρματα συστήματα μπορούν να ενσωματωθούν μέσα στο HA λόγω του μικρού μεγέθους τους, όπως για παράδειγμα το Hearing Instruments Body Area Network (HiBAN) της Phonak.

Τέτοιες μη ευθείες συσκευές βοηθούν στην αλληλεπίδραση smartphone και HA. Γενικώς, χωρίζονται σε:

1. συσκευές συνδεσιμότητας
2. συσκευές αλληλεπίδρασης

Μια συσκευή συνδεσιμότητας (όπως για παράδειγμα η iCom της Phonak) συνδέει ασύρματα τα ακουστικά βοηθήματα με τα τηλέφωνα, MP3 players, συστήματα μορφοποίησης συχνότητας (Frequency Modulation systems), και υπολογιστές. Η συσκευή λειτουργεί ως ένα ζευγάρι ασύρματων ακουστικών, διαθέτοντας το πλεονέκτημα της χρήσης hands-free. Αυτές οι συσκευές συνδέονται συνήθως με άλλα συστήματα, όπως κινητά τηλέφωνα μέσω Bluetooth.

Η συσκευή αλληλεπίδρασης (όπως για παράδειγμα ο τηλεχειριστής SoundPilot2 της Phonak) παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου της έντασης και προγραμματισμού των ακουστικών βοηθημάτων.

Αναφερόμενοι στον αυξημένο αριθμό των λειτουργιών και των δυνατοτήτων στον έλεγχο των ψηφιακών ΗΑ, υπάρχει μία αυξανόμενη απαίτηση για πληροφοριοδότηση σε μορφή απεικόνισης. Εκτός των δύο προαναφερθέντων κατηγοριών, οι συσκευές χωρίζονται επιπλέον με βάση τα παρακάτω χαρακτηριστικά τους:

1. ακουστική ανατροφοδότηση
2. οπτική ανατροφοδότηση
3. ακουστική και οπτική ανατροφοδότηση

Πρόσφατα έχει γίνει εφικτός ο συνδυασμός συνδεσιμότητας και αλληλεπίδρασης σε μία συσκευή, όπως για παράδειγμα η ComPilot της Phonak. Άλλες συσκευές που χρησιμοποιούν τεχνολογία Bluetooth και είναι στην αγορά είναι οι iCom και ComPilot της Phonak, και οι Tek και Oticon Streamer της Siemens. Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούν το Bluetooth για επικοινωνία με κινητά τηλέφωνα. Μετέπειτα, ένα σήμα διαχωρίζεται σε κομμάτια με τέτοιο τρόπο ώστε ένα διακριτό σήμα να στέλνεται σε κάθε ΗΑ ξεχωριστά. Το ΗΑ χρειάζεται ένα δέκτη FM (Frequency Modulation) για τη σύνδεση των συσκευών ώστε να δουλέψουν, όπως για παράδειγμα το ComPilot. Δυστυχώς, οι χρήστες μπορεί να αντιμετωπίσουν διάφορους περιορισμούς. Για παράδειγμα, το ComPilot της Phonak μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για ΗΑ που έχουν παραχθεί από την ίδια τη Phonak και όχι για ΗΑ άλλων εταιρειών. Μία λύση σε αυτό το πρόβλημα αναπτύχθηκε από την Artone, η οποία ενσωμάτωσε μέσα στο ΗΑ ένα μεταλλικό εξάρτημα αναφερόμενο διεθνώς ως telecoil. Ένας προσαρμογέας παραλαμβάνει το σήμα από άλλες συσκευές μέσω Bluetooth και έπειτα το στέλνει σε ένα ΗΑ μέσω επαγωγής του telecoil.

Στα μέσα του 2012 η Apple βρήκε ένα τρόπο για το λειτουργικό της σύστημα, iOS, να είναι συμβατό με ακουστικά βοηθήματα φτιαγμένα ειδικά για iPhone. Τα ακουστικά βοηθήματα είναι ψηφιακά και η σύνδεση του ΗΑ με το smartphone γίνεται κάνοντας χρήση ενός πρωτοκόλλου του Bluetooth για χαμηλή ενέργεια στα 2.4 GHz.

Λόγω θεμάτων που υπάρχουν σχετικά με τις συνδέσεις μεταξύ ΗΑ και smartphones, το βασικό ζήτημα είναι κατά πόσο οι χρήστες αποδέχονται τις εξής πιθανές λύσεις για τη σύνδεση των δύο:

1. Μία απευθείας σύνδεση με ένα smartphone συγκεκριμένης μάρκας
2. Μία μη ευθεία σύνδεση με μία συσκευή που ταιριάζει με κάθε smartphone στην αγορά και βρίσκεται σε απόσταση 50 εκατοστών.

Επιπρόσθετα, το ζήτημα είναι να διασαφηνιστεί τι είδους προσαρμογείς προτιμούν οι χρήστες στην περίπτωση μη ευθείας σύνδεσης.

#### **4.4.1. Η έρευνα των Debevc, Kozuh, Meier**

##### **4.4.1.1. Διαδικασία**

Το 2013, οι Debevc, Kozuh, Meier διεξήγαγαν μία έρευνα σε μορφή ερωτηματολογίου για τη διασαφήνιση των παραπάνω θεμάτων. Η έρευνα διεξήχθη στη Σλοβενία και την Ελβετία. Οι συμμετέχοντες επιλέχθηκαν από μία ομάδα πελατών ακουστικών κέντρων και την έρευνα παρακολούθησαν μέλη της ακουστικής κοινωνίας των δύο χωρών. Η έρευνα διήρκεσε 30 λεπτά.

##### **4.4.1.2. Χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων**

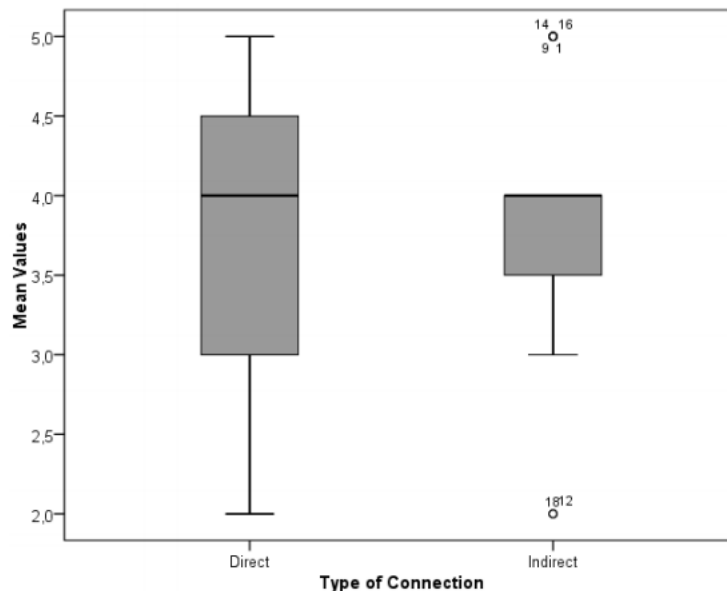
Η μελέτη είχε 27 συμμετέχοντες (9 θηλυκά, 18 αρσενικά) ηλικίας από 48 μέχρι 85 έτη ( $M = 61.52$ ,  $SD = 18.25$ ). Οι περισσότεροι από αυτούς δεν είχαν ιδιαίτερες τεχνολογικές εμπειρίες,

ενώ μόνο 7 (25%) είχαν από πριν smartphone. Όλοι οι συμμετέχοντες χρησιμοποιούσαν ακουστικά βοηθήματα. Η προτιμώμενη χρήση της ηχητικής συσκευής ανάμεσα στους συμμετέχοντες ήταν η παρακολούθηση τηλεόρασης, τηλεφωνικές συνομιλίες, ραδιόφωνο, υπολογιστής ή ασύρματα μικρόφωνα. Οι περισσότεροι συμμετέχοντες (30%) ανέφεραν την τηλεόραση ως την πιο συχνής χρήσης ηχητική συσκευή. Τα τηλέφωνα ήταν στη δεύτερη θέση, με 22%, και το ραδιόφωνο στη Τρίτη, με 15%.

#### 4.4.1.3. Αποτελέσματα

##### 4.4.1.3.1. Προτιμώμενος τρόπος εκτέλεσης

Τα ευρήματα της ανάλυσης έδειξαν ότι η μέση βαθμολογία για τη λύση με τη χρήση smartphone είναι 3.96, σε κλίμακα από το 1 μέχρι το 5 με το 1 να αντιστοιχεί στο "δεν μου αρέσει καθόλου" και το 5 στο "μου αρέσει πολύ". Σε δεκαεννιά συμμετέχοντες (70.3%) άρεσε το να μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάθε smartphone στην αγορά, σε πέντε (18.5%) δεν άρεσε και τρεις (11.1%) ήταν αναποφάσιστοι. Ανάμεσα σε εκείνους που τους άρεσε η χρήση smartphone, η μέση βαθμολογία για τη λύση με απευθείας σύνδεση μεταξύ smartphone και HA είναι 3.63 και τη μέση βαθμολογία για μη ευθείες λύσεις είναι 3.84, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.14.



Σχήμα 4.14: Προτιμώμενος τρόπος εκτέλεσης (Debevc, Kozuh, Meier)

#### Εκτίμηση του τρόπου λειτουργίας: Σύνδεση Smartphone-HA

Θεωρήθηκε η ερώτηση του κατά πόσο οι χρήστες πίστευαν ότι είναι χρήσιμη η σύνδεση μεταξύ smartphone και HA. Οι απαντήσεις χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία συμπεριελήφθησαν χρήστες που τους άρεσε η χρήση smartphone και στη δεύτερη εκείνοι που δεν τους άρεσε.

Οι περισσότεροι συμμετέχοντες της πρώτης κατηγορίας ανέδειξαν το πλεονέκτημα που προσφέρει η χρήση μόνο μίας συσκευής για διαφορετικές ακουστικές καταστάσεις. Τα βασικότερα θέματα ήταν η απλοϊκότητα και η ευκολία στη χρήση. Ένα λιγότερο σημαντικό θέμα ήταν το interface του χρήστη και η αυτόματη σύνδεση μεταξύ ενός HA και άλλων συσκευών μέσω smartphone. Τα ακόλουθα σχόλια απεικονίζουν αυτά τα θέματα:

- "Τέλειο – δεν υπάρχει λόγος να υπάρχουν τόσο πολλές συσκευές με τόσα πολλά καλώδια φόρτωσης και σύνδεσης κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού"

- “Ναι μεν τέλειο, αλλά το interface του χρήστη πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ευκολότερο”

Οι συμμετέχοντες της δεύτερης κατηγορίας κυρίως δήλωσαν την ανησυχία τους σχετικά με τη γενικότερη χρήση του smartphone. Το ακόλουθο σχόλιο ενός από αυτούς είναι χαρακτηριστικό:

- “Δεν θέλω να έχω κι άλλες συσκευές και καλώδια”

#### Εκτίμηση του τρόπου λειτουργίας: Απευθείας Σύνδεση Smartphone-HA

Επιπλέον, εξετάστηκαν οι λόγοι που διαμόρφωσαν την άποψη κάποιων συμμετεχόντων για τη χρήση απευθείας σύνδεση με ένα smartphone για τη σύνδεση και τον έλεγχο ενός HA με άλλες συσκευές. Οι απαντήσεις χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το αν τους άρεσε η απευθείας σύνδεση. Οι συμμετέχοντες που τους άρεσε μίλησαν κυρίως για την πρακτικότητα και τη χρησιμότητα αυτού του τύπου σύνδεσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα το παρακάτω σχόλιο:

“Το να υπάρχει ένας τρόπος όσον αφορά στην απευθείας σύνδεση δεν είναι τόσο κακό αρκεί να είναι επίσης εύκολο στη χρήση.”

