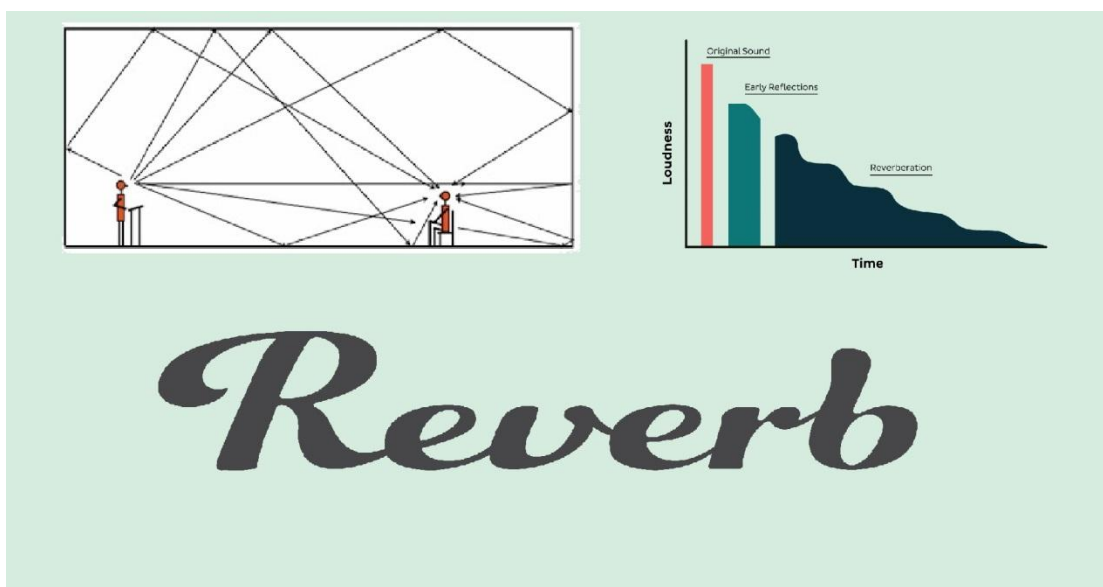




ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ & Η ΠΙΣΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ

ΓΙΑΝΝΟΥΣΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

ΙΑΣΟΝΑΣ ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΜΙΝΩΣ ΦΙΤΣΑΝΑΚΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2017





TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE OF CRETE  
SCHOOL OF APPLIED SCIENCES  
DEPARTMENT OF MUSIC TECHNOLOGY & ACOUSTICS ENGINEERING

***METHODS OF ARTIFICIAL REVERBERATION AND  
THEIR FIDELITY***

*EDUCATEES*  
**JASON VOGIATZIS**  
**CATHERINE GIANNOUSI**

*SUPERVISING PROFESSOR*  
**MINOS FITSANAKIS**

**ATHENS 2017**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα επιχειρηθεί να γίνει μία παρουσίαση και σύγκριση ανάμεσα στις μεθόδους των τεχνητών αντηχήσεων και μία έρευνα η οποία θα προσπαθήσει να αποδώσει την πιστότητά τους βάση ενός ερωτηματολογίου. Οι μέθοδοι οι οποίες θα εξεταστούν είναι το convolution reverb με sweep tone, convolution reverb με κρότο και plug in reverb. Η πραγμάτωση του πειράματος περιλαμβάνει έξι χώρους στους οποίους θα γίνουν ηχογραφήσεις διάφορων ηχητικών δειγμάτων, και οι ερωτώμενοι θα κληθούν να απαντήσουν για την πιστότητα των τεχνητών αντηχήσεων σε σχέση με τις φυσικές ηχογραφήσεις που έλαβαν χώρα σε αυτούς.

**Λέξεις κλειδιά:** *μέθοδοι τεχνητής αντήχησης, πιστότητα, convolution reverb με sweep tone, convolution reverb με κρότο, plug in reverb*

## ABSTRACT

This thesis will attempt to present a comparison between the methods of artificial reverbs and a research which will try to render their loyalty based on a questionnaire. The methods to be examined are convolution reverb with sweep tone, convolution reverb with pulse and plug in reverb. The experiment consists of six closed areas in which various sound samples will be recorded. The participants will be asked to respond to the fidelity of the artificial reverbs in relation to the natural recordings that have taken place in them.

**Keywords:** *methods of artificial reverberation, fidelity, convolution reverb with sweep tone, convolution reverb with pulse, plug in reverb*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	5
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	7
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΑΝΤΗΧΗΣΗ (REVERBERATION).....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 ΤΙ ΟΝΟΜΑΖΟΥΜΕ ΗΧΩ ΚΑΙ DELAY (ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΤΗΧΗΣΗ).....</b>	<b>13</b>
<b>1.3 Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ.....</b>	<b>15</b>
<b>1.4 HARDWARE REVERBS.....</b>	<b>16</b>
1.4.1 SPRING REVERB.....	17
1.4.2 PLATE REVERB.....	18
1.4.3 ΨΗΦΙΑΚΟ REVERB.....	18
1.4.4 PLUG-IN REVERB.....	20
1.4.4.1 ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΗΧΟΣ (Direct Sound).....	21
1.4.4.2 PRE-DELAY.....	21
1.4.4.3 EARLY REFLECTIONS.....	22
1.4.4.4 REVERBERATION .....	22
1.4.4.5 DECAY TIME.....	23
1.4.4.6 ROOM SIZE.....	23
1.4.4.7 DENSITY.....	23
1.4.4.8 DIFFUSION.....	24
<b>1.5 CONVOLUTION REVERB .....</b>	<b>26</b>
1.5.1 ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ.....	26
1.5.1.1 ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ (SWEEP TONE).....	27
1.5.1.2 ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ (ΚΡΟΤΟΣ).....	28
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....</b>	<b>29</b>
<b>2.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>29</b>
<b>2.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΧΩΡΩΝ.....</b>	<b>30</b>
<b>2.3 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ.....</b>	<b>36</b>
2.3.1 ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....	37
<b>2.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....</b>	<b>38</b>

2.4.1 ΗΧΟΓΡΑΦΗΣΕΙΣ.....	38
2.4.2 ΚΡΟΥΣΤΙΚΕΣ ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΧΩΡΩΝ (IMPULSE RESPONSES).....	39
<b>2.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΩΡΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....</b>	<b>40</b>
2.5.1 ΑΔΕΙΟ ΔΩΜΑΤΙΟ.....	40
2.5.2 ΣΧΟΛΙΚΗ ΑΙΘΟΥΣΑ.....	40
2.5.3 ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ.....	40
2.5.4 ΚΛΕΙΣΤΟΣ ΧΩΡΟΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ.....	40
2.5.5 ΓΕΜΑΤΟ ΔΩΜΑΤΙΟ.....	41
2.5.6 ΣΚΑΛΑ ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΑΣ.....	41
<b>2.6 ΜΕΣΑ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....</b>	<b>41</b>
<b>2.7 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>42</b>
<b>2.8 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΑΝΤΗΧΗΣΕΩΝ.....</b>	<b>42</b>
2.8.1 CONVOLUTION REVERB – ΚΡΟΤΟΙ.....	42
2.8.2 CONVOLUTION REVERB – SWEEP TONE.....	44
<b>2.9 PLUG-IN REVERB .....</b>	<b>45</b>
2.9.1 PLUG-IN REVERB (ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΗ).....	45
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ .....</b>	<b>47</b>
<b>3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ.....</b>	<b>47</b>
<b>3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ.....</b>	<b>50</b>
<b>3.3 ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΧΩΡΟ.....</b>	<b>52</b>
<b>3.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΩΡΩΝ.....</b>	<b>57</b>
<b>3.5 ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΗΧΗΤΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ.....</b>	<b>58</b>
<b>3.6 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>62</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>63</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>67</b>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<b>Εικόνα[1]</b> Reverberation.....	12
<b>Μαθηματική Σχέση[1]</b> .....	13
<b>Εικόνα[2]</b> Echo & delay.....	13
<b>Εικόνα[3]</b> Jukebox 1930.....	14
<b>Εικόνα[4]</b> Dick Burwens first hi fi 1945.....	14
<b>Εικόνα[5]</b> EMT140-reverbaration unit.....	15
<b>Εικόνα[6]</b> Μονάδα τεχνητής αντήχησης .....	16
<b>Εικόνα[7]</b> Spring reverb .....	17
<b>Εικόνα[8]</b> EMT250 & EMT251.....	18
<b>Εικόνα[9]</b> Lexicon 224.....	19
<b>Εικόνα[10]</b> Sony DRE S777 .....	19
<b>Εικόνα[11]</b> Παράδειγμα plug in reverb.....	20
<b>Εικόνα[12]</b> Pre-Delay.....	21
<b>Εικόνα[13]</b> Απευθείας ήχος και πρώιμες ανακλάσεις.....	22
<b>Εικόνα[14]</b> Decay Time.....	23
<b>Εικόνα[15]</b> Απευθείας ήχος, πρώιμες ανακλάσεις, diffused late reflections, reverberation..	24
<b>Μαθηματική σχέση [2]</b> .....	25
<b>Εικόνα[16]</b> Sweep Tone.....	26
<b>Εικόνα[17]</b> Κρότος.....	26
<b>Εικόνα[18]</b> Κρουστική απόκριση δωματίου.....	27
<b>Μαθηματική σχέση [3]</b> .....	28
<b>Εικόνα[19]</b> Άδειο δωμάτιο, οπτική α.....	30
<b>Εικόνα[20]</b> Άδειο δωμάτιο, οπτική β.....	30
<b>Εικόνα[21]</b> Σχολική αίθουσα, οπτική α.....	31
<b>Εικόνα[22]</b> Σχολική αίθουσα, οπτική β.....	31
<b>Εικόνα[23]</b> Διάδρομος, οπτική α.....	32