Οι συμμετέχοντες που δεν τους άρεσε παρείχαν διάφορες αιτίες. Κυρίως τους απασχολούσε το αν θα ήταν υποχρεωμένοι να χρησιμοποιήσουν τη συγκεκριμένη μάρκα smartphone. Σε μικρότερο βαθμό, τους απασχολούσε εάν τα παλιά smartphone θα υποστήριζαν μία απευθείας σύνδεση. Δεν ήταν διατεθειμένοι να αλλάξουν το κινητό τους για να χρησιμοποιήσουν μία απευθείας σύνδεση. Τα παρακάτω σχόλια αντικατοπτρίζουν τα προαναφερθέντα σημεία:

- “Δεν θέλω να βασίζομαι και να εξαρτώμαι από μόνο έναν παραγωγό smartphone.”
- “Το ερώτημα είναι εάν τα smartphone προσφέρουν τέτοιες λειτουργικότητες. Το πρόβλημα μπορεί να είναι οι συνήθειες και η καθημερινότητα. Γιατί και πώς να αντικαταστήσουμε τα παλιά καλά smartphone με καινούργια?”

#### Εκτίμηση του τρόπου λειτουργίας: Μη Απευθείας Σύνδεση Smartphone-HA

Ομοίως, οι απαντήσεις χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία μίληκαν οι χρήστες που τους άρεσε η μη απευθείας σύνδεση και στη δεύτερη εκείνοι που δεν τους άρεσε. Η ανάλυση των απόψεων των συμμετεχόντων σχετικά με το προκείμενο τρόπο σύνδεσης έδειξε ότι, εκείνοι της πρώτης κατηγορίας τόνισαν την ευελιξία, την πρακτικότητα του προσαρμογέα και μία πιθανότητα να μην είναι υποχρεωμένοι να χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη μάρκα κινητού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα το παρακάτω σχόλιο ενός από αυτούς:

- “Θα ήθελα να έχω την ελευθερία της επιλογής για το κινητό μου τηλέφωνο!”

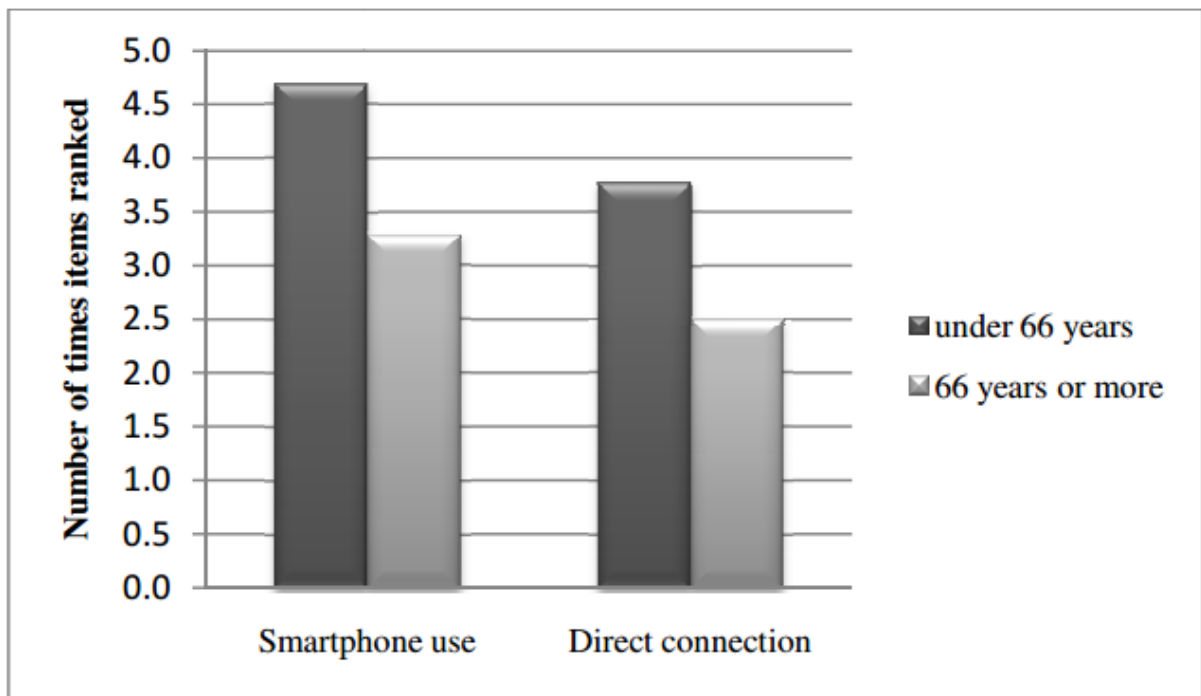
Οι περισσότεροι συμμετέχοντες που δεν τους άρεσε η μη απευθείας σύνδεση απασχολούνταν για την ανάγκη επιπλέον συσκευών κατά τη διάρκεια χρήσης προσαρμογέα. Σε μικρότερο βαθμό, μίλησαν για τη δυσφορία τους όταν χρησιμοποιούσαν προσαρμογείς. Το παρακάτω σχόλιο αναπαριστά αυτά τα σημεία:

- “Μία επιπλέον συσκευή είναι πολύ προβληματική. Υπάρχουν προβλήματα με πολλούς προσαρμογείς.”

#### 4.4.1.3.2. Προτιμώμενος τρόπος εκτέλεσης με βάση την ηλικία

Η γενικότερη παρατήρηση στη μελέτη με βάση την ηλικία των συμμετεχόντων είναι ότι, όσο η ηλικία αυξάνεται, η ιδέα της χρήσης smartphone και απευθείας σύνδεσης απορρίπτεται πιο συχνά.

Με βάση την ηλικία, οι συμμετέχοντες χωρίστηκαν σε δύο ομάδες. Στην πρώτη ομάδα μπήκαν 13 συμμετέχοντες νεότεροι των 66 ετών και στη δεύτερη μπήκαν 14 συμμετέχοντες 66 ετών ή μεγαλύτεροι. Παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις ομάδες και στην περίπτωση χρήσης smartphone και στην περίπτωση απευθείας σύνδεσης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι νεότεροι των 66 ετών ικανοποιούνται πολύ περισσότερο στην ιδέα χρήσης κινητού τηλεφώνου για τη σύνδεση και τον έλεγχο ενός ακουστικού βοηθήματος με άλλες συσκευές, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.14. Οι διαφορές των δύο ομάδων όσον αφορά στη μη απευθείας σύνδεση δεν ήταν ιδιαίτερα σημαντικές.

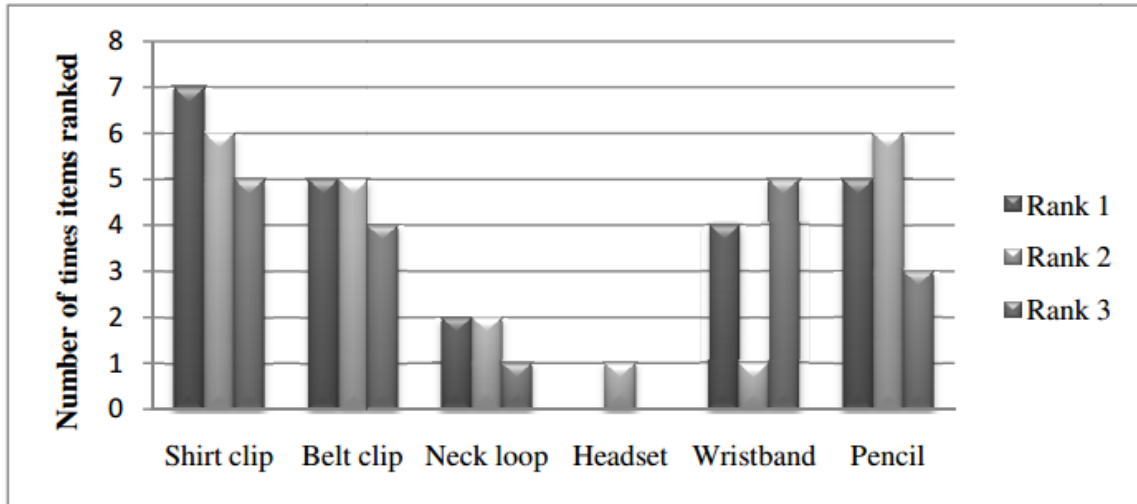


Σχήμα 4.14: Προτιμώμενος τρόπος εκτέλεσης σε δύο ηλικιακές ομάδες (Debevc, Kozuh, Meier)



#### 4.4.1.3.3. Προτιμώμενοι τρόποι φορέματος

Στους συμμετέχοντες παρουσιάστηκαν εικόνες πιθανών τρόπων να φορέσουν τους προσαρμογείς που χρειάζονται για τη μη απευθείας σύνδεση. Τους ζητήθηκε να βρουν τους τρεις πιο κατάλληλους τρόπους και να τους βάλουν σε σειρά, από τον πιο επιθυμητό έως τον τρίτο, λιγότερο επιθυμητό, αλλά επίσης χρήσιμο τρόπο φορέματος. Στο σχήμα 4.15 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.



Σχήμα 4.15: Προτιμώμενοι τρόποι φορέματος (Debevc, Kozuh, Meier)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η βιβλιογραφία που παρουσιάζεται στην παρούσα μελέτη αναλύει τρία διαφορετικά θέματα σε σχέση με τη χρήση των κινητών τηλεφώνων με σκοπό την υποστήριξη των ανθρώπων που υποφέρουν από απώλεια στην ακοή τους. Η πρώτη ενότητα επικεντρώνεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά των επιμέρους οργάνων του κινητού τηλεφώνου, τα οποία συντελούν στο να φτάσει το ηχητικό σήμα από το ακουστικό του τηλεφώνου μέχρι και την τελική καταγραφή. Αναλύει θέματα που αφορούν στη βαθμονόμηση των οργάνων καθώς και στην ακρίβεια τους, πριν και μετά την οποιαδήποτε επεξεργασία. Η δεύτερη ενότητα αποσκοπεί στο να παρουσιάσει στον αναγνώστη τις νεότερες διαθέσιμες εφαρμογές ώστε να μπορεί ο κάθε χρήστης του τηλεφώνου να εξετάζεται για την ακοή του. Η τρίτη ενότητα παρουσιάζει τις σημαντικότερες εφαρμογές που έχουν ως σκοπό την υποστήριξη των ανθρώπων που υποφέρουν από περιορισμένη ακοή.

#### 5.1. Μέτρηση θορύβου μέσω κινητών τηλεφώνων

Υπάρχει αισθητή έλλειψη στην έρευνα σχετικά με τη μέτρηση του θορύβου μέσω κινητών τηλεφώνων. Κάποια εξωτερικά μικρόφωνα έχουν σχεδιαστεί συγκεκριμένα για μετρήσεις εντάσεων θορύβου μέσω κινητών και προσδιορίζονται για να χρησιμοποιηθούν ως ηχόμετρα. Στοχεύουν στο να έχουν καλύτερα ακουστικά χαρακτηριστικά από τα ενσωματωμένα μικρόφωνα, ειδικά όσον αφορά στην κατευθυντικότητα και την απόκριση συχνότητας. Λίγα από αυτά ενσωματώνουν επίσης έναν προενισχυτή και μετατροπέα A/D και ικανοποιούν τις προδιαγραφές των επαγγελματικών οργάνων. Παρόλο που αυτά τα εξωτερικά μικρόφωνα βελτιώνουν αισθητά την ποιότητα των μετρήσεων του θορύβου, το κόστος και η προσβασιμότητά τους παραμένουν εμπόδιο στην ευρεία χρήση των κινητών τηλεφώνων για τη μέτρηση της έκθεσης στο θόρυβο. Τέλος, η χρήση εξωτερικών μικρόφωνων που φοριούνται, όπως τα μικρόφωνα των εξωτερικών ακουστικών, δεν έχει μελετηθεί.

Οι περισσότερες από τις εφαρμογές ηχόμετρου κινητών τηλεφώνων που είναι διαθέσιμες στο "app stores" (Google Play, Apple app store, Nokia Store) έχουν σχεδιαστεί και χρησιμοποιούνται για ψυχαγωγικούς σκοπούς. Η ανάλυση αυτών των εφαρμογών δείχνει ότι η πιο συνήθης εργοστασιακή βαθμονόμηση αποτελείται από διορθώσεις που δεν εξαρτώνται από τη συχνότητα ή την ένταση, άσχετα από το μοντέλο του κινητού τηλεφώνου. Πιο διαμορφωμένες και ακριβείς προσεγγίσεις περιλαμβάνουν βαθμονόμηση του κινητού τηλεφώνου εξαρτώμενη από το μοντέλο ή από μία συγκεκριμένη συσκευή. Μία βάση δεδομένων με τις μετρήσεις βαθμονόμησης μίας εφαρμογής ηχόμετρου δείχνει τις αποκλίσεις στην ευαισθησία των διαφορετικών μοντέλων κινητών τηλεφώνων και επισημαίνει την ανάγκη για βαθμονόμηση που εξαρτάται από το μοντέλο. Ενώ όλοι οι αλγόριθμοι βαθμονόμησης που περιγράφονται στη βιβλιογραφία είναι εξαρτώμενοι από την ένταση, αλγόριθμοι που εξαρτώνται από τη συχνότητα, με βάση φίλτρα που διορθώνουν την απόκριση συχνότητας, δεν έχουν ερευνηθεί. Η πιο εκτενής μελέτη της εργοστασιακής βαθμονόμησης των κινητών τηλεφώνων διεξήχθη από τον Stevens (2012), και οδήγησε σε μία προσέγγιση βαθμονόμησης η οποία έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1. Μία βαθμονόμηση τηλεφώνου εξαρτώμενη από το μοντέλο. Ο συγγραφέας εκτίμησε ότι οι διαφορές μεταξύ της εκάστοτε συσκευής του ίδιου μοντέλου ήταν αρκετά μικρές, γεγονός που συνεπάγεται πως μία βαθμονόμηση που εξαρτάται από την κάθε συσκευή ξεχωριστά δεν κρίνεται απαραίτητη.

2. Έναν αλγόριθμο που εξαρτάται από την ένταση. Μία βαθμονόμηση που εξαρτάται από τη συχνότητα δεν κρίθηκε σχετική, καθώς ο Steves (2012) εκτίμησε ότι η απόκριση συχνότητας του μοντέλου του τηλεφώνου που χρησιμοποίησε ήταν "αρκετά επίπεδη".
3. Καμία πεδιακή βαθμονόμηση, αφού κατέληξε στο συμπέρασμα πως οι διαφορές μεταξύ των δύο μετρήσεων βαθμονόμησης που διεξήχθησαν σε μία περίοδο πέντε μηνών με ένα κινητό τηλέφωνο ήταν, και πάλι "αρκετά μικρές".

Μολαταύτα, η προσέγγιση του Steves (2012) σχετικά με τη βαθμονόμηση παρουσιάζει διάφορους περιορισμούς:

1. Οι μετρήσεις βαθμονόμησης διεξήχθησαν με μόνο μία τεχνητή πηγή λευκού θορύβου, μόνο σε ακουστικό περιβάλλον ελεύθερου πεδίου.
2. Μόνο λίγες συσκευές από ένα μοντέλο κινητού τηλεφώνου ερευνήθηκε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων βαθμονόμησης.
3. Το σφάλμα τοποθέτησης του μικροφώνου εξαιτίας της σωματικής ακουστικής σκιάς και των ανακλάσεων, η σημαντικότητα του οποίου είναι ιδιαίτερα μεγάλη, δεν λαμβάνεται υπόψη στις αντισταθμίσεις της βαθμονόμησης.
4. Ο κορεσμός της ακουστικής αλυσίδας καταγραφής σε πολύ υψηλές εντάσεις του θορύβου δεν έχει ληφθεί συγκεκριμένα υπόψη: η εφαρμογή NoiseTube αφοσιώθηκε στη μέτρηση περιβαλλοντικών πηγών θορύβου με ένα εύρος εντάσεων του θορύβου κάτω των 90 dBA.

Οι λίγες μελέτες που εκτίμησαν την ποιότητα των μετρήσεων των κινητών τηλεφώνων, βασίστηκαν σε συγκρίσεις εντάσεων μίας υπάρχουσας εφαρμογής με τις μετρήσεις από ένα επαγγελματικό ηχόμετρο. Ο στόχος των περισσότερων από αυτές τις μελέτες ήταν πιο πολύ να ερευνηθούν την επίδοση μίας συγκεκριμένης εφαρμογής ηχόμετρου παρά να ερευνηθούν τη συμβατότητα των κινητών τηλεφώνων για να μετρούν εντάσεις θορύβου. Η πιστοποίηση της εφαρμογής NoiseTube έδειξε καλή συμφωνία μεταξύ των μετρήσεων των τηλεφώνων και του ηχόμετρου μέχρι και περίπου τα 95 dBA. Παρόλα αυτά, οι μετρήσεις διεξήχθησαν για ένα λευκό φάσμα θορύβου και με μόνο ένα συγκεκριμένο τηλέφωνο και το ενσωματωμένο του μικρόφωνο.

Οι αποκλίσεις μεταξύ των μεθοδολογιών των μετρήσεων της βαθμονόμησης και της πιστοποίησης επισημαίνουν την έλλειψη τυποποιημένης μεθοδολογίας για τη βαθμονόμηση των κινητών τηλεφώνων ως ηχόμετρα. Οι μεθοδολογίες που εκτελέστηκαν ποικίλουν από μετρήσεις σε εργαστηριακά περιβάλλοντα με πηγές τεχνητού θορύβου σε μετρήσεις σε συνθήκες πραγματικού περιβάλλοντος.

Η χρήση των κινητών τηλεφώνων για ψυχαγωγικές μετρήσεις έκθεσης στο θόρυβο δεν έχει μελετηθεί. Ενώ οι εφαρμογές ηχόμετρου έχουν σχεδιαστεί κυρίως για να χρησιμοποιηθούν με το τηλέφωνο κρατούμενο στο χέρι, αυτή η προσέγγιση δεν είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για μετρήσεις μακροχρόνιας συνεχόμενης έκθεσης στο θόρυβο. Υπάρχει ανάγκη να ερευνηθεί η επίδραση των θέσεων των εξωτερικών μικροφώνων στην ακρίβεια των μετρήσεων των εντάσεων θορύβου. Μελέτες με θορυβικά δοσίμετρα επισημαίνουν ότι το σφάλμα τοποθέτησης του μικροφώνου είναι μία από τις βασικές πηγές λαθών. Ενώ μελετούσαν τις μη τετριμμένες τοποθεσίες του μικροφώνου για θορυβικά δοσίμετρα, οι Byrne και Reeves (2008) έδειξαν την επίδραση του ακουστικού πεδίου στο σφάλμα τοποθέτησης του μικροφώνου: τα συνολικά σφάλματα εξαιτίας της τοποθέτησης του μικροφώνου ήταν πολύ μικρά σε ένα διάχυτο πεδίο ενώ στο ελεύθερο πεδίο, τα σφάλματα εξαρτώνται ιδιαίτερα από τη θέση του μικροφώνου, την τοποθεσία της πηγής του θορύβου και το φάσμα του θορύβου. Εν συντομία, φαίνεται πως η ποιότητα μίας μέτρησης εντάσεων θορύβου μέσω κινητών σε πραγματικό κόσμο βασίζεται σε:

1. Τα χαρακτηριστικά των κομματιών hardware και λογισμικού του τηλεφώνου.
2. Την ποιότητα της εφαρμογής ηχόμετρου συμπεριλαμβανομένου του αλγόριθμου βαθμονόμησης και την ποιότητα των μετρήσεων βαθμονόμησης.
3. Τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος "πραγματικού κόσμου" και τα σφάλματα που σχετίζονται με τη χρήση του τηλεφώνου, όπως το σφάλμα τοποθέτησης του μικροφώνου.

Καταρχήν, υπάρχει ανάγκη για καλύτερη κατανόηση των ηλεκτροακουστικών περιορισμών των κινητών τηλεφώνων συμπεριλαμβανομένων του ενσωματωμένου και των εξωτερικών μικρόφωνων. Δεύτερον, υπάρχει ανάγκη να ερευνηθεί περαιτέρω η εργοστασιακή βαθμονόμηση των κινητών τηλεφώνων και των εξωτερικών μικρόφωνων συμπεριλαμβανομένων των παρακάτω ερευνητικών θεμάτων:

1. Η σχεδίαση αλγόριθμων βαθμονόμησης που εξαρτώνται από την ένταση ή τη συχνότητα.
2. Η μεθοδολογία της μέτρησης, όπως η επιρροή του σφάλματος τοποθέτησης του μικροφώνου στις μετρήσεις της βαθμονόμησης.

Τρίτον, υπάρχει ανάγκη να ερευνηθούν περαιτέρω οι πηγές λαθών που σχετίζονται με τις μετρήσεις έκθεσης στο θόρυβο του τηλεφώνου και την ακρίβειά τους όσον αφορά στο σφάλμα τοποθέτησης του μικροφώνου και τα χαρακτηριστικά του θορύβου.

Επομένως, με βάση τη διαθέσιμη βιβλιογραφία, υπάρχουν αρκετές προτάσεις για περαιτέρω έρευνα. Καταρχήν, η εκτίμηση των ηλεκτροακουστικών περιορισμών των κινητών τηλεφώνων και των εξωτερικών συσκευών έγινε κάνοντας χρήση ενός πολύ μικρού αριθμού συσκευών (τέσσερις συσκευές του ίδιου μοντέλου τηλεφώνου, ένα ακουστικό τηλεφώνου και ένα ζευγάρι εξωτερικών ακουστικών). Μία σειρά από test για να καθιερωθεί μία εργοστασιακή βαθμονόμηση με μεγαλύτερο σύνολο κινητών τηλεφώνων και εξωτερικών συσκευών θα μπορούσε να παρέχει μία πιο ευρεία ανάλυση των περιορισμών των smartphone, λαμβάνοντας υπόψιν τις διαφορές μεταξύ των μοντέλων των κινητών και τη σημαντικότητα των "ακραίων μονάδων". Αποτελέσματα από μία τέτοια σειρά μετρήσεων θα επέτρεπε την εκτίμηση της ποικιλίας μεταξύ των μονάδων των διάφορων κινητών τηλεφώνων και εξωτερικών συσκευών. Ένα από τα ερευνητικά ερωτήματα προς απάντηση θα αφορούσε τη σχετικότητα της χρήσης ενός αλγόριθμου βαθμονόμησης που εξαρτάται από το μοντέλο για τις εξωτερικές συσκευές. Στις διαθέσιμες μελέτες, η χρήση κούκλας αντί για ανθρώπους περιόρισε την ερμηνεία των αποτελεσμάτων των μετρήσεων πιστοποίησης.

Δεύτερον, οι μετρήσεις βαθμονόμησης που έλαβαν τόπο στο εργαστήριο, διεξήχθησαν σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα κατά τη διάρκεια μία μικρής χρονικής περιόδου. Διάφορες αβεβαιότητες και πηγές σφαλμάτων δεν ερευνήθηκαν, όπως το σφάλμα εξαιτίας της ολίσθησης των οργάνων ή τα σφάλματα που σχετίζονται με μετρήσεις σε πραγματικό περιβάλλον(επιδράσεις του ανέμου, τριβή του μικροφώνου στα ρούχα, κλπ.). Διάφορα σενάρια έκθεσης στο θόρυβο μπορούν να μελετηθούν ανάλογα με τα ακουστικά χαρακτηριστικά της τοποθεσίας των μετρήσεων, την τοποθέτηση του μικροφώνου σε σχέση με την πηγή, την κινητικότητα του χρήστη και τα χαρακτηριστικά των πηγών θορύβου.

Ένα από τα ισχυρά πλεονεκτήματα της χρήσης κινητών τηλεφώνων για τη μέτρηση της έκθεσης στο θόρυβο είναι η δυνατότητα της βελτιστοποίησης της αλληλεπίδρασης χρήστη και των ενσωματωμένων μικρόφωνων έτσι ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα της εκτίμησης. Ενώ η προτιμώμενη προσαρμογή που καθορίζεται από το χρήστη απαιτεί την ανάμειξη του ώστε να επιλέγεται η πιο κατάλληλη βαθμονόμηση, μία μεταβλητή της μεθόδου θα μπορούσε να περιλαμβάνει αλγόριθμους οι οποίοι αξιολογούν το ακουστικό πεδίο και την κινητικότητα του

χρήστη χρησιμοποιώντας το σήμα του μικρόφωνου και άλλους αισθητήρες ενσωματωμένους στο τηλέφωνο, με ελάχιστη ή καθόλου ανάμειξη του ίδιου του χρήστη.