<b>Εικόνα[24]</b> Διάδρομος, οπτική β.....	32
<b>Εικόνα[25]</b> Κάτοψη χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων.....	33
<b>Εικόνα[26]</b> Χώρος στάθμευσης αυτοκινήτων, οπτική α.....	33
<b>Εικόνα[27]</b> Χώρος στάθμευσης αυτοκινήτων, οπτική β.....	34
<b>Εικόνα[28]</b> Γεμάτο δωμάτιο (σαλόνι).....	34
<b>Εικόνα[29]</b> Σκάλα οπτική α.....	35
<b>Εικόνα[30]</b> Σκάλα οπτική β.....	35
<b>Εικόνα[31]</b> Συνδεσμολογία πειραματικής διαδικασίας.....	37
<b>Εικόνα[32]</b> Χώρος ηχογραφήσεων IEMA.....	38
<b>Εικόνα[32]</b> Φορητός καταγραφέας, πλάγια οπτική.....	39
<b>Εικόνα[33]</b> Interface του plug in SIR1.....	43
<b>Εικόνα[34]</b> Voxengo interface.....	44
<b>Εικόνα[35]</b> REVerence plug in interface.....	46
<b>Εικόνα[36]</b> Δείγμα ερωτηματολογίου.....	48
<b>Εικόνα[37]</b> Δείγμα απαντήσεων ερωτηματολογίου.....	49
<b>Πίνακας[1]</b> πίνακας αποτελεσμάτων ερωτηματολογίου.....	51
<b>Σχεδιάγραμμα [1]</b> Πίνακας αποτελεσμάτων άδειου δωματίου.....	52
<b>Σχεδιάγραμμα [2]</b> Πίνακας αποτελεσμάτων αίθουσας διδασκαλίας.....	53
<b>Σχεδιάγραμμα [3]</b> Πίνακας αποτελεσμάτων διαδρόμου.....	54
<b>Σχεδιάγραμμα [4]</b> Πίνακας αποτελεσμάτων χώρου στάθμευσης.....	55
<b>Σχεδιάγραμμα [5]</b> Πίνακας αποτελεσμάτων γεμάτου δωματίου.....	55
<b>Σχεδιάγραμμα [6]</b> Πίνακας αποτελεσμάτων σκάλας πολυκατοικίας.....	56
<b>Σχεδιάγραμμα [7]</b> Σχεδιάγραμμα συνολικών απαντήσεων (ανά χώρο).....	57
<b>Σχεδιάγραμμα [8]</b> Πίνακας αποτελεσμάτων drums.....	58
<b>Σχεδιάγραμμα [9]</b> Πίνακας αποτελεσμάτων μουσικού κομματιού.....	59
<b>Σχεδιάγραμμα[10]</b> Πίνακας αποτελεσμάτων γυναικείας φωνής.....	59
<b>Σχεδιάγραμμα [11]</b> Πίνακας αποτελεσμάτων ακουστικής κιθάρας.....	60



<b>Σχεδιάγραμμα [12]</b> Πίνακας αποτελεσμάτων <i>white noise</i> .....	61
<b>Σχεδιάγραμμα [13]</b> Σχεδιάγραμμα συνολικών απαντήσεων (ανά ηχητικό δείγμα).....	62
<b>Σχεδιάγραμμα [14]</b> Σχεδιάγραμμα συνολικών απαντήσεων πιστότητας αντηχήσεων.....	66

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Καταρχάς, θέλουμε να ευχαριστήσουμε τον υπεύθυνο καθηγητή μας κ. Μίνω Φιτσανάκη, αν και είχε μεγάλο φόρτο εργασίας δέχτηκε να αναλάβει την ευθύνη της επίβλεψής μας για την εκπόνηση της πτυχιακής μας εργασίας.

Θέλουμε επίσης να ευχαριστήσουμε τους φίλους, συγγενείς και συμφοιτητές που συμμετείχαν στην πειραματική διαδικασία και την εκπόνηση του ερωτηματολογίου

Βογιατζής Ιάσωνας  
Γιαννούση Κατερίνα  
Αθήνα, Σεπτέμβριος 2017

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αφορμή για την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, ήταν η συμπεριφορά των διαφόρων χώρων όσον αφορά την αντήχηση κατά την διέγερση τους. Οι τεχνικές αντήχησης οι οποίες αποτελούν βασικό κομμάτι της περαιώσης μιας μουσικής παραγωγής, αλλά και η χρήση τους είναι επιβεβλημένη σε όλο το φάσμα της μουσικής τεχνολογίας. Ένας ήχος ο οποίος δεν έχει στοιχεία αντήχησης θα περιγραφόταν ως ξερός και απόκοσμος . επίσης η αντήχηση μπορεί να προσδώσει τα χωρικά στοιχεία σε έναν ήχο και έτσι να έχουμε μια καλύτερη αντίληψη της φύσης του χώρου όπου βρισκόμαστε. Και τελικά προέκυψε η ανάγκη και το ενδιαφέρον της μελέτης πρώτον την πιστότητα των μεθόδων της τεχνητής αντήχησης που χρησιμοποιούνται και σε δεύτερο επίπεδο την καταληπτότητα αυτών.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο της φυσικής αλλά και της τεχνητής αντήχησης. Υπάρχει επίσης αναφορά στην ιστορική αναδρομή τους αλλά και το πως φτάσαμε στο σήμερα και την τελική τους μορφή. Επίσης γίνεται μια εκτενής αναφορά στις διάφορες μεθόδους τεχνητής αντήχησης καθώς και των επιμέρους στοιχείων τους.

Το δεύτερο κεφάλαιο αποτελεί το πειραματικό μέρος, στο οποίο υπάρχει ανάλυση για την επιλογή των χώρων και των ηχητικών δειγμάτων, που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και ανάλυση των ιδιοτήτων αυτών. Επίσης παρατέθηκαν ο εξοπλισμός και η πειραματική διάταξη του πειράματος.

Στο τρίτο κεφάλαιο έγινε η ανάλυση της πειραματικής διαδικασίας και τον τρόπο με τον οποίο έλαβαν χώρο οι πειραματικές διαδικασίες. Εν συνεχεία αποδίδεται το πως έγινε η επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τις ηχογραφήσεις .

Στο τέταρτο κεφάλαιο δημιουργήθηκε το ερωτηματολόγιο, έγινε η ανάλυση των αποτελεσμάτων του και παρατέθηκαν οι απαντήσεις του, σε σχεδιαγράμματα και γραφήματα για την μεγαλύτερη κατανόησή του.

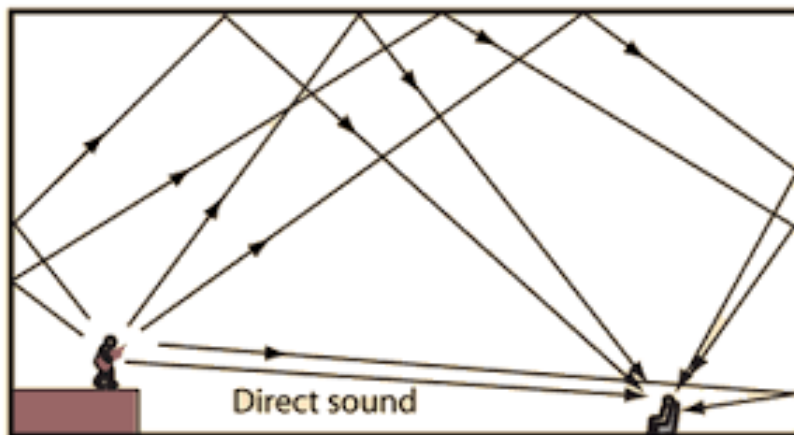
Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται τα συμπεράσματα που συλλέχθηκαν από το ερωτηματολόγιο και την έρευνα που πραγματοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία.

## 1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΑΝΤΗΧΗΣΗ (REVERBERATION)

Η διάδοση και συμπεριφορά του ήχου εξαρτάται από τον χώρο μέσα στον οποίο θα παραχθεί και κυρίως αν αυτός ο χώρος είναι ανοικτός ή κλειστός.

Σε έναν ανοικτό χώρο (έναν χώρο δηλαδή χωρίς όρια), ο ήχος φθάνει απευθείας στον δέκτη από την πηγή, αυτό όμως διαφοροποιείται σε έναν κλειστό χώρο καθώς ο ήχος εκτός από την απευθείας διάδοση (direct sound) φτάνει στον δέκτη και μέσω διαδοχικών ανακλάσεων (reflected sound) από διάφορα αντικείμενα που υπάρχουν στον χώρο καθώς και από τα τοιχώματα του χώρου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αλλοιώνεται η αρχική κυματομορφή του εκπεμπόμενου ήχου. Η αντήχηση λοιπόν είναι, το φαινόμενο κατά το οποίο το ηχητικό πεδίο μέσα σε έναν κλειστό χώρο διατηρείται μετά από το σταμάτημα της ηχητικής πηγής που το δημιούργησε, δηλαδή, είναι ο ήχος που φτάνει στα αυτιά μας με κάποια χρονική καθυστέρηση έχοντας ταξιδέψει από την πηγή στους τοίχους όπου ανακλάται.[1] Στην ακουστική συμπεριφορά των κλειστών χώρων σημαντικό ρόλο παίζει η απορρόφηση του ήχου, το μέγεθος του χώρου καθώς και τα αντικείμενα που περιέχονται μέσα σε αυτόν.[2] [3]



Εικόνα[1] Reverberation.

---

[1] Μηνάς Κ. Σηφάκης, Χρήστος Κουτσοδημάκης, (Μάρτιος 2012), Τ.Ε.Ι. Κρήτης Σημειώσεις Εφαρμοσμένης Ακουστικής Ι, έκδοση 4<sup>η</sup>, Ρέθυμνο.

[2] Σκαρλάτος Δημήτρης, (2008), Εφαρμοσμένη Ακουστική, 6<sup>η</sup> έκδοση, Πάτρα, GOTSIS, ISBN 960-87710-1-3.

[3] Lloyd, Llewelyn Southworth (1970), *Music and Sound*, Ayer Publishing, ISBN 978-0-8369-5188-2.