## **5.2. Ακουστική εξέταση μέσω κινητών τηλεφώνων**

### **5.2.1. Η έρευνα των Ghanem και Handzel (2015)**

Η γήρανση του πληθυσμού αναμένεται να αυξήσει την επικράτηση των ακουστικών βλαβών λόγω ηλικίας, αφού η έλλειψη ακοής είναι πολύ συχνό φαινόμενο στους ηλικιωμένους. Οι βλαβερές επιρροές της απώλειας ακοής μπορούν να αντιμετωπιστούν ή να βελτιωθούν με ακουστικά βοηθήματα, όμως εκτιμάται ότι μόνο ένα 25% των ανθρώπων των οποίων η απώλεια ακοής χρήζει υποβοήθησης την αποκτούν. Ένα από τα βασικά εμπόδια της αποκατάστασης της βλάβης είναι οι λάθος ή καθόλου διαγνώσεις της ακουστικής βλάβης.

Μία επίσημη ακουομετρική εκτίμηση είναι το χρυσό πρότυπο για τη διάγνωση της απώλειας ακοής αλλά μπορεί να μην είναι ακόμα διαθέσιμη, αφού απαιτεί ένα περιβάλλον για test που είναι ηχομονωμένο και εκπαιδευμένο προσωπικό. Ένα φορητό ακουόμετρο παρέχει βαθμονομημένα test καθαρού ηχητικού τόνου, αλλά είναι σχετικά ακριβό. Χρειάζεται έναν εκπαιδευμένο χειριστή και ήσυχο περιβάλλον, καθώς ο τριγύρω θόρυβος μπορεί να επιδρά στον καθορισμό των εντάσεων κατωφλίου.

Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές της αμερικάνικης υπηρεσίας πρόληψης (US Preventive Task Force, USPSTF) που δημοσιεύθηκαν τον Αύγουστο του 2012, δεν υπάρχει καμία πρόταση για μία ρουτίνα στον τρόπο ακουστικής εξέτασης. Η επιλογή του να γίνεται χρήση ακουστικών test βασιζόμενων σε smartphone δεν λήφθηκε υπόψιν εκείνη την χρονική περίοδο. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που είναι μοναδικό στις μεθόδους με smartphone είναι η δυνατότητα της αυτοεξέτασης στο σπίτι και, ως εκ τούτου, η τεράστια βελτίωση της προσβασιμότητας, ιδιαίτερα για γηραιότερους ανθρώπους με διαταραγμένη βάδιση.

Στη μελέτη των Ghanem και Handzel (2015) ορίστηκαν ως όριο επιτυχίας/αποτυχίας τα 40 dB. Όταν τα άτομα εξεταζόντουσαν μέσω της εφαρμογής uHear, βρέθηκε ότι έχουν χειρότερα ακουστικά κατώφλια για τα 250, 300, 500, 4000 και 6000 Hz σε σχέση με το φορητό ακουόμετρο. Είχαν ίσα κατώφλια στα 2000 Hz και η μέση διαφορά ήταν μόνο 3.36 dB στα 1000 Hz. Επιπλέον, οι δύο τελευταίες συχνότητες θεωρούνται οι πιο σημαντικές για τη λειτουργικότητα που σχετίζεται με την απώλεια ακοής. Η απόκλιση μεταξύ των κατωφλίων της εφαρμογής uHear και του ακουόμετρου σημαίνει ότι ενώ η uHear μπορεί να μην είναι ικανή να καθορίσει με ακρίβεια το επίπεδο της ακουστικής βλάβης, είναι παρόλα αυτά τόσο χρήσιμη όσο και το ακουόμετρο για τους σκοπούς της εξέτασης. Σημαντικό είναι το γεγονός πως όλοι οι εξεταζόμενοι που απέτυχαν στο ακουομετρικό test απέτυχαν και στο test της εφαρμογής uHear, το οποίο συνεπάγεται 100% ευαισθησία (Πίνακας 4.3). Εφόσον μόνο πέντε εκ των εξεταζόμενων πέρασαν την εξέταση με το φορητό ακουόμετρο, συμπεραίνεται ότι ο αριθμός των ατόμων που θα χρησιμοποιήσουν ακουόγραμμα χωρίς αυτό να κρίνεται απαραίτητο είναι σχετικά μικρός (2 από τους 26 στη συγκεκριμένη μελέτη).

Τα αυξημένα κατώφλια της uHear συμφωνούν με προηγούμενες μελέτες, και μπορεί να οφείλονται σε διάφορους παράγοντες. Ένας είναι η επίδραση της ποιότητας ακουστικών. Αναντίστοιχη τοποθέτηση των ακουστικών στο εξωτερικό ακουστικό κανάλι μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα ένα φαινόμενο εξαερισμού, δηλαδή διαρροή της ακουστικής ενέργειας έξω από το κανάλι και εισαγωγή περιβάλλοντος θορύβου. Όμως, αφού τα test και της εφαρμογής uHear και του φορητού ακουόμετρου διεξήχθησαν κάτω από τις ίδιες συνθήκες στην παρούσα μελέτη, ο περιβάλλον θόρυβος δεν μπορεί να εξηγήσει τις διαφορές μεταξύ των δύο.

Το ερωτηματολόγιο της uHear έχει πιστοποιηθεί και θεωρείται ως ένα χρήσιμο όργανο για την εξακρίβωση του αντίκτυπου που έχει η απώλεια ακοής στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν ότι τα score των ερωτηματολογίων συσχετίζονται σημαντικά με τα ακουστικά κατώφλια και της εφαρμογής uHear και του φορητού ακουόμετρου στα 500, 1000 και 2000 Hz (με εξαίρεση τα 2000 Hz στο πιο αδύναμο αυτί, πίνακας 3.2). Τρεις εξεταζόμενοι πέρασαν την εξέταση του ερωτηματολογίου αλλά απέτυχαν και στα δύο test. Η χαμηλότερη ευαισθησία του ερωτηματολογίου σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της εφαρμογής uHear και του φορητού ακουόμετρου, αντανακλά τις δυσκολίες στην εξέταση ακουστικής βλάβης κάνοντας χρήση μόνο αυτο-αναφορών. Άλλα εξεταστικά εργαλεία που βασίζονται σε ερωτηματολόγια είχαν ευαισθησίες που κυμαίνονταν από 53 έως 72%. Ένα άτομο είναι πιθανόν να απαντήσει ένα ερωτηματολόγιο για την λειτουργική κατάσταση της ακοής του με βάση προσωπικές, οικογενειακές, επαγγελματικές και κοινωνικές ανάγκες. Αυτές οι ανάγκες μπορεί να μειώνονται όσο μεγαλύτερη είναι η ηλικία. Ένας φαύλος κύκλος μπορεί να δημιουργηθεί καθώς η απώλεια ακοής τήνει να δυσκολεύει τις κοινωνικές σχέσεις, περιορίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο ακόμα περισσότερο τις επικοινωνιακές ανάγκες των ηλικιωμένων και πιθανόν μειώνοντας ακόμα περισσότερο την ευαισθησία μίας εξέτασης βασισμένης σε ερωτηματολόγιο.

Οι γηραιότεροι είναι λιγότερο πιθανό από τους νεότερους να χρησιμοποιήσουν την τεχνολογία και τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Έχουν αναφερθεί διάφοροι λόγοι, συμπεριλαμβανομένης της απώλειας πρόσβασης στη συγκεκριμένη τεχνολογία, το κόστος, και την έλλειψη γνώσης ή ενδιαφέροντος. Άλλες μελέτες έχουν δείξει ότι οι γνωστικές ικανότητες ήταν σημαντικά μέσα πρόβλεψης της τεχνολογικής χρήσης.

Στη μελέτη των Ghanem και Handzel (2015) υποθέθηκε ότι ο χρόνος που χρειάζεται για τη συμπλήρωση των test που βασίζονται σε smartphone μπορεί να θεωρηθεί ως ένας γενικός δείκτης για την ευκολία της χρήσης και την πρακτικότητα της οθόνης αφής. Οι διάρκειες των test δεν συσχετίζονται σημαντικά με την ηλικία και είναι παρόμοιες με αυτές του φορητού ακουόμετρου, δείχνοντας πως αυτή η τεχνολογία είναι πρακτική για όλες τις ηλικιακές ομάδες. Κανένας συμμετέχων στη μελέτη δεν είχε χρησιμοποιήσει smartphone στο παρελθόν, αλλά συμπλήρωσαν τα test επιτυχώς ακολουθώντας λίγες σύντομες οδηγίες. Σε μία τυπική οικιακή χρήση, αυτά τα θέματα μπορούν να προσπεραστούν εύκολα με τη βοήθεια ενός φροντιστή ή ενός μέλους της οικογενείας.

Η ρυθμιστική και νομική κατάσταση των κλινικών εφαρμογών σε smartphone και tablet δεν έχει καθιερωθεί. Τέτοιες εφαρμογές θεωρούνται προς το παρόν μακρινές από τις συνήθειες διαδικασίες ώστε να εγκριθούν ως ιατρικές συσκευές. Είναι σημαντικό να θυμάται κανείς ότι η εφαρμογή uHear υπηρετεί ως μία εξέταση η οποία έχει ως σκοπό να χρησιμοποιηθεί για να αποφαίνεται ο χρήστης για το εάν πρέπει να επισκεφτεί κάποιον ειδικό, και όχι να αντικαταστήσει το κλασικό ακουόγραμμα.

Η μελέτη των Ghanem και Handzel (2015) διεξήχθη με ένα σχετικά μικρό αριθμό δειγμάτων. Κάνοντας χρήση μεγαλύτερου πληθυσμού ασθενών θα μπορούσε να έχει ακόμα καλύτερα αποτελέσματα. Επομένως, υπάρχουν σαφείς αποδείξεις πως μία εξέταση μέσω smartphone, όπως η εφαρμογή uHear, είναι ένα πρακτικό και χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση της ακουστικής βλάβης.

### **5.2.2. Η έρευνα των Na, Joo, Yang**

Η έρευνα των Na, Joo, Yang επιδεικνύει την ανάπτυξη μίας εφαρμογής ακουστικής εξέτασης και την προσβασιμότητα σε πραγματικές περιοχές όπως το σπίτι, ένα εστιατόριο, ή ένα ήσυχο περιβάλλον. Η πιο καινοτόμα ιδέα ήταν η χρήση του ενσωματωμένου μικρόφωνου ενός

smartphone για να μετρηθεί η ένταση του θορύβου του υπό εξέταση περιβάλλοντος. Το ενσωματωμένο μικρόφωνο χρησιμοποιήθηκε για να καταγράψει τους θορύβους του περιβάλλοντος. Αφού ένα ηχητικό test καθαρού τόνου είχε ολοκληρωθεί, η εφαρμογή ανέδειξε τα ακουστικά κατώφλια για τέσσερις συχνότητες και διόρθωσε αυτόματα το HTS (Hearing Threshold Shift) με βάση την ένταση του θορύβου του περιβάλλοντος. Η προκαταρκτική εκτίμηση έδειξε ότι η ακουστική εξέταση μέσω smartphone θα μπορούσε να εκτιμήσει κατάλληλα το ακουστικό κατώφλι ακόμα και σε ένα θορυβώδες περιβάλλον. Τυπικά, η διόρθωση του HTS είχε ως αποτέλεσμα μία σημαντική βελτίωση στα 1000 και 2000 Hz στο ακουστικό test. Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης της εφαρμογής, θεωρήθηκε πως η αυτοεξέταση πρέπει να είναι εύκολα προσβάσιμη και απλή στη χρήση. Τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου δείχνουν ότι οι περισσότεροι συμμετέχοντες πίστευαν πως η εφαρμογή είναι εύχρηστη και χρειάστηκαν λιγότερο από 15 λεπτά εξάσκησης πριν τη χρήση.

Περαιτέρω έρευνα στο συγκεκριμένο θέμα κρίνεται απαραίτητη πριν διανεμηθεί η εφαρμογή για δημόσια χρήση. Στη μελέτη των Na, Joo, Yang, βαθμονομήθηκαν το μικρόφωνο και τα ακουστικά ενός συγκεκριμένου μοντέλου κινητού τηλεφώνου (Galaxy, Samsung, Suwon, Korea) και ένα σημαντικό θέμα αποτελεί το γεγονός ότι η ανεπτυγμένη εφαρμογή μπορεί να είναι έγκυρη μόνο για το συγκεκριμένο μοντέλο. Παρόλα αυτά, όταν βαθμονομήθηκαν άλλα smartphone σε προκαταρκτικό στάδιο, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι πίνακες βαθμονόμησης δεν ήταν ιδιαίτερα διαφορετικοί από εκείνους του smartphone που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη, αλλά συστηματικές βαθμονομήσεις για το μικρόφωνο και τα ακουστικά είναι σημαντικές ώστε να αυξηθεί η ακρίβεια με σκοπό τη χρήση της εφαρμογής και σε άλλα μοντέλα.

Σε αυτή την εφαρμογή, ο χρήστης έπρεπε να επιλέξει τον τύπο του περιβάλλοντος θορύβου, είτε λευκό θόρυβο ή θόρυβο babble. Παρόλο που η εφαρμογή επεξηγεί την επιλογή του είδους του θορύβου, μπορεί να είναι δύσκολο για το χρήστη να επιλέξει σωστά. Ο χρήστης μπορεί απλά να διαλέξει θόρυβο babble όταν χρησιμοποιεί την εφαρμογή σε ένα εστιατόριο, μία καφετέρια, μία τάξη, ή έναν εσωτερικό χώρο. Σε άλλη περίπτωση, ο χρήστης μπορεί να διαλέξει λευκό θόρυβο. Μία βελτίωση στην εφαρμογή θα ήταν εφικτή κάνοντας χρήση περισσότερων κατηγοριών θορύβου του περιβάλλοντος. Επιπρόσθετα, οι συγγραφείς αναπτύσσουν έναν αλγόριθμο αναγνώρισης θορύβου που θα μπορούσε αυτόματα να κατηγοριοποιήσει τον τύπο του θορύβου έτσι ώστε να μη χρειάζεται ο χρήστης να κάνει την επιλογή.

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας πιστοποίησης συμμετείχαν 18 άτομα με φυσιολογική ακοή και 3 με ήπια ακουστική βλάβη. Εξαιτίας του σχετικά μικρού αριθμού εξεταζόμενων με έλλειψη ακοής, υπάρχουν ακόμα περιορισμοί για την πιστοποίηση της επίδοσής τους. Επομένως, περαιτέρω συλλογή δεδομένων χρησιμοποιώντας ανθρώπους με ποικίλα επίπεδα ακουστικής βλάβης κρίνεται απαραίτητη για μελλοντικές έρευνες. Επίσης, χρειάζονται πιο πολλά test πραγματικού περιβάλλοντος για να διερευνηθεί κατά πόσο είναι κατάλληλη η εφαρμογή στην καθημερινότητα.

### **5.3. Κινητά και ακουστικά βοηθήματα**

#### **5.3.1. NoiseMap**

Παρότι η NoiseMap και η da\_sense παρέχουν ένα σταθερό σύνολο εργαλείων για χάρτες θορύβου πραγματικού χρόνου, υπάρχουν αρκετοί τρόποι για περαιτέρω αύξηση της λειτουργικότητάς τους.

## Εφαρμογή NoiseMap

Το επόμενο βήμα για τη NoiseMap είναι να γίνει χρήση σταθμισμένων δειγμάτων συχνοτήτων (στάθμης A) και να δημιουργηθεί η ισοδύναμη ένταση θορύβου στάθμης A,  $L_{Aeq}$ , η οποία παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά του ανθρώπινου αυτιού. Μπορούν να ερευνηθούν διαφορετικές ιδιότητες του μικροφώνου, όπως για παράδειγμα η γραμμικότητα και τεχνικές μείωσης του θορύβου. Είναι επίσης σημαντικό να αναθεωρηθεί ο τρόπος μετρήσεων του smartphone. Για παράδειγμα, αν το τηλέφωνο είναι τοποθετημένο στην τσέπη οι μετρήσεις παραμορφώνονται. Αυτό θα έπρεπε να εντοπίζεται και να λαμβάνεται υπόψιν.

### Ποιότητα δεδομένων

Μικρόφωνα που είναι ενσωματωμένα μέσα σε smartphone δεν είναι φτιαγμένα ως θορυβικά δοσίμετρα. Η ποιότητά τους είναι κατώτερη των επαγγελματικών οργάνων. Για να διαβεβαιωθεί η ποιότητα των δεδομένων πρέπει οι εσφαλμένες μετρήσεις να φιλτράρονται. Αλγόριθμοι εντόπισης ακραίων τιμών δεδομένων δεν μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα καθώς απότομες διακυμάνσεις του θορύβου μπορούν εύκολα να γίνουν αντιληπτές ως ακραίες τιμές. Χρειάζεται ένας αλγόριθμος που αναλύει εξονυχιστικά τα δεδομένα για να εγγυηθεί ώστε τα αποτελέσματα να είναι επακριβή. Μία σημαντική ιδέα είναι να αυξηθεί η ποιότητα των δεδομένων αλλάζοντας την ποσότητά τους.

### Βαθμονόμηση

Ένα σημαντικό κομμάτι κάθε εφαρμογής με αισθητήρες είναι η βαθμονόμηση. Τα μικρόφωνα διαφέρουν μεταξύ των μοντέλων των κινητών τηλεφώνων αλλά και μεταξύ των τηλεφώνων του ίδιου μοντέλου. Η βαθμονόμηση μπορεί, επομένως, να γίνει είτε με βάση το μοντέλο ή με βάση την εκάστοτε συσκευή. Ίσως μία καλή ιδέα θα ήταν η βαθμονόμηση να γίνεται με βάση το μοντέλο, αλλά μετά κάθε κινητό τηλέφωνο να μπορεί να βαθμονομηθεί ώστε να δίνει ακόμα πιο επακριβή αποτελέσματα.

### **5.3.2. NoiseSpy**

Συνολικά, η εμπειρία του χρήστη στην εφαρμογή NoiseSpy είναι θετική. Καθώς πολλοί από τους χρήστες τους άρεσε η χρήση της, την κράτησαν μετά την αρχική φάση δοκιμής για περαιτέρω χρήση. Ακόμα γίνονται προσπάθειες επαναπροσδιορισμού των κομματιών της εφαρμογής και βελτίωσής τους. Συγκεκριμένα, μελλοντικές εκδόσεις της NoiseSpy θα περιλαμβάνουν:

1. Ένα βελτιωμένο λογισμικό της εφαρμογής που μεγαλώνει τη διάρκεια της μπαταρίας. Ο σκοπός είναι να γίνει εφικτό για τους χρήστες να τρέχουν το λογισμικό για όσο το δυνατόν περισσότερο χρονικό διάστημα χωρίς να χρειάζεται να επαναφορτίσουν τη συσκευή.
2. Περεταίρω έρευνα των μεθόδων βαθμονόμησης για να διαβεβαιωθεί μακροχρόνια σωστή δικτυακή λειτουργία μεταξύ των κινητών τηλεφώνων.
3. Βελτιωμένη μυστικότητα και κονσόλα χρήστη για να παρέχονται στο χρήστη καλύτεροι τρόποι προσπέλασης των δεδομένων τους και των άλλων.



4. Καλύτερη συγχώνευση των δεδομένων για να βελτιωθεί η επίδοση του συστήματος όταν συλλέγεται και μεταφέρεται μεγάλη ποσότητα δεδομένων, ειδικά όταν εισάγονται δεδομένα καιρού ή μόλυνσης του αέρα.

Η εφαρμογή NoiseSpy αποτελεί μία μεταμόρφωση του κινητού τηλεφώνου από ένα απλό επικοινωνιακό εργαλείο σε έναν αισθητήρα θορύβου. Αναδεικνύει τη δυνατότητα και πρακτικότητα της χρήσης ενός κινητού μετρητή ήχου για τον έλεγχο του θορύβου του περιβάλλοντος. Δείχνει τον τρόπο με τον οποίο καινοτόμες τεχνολογίες όπως τα κινητά τηλέφωνα μπορούν να ενθαρρύνουν συζητήσεις και αλλαγές του τρόπου ζωής των ανθρώπων.

### 5.3.3. Εξωτερικά βοηθήματα

Στην παρούσα ενότητα, παρουσιάστηκε η ιδέα της χρήσης ενός κινητού τηλεφώνου σε σύνδεση με ένα ακουστικό βοήθημα (HA, Hearing Aid), το οποίο επιτρέπει τον έλεγχο του HA σε ποικίλες ηχητικές καταστάσεις, ιδιαίτερα σε σύνδεση με διαφορετικές ηχητικές συσκευές. Εξετάστηκαν οι απόψεις των ανθρώπων, όπου πιστοποιήθηκε ο τρόπος με τον οποίο αντιλαμβάνονται τους διαφορετικούς τρόπους διασύνδεσης μεταξύ του smartphone και του HA.

Τα ευρήματα της έρευνας των Debevc , Kozuh , και Meier, έδειξαν ότι στους συμμετέχοντες άρεσε η ιδέα της χρήσης ενός smartphone σε σύνδεση με τα ακουστικά βοηθήματα. Παρόλο που μία μη απευθείας σύνδεση μεταξύ των δύο κάνοντας χρήση ενός προσαρμογέα αξιολογήθηκε ως ελαφρώς καλύτερη από μία απευθείας σύνδεση, οι διαφορές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές.

Όταν ήταν υπέρ της μη απευθείας σύνδεσης, στους συμμετέχοντες άρεσε η ιδέα του να έχουν προσαρμογέα στο πουκάμισο, τη ζώνη ή ένα μολύβι όταν ερωτήθηκαν για τον προτιμώμενο τρόπο φορέματος, ώστε να επιτυγχάνεται η σύνδεση μεταξύ του smartphone και του HA.

Η ηλικία φάνηκε πως είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την αντίληψη των χρηστών σχετικά με την απευθείας σύνδεση. Οι συμμετέχοντες κάτω των 66 ετών προτιμούσαν περισσότερο από τους υπόλοιπους το συγκεκριμένο τρόπο διασύνδεσης.

Η μελέτη των Debevc , Kozuh , και Meier έχει διάφορους περιορισμούς. Καταρχήν, το μέγεθος των δειγμάτων είναι σχετικά μικρό. 27 συμμετέχοντες πήραν μέρος, ηλικίας από 48 μέχρι 85 ετών. Δεύτερον, οι συμμετέχοντες αξιολόγησαν ιδέες, και όχι απτά προϊόντα, με την υποκειμενική τους άποψη. Τα ευρήματα της μελέτης μπορεί να διέφεραν εάν η αξιολόγηση γινόταν σε έτοιμα προϊόντα.

Παρά τους παραπάνω περιορισμούς, τα ευρήματα της έρευνας μπορούν να μεταφερθούν επίσης σε νεότερους χρήστες που υποφέρουν από ακουστική βλάβη, στους οποίους φαίνεται να είναι η χρήση των κινητών τηλεφώνων πιο επικρατούσα.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

#### A.1 Αποτελεσματικότητα προγνωστικών μετρήσεων

Η προγνωστική δυνατότητα μείωσης του NIHL έχει οδηγήσει σε επιτακτικά προγράμματα πρόγνωσης πολλές χώρες. Αυτές κυμαίνονται από τη μείωση των εντάσεων του θορύβου στην πηγή (όπως λιγότερο θορυβώδη μηχανήματα ή προστασία των εργατών από την πηγή), απόσβεση του θορύβου μέσω προστατευτικού εξοπλισμού έως την επιτακτική εξέταση (ακουομετρία) ή ένα συνδυασμό παρεμβάσεων.