## 1.2 ΤΙ ΟΝΟΜΑΖΟΥΜΕ ΗΧΩ ΚΑΙ DELAY (ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΤΗΧΗΣΗ)

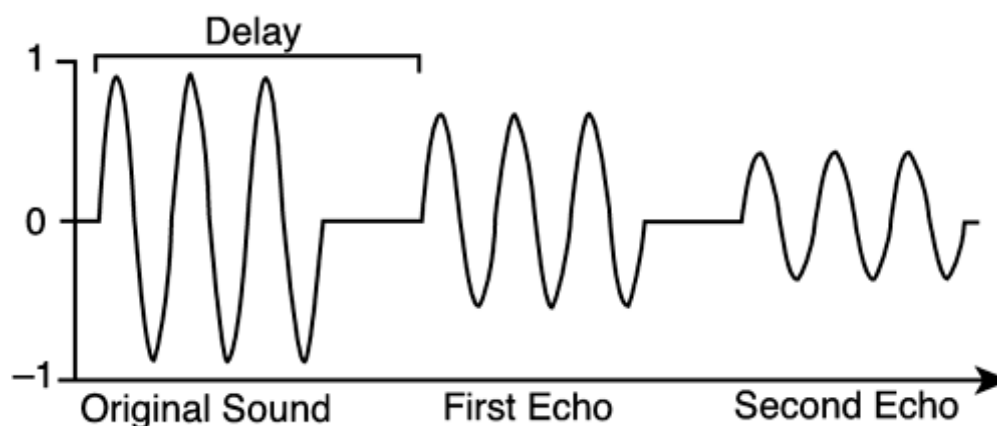
Ηχώ είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ο ακροατής αντιλαμβάνεται το ανακλώμενο ηχητικό σήμα σαν ξεχωριστό ηχητικό γεγονός, αμέσως μετά την εκπομπή του αρχικού ήχου από την πηγή. Επειδή το αυτί μας έχει την ικανότητα να κρατά το αίσθημα της ακοής, δηλαδή το άκουσμα για τα 1/10 του δευτερολέπτου για να προκύψει το φαινόμενο της ηχούς πρέπει η χρονική διαφορά ανάμεσα στον απ' ευθείας ήχο και τον ανακλώμενο να ξεπερνά το 1/10 του δευτερολέπτου ή αλλιώς η διαφορά της διαδρομής θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 17m. Όταν η διαφορά των διαδρομών είναι μικρότερη από τα 17 m και η διαφορά των χρόνων είναι μικρότερη του 1/10 του δευτερολέπτου τότε το αυτί μας αντιλαμβάνεται έναν ήχο ο οποίος εμπεριέχει τον απευθείας αλλά και τις ανακλάσεις του τότε έχουμε το φαινόμενο της αντήχησης, δηλαδή την ακουστική εντύπωση του βάθους. Τέλος, όταν η χρονική διαφορά μεταξύ απευθείας και ανακλώμενου ήχου είναι μεγαλύτερη από τις δύο παραπάνω περιπτώσεις, τότε θα παρατηρηθεί η καθυστερημένη εμφάνιση / επανάληψη του ήχου δηλαδή το delay. [4]

$$S=V*t$$

*Μαθηματική Σχέση[1]*

Όπου V είναι η ταχύτητα του ήχου (340m/s), t είναι η χρονική διαφορά ανάμεσα στον απευθείας ήχο και τον ανακλώμενο.

Μία βασική διαφορά που έχει η ηχώ με την αντήχηση είναι ότι η δεύτερη τις περισσότερες φορές είναι επιθυμητή ενώ η ηχώ μπορεί να καταστρέψει την καλή ακουστική των χώρων λόγω του ότι καθιστά την επικοινωνία δύσκολη ή και είναι υπεύθυνη για την αλλοίωση του ρυθμού της μουσικής.[5]



*Εικόνα[2] Echo & Delay*

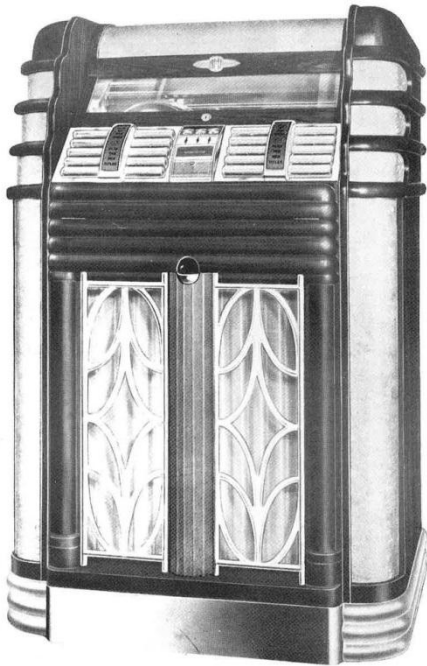
[4] Χατζηανδρέου Μαρία, (Μάιος 2003), ΤΕΙ Ιονίων Νήσων *Σημειώσεις Ακουστικής κεφάλαιο 4.2*, Αθήνα.

[5] Σκαρλάτος Δημήτρης, (2008), *Εφαρμοσμένη Ακουστική*, 6<sup>η</sup> έκδοση, Πάτρα, GOTSIS, ISBN 960-87710-1-3.

### 1.3 Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ

Στην αρχή της ηλεκτρικής εγγραφής στα μέσα του 1920, η καταγεγραμμένη αντήχηση ήταν ουσιαστικά το ακουστικό υποπροϊόν μιας φυσικής απόστασης μεταξύ μιας πηγής ήχου

κι ενός μικροφώνου. Οι δισκογραφικές εταιρίες αναζητούσαν κατάλληλες αίθουσες για ένα επιθυμητό αποτέλεσμα. Από την αρχή της πρώιμης ηχογράφησης αυτοί οι πρωτοπόροι δούλευαν ήδη με τοποθετήσεις μικροφώνων και δωμάτια για επιθυμητό αποτέλεσμα.



Στις αρχές-μέσα της δεκαετίας του 1930 το jukebox έκανε την εμφάνιση του, μια μεγάλη ανακάλυψη που όμως δεν μπόρεσε να γίνει ακόμα αποδεκτή εκείνη την εποχή. Τότε η αντήχηση (κλειστού δωματίου) είχε απορριφθεί από τα studios λόγω της επιρροής που είχε στην επίδοση του jukebox. Αυτός είναι ο πρωταρχικός λόγος του γιατί οι περισσότερες ηχογραφήσεις των 1930-1950 ήταν «στεγνές» (dry). Όσο βελτιωνόντουσαν οι εξοπλισμοί αναπαραγωγής και ηχογράφησης, τόσο εξελίσσονταν και οι δυνατότητες για πειραματισμό με καινούργιες τεχνικές ηχογράφησης καθώς και το θετικό μάρκετινγκ για τους πωλητές.

Εικόνα[3] Jukebox 1930

Την μεταπολεμική εποχή ήρθε το Hi-Fi (high fidelity-υψηλή ακρίβεια) το οποίο είναι κοινώς αποδεκτό ότι καθορίστηκε από όλες τις μορφές της αντήχησης.

Ο μηχανικός Bill Fine επανέφερε στη δημοσιότητα την «φυσική αντήχηση» ως εφέ βάζοντας ένα μικρόφωνο σε μια μεγάλη αίθουσα για να συλλάβει το περιβάλλον μιας εγγραφής. Η ηχογράφηση κυκλοφόρησε από την Mercury's living Presence.

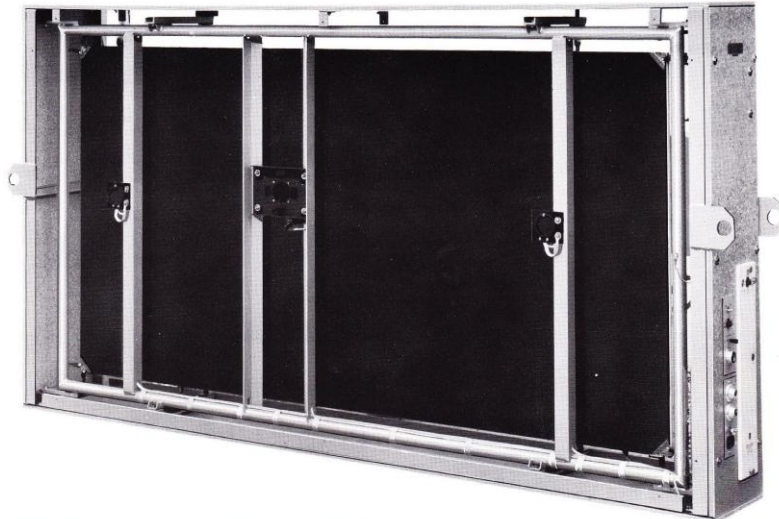


Εικόνα[4] Dick Burwens first hi fi 1945

Ο ιδρυτής της Universal Audio Bill Putman Sr. , ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε τεχνητή αντήχηση σε ποπ ηχογράφιση το 1947, με τη χρήση του πρώτου θαλάμου αντήχησης. Το αποτέλεσμα ήταν μια τεράστια επιτυχία από τους «Harmonicats» που λεγόταν «Peg O' my heart» (ηχητικό υλικό)

Ο Fine απευθύνθηκε στο studio του στο Los Angeles έτσι ώστε να χτίσει ειδικούς θαλάμους. Η αντήχηση θαλάμου είναι μέχρι και σήμερα μια τεχνολογική και αρχιτεκτονική τέχνη από μόνη της. Ο ήχος που δημιούργησε αιχμαλώτισε την φαντασία του ακροατηρίου και η τεχνική αντήχηση έγινε γνωστή ως εργαλείο του περιβάλλοντος ηχογράφησης. Όμως, για την δεκαετία του 1950 η ηχογράφιση δωματίου και τα echo-δωμάτια ήταν η μόνη επιλογή.

Η γερμανική εταιρία EMT (Elektromesstechnik) έκανε ένα τεράστιο επίτευγμα το 1957 με την κυκλοφορία του EMT140-reverbaration unit το πρώτο plate reverb, κάτι το οποίο αναλύεται στη συνέχεια.[6]



Front view of the Stereo Reverberation Unit EMT 140 TS. The steel reverberation plate is suspended in a welded tubular frame which in turn is shock mounted inside the wooden outer case. The two ceramic pickups are visible at different distances on either side of the driver Unit. The picture shows the wooden case without its side and top panels.

*Εικόνα[5] EMT140-reverbaration unit*

---

[6] <http://www.uaudio.com/blog/emt-reverb-history/>

## 1.4 HARDWARE REVERBS

Τα hardware reverbs είναι συσκευές που μπορούν να επεξεργαστούν ένα ηχητικό σήμα και να του προσθέσουν την αίσθηση της «χωρητικότητας» μέσω διαφόρων ρυθμίσεων που περιέχουν. “Ο σκοπός τους δηλαδή είναι το σήμα εισόδου να πλησιάσει την ποιότητα της ακουστικής των ζωντανών χώρων οι οποίοι παρουσιάζουν έντονη ανακλαστική συμπεριφορά του ήχου και προσθέτουν μια πλούσια σε διάρκεια παρουσία του ήχου κατάλληλη για τον χρωματισμό των μουσικών φωνών και των μουσικών οργάνων. Κάποιες από αυτές τις οι συσκευές χρησιμοποιούνταν στο παρελθόν και κάποιες χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα κυρίως από επαγγελματικά studios. Ο τρόπος λειτουργίας μιας τέτοιας συσκευής επεξεργασίας είναι ότι επιστρέφει το σήμα της εισόδου αρκετές φορές με πολύ μικρά χρονικά διαστήματα. Υπάρχουν διαφορετικές κατασκευαστικές συνθέσεις από τις οποίες η κάθε μία έχει την δική της λειτουργία και χρησιμότητα.[7]