Οι παρεμβάσεις για να μειωθεί ο θόρυβος στην πηγή όπως τη αποτελεσματική σχεδίαση, η μετασκευή, και η συντήρηση του εξοπλισμού παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία αλλά δεν έχουν ακόμα εκτιμηθεί ή εφαρμοστεί επαρκώς.

Μία πρόσφατη ανασκόπηση των μελετών που εκτίμησε κάποιες παρεμβάσεις για να μειωθεί η εργασιακή έκθεση στο θόρυβο συμπέρανε ότι δεν υπάρχουν μελέτες που να υποδεικνύουν πως συγκεκριμένες παρεμβάσεις μπορούν να εφαρμοστούν ή να συντηρηθούν σε μεγάλη κλίμακα. Επίσης, το ρίσκο της απώλειας ακοής είναι ακόμα ουσιαστικό ακόμα και αν εφαρμόζεται κάποιο πρόγραμμα πρόγνωσης.

Σε εργασιακούς χώρους όπου είναι δύσκολο να μειωθεί ο θόρυβος της πηγής, πρέπει να βασίζεται κανείς στα φαινόμενα απόσβεσης που εισάγει η ηχητική προστασία. Μολαταύτα, τα αποδεικτικά στοιχεία υποδηλώνουν ότι η ηχητική προστασία των εργατών ως μέρος προγραμμάτων πρόγνωσης δεν τους προστατεύει απόλυτα στην πράξη, παρόλο που λειτουργεί επικερδώς.

#### A.2 Ποικιλία στην ευαισθησία

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία στην απώλεια ακοής μεταξύ των εργατών που εκτίθενται στις ίδιες εντάσεις θορύβου. Το 1965, ο Taylor κ.α. ανέφεραν ένα εύρος από 0 έως 60 dB απώλειας ακοής στα 4 kHz μετά από σαράντα χρόνια έκθεσης σε βιομηχανικό θόρυβο των 115 dBA. Αυτό επίσης ανακλάται στις ευρείες τυπικές αποκλίσεις της απώλειας ακοής σε εργάτες. Εκτιμάται ότι ακόμα και μετά από 40 χρόνια έκθεσης σε 100 dBA υπάρχει ένα ποσοστό 40% εργατών που δεν θα υποφέρουν από ακουστική βλάβη, ορισμένη ως μία μέση απώλεια ακοής υψηλότερη από 35 dB στις συχνότητες 1, 2, και 3 kHz. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μία ατομική προδιάθεση για απώλεια ακοής, ή τουλάχιστον μία ποικιλία στα ρίσκα.

Όλες οι προγνωστικές μετρήσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω έχουν διεξαχθεί άσχετα με την υπάρχουσα ποικιλομορφία του ρίσκου. Αυτό συνεπάγεται ότι 40% των εργατών θα υποβληθούν σε αυτές τις μετρήσεις παρότι δεν κινδυνεύουν από NIHL. Από την άλλα, ίσως να είναι απαραίτητο να παρατηρούνται οι εργάτες που είναι πιο ευαίσθητοι σε επιβλαβή φαινόμενα θορύβου πιο συχνά. Θα ήταν, επομένως, βοηθητικό αν ήταν να δυνατό να προγνωστεί ο βαθμός ευαισθησίας στο NIHL για κάθε εργάτη ξεχωριστά.

Αυτό ίσως να ήταν πιθανό με ένα προγνωστικό μοντέλο διαφορετικό από τη μελέτη αιτιολογικών παραγόντων. Ενώ στις αιτιολογικές μελέτες γίνεται προσπάθεια να βρεθεί εάν μία μεταβλητή μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστα ότι οδηγεί σε ένα αποτέλεσμα, όταν προσαρμόζεται σε άλλες μεταβλητές, στις προγνωστικές μελέτες γίνεται προσπάθεια να γίνει χρήση όσο το δυνατόν περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών για να προβλεφθεί ένα

αποτέλεσμα που θα γίνει στο μέλλον. Όλες οι μεταβλητές που σχετίζονται με ένα αποτέλεσμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως προγνωστικοί παράγοντες είτε είναι αιτιοκρατικά συσχετιζόμενες είτε όχι. Επομένως, μοντέλα που περιλαμβάνουν πολλές προγνωστικές μεταβλητές είναι πιο χρήσιμες από ότι ξεχωριστές μελέτες παραγόντων για την ακριβή πρόγνωση μελλοντικών αποτελεσμάτων.

### **A.3 Προγνωστικοί παράγοντες**

Υπάρχουν παράγοντες που θεωρείται ότι σχετίζονται με το NIHL και επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προγνώσουν, όσο πιο επακριβώς γίνεται, την πιθανότητα ανάπτυξης NIHL σε έναν εργάτη που εκτίθεται σε θόρυβο άνω των 80 dBA και η ταχύτητα της εξέλιξης του NIHL.

Αυτοί οι παράγοντες ευαισθησίας μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες: παράγοντες σχετιζόμενους με το άτομο και παράγοντες σχετιζόμενους με την εργασία ή εργασιακούς παράγοντες. Οι εργασιακοί παράγοντες πέρα από τον θόρυβο που σχετίζονται με απώλεια ακοής (όπως ωτοτοξικά χημικά, η χρήση συσκευών προστασίας της ακοής, ή η έκθεση σε δονήσεις) μπορούν να μορφοποιηθούν σε ένα εργασιακό χώρο εφαρμόζοντας προστασία που θα προστάτευε όλους τους ανθρώπους ανεξάρτητα από την ατομική του ευαισθησία. Επομένως οι προσωπικοί παράγοντες γίνονται πιο σημαντικοί όταν πρόκειται να προγνωστεί ένα ατομικό ρίσκο:

Οι παράγοντες που σχετίζονται με το άτομο μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως ακολούθως:

1. Προσωπικά φυσικά χαρακτηριστικά όπως το δέρμα ή το χρώμα του δέρματος
2. Παράγοντες συμπεριφοράς ή τρόπου ζωής όπως το τσιγάρο, θορυβώδη χόμπι ή συμπεριφορές προστασίας από τον ήχο
3. Παράγοντες σχετικά με την ακοή όπως η παρουσία εμβοών, βασικές τιμές ακουστικών κατωφλίων, προσωρινές μετατοπίσεις κατωφλίου ή οικογενειακή ιστορία απώλειας ακοής
4. Παράγοντες ασθενειών, όπως ασθένειες που επηρεάζουν το κυκλοφορικό σύστημα ή το αυτί, οι ιατρικοί παράγοντες όπως ωτοτοξικά ναρκωτικά

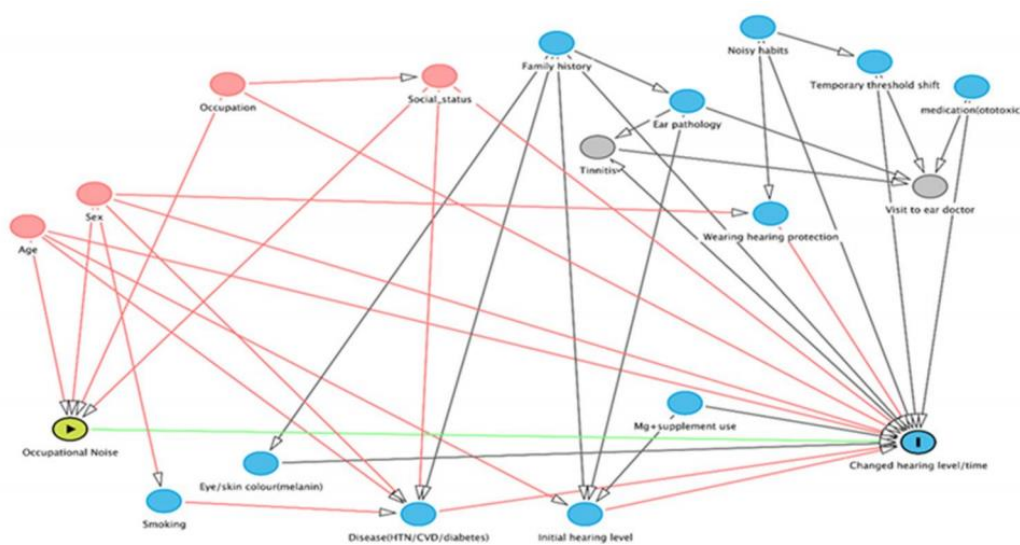
Μία επιπλέον κατηγορία θα μπορούσε να είναι οι γενετικές ποικιλομορφίες και προδιαθέσεις. Μολαταύτα, οι υπάρχουσες έρευνες είναι ασαφείς στη συσχέτιση οποιασδήποτε συγκεκριμένης γενετικής μεταλλαγής με μία αυξημένη ευαισθησία στο NIHL για τους ανθρώπους.

Υπάρχει μία γενική ομοφωνία ότι η μεγαλύτερη έκθεση στο θόρυβο, σε διάρκεια ή ένταση, οδηγεί σε αυξημένο ρίσκο απώλειας ακοής. Παρότι τώρα υπάρχει ομοφωνία μεταξύ των επιστημόνων ότι η ισοτιμία μεταξύ των δύο πρέπει να είναι 3 dB, στις ΗΠΑ χρησιμοποιείται επίσης η ισοτιμία των 5 dB, η οποία είναι ένας πολιτικός συμβιβασμός μεταξύ ασφάλειας και οικονομικού κόστους. Ως ισοτιμία εννοείται η αναλογία μεταξύ διάρκειας και έντασης, για παράδειγμα αύξηση της έντασης κατά 3 dB για διπλάσια διάρκεια σημαίνει 3 dB ισοτιμία. Αυτές οι στρατηγικές μετρήσεων συνήθως χρησιμοποιούνται μόνο για βραχυπρόθεσμες μετρήσεις και σπανίως χρησιμοποιείται ένα συγκεντρωτικό ευρετήριο θορύβου. Για παράδειγμα με ισοτιμία στα 3 dBA, μία οχτάωρη έκθεση σε 85 dBA ισούται με μία τετράωρη έκθεση σε 88 dBA. Με ισοτιμία στα 5 dBA, η ισοδύναμη τετράωρη έκθεση θα ήταν 90 dBA.

Η ηλικία είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το ρίσκο των ανθρώπων να έχουν χαμηλότερη ακουστική ικανότητα. Υπάρχουν αρκετά δεδομένα στην επίδραση της αυξανόμενης ηλικίας στην απώλεια ακοής. Η απώλεια ακοής ξεκινάει ήδη από νωρίς στη ζωή αλλά εμφανίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό πιο αργά, από μία ηλικία περίπου των 30 με 40 ετών.

Μελέτες υποδηλώνουν ότι ένας ή περισσότεροι προσωπικοί παράγοντες (φυσικά χαρακτηριστικά) μπορεί να είναι προγνωστικοί για NIHL. Το χρώμα του δέρματος και η χρώση της ίριδας, που υποδηλώνουν πιο έντονες λειτουργίες μελανοκυττάρων, έχουν αναφερθεί ότι σχετίζονται με ένα μειωμένο ρίσκο απώλειας ακοής. Σε μία μελέτη, υπήρχε μία διαφορά των 8.9 dB κατά μέσο όρο απώλειας ακοής στα 3,4, και 6 kHz μεταξύ εργατών με σκούρα και ανοιχτά μάτια με παρόμοια επίπεδα συνολικής έκθεσης σε θόρυβο. Σε μία άλλη μελέτη, τα άτομα με πιο σκούρο χρώμα δέρματος είχαν καλύτερα κατώφλια σε όλες τις συχνότητες από εκείνους με πιο ανοιχτό δέρμα.