*Εικόνα[6] Μονάδα τεχνητής αντήχησης*

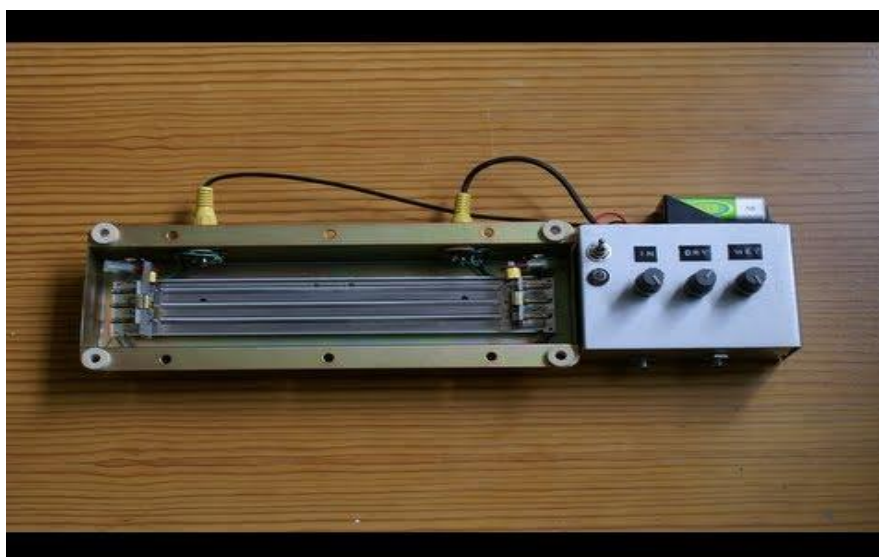
---

[7] Καρακίτσιος Χρήστος, (2001), *Οργάνωση & Χειρισμός Ηχητικών Σημάτων (P.A.)*, εκδόσεις ΙΩΝ, ISBN 960-411-092-6.



### 1.4.1 SPRING REVERB

Η δημιουργία της συγκεκριμένης συσκευής προέκυψε από ένα ζευγάρι μηχανικών ήχου πειραματίστηκαν κρεμώντας μία σούστα κοντά στην βελόνα του γραμμοφώνου έτσι ώστε να δημιουργήσουν το εφέ της βροντής. Με την τοποθέτηση ενός μετατροπέα στο άλλο άκρο της πηγής, διαπίστωσαν ότι οι ήχοι που πέρασαν κατά μήκος του ελατηρίου είχαν ληφθεί με μία προσθήκη αντήχησης. Έτσι λοιπόν γεννήθηκε το spring reverb (βάθος με σούστα). Τα spring reverbs αποτελούνταν από ένα μηχανισμό εσωτερικής σούστας και η λειτουργία του γίνεται με την μετατροπή του ηλεκτρονικού σήματος στην μία άκρη της σούστας σε μηχανικό και στην συνέχεια πάλι σε ηλεκτρονικό στο τέλος της σούστας. Το εφέ αυτό λειτούργησε πολύ καλά στην φωνή και σε άλλα όργανα όμως κυρίως στην κιθάρα. Εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται στους ενισχυτές κιθάρων και έχουν έναν τόσο ξεχωριστό ήχο που οι σύγχρονες ψηφιακές μονάδες αναπαραστάσης περιλαμβάνουν συχνά προσομοιώσεις ελατηρίων. Το spring reverb δεν απέδωσε όμως όσον αφορά τους κρουστικούς ήχους καθώς είχε την τάση να αλλοιώνει τον ήχο. Έγιναν πολλές προσπάθειες έτσι ώστε να υπάρξει βελτίωση στην ποιότητα του spring reverb, όπως το να βυθίζεται το ελατήριο μέσα σε λάδι, χρησιμοποιώντας ελατήρια με διαφορετικά χαρακτηριστικά και άλλους πολλούς.[8][9]



Εικόνα[7] Spring reverb

---

[8] <http://www.soundonsound.com/techniques/choosing-right-reverb>

[9] <http://www.musicradar.com/tuition/tech/the-ultimate-guide-to-effects-reverb-461487>

### 1.4.2 PLATE REVERB

Όπως υποδηλώνει το όνομά του το plate reverb αποτελούνταν από μία λεπτή μεταλλική πλάκα η οποία μπορούσε να φτάσει σε μέγεθος ένα τετραγωνικό μέτρο ή και περισσότερο. Ένα σύστημα plate reverb χρησιμοποιεί ένα ηλεκτρομηχανικό μετατροπέα, ο οποίος διαμορφώνει το σήμα εισόδου σε δονήσεις πάνω σε μια μεγάλη μεταλλική πλάκα, ο ήχος των οποίων μπορεί να διαβαστεί από ένα ή περισσότερα μικρόφωνα επαφής αποτέλεσμα του είναι ένα ακουστικό σήμα το οποίο μπορεί να προστεθεί στο αρχικό δίχως επεξεργασία σήμα.[10][11]

### 1.4.3 ΨΗΦΙΑΚΟ REVERB

Το 1972 κυκλοφόρησε το EMT144 ένα πρωτόγονο ψηφιακό reverb που όμως είχε αρκετά περιορισμένες λειτουργίες κι έτσι επέζησαν αρκετά λίγα. Το 1976 όμως η EMT συνεργάστηκε με την αμερικάνικη εταιρεία ηλεκτρονικών ειδών Dynatron για να δημιουργήσουν το EMT250 electronic reverbarator unit το πρώτο ψηφιακό reverb παγκοσμίως. Ήταν μια επιδαπέδια μονάδα και έμοιαζε με εξοπλισμό βγαλμένο από ταινία επιστημονικής φαντασίας. Το σύνολο των λειτουργιών ήταν εντυπωσιακό με pro-delay χειρισμούς, και υψηλές-χαμηλές συχνότητες χρόνου απόσβεσης. Τα εφέ διαμόρφωσης όπως τα chorus και phase ήταν διαθέσιμα όπως επίσης τα echo και delay. Οι έλεγχοι ήταν απλοί, με μεγάλους μοχλούς σε σχήμα γλειφιτζουριού και μερικά κουμπιά. Ήταν αρκετά ακριβό καθώς κόστιζε περίπου 15.000\$. Το 250 ήταν παραπάνω από ένα απλό reverb. Ήταν η πρώτη μονάδα πολλαπλών εφέ.

Στην πορεία του το 250 εξελίχθηκε και αναβαθμίστηκε στο 251 το οποίο προσέφερε εκτεταμένη απόκριση συχνότητας, πρόσθετους παραμετρικούς ελέγχους και περισσότερα προγράμματα. Οι πρώιμες αυτές ψηφιακές μονάδες θεωρούνται από τις καλύτερες ακουστικά μονάδες τεχνητής αντήχησης που φτιάχτηκαν ποτέ.



Εικόνα[8] EMT250 & EMT251

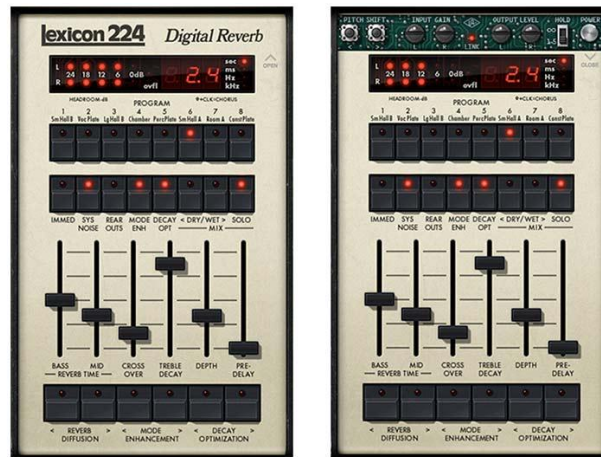
---

[10] Eargle, John M. (2005), *Handbook of Recording Engineering*, 4<sup>th</sup> edition, Birkhäuser, ISBN 0-387-28470-2.

[11] Laurens Hammond, (granted February 4, 1941), *Electrical Musical Instrument*, U.S. Patent 2,230,836.

Ακολούθησε η Lexicon το 1978 με το Lexicon 224 το οποίο ήταν εξίσου καλό με το EMT 250 και στη μισή τιμή με αποτέλεσμα να μπει στον βασικό εξοπλισμό των studios.

Το 1999 η Sony κυκλοφόρησε το DRE S777 τον πρώτο real time convolution processor.[12]



Εικόνα[9] Lexicon 224



Εικόνα[10] Sony DRE S777

[12] <http://www.uaudio.com/blog/emt-reverb-history/>

#### 1.4.4 PLUG-IN REVERB.

Η πρώτη κατασκευή και χρήση της συγκεκριμένης τεχνητής αντήχησης, πιστώνεται στον ερευνητή Manfred Schroeder, η οποία έγινε στο εργαστήριο της εταιρίας Bell. Το 1961 ο ερευνητής παρουσίασε την εν λόγω συσκευή στο κοινό. Μεγάλη βοήθεια παρείχε η αμερικανική εταιρία Dynator σε συνεργασία της με τον Schroeder, καθώς η εξέλιξη των μικροεπεξεργαστών συντέλεσε στην παράγωγη του πρώτου εμπορικού εξομοιωτή βάθους, το 1976. Οι τρόποι λειτουργίας των τεχνητών αντηχήσεων είναι ποικίλοι, αλλά κυρίως βασίζονται σε μαθηματικές πράξεις που υπολογίζονται από έναν ολοκληρωμένο επεξεργαστή, αυτός ο συγκεκριμένος τρόπος λειτουργίας των εξομοιωτών βάθους βασίζεται σε αλγόριθμο, για αυτό και αποκαλούνται αλγοριθμικά reverb, και επίσης να γίνεται ο διαχωρισμός από τα convolution reverb.

Στο σημείο αυτό να προστεθεί ότι με τις υπάρχουσες μετρήσεις και πειραματισμούς, τα ψηφιακά reverb, δεν έχουν καταφέρει να φτάσουν σε σημείο ώστε να αντικαταστήσουν πλήρως τις φυσικές αντηχήσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχουν τόσες πολλοί παράμετροι ώστε να υπάρχει η φυσικότητα του ήχου, που θα ήταν αδύνατο να συμπεριληφθούν σε έναν αλγόριθμο, και να επεξεργαστούν από ένα υπολογιστικό σύστημα. Βέβαια από την άλλη, όσο πιο πολλούς υπολογισμούς μπορεί να κάνει ένας επεξεργαστής, τόσο καλύτερο αποτέλεσμα μπορεί να παράγει και άρα τόσο πιο πιστό αποτέλεσμα. Σήμερα με την πάροδο της τεχνολογικής ανάπτυξης, η ηλεκτρονικοί υπολογιστές έχουν φτάσει σε ένα σημείο όπου έχουν πολλές δυνατότητες, παρ όλα αυτά, τα ψηφιακά reverb καταναλώνουν πολλή από την επεξεργαστική ισχύ, όποτε είναι προτιμότερο να υπάρχουν ως εξωτερικές συσκευές, δίνοντας τους περισσότερες δυνατότητες και απελευθερώνοντας ισχύ του επεξεργαστή. Εν κατακλείδι θα λέγαμε ότι τα ψηφιακά reverb έχουν πλέον μεγάλες δυνατότητες και λιγιστούς μηχανικούς περιορισμούς, καθώς παρέχουν μεγάλη γκάμα έλεγχου του ήχου του βάθους και για αυτό το λόγο τα συναντάμε συνεχώς σε διαδικασία μίξης.



Εικόνα[11] Παράδειγμα plug in reverb.

Υπάρχουν κάποιο συγκεκριμένοι χώροι σε όλο τον κόσμο, όπως διάφορα music halls, καθεδρικοί ναοί και εκκλησιές, όπου έχουν εύηχη φυσική αντήχηση και για αυτό τον λόγο πολλές εταιρίες ψηφιακών αντηχήσεων έχουν στα προϊόντα τους presets από τους συγκεκριμένους χώρους. Έτσι ακόμα και μια low budget παραγωγή μπορεί να χρησιμοποιήσει μια τέτοια συσκευή και να δώσει την ψευδαίσθηση ηχογράφησης σε έναν ξακουστό χώρο με πολύ καλή ακουστική και φυσική αντήχηση. Βέβαια τηρουμένων πάντα των αναλογιών, και σε συνάρτηση με όλα τα προαναφερθέντα.

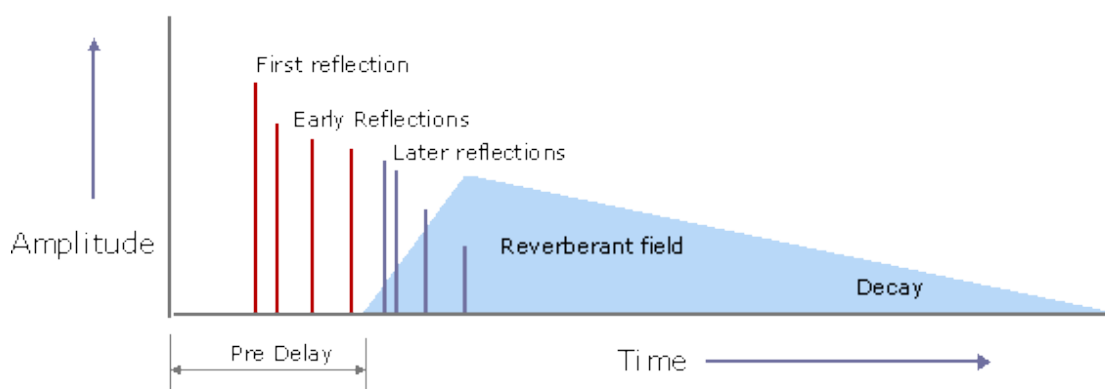
Από την άλλη τα ψηφιακά reverb μας δίνουν την δυνατότητα να δημιουργήσουμε και φανταστικούς χώρους, πέρα από τους συγκεκριμένους πραγματικούς που αναφέραμε παραπάνω. Δίνεται η δυνατότητα ρύθμισης αρκετών παραμέτρων, οπότε τα αποτελέσματα θεωρητικά είναι αμέτρητα. Οι ρυθμίσεις που δίνονται σε ένα ψηφιακό reverb είναι οι εξής:

#### 1.4.4.1 ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΗΧΟΣ (Direct Sound)

Δεν υπάρχει καμία αντήχηση σε αυτόν και καμία επεξεργασία. Στην ουσία είναι ο ήχος αυτός κάθε αυτός που μεταφέρεται από την πηγή στον δέκτη. Σε όρους μίξης θα τον ονομάζαμε dry σήμα, και πολλές φορές συναντάται με % ποσοστό, το οποίο είναι πολύ σημαντικό καθώς μας καθορίζει κατά ποσό θα ακούγεται η αντήχηση και κατά πόσο ο πρωτογενής μας ήχος. Wet σήμα αναφέρεται το τελικό αποτέλεσμα του αρχικού δείγματος σε συνακρόαση με την επεξεργασία της τεχνητής αντήχησης.

#### 1.4.4.2 PRE-DELAY

Ο χρόνος αυτός είναι στην ουσία το χρονικό διάστημα το οποίο κάνει η πρώτη ανάκλαση για να φτάσει στον δέκτη σε σχέση με τον απευθείας ήχο. Ο χρόνος αυτός είναι σημαντικός καθώς υποδεικνύει το μέγεθος του δωματίου αλλά και την απόσταση πηγής και δέκτη.



Εικόνα[12] Pre-Delay.

#### 1.4.4.3 EARLY REFLECTIONS

Οι πρώιμες ανακλάσεις είναι το σήμα το οποίο φτάνει στον δέκτη αμέσως μετά τον απευθείας ήχο, έχοντας ανακλαστεί σε μια ή περισσότερες επιφάνειες και με κάποιο μικρό χρονικό κενό μεταξύ τους. Η πληροφορία που μας δίνουν είναι πολύ σημαντική για τα στοιχεία του χώρου, όπως για παράδειγμα αν η αίθουσα έχει λείους τοίχους, θα έχουμε αυξημένη ένταση των εν λόγω ανακλάσεων. Και αν έχουμε μεγάλο μέγεθος δωματίου, θα έχουμε μικρότερη ένταση στις ανακλάσεις. Στις μονάδες τεχνητού reverb υπάρχει ρύθμιση για τα early reflections τα οποία μπορούμε να τα συμπεριλάβουμε από καθόλου έως και μόνο αυτά στην μίξη μας.

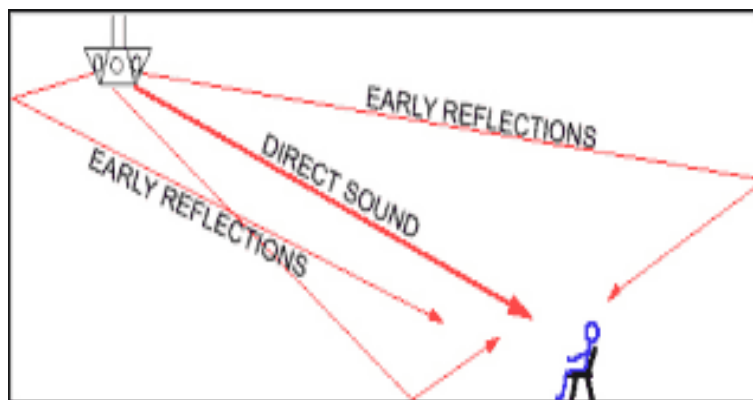


Fig.2: Early reflections help with understanding.

*Εικόνα[13] Απευθείας ήχος και πρώιμες ανακλάσεις.*

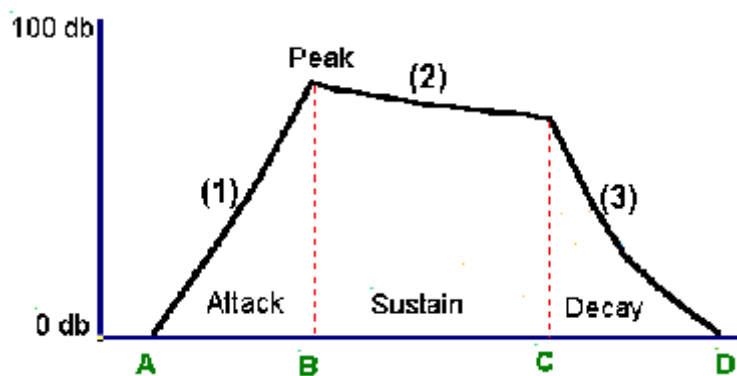
#### 1.4.4.4 REVERBERATION

Η αντήχηση ακολουθεί τις πρώιμες ανακλάσεις, και τα χρονικά κενά που έχει είναι αμελητέα που μπορεί να θεωρηθεί ως ένας πυκνός και ενιαίος ήχος. Σε όρους μίξης η αντήχηση αποκαλείται ως ουρά. Η αντήχηση στην ουσία είναι ήχοι οι οποίοι έχουν ανακλαστεί πολλές φορές στις επιφάνειες της αίθουσας, και για τον λόγο αυτό έχουν χάσει την ενέργεια τους. Αν δούμε σε διάγραμμα την αντήχηση θα μας δοθεί η εικόνα της εξασθένησης του ήχου. Αυτό συμβαίνει γιατί σε κάθε ανακλώμενη επιφάνεια, ο ήχος λαμβάνει κάποια εξασθένηση, και λόγω των συνεχόμενων ανακλάσεων λαμβάνουμε το συγκεκριμένο αποτέλεσμα.



#### 1.4.4.5 DECAY TIME

Ο χρόνος αυτός είναι στην ουσία ο χρόνος που χρειάζεται για να εξασθενήσει πλήρως η αντήχηση. Σε όρους ακουστικής υπάρχει μια μονάδα η οποία μας βοηθά να υπολογίσουμε την εξασθένηση της αντήχησης, τόσο ώστε να μην είναι πλέον ακουστή. Αυτός είναι ο RT60, στην ουσία, είναι ο χρόνος που χρειάζεται το σήμα μας ώστε να έχει μια απώλεια της τάξεως των 60db. Βάσει αυτών των παραμέτρων λειτουργούν οι ψηφιακοί επεξεργαστές τεχνητής αντήχησης ώστε να υπολογίζουν το decay time. Το decay time μας δίνει πληροφορίες για το μέγεθος και το είδος των επιφανειών του δωματίου. Έτσι καταλήγουμε ότι ένας αρκετά μεγάλος χώρος με λείες επιφάνειες, θα μπορούσε να δημιουργήσει προβλήματα ευκρίνειας για μεγάλους χρόνους αντήχησης. Δηλαδή το ρυθμικό στοιχείο έρχεται σε σύγκρουση με το μέγεθος της αντήχησης. Για τον λόγο αυτό υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης του χρόνου αντήχησης ώστε να το προσαρμόζουμε στην εκάστοτε περίπτωση.