Ένα πιθανό δίκτυο αλληλεπίδρασης μεταξύ της έκθεσης, της επίδρασης, και των ποικίλων προγνωστικών παραγόντων παρουσιάζεται σε ένα κατευθυνόμενο ακρυλικό γράφημα (Σχήμα Α.1). Οι ροζ κύκλοι αντιπροσωπεύουν τους παράγοντες που μπορεί να είναι προκάτοχοι και της έκθεσης και του αποτελέσματος: μία ποικιλία σε αυτούς τους παράγοντες επηρεάζει και το ρίσκο έκθεσης σε θόρυβο και το ρίσκο για NIHL. Οι μπλε κύκλοι πρόγονοι μόνο του αποτελέσματος: αυτοί δεν επηρεάζουν το ρίσκο για έκθεση σε θόρυβο στην εργασία αλλά επηρεάζουν το ρίσκο για εργασιακό NIHL. Οι γκρι κύκλοι είναι εκείνοι που δεν είναι πρόγονοι ούτε της έκθεσης ούτε του αποτελέσματος αλλά φαίνεται να σχετίζονται με το αποτέλεσμα του NIHL ή με έναν από τους προγόνους τους και επομένως μπορούν να είναι προγνωστικοί. Οι πράσινες γραμμές υποδηλώνουν αιτιατά μονοπάτια και οι ροζ γραμμές υποδηλώνουν μη αιτιατά μονοπάτια. Σε μία μελέτη για τους παράγοντες ρίσκου όλοι οι παράγοντες στο μη αιτιατό μονοπάτι πρέπει να προσαρμόζονται ιδανικά σε πρωταρχικές μελέτες για να επιτρέπεται μία εκτίμηση της αιτιατής επιρροής της έκθεσης πάνω στο αποτέλεσμα. Σε ένα προγνωστικό μοντέλο ωστόσο, όλοι αυτοί οι παράγοντες μπορούν να συμπεριληφθούν είτε συνδέονται αιτιατά είτε όχι. Μπορεί να υπάρχουν επιπλέον προγνωστικοί παράγοντες που δεν περιλαμβάνονται σε αυτό το διάγραμμα.



Σχήμα Α.1: Δικτυακό διάγραμμα που δείχνει τις σχέσεις μεταξύ διάφορων παραγόντων και του NIHL (Finnish Institute of Occupational Health)

#### **A.4 Σύνοψη των κύριων ευρημάτων**

Η μεγαλύτερη ηλικία και παρελθοντική έκθεση σε θόρυβο αυξάνει το ρίσκο για NIHL με βάση πολλαπλές μελέτες αλλά ήταν δύσκολο να εξαχθούν συμπεράσματα χωρίς το μέγεθος της αύξησης αυτής. Υπάρχουν επίσης αποδείξεις ότι η πολλαπλή θεραπεία για φυματίωση αυξάνει το ρίσκο. Παρόμοια, λιγότερη χρήση ηχητικής προστασίας και καθόλου επισκέψεις σε ωτορινολαρυγγολόγο αυξάνει το ρίσκο για NIHL σύμφωνα με κάποιες μελέτες. Δεν υπάρχουν απτές αποδείξεις για την επίδραση του να έχει κανείς πιο σκούρο χρώμα δέρματος ή την επίδραση του γένους παρόλο που έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες.

Τα περισσότερα αποτελέσματα ήταν πολύ ετερογενή που σημαίνει ότι πρέπει να ερμηνευτούν με προσοχή.

#### **A.5 Συνολική πληρότητα και εφαρμοσιμότητα των ευρημάτων**

Το εύρος των μελετών είναι ευρύ και όσον αφορά στους πληθυσμούς που καλύφθηκαν και στους παράγοντες που εκτιμήθηκαν. Παρόλα αυτά, για κάθε παράγοντα που εκτιμήθηκε ο αριθμός των μελετών που παρέχουν δεδομένα είναι περιορισμένος.

Παρόλο που όλες οι μελέτες υποδηλώνουν ότι μεγαλύτερη ηλικία συνεπάγεται μεγαλύτερη απώλεια ακοής κάθε χρόνο στο μέλλον, είναι αδύνατον να ξεχωριστούν το NIHL από την πρεσβυακουσία. Το ποσοστό απώλειας ακοής αυξάνει σε γενικές γραμμές με την ηλικία και επομένως είναι δύσκολο να αποδοθούν τα ευρήματα εξ' ολοκλήρου στο NIHL. Θα χρειαζόταν μία μελέτη που συγκρίνει και τους νέους και τους ηλικιωμένους εργατές, εκτεθειμένους σε θόρυβο ή μη. Στις μελέτες των Shibi 2010 και Seixas 2005 η επίδραση ήταν πολύ εντονότερη από ότι στις υπόλοιπες. Η έντονη επίδραση που βρέθηκε από τον Shibi 2010 δεν μπορεί να εξηγηθεί. Με βάση τον Shibi 2010 το ρίσκο απώλειας ακοής αυξάνεται κατά περίπου 1 dB ανά έτος γήρανσης. Αυτό σημαίνει ότι ένας 60-χρονος εργατής θα είχε 30 dB επιπλέον ρίσκο απώλειας ακοής σε σύγκριση με έναν 30-χρονο εργατή που εκτίθεται σε θόρυβο ίσης έντασης και για την ίδια διάρκεια. Αυτό δεν φαίνεται να είναι ρεαλιστικό και οι επαγγελματίες θα είχαν παρατηρήσει αυτές τις μεγάλες διαφορές από μόνοι τους, επειδή είναι τόσο μεγάλες. Οι άλλες μελέτες απέδωσαν μία πιο ρεαλιστική σημασία στην ηλικία ως προγνώστη, εκτιμώντας 0.04 με 0.08 dB ανά έτος γήρανσης. Αυτό θα έδινε σε έναν 60-χρονο εργατή μία απώλεια ακοής 3.6 dB μεγαλύτερη από αυτή ενός 30-χρονου που εκτίθεται στον ίδιο θόρυβο χρονικά και ποσοτικά. Ο Seixas (2005) εκτίμησε περίπου 4 dB διαφορά μεταξύ εργατών άνω και κάτω των 30 ετών. Πιστεύεται ότι η προγνωστική επίδραση της ηλικίας ανακτάται καλύτερα αξιολογώντας την ανά έτος αύξηση όπως έκαναν οι Rabinowitz (2013), Heyer (2011) και Shih (2010).

Η συσχέτιση της μεγαλύτερης ηλικίας με μεγαλύτερη απώλεια ακοής έρχεται ελαφρώς σε αντίθεση με τα διεθνή πρότυπα για το NIHL, τα οποία υποδηλώνουν μία εκθετική σχέση μεταξύ της έκθεσης στο θόρυβο και του NIHL. Εδώ, η απώλεια ακοής επιταχύνεται περισσότερο στα πρώτα δέκα έτη και τήνει να επιβραδύνει με περισσότερη διάρκεια έκθεσης. Παρότι η διάρκεια έκθεσης δεν είναι παρόμοια με την ηλικία, θα περίμενε κανείς μία ισχυρή συσχέτιση και επομένως μία πιο επιταχυνόμενη απώλεια ακοής σε νεότερους ανθρώπους.

Η παρελθοντική έκθεση σε εργασιακό θόρυβο αύξησε το ρίσκο απώλειας ακοής κατά περίπου 1.25 dB. Αυτό είναι ρίσκο μόνο για μικρή αύξηση αλλά μπορεί να υποδηλώνει ότι η

παρελθοντική έκθεση κάνει τους εργάτες περισσότερο ευαίσθητους. Αυτό έρχεται επίσης σε αντίθεση με τα διεθνή πρότυπα. Επίσης, έκθεση σε μη εργασιακό θόρυβο αύξανε την απώλεια ακοής και αυτό είναι αναμενόμενο. Και οι δύο αυτοί παράγοντες μπορούν να εκτιμηθούν εύκολα και επομένως να βοηθήσουν στην πρόγνωση της απώλειας ακοής εξαιτίας του θορύβου στο μέλλον. Παρόλα αυτά, χρειάζονται περισσότερα δεδομένα για να είναι κανείς σίγουρος για το μέγεθος της επίδρασης αυτών των παραγόντων. Για να αποδοθούν τα ρίσκα σε μία έκθεση επακριβώς, μελλοντικές μελέτες πρέπει να εκτιμήσουν τα διάφορα επίπεδα έκθεσης σε αυτούς τους παράγοντες.

Οι παράγοντες που είναι σχετικοί με ασθένειες και θεραπείες αξιολογήθηκαν σε μία μελέτη σε μεταλλωρύχους χρυσού στη Νότια Αφρική. Βρέθηκε ότι τα φάρμακα για την πρεσβυακουσία αυξάνουν το NIHL. Η προσθήκη στρεπτομυκίνης, ενός γνωστού ωτοτοξικού φαρμάκου, φάνηκε να αυξάνει αυτή την απώλεια ακοής ακόμα περισσότερο. Η στρεπτομυκίνη δίνεται σε περιπτώσεις επαναλαμβανόμενης πρεσβυακουσίας ή όταν παρατηρείται αντίσταση σε τετριμμένες θεραπείες. Άρα ανακλά πιο μακροχρόνιες και πιο σοβαρές ασθένειες που μπορούν να μπερδέψουν τα αποτελέσματα. Σε σύγκριση με συμμετέχοντες χωρίς πρεσβυακουσία, τα άτομα που παρουσίασαν έστω και μία φορά πρεσβυακουσία στο παρελθόν προβλέπεται να έχουν μεγαλύτερη απώλεια ακοής ανά έτος και αυτή η ασθένεια και/ή η θεραπεία της είναι σημαντικοί προβλέπτες για NIHL τουλάχιστον στους μεταλλωρύχους. Μελλοντικές μελέτες πρέπει να διευρύνουν αυτά τα ευρήματα με άλλους σχετιζόμενους εργασιακούς πληθυσμούς που είναι σε ρίσκο και με άλλες ασθένειες και τις αντίστοιχες θεραπείες τους.

Η σωστή χρήση ηχητικής προστασίας έδειξε διαφορετικές επιδράσεις ανάλογα με το φύλλο των εργατών. Στους αρσενικούς, η καλύτερη χρήση συσκευών ηχητικής προστασίας οδήγησε σε πολύ μεγαλύτερη προστασία από ότι στους θηλυκούς. Αυτό μπορεί να οφείλεται είτε στο γεγονός ότι το γυναικείο δείγμα ήταν πολύ μικρότερο είτε στο ότι υπήρχε μικρότερη έκθεση σε θόρυβο στα θηλυκά από ότι στα αρσενικά. Μπορεί να είναι επίσης πρόβλημα με την εφαρμογή των προστατευτικών συσκευών, καθώς φτιάχνονται κατά πολύ πάνω σε αρσενικά και επομένως μπορεί να μην είναι εντελώς κατάλληλα για τα θηλυκά, που συνήθως έχουν μικρότερα κρανία. Τελικά, μπορεί να υπάρχει όντως μία διαφορά στην επίδραση μεταξύ αντρών και γυναικών όσον αφορά στη ευαισθησία του NIHL εξαιτίας του γένους, γεγονός που μπερδεύει τα ευρήματα με τη χρήση ηχητικής προστασίας.

Τα αποτελέσματα για το γένος ήταν ασυνεπή και μη σημαντικά με μερικές μελέτες να δείχνουν τους άντρες να έχουν μεγαλύτερο ρίσκο απώλειας ακοής και άλλες τις γυναίκες. Παρόλα αυτά, τα θηλυκά αποτελούσαν το 0 με 10% των δειγμάτων των μελετών, οι οποίες δεν εξηγούν την επιλογή αυτή των δειγμάτων ή τον τρόπο με τον οποίο έφτασαν σε ένα συγκεκριμένο μέγεθος δειγμάτων. Είναι πιθανόν ότι αυτό το μικρό κλάσμα είναι μία αληθινή αναπαράσταση των θηλυκών σε εργασιακές ομάδες που εκτίθενται σε θόρυβο. Χρειάζονται περισσότερες μελέτες για να εκτιμηθεί η διαφορά του NIHL μεταξύ των γένων.

Τα δεδομένα που βρέθηκαν για την εθνικότητα ήταν περιορισμένα. Όμως, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι οι μαύροι έχουν μικρότερο ρίσκο σε σχέση με τους λευκούς. Μολαταύτα, οι Κινέζοι με σκούρα μάτια και μαλλιά, αλλά πιο ανοιχτό δέρμα φαίνεται να είναι χειρότερα από τους λευκούς. Για τους ανατολικούς Ινδούς με πιο σκούρο χρώμα, δεν υπήρχε σημαντική σχέση με την απώλεια ακοής.