Εικόνα[14] Decay Time

#### 1.4.4.6 ROOM SIZE

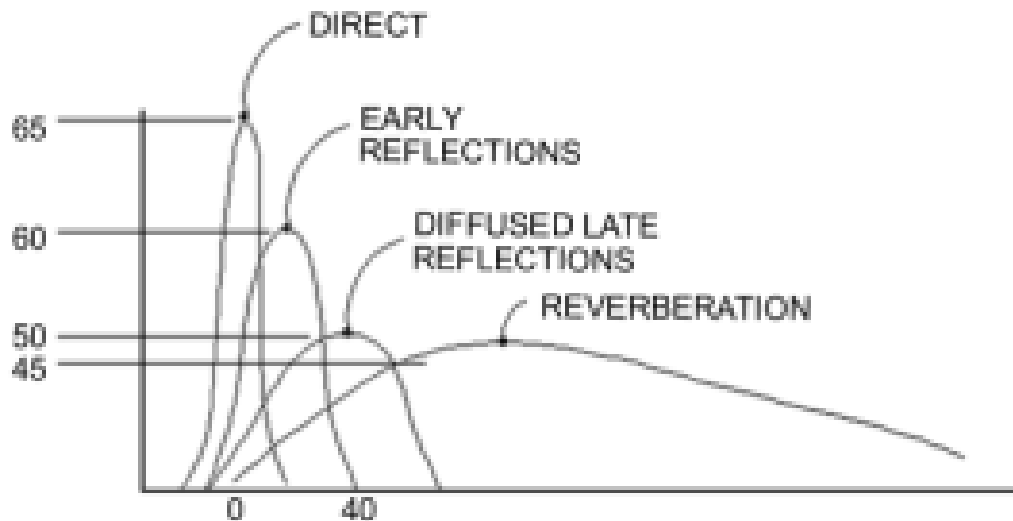
Το μέγεθος του δωματίου καθορίζει στην ουσία τις διαστάσεις όπως είναι κατανοητό. Έχει άμεση ζεύξη με την αντήχηση και τις πρώιμες ανακλάσεις όπως αναφέρθηκε και στις παραπάνω παραγράφους. Όπως είναι κατανοητό, όταν υπάρχει ένα μικρό δωμάτιο, θα υπάρχουν λιγότερες και ασθενέστερες πρώιμες ανακλάσεις και φυσικά μικρότερος χρόνος αντήχησης, άρα και το σήμα μας θα παραμένει πιστότερο στο αρχικό δείγμα. Η ρύθμιση στα ψηφιακά reverb αφορά καθαρά τις διαστάσεις του δωματίου.

#### 1.4.4.7 DENSITY

Η πυκνότητα καθορίζει στην ουσία πόσες διακριτές ανακλάσεις έχουμε στις πρώιμες ανακλάσεις. Μεγάλη πυκνότητα ανακλάσεων υποδηλώνει ένα μικρό δωμάτιο και το αντίστροφο. Και στην πυκνότητα όπως και στην αντήχηση, το ρυθμικό στοιχείο μπορεί να υποστεί μεγάλη αλλοίωση, όποτε χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή η χρήση του. Το ρυθμιστικό που έχουν οι επεξεργαστές αφορά την πυκνότητα και το ποσοστό της.

#### 1.4.4.8 DIFFUSION

Είναι στην ουσία η διάχυση του ήχου της αντήχησης. Ένα δωμάτιο με την κατάλληλη διάχυση είναι αναμφίβολα πιο εύηχο από ένα άναρχο διαχεόμενο δωμάτιο. Σε αρκετά ψηφιακά reverb η διάχυση έχει σύνδεση με την πυκνότητα και για το λόγο αυτό χρειάζεται προσοχή στην χρήση του, καθώς μικροαλλαγές μπορούν να αλλοιώσουν αισθητά τον παραγόμενο ήχο.[13]



*Εικόνα[15] Απευθείας ήχος, πρώιμες ανακλάσεις, diffused late reflections, reverberation.*

---

[13] Roey Izhaki, (2008), *Mixing Audio, Concepts, Practices & Tools*, Focal Press, Oxford, UK.



## 1.5 CONVOLUTION REVERB

Στην επεξεργασία των ηχητικών σημάτων, το convolution reverb είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται για την ψηφιακή προσομοίωση της αντήχησης ενός φυσικού ή εικονικού χώρου μέσω της χρήσης ψηφιακού λογισμικού. Είναι στην ουσία ένα κομμάτι λογισμικού (ή αλγόριθμος) που δημιουργεί μια προσομοίωση ενός ηχητικού περιβάλλοντος. Βασίζεται στη λειτουργία μαθηματικής συνέλιξης και χρησιμοποιεί ένα προ-ηχογραφημένο ηχητικό δείγμα της παλμικής απόκρισης του επιθυμητού χώρου. Για να εφαρμοστεί το εφέ της αντήχησης, η απόκριση του χώρου αποθηκεύεται αρχικά σε ένα σύστημα ψηφιακής επεξεργασίας σήματος. Στη συνέχεια, αυτό αλληλεπιδρά με το εισερχόμενο ηχητικό σήμα προς επεξεργασία. Η διαδικασία της συνέλιξης επεξεργάζει κάθε δείγμα του ήχου με καθένα της ψηφιακής αντήχησης.

### 1.5.1 IMPULSE RESPONSE

Η κρουστική απόκριση είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την επιστήμη της ακουστικής αλλά και της ηχοληψίας, γιατί αν κάποιος γνωρίζει το αποτέλεσμα της απόκρισης θα μπορούσε να υπολογίσει εύκολα την έξοδο της ηχητικής πληροφορίας. Ο υπολογισμός αυτός μπορεί να γίνει με μαθηματικές πράξεις οι οποίες είναι οι παρακάτω. [15]

$$y(n) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x(k)h(n-k) = x(n) * h(n)$$

*Μαθηματική σχέση [2]*

Όπου  $y(n)$  είναι η τελική έξοδος του συστήματος,  $x(n)$  είναι το ηχητικό μας δείγμα και  $h(n)$  είναι η κρουστική απόκριση του χώρου.

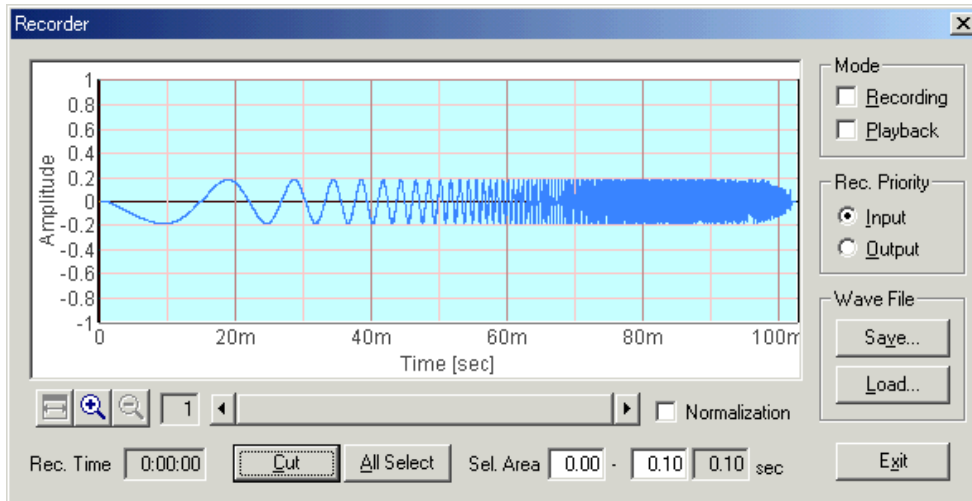
#### 1.5.1.1 ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ (SWEEP TONE)

Το sweep tone είναι ένας ήχος που αποτελείται από όλες τις συχνότητες οι οποίες εμπεριέχονται στο ανθρώπινο ακουστό φάσμα. Το εύρος του ακουστού συχνοτικού φάσματος ξεκινάει από τα 20Hz έως τα 20000Hz. Αυτός ο ήχος παράγεται από την γεννήτρια συχνοτικού φάσματος (sweep tone generator).

Το sweep tone είναι ένας από τους πιο διαδεδομένους τρόπους για την δημιουργία του convolution reverb. Η πιο διαδεδομένη προσέγγιση είναι η αναπαραγωγή ενός σύντομου σε διάρκεια σήματος που περιέχει όλες τις συχνότητες, ώστε να μπορεί να καταγραφεί η προκύπτουσα χωρική απόκριση σε ολόκληρο το φάσμα του ήχου. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένας μόνο παλμός, επιπέδου στάθμης 0dB που διαρκεί ένα και μόνο χρονικό δείγμα. [14]

---

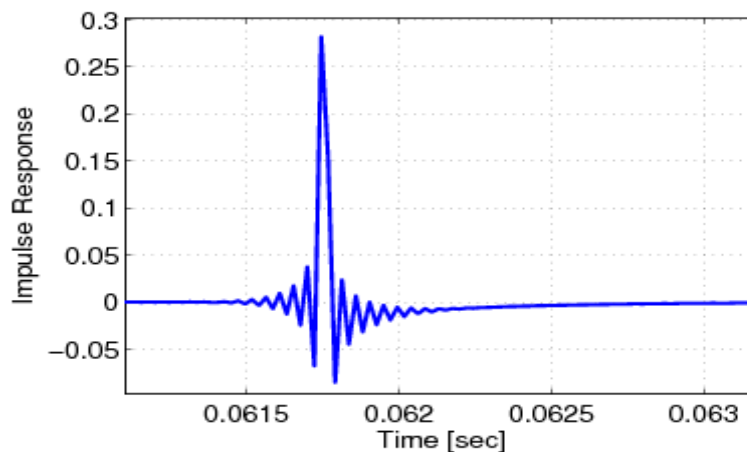
[14] <http://www.soundonsound.com/techniques/convolution-processing-impulse-responses>



Εικόνα[16] Sweep Tone

### 1.5.1.2 ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ (ΚΡΟΤΟΣ)

Η κρουστική απόκριση ενός χώρου, και στην συγκεκριμένη περίπτωση με την διαδικασία του κρότου (απότομος δυνατός και μικρός ήχος, πχ σκάσιμο μπαλονιού ή παλαμάκι), είναι το τελικό ηχητικό αποτέλεσμα, επηρεασμένο από τις φυσικές ιδιότητες του χώρου και τους χρωματισμούς που αυτό προσδίδει. (πχ ένας μεγάλος χώρος θα επηρεάσει το αποτέλεσμα στο ηχητικό μας δείγμα, προσδίδοντας του διάρκεια στο χρόνο (ηχητική ουρά)).[15]



Εικόνα[17] Κρότος

[15] Monson H. Hayes, (2000), Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος, Τζιόλα, ISBN 960-8050-11-1.

Βέβαια, ο τρόπος αυτός έχει ένα σημαντικό μειονέκτημα, το οποίο είναι η χαμηλή ενέργεια του σήματος καθώς γίνεται για ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα, το οποίο οδηγεί σε χαμηλό λόγο σήματος προς θόρυβο. Επίσης η αύξηση της ενέργειας του διεγέρτη μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα όπως χρωματισμούς και εξάλειψη γραμμικότητας του συστήματος κάτι το οποίο είναι απευχθές.

Όταν παράξουμε ένα ηχητικό δείγμα μέσα σε έναν ανηχοϊκό θάλαμο (δηλαδή καθόλου ανακλάσεις και καθόλου απώλειες) τότε το τελικό αποτέλεσμα μας θα είναι ακριβώς ίδιο με το ηχητικό σήμα, δηλαδή η κρουστική απόκριση του χώρου αυτού συμπεριφέρεται ως μονάδα, το σήμα μας παραμένει ανεπηρέαστο.

Όταν παράξουμε το ηχητικό δείγμα σε έναν εξωτερικό χώρο, τότε το αποτέλεσμα που θα πάρουμε, θα είναι το ίδιο το ηχητικό δείγμα, αλλά μετατοπισμένο προς το χρόνο, και ο χρόνος αυτός θα είναι, όσο κάνει να φτάσει η αναπαραγόμενη ηχητική πηγή στον καταγραφέα μας.

Τώρα όταν παράξουμε το ηχητικό μας δείγμα σε έναν εσωτερικό χώρο, ο καταγραφέας, εκτός από την ηχητική πηγή θα καταγράψει και τις διάφορες ανακλάσεις του χώρου, αλλά και των εν λόγω χρωματισμό στο φάσμα του ηχητικού παραδείγματος. Συνεπώς ο ήχος που λαμβάνουμε δεν είναι μια κρουστική συνάρτηση αλλά μια πληθώρα εξασθενημένων και μετατοπισμένων στον χρόνο, πανομοιότυπων ηχητικών δειγμάτων επηρεασμένα από τα στοιχεία του χώρου.[16]

Παρακάτω γίνεται η παράθεση ενός διαγράμματος, της κρουστικής απόκρισης ενός δωματίου. Στο σχήμα παρατηρούνται κάποιες συναρτήσεις παρόμοιες μετατοπισμένες στον άξονα του χρόνου, οι οποίες υποδεικνύουν τις ανακλάσεις στον χώρο λόγω των τοιχωμάτων. Το εν λόγω διάγραμμα μπορεί να επηρεαστεί από τις διαστάσεις του χώρου, το σχήμα του, την απορροφητική του ικανότητα καθώς και τέλος από την θέση της ηχητικής πηγής αλλά και του καταγραφέα.



Εικόνα[18] Κρουστική απόκριση δωματίου

[16] Σπυρίδων Ι. Λουτρίδης, (2010), *Ηλεκτρακουστική Και Ηχητικές Εγκαταστάσεις*, 1<sup>η</sup> έκδοση, Αθήνα, Ίων, ISBN 978-960-411-687-4.

Αν καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι το παραπάνω διάγραμμα αναπαριστά την κρουστική απόκριση ενός χώρου  $h(n)$  ως προς τον χρόνο, τότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η απόκριση του χώρου αυτού, στον οποίο αναπαράγουμε μια ηχητική πηγή με δείγμα  $x(n)$  ως προς τον χρόνο, δίνεται από την σχέση:

$$F(n)=h(n)*x(n)$$

*Μαθηματική σχέση [3]*

Άρα καταλήγουμε στον συμπέρασμα, ότι όταν ξέρουμε την κρουστική απόκριση ενός χώρου, μπορούμε να προβλέψουμε το τελικό αποτέλεσμα, μιας αναπαραγόμενης ηχητικής πηγής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Στο πειραματικό μέρος θα εξετάσουμε πρακτικά την συμπεριφορά του ήχου όσον αφορά την καταληπτότητα και την πιστότητα των τεχνητών αντηχήσεων σε σχέση με των φυσικών.

### 2.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Αρχικά, επιλέξαμε τα ηχητικά δείγματα τα οποία κάτω από ώριμη σκέψη, θα έδιναν την δυνατότητα για ασφαλέστερα συμπεράσματα. Έτσι, έπρεπε να βρεθούν ηχητικά δείγματα τα οποία θα κάλυπταν όσο το δυνατόν μεγαλύτερο φάσμα της ηχητικής παλέτας, δηλαδή ηχητικά δείγματα τα οποία έχουν διαφορετική φύση, διαφορετική ένταση και διαφορετικό συχνοτικό φάσμα. Το πείραμα διεξήχθη σε άτομα τα οποία είχαν ή έχουν επαφή με την μουσική τεχνολογία ή και τον ήχο γενικότερα, καθώς και σε άτομα τα οποία δεν είχαν την αντίστοιχη εμπειρία και εκπαίδευση. Αυτό οφείλει να διευκρινιστεί καθώς χρησιμοποιήθηκαν ηχητικά δείγματα όπως το white noise, ένας ήχος ο οποίος δεν είναι αναγνωρίσιμος και συνηθισμένος στην καθημερινότητα ενός ατόμου που δεν σχετίζεται με τον ήχο ως επαγγελματική ή εκπαιδευτική δραστηριότητα.

Τα ηχητικά δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν drums (κρουστικός ήχος), μουσικό κομμάτι (πολλά διαφορετικά μουσικά όργανα), μια γυναικεία φωνή (τραγουδι-acapella), ακουστική κιθάρα (νυκτός ήχος) και τέλος white noise (ήχος που περιέχει όλο το ακουστό ηχητικό φάσμα). Αρχικά, ο λόγος επιλογής των συγκεκριμένων δειγμάτων έγινε λόγω της διαφορετικότητας της φύσεως αυτών. Πρωτίστως επιλέχθηκε η drums η οποία είναι ένας κρουστικός ήχος και φαινομενικά θα γίνεται ευκολότερα η αντίληψη της διαφοράς του αντηχούμενου δείγματος. Έπειτα έγινε η επιλογή του μουσικού κομματιού διότι περιέχει ευρύ φάσμα συχνοτήτων, διαφορετικές δυναμικές και πολλά όργανα που ηχούν παράλληλα, κάτι το οποίο ακουστικά είναι σύνηθες στην καθημερινότητα του μέσου ανθρώπου (άκουσμα μουσικής). Στη συνέχεια ακολούθησε η φωνή που θεωρείται το πιο διαδεδομένο μέσο αντίληψης της αντήχησης ενός ηχητικού πεδίου. Το επόμενο δείγμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η ακουστική κιθάρα, ένα όργανο το οποίο θεωρείται ίσως το πιο διαδεδομένο μουσικό όργανο για τον μέσο ακροατή. Τέλος ο λευκός θόρυβος (white noise) ο οποίος λόγω της φύσης του, θα βοηθήσει ώστε να προκύψουν περαιτέρω συμπεράσματα.

Η διάρκεια όλων των ηχητικών δειγμάτων είναι της τάξεως των 10 δευτερολέπτων. Θεωρήθηκε σημαντικό όλα τα ηχητικά δείγματα να έχουν ακριβώς την ίδια διάρκεια έτσι ώστε κατά την πραγματοποίηση του πειράματος να μπορούν να γίνουν αντιληπτές οι ακουστικές, όσο και οι χρονικές διαφορές που θα προκύψουν από το reverberation time (χρόνος σβησίματος αντήχησης).

Τα αρχικά μας ηχητικά δείγματα ήταν τα εξής:

1. DRUMS
2. ΜΟΥΣΙΚΟ ΚΟΜΜΑΤΙ
3. ΓΥΝΑΙΚΕΙΑ ΦΩΝΗ
4. ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΚΙΘΑΡΑ
5. WHITE NOISE

## 2.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΧΩΡΩΝ

Το δεύτερο κομμάτι που αποτελεί καθοριστικό ρόλο σε ένα πείραμα που μελετάει την συμπεριφορά του ήχου όσον αφορά την αντήχηση μέσα σε κλειστούς χώρους, είναι η σωστή επιλογή των ιδίων. Η επιλογή έγινε σύμφωνα με το σχήμα, το μέγεθος αλλά και την οικειότητα, σύμφωνα με την οποία η χρήση των χώρων να μπορεί να γίνει αντιληπτή βάσει της καθημερινής τριβής του οποιοδήποτε ατόμου. Παραδείγματος χάρη η χρήση των αντηχόμενων ήχων γίνεται κατά κόρων στη σύγχρονη μουσική και κινηματογραφική παραγωγή, έτσι ώστε να έχουν φυσική αίσθηση της συμπεριφοράς του ήχου μέσα στους χώρους.

Αρχικά επιλέχθηκε ένα άδειο δωμάτιο μεσαίου μεγέθους διαστάσεων (Υ: 2.85m Π: 3.65m Μ: 5.92m ). Θεωρείται κοινώς, ότι, τέτοιου τύπου δωμάτια έχουν την ιδιαιτερότητα να παράγουν μεγαλύτερες αντηχήσεις λόγω της έλλειψης αντικειμένων στον χώρο.



*Εικόνα[19] Άδειο δωμάτιο, οπτική α.*



*Εικόνα[20] Άδειο δωμάτιο, οπτική β.*

Επόμενος επιλεγμένος χώρος η σχολική αίθουσα με διαστάσεις (Υ: 2.80m Π: 6.00m Μ: 7.90m ). Ο συγκεκριμένος χώρος αποτελεί την επιτομή της αντίληψης ης αντήχησης, καθώς είναι ένας χώρος που το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού έχει δαπανήσει τα μαθητικά του χρόνια και όχι μόνο. Άρα η συμπεριφορά του ήχου είναι αρκετά οικεία σε αυτόν.



*Εικόνα[21] Σχολική αίθουσα, οπτική α.*



*Εικόνα[22] Σχολική αίθουσα, οπτική β.*

Εν συνεχεία, επιλέχθηκε ο διάδρομος ενός διαμερίσματος διαστάσεων (Υ: 2.85m Π: 0.90m Μ: 5.95m ). Ο χώρος αυτός έχει την ιδιαιτερότητα ότι είναι άδειος, στενός και αρκετά μακρύς. Θεωρητικά ο συγκεκριμένος χώρος θα έχει μία διαφορετική συμπεριφορά σε σχέση με ένα συνηθισμένο τετράγωνο ή ορθογώνιο χώρο.



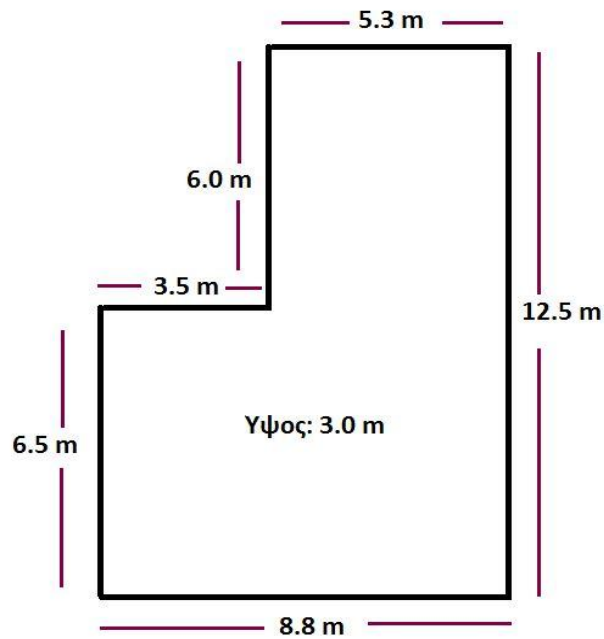
**Εικόνα[23]** Διάδρομος, οπτική α.