## *Συντομογραφίες*

A/D – Analog to Digital

AGC – Automatic Gain Control

API -- Application User Interface

dB – decibel

dBA – decibel A-Weighting

dBFS -- dB full scale

DFAC – Delayed Feedback Attenuation Control

ECM – Electret Condenser Microphones

EPA – Environmental Protection Agency

FIR – Finite Impulse Response

FM – Frequency Modulation

HA – Hearing Aid

HDDA -- Hearing-Department Daily Activities Scale

HHIE-S -- Hearing Handicap Inventory for the Elderly Screening

HL – Hearing Level

HPD – Hearing Protection Device

HTS – Hearing Threshold Shift

IIR – Infinite Impulse Response

JSON -- JavaScript Object Notation

NHANES -- National Health and Nutrition Examination Survey

NIHL – Noise Induced Hearing Loss

NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health

OSHA – Occupational Safety and Health Administration

PTA – Pure Tone Average

RMS – Root Mean Square

SLM – Sound Level Meter

SPL – Sound Pressure Level

USPSTF -- US Preventive Task Force

WLAN – Wireless Local Area Network

XML – Extensible Markup Language



## *Βιβλιογραφία*

- Agrawal Y, Platz EA, Niparko JK (2008) Prevalence of hearing loss and differences by demographic characteristics among US adults: data from the National Health and Nutrition Examination Survey 1999–2004. *Arch Intern Med*
- American Medical Association (AMA). (2008). *Guides to the evaluation of permanent impairment* (6th ed.). Chicago: American Medical Association
- ANSI. 1996. ANSI S3.44-1996 -Determination of Noise Exposure and Estimation of NoiseInduced Hearing Impairment
- AP Audioplastic. Bio-Aid Part 2: From Auditory Model to Hearing Aid Algorithm
- Beckett, W. S., Chamberlain, D., Hallman, E., May, J., Hwang, S. A., Gomez, M., Eberly, S., Cox, C., & Stark, A. (2000). Hearing conservation for farmers: Source apportionment of occupational and environmental factors contributing to hearing loss. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*
- Boulos M.N., Wheeler S., Tavares C., Jones R. How smartphones are changing the face of mobile and participatory healthcare: An overview, with example from ecaalyx. *Biomed. Eng. Online*. 2011.
- Brown, Rhys and Lee Evans. 2011. Acoustics and the smartphone
- Byrne, David C. and Efrem R. Reeves. 2008. Analysis of Nonstandard Noise Dosimeter Microphone Positions . *J Occup Environ Hyg*
- Christensen K, Doblhammer G, Rau R, Vaupel JW (2009) Ageing populations: the challenges ahead. *Lancet*
- Coles, R. R., Lutman, M. E., & Buffin, J. T. (2000). Guidelines on the diagnosis of noise-induced hearing loss for medicolegal purposes. *Clinical Otolaryngology and Allied Sciences*
- Cruickshanks KJ, Wiley TL, Tweed TS et al (1998) Prevalence of hearing loss in older adults in Beaver Dam, Wisconsin. The epidemiology of hearing loss study. *Am J Epidemiol*
- Czaja SJ, Charness N, Fisk AD et al (2006) Factors predicting the use of technology: findings from the Center for Research and Education on Aging and Technology Enhancement (CREATE). *Psychol Aging*
- Dalton, D. S., Cruickshanks, K. J., Klein, B. E., Klein, R., Wiley, T. L., & Nondahl, D. M. (2003). The impact of hearing loss on quality of life in older adults. *Gerontologist*
- Dave Weber. 30 iPad Sound Measurement Apps Reviewed <<http://www.safetyawakenings.com/safety-app-of-the-week-42/>>
- Debevc Matjaz, Ines Kozuh, Hilmar Meier. A Usability requirements analysis for wireless interaction and connectivity for elderly hearing aid users
- Driscoll, T., Takala, J., Steenland, K., Corvalan, C., & Fingerhut, M. (2005). Review of estimates of the global burden of injury and illness due to occupational exposures. *American Journal of Industrial Medicine*
- Ericsson. 2013. Ericsson Mobility Report
- Faberacoustical. 2013. SoundMeter webpage . <[http://www.faberacoustical.com/ios\\_apps/soundmeter/](http://www.faberacoustical.com/ios_apps/soundmeter/)>
- Finnish Institute of Occupational Health. A systematic review of predictors of noise induced hearing loss

Ghanem-Sara Abu, Ophir Handzel, Lior Ness, Miri Ben-Artzi-Blima, Karin Fait-Ghelbendorf, Mordechai Himmelfarb. Smartphone-based audiometric test for screening hearing loss in the elderly

Giardino, By Dennis A, John P Seiler, Pittsburgh Technical, Thomas S Kleppe, and Mining Enforcement. 1976. Noise Dosimeters : Past , Present , and Future .

Gopinath B, Schneider J, McMahon CM, Teber E, Leeder SR, Mitchell P (2012) Severity of age-related hearing loss is associated with impaired activities of daily living. Age Ageing

Hasson D, Theorell T, Walle´n MB, Leineweber C, Canlon B (2011) Stress and prevalence of hearing problems in the Swedish working population. BMC Public Health

Hii P.C., Chung W.Y. A comprehensive ubiquitous healthcare solution on an android mobile device. Sensors. 2011.

iTest Mic <<http://www.studiosixdigital.com/audio-hardware/itestmic/>>

Jung D, Bhattacharyya N (2012) Association of hearing loss with decreased employment and income among adults in the United States. Ann Otol Rhinol Laryngol

Kanjo Eiman NoiseSPY: A Real-Time Mobile Phone Platform for Urban Noise Monitoring and Mapping

Korres, G. S., Balatsouras, D. G., Tzagaroulakis, A., Kandiloros, D., Ferekidou, E., & Korres, S. (2009). Distortion product otoacoustic emissions in an industrial setting. Noise & Health

Kujawa, S. G., & Liberman, M. C. (2006). Acceleration of age-related hearing loss by early noise exposure: Evidence of a misspent youth. Journal of Neuroscience

Kujawa, S. G., & Liberman, M. C. (2009). Adding insult to injury: Cochlear nerve degeneration after “temporary” noise-induced hearing loss. Journal of Neuroscience

Lin FR (2011) Hearing loss and cognition among older adults in the United States. J Gerontol A Biol Sci Med Sci

Lin F.R., Yaffe K., Xia J., Xue Q.L., Harris T.B., Purchase-Helzner E., Satterfield S., Ayonayon H.N., Ferrucci L., Simonsick E.M. Hearing loss and cognitive decline in older adults. JAMA Intern. Med.2013.

L. Vu, K. Nahrstedt, S. Retika, and I. Gupta. Joint bluetooth/wifi scanning framework for characterizing and leveraging people movement in university campus. In Proceedings of the 13th ACM International conference on Modeling, analysis, and simulation of wireless and mobile systems.

Macias E., Suarez A., Lloret J. Mobile sensing systems. Sensors. 2013.

McBride, D. I., & Williams, S. (2001). Audiometric notch as a sign of noise induced hearing loss. Occupational and Environmental Medicine

Mena L.J., Felix V.G., Ostos R., Gonzalez J.A., Cervantes A., Ochoa A., Ruiz C., Ramos R., Maestre G.E. Mobile personal health system for ambulatory blood pressure monitoring. Comput. Math. Methods Med. 2013.

M. Ester, H. Kriegel, J. Sander, and X. Xu. A densitybased algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data mining.

MicW i436 Omni Measurement Mic <<http://www.sweetwater.com/store/detail/i436Kit>>

Moyer VA (2012) Screening for hearing loss in older adults: US Preventive Services Task Force Recommendation Statement. Ann Intern Med

Neitzel, R., Seixas, N., Goldman, B., & Daniell, W. (2004). Contributions of non-occupational activities to total noise exposure of construction workers. Annals of Occupational Hygiene.

Nelson, D. I., Nelson, R. Y., Concha-Barrientos, M., & Fingerhut, M. (2005). The global burden of occupational noise-induced hearing loss. *American Journal of Industrial Medicine*

Niskar, A. S., Kieszak, S. M., Holmes, A. E., Esteban, E., Rubin, C., & Brody, D. J. (2001). Estimated prevalence of noise-induced hearing threshold shifts among children 6 to 19 years of age: The Third National Health and Nutrition Examination Survey

National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH). (1998). Criteria for a recommended standard: Occupational noise exposure revised criteria

Petersen C.L., Chen T.P., Ansermino J.M., Dumont G.A. Design and evaluation of a low-cost smartphone pulse oximeter. *Sensors*. 2013.

Rabinowitz, P. M., Galusha, D., Slade, M. D., Dixon-Ernst, C., Sircar, K. D., & Dobie, R. A. (2006a). Audiogram notches in noise-exposed workers. *Ear and Hearing*

Ramya C.S., Karthiyane K., Vinutha S. Effect of mobile phone usage on hearing threshold: A pilot study. *Indian J. Otol.* 2011.

Rana, Rajib, Chun Tug Chou, Wen Hu, Nirupama Bulusu, and Salil Kanhere. 2010. EarPhone : A context-aware End-to-End Participatory Urban Noise Mapping System

Santini, Silvia, Benedikt Ostermaier, and Robert Adelman. 2009. On the Use of Sensor Nodes and Mobile Phones for the Assessment of Noise Pollution Levels in Urban Environments

Schweizer Immanuel, Roman Bartl, Axel Schulz, Florian Probst, Max Muhlhauser. NoiseMap - Real-time participatory noise maps

Shargorodsky, J., Curhan, S. G., Curhan, G. C., & Eavey, R. (2010a). Change in prevalence of hearing loss in US adolescents.

Shargorodsky, J., Curhan, S. G., Eavey, R., & Curhan, G. C. (2010b). A prospective study of vitamin intake and the risk of hearing loss in men. *Otolaryngology Head and Neck Surgery*

Stevens Matthias 2012. Community memories for sustainable societies The case of environmental noise

Studio Six Digital Professional Audio Tools for iOS . SPL Meter <[http://www.studiosixdigital.com/audiotools-modules-2/spl-modules/spl\\_meter.html](http://www.studiosixdigital.com/audiotools-modules-2/spl-modules/spl_meter.html)>

Tak, S., Davis, R. R., & Calvert, G. M. (2009). Exposure to hazardous workplace noise and use of hearing protection devices among US workers—NHANES

Terry, R. F., & Rijt, T. V. (2010). Overview of research activities associated with the World Health Organization: Results of a survey covering 2006/07. *Health Research Policy and Systems*

University of Oxford. Webinos. Clearly Connected. M2M and IOT. <[http://www.slideshare.net/webinosproject/iotmaship-webinos-iot-and-m2m-allott?next\\_slideshow=1](http://www.slideshare.net/webinosproject/iotmaship-webinos-iot-and-m2m-allott?next_slideshow=1)>

Watson C.S., Kidd G.R., Miller J.D., Smits C., Humes L.E. Telephone screening tests for functionally impaired hearing: Current use in seven countries and development of a us version. *J. Am. Acad. Audiol.*2012.

WideTag. 2014. WideNoise code source repository .

Wiley TL, Cruickshanks KJ, Nondahl DM, Tweed TS (2000) Self-reported hearing handicap and audiometric measures in older adults. *J Am Acad Audiol*

Na Youngmin, Hyo Sung Joo, Hyejin Yang, Soojin Kang, Sung Hwa Hong and Jihwan Woo . Smartphone-Based Hearing Screening In Noisy Environments

Yueh B, Shapiro N, MacLean CH, Shekelle PG (2003) Screening and management of adult hearing loss in primary care: scientific review.

Yueh B, Collins MP, Souza PE et al (2010) Long-term effectiveness of screening for hearing loss: the screening for auditory impairment–which hearing assessment test (SAI-WHAT) randomized trial. *J Am Geriatr Soc*

Zhao, F., Manchaiah, V. K., French, D., & Price, S. M. (2010). Music exposure and hearing disorders: An overview. *International Journal of Audiology*