**Εικόνα[24]** Διάδρομος, οπτική β.



Τέταρτος χώρος στον οποίο πραγματοποιήθηκε το πείραμα είναι ένας κλειστός χώρος στάθμευσης αυτοκινήτων διαστάσεων



*Εικόνα[25] Κάτοψη χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων.*

Ο συγκεκριμένος χώρος είναι αρκετά μεγάλος και σχεδόν άδειος τη στιγμή που εκπονήθηκε το πείραμα, και ως εκ τούτου η συμπεριφορά ενός τέτοιου χώρου αποτελεί άξιο κομμάτι μελέτης.



*Εικόνα[26] Χώρος στάθμευσης αυτοκινήτων, οπτική α.*



**Εικόνα[27]** Χώρος στάθμευσης αυτοκινήτων, οπτική β.

Πέμπτος χώρος επιλογής είναι δωμάτιο γεμάτο με αντικείμενα, μεσαίου μεγέθους με διαστάσεις (Υ: 2.85m Π: 3.95m Μ: 4.95m ). Ένα τέτοιου τύπου δωμάτιο αποτελεί τον πιο συχνά συναντόμενο χώρο αντήρησης σε καθημερινή βάση. Λόγω των αντικειμένων η αντήρηση εκτιμάται να είναι μικρότερη σε σχέση με τους υπόλοιπους χώρους.



**Εικόνα[28]** Γεμάτο δωμάτιο (σαλόνι).

Τελευταίος χώρος πραγματοποίησης του πειράματος είναι η σκάλα πολυκατοικίας. Είναι ένας χώρος ο οποίος ξεφεύγει από τα στενά πλαίσια του δωματίου καθώς, δεν οριοθετείται από τέσσερις τοίχους ώστε να έχει το σχήμα και τις ιδιότητες ενός δωματίου. Επειδή το σχήμα του χώρου δεν είναι συγκεκριμένο, παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον η μελέτη αυτού. Το υλικό κατασκευής της σκάλας και του πατώματος είναι το μάρμαρο. Το ύψος της σκάλας είναι της τάξεως μιας πενταόροφης πολυκατοικίας.



*Εικόνα[29] Σκάλα οπτική α.*



*Εικόνα[30] Σκάλα οπτική β.*

### 2.3 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ

- Φορητός καταγραφέας Zoom H2 Handy recorder. [17]
- Ηχεία ESI near 06. [18]
- Φορητός υπολογιστής HP 250 g5. [19]
- Καλώδιο male jack 6.3 mm σε male jack 3.5 mm.
- Δύο σκαμπό.

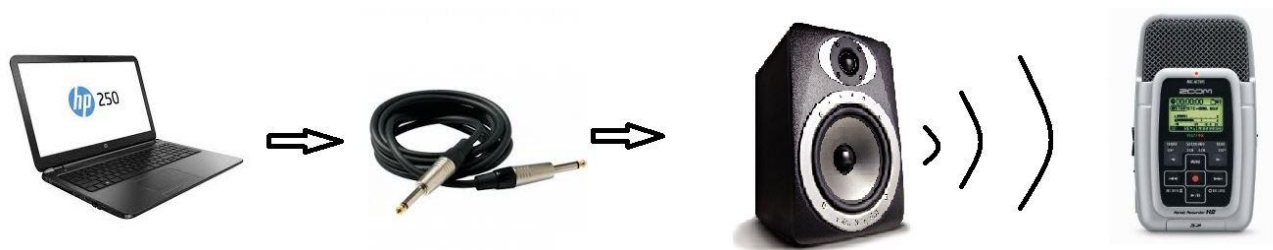
---

[17] <https://www.zoom-na.com/products/field-video-recording/field-recording/h2-handy-recorder>

[18] <http://www.esi-audio.com/products/near06/>

[19] <http://www8.hp.com/us/en/products/laptops/product-detail.html?oid=11489467>

### 2.3.1 ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ



*Εικόνα[31] Συνδεσμολογία πειραματικής διαδικασίας*

Αρχικά, συνδέσαμε τον φορητό υπολογιστή με το ηχείο χρησιμοποιώντας το καλώδιο που προαναφέρθηκε και αναπαράγαμε τα ηχητικά δείγματα σε όλους τους χώρους. Με την βοήθεια του φορητού καταγραφέα ηχογραφήθηκαν τα παραγόμενα δείγματα. Φροντίσαμε η πειραματική μας διάταξη να βρίσκεται πάντοτε στη μέση του εκάστοτε χώρου. Η απόσταση του ηχείου και του καταγραφέα ήταν σταθερή στο 1m. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν δύο βάσεις στήριξης (σκαμπό), ώστε να υπάρχει απόσταση από το πάτωμα.

## 2.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

### 2.4.1 ΗΧΟΓΡΑΦΗΣΕΙΣ

Αρχικά πρέπει να αναφερθεί ότι και τα πέντε ηχητικά δείγματα ηχογραφήθηκαν σύμφωνα με την προαναφερθείσα συνδεσμολογία στον χώρο ηχογραφήσεων του ΙΕΜΑ (Ινστιτούτο Έρευνας Μουσικής & Ακουστικής). Επίσης ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι ο ίδιος με τη συνέχεια της πειραματικής διαδικασίας. Με αυτόν τον τρόπο πετυχαίνουμε την ίδια ένταση αναπαραγωγής όλων των δειγμάτων αλλά και την απουσία αντηχήσεων καθώς ο συγκεκριμένος χώρος διαθέτει την κατάλληλη μόνωση και απορρόφηση ανακλάσεων. Κατ' αυτό τον τρόπο τα δείγματα μπορούν πλέον να θεωρούνται απαλλαγμένα από περαιτέρω χωρικούς χρωματισμούς. Λόγος όλων των παραπάνω είναι ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα.



*Εικόνα[32] Χώρος ηχογραφήσεων ΙΕΜΑ*

Εφόσον κάναμε τις ηχογραφήσεις στο studio του ΙΕΜΑ, τα ηχητικά μας δείγματα ήταν έτοιμα προς χρήση για το πείραμα.

Σε όλους τους χώρους τοποθετήσαμε την πειραματική διάταξη όσο το δυνατόν πλησίον του κέντρου του κάθε χώρου και σε ύψος 0.7m (με την βοήθεια δύο σκαμπό). Το κάθε δείγμα ηχογραφήθηκε από τουλάχιστον δέκα φορές, έτσι ώστε να επιτύχουμε όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικό και ακριβές δείγμα. Με τον τρόπο αυτό αποφύγαμε θόρυβο (φασαρία) στις ηχογραφήσεις καθώς μερικοί χώροι δεχόντουσαν επίδραση από το εξωτερικό περιβάλλον. Προφανώς υπάρχουν ηχογραφήσεις στις οποίες δεν έχουμε επιτύχει την απόλυτη απομόνωση από τους εξωγενείς παράγοντες για λόγους ανωτέρας βίας. Να σημειωθεί ότι στις πειραματικές διατάξεις ο φορητός καταγραφέας τοποθετήθηκε σε απόσταση 1.2m από την ηχητική πηγή, έτσι ώστε τα δείγματα να έχουν την βέλτιστη στάθμη έντασης χωρίς να παραμορφώνονται. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνουμε οι διαφορές από χώρο σε χώρο να είναι εμφανείς. Επίσης προσέξαμε ο φορητός καταγραφέας και το ηχείο, να μην είναι στραμμένα προς κοντινές ανακλαστικές επιφάνειες έτσι ώστε η διέγερση του χώρου να είναι στο βέλτιστο σημείο. Τέλος, η καταγραφική μας συσκευή είχε

τη δυνατότητα να ηχογραφεί ταυτόχρονα προς δύο κατευθύνσεις (stereo). Οπότε το καταγραφικό μας έδωσε τη δυνατότητα να έχουμε μια πληρέστερη εικόνα του εκάστοτε χώρου.



*Εικόνα[32] Φορητός καταγραφέας, πλάγια οπτική.*

#### **2.4.2 ΚΡΟΥΣΤΙΚΕΣ ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΧΩΡΩΝ (IMPULSE RESPONSES)**

Πέραν από τις ηχογραφήσεις των δειγμάτων, σε κάθε χώρο έγιναν και δύο ακόμα ηχογραφήσεις σύμφωνα πάντα με την παραπάνω διάταξη και διαδικασία που ακολουθήθηκε. Με τις επιπλέον αυτές ηχογραφήσεις, μπορούμε να βγάλουμε σημαντικά συμπεράσματα για την συμπεριφορά του κάθε χώρου. Οι δύο τρόποι αυτοί είναι το sweep tone generator (γεννήτρια συχνοτικού φάσματος) και impulse responses με κρότους οι οποίοι είναι γενικώς αποδεκτοί ως οι πιο αξιόπιστοι στην διέγερση ενός χώρου. Το sweep tone ήταν ένας ήχος διάρκειας 10sec που περιείχε σταδιακή αύξηση συχνοτήτων, φάσματος 20-20000Hz. Το μέσο που χρησιμοποιήσαμε για να παράγουμε κρότο ήταν τα παλαμάκια.

## **2.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΩΡΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ**

### **2.5.1 ΑΔΕΙΟ ΔΩΜΑΤΙΟ**

Κατά την πραγμάτωση του πειράματος η εντύπωση που μας δόθηκε βάση της διέγερσης του χώρου ήταν αρκετά ξεκάθαρη. Η αίσθηση μιας αρκετά μεγάλης αντήχησης ιδιαίτερα στα drums, μουσικό κομμάτι και γυναικεία φωνή έγινε αντιληπτή. Στην οποία γυναικεία φωνή παρατηρούμε μία απροσδόκητη αύξηση έντασης. Επίσης στο white noise δεν παρατηρείται ιδιαίτερη αίσθηση αντήχησης παρά μόνο στο σβήσιμο του ήχου. Τέλος όσον αφορά την ακουστική κιθάρα οι διαφορές εντοπίζονται κυρίως στο συχνοτικό φάσμα του ήχου (χρωματισμός) σε σχέση με τα παραπάνω.

### **2.5.2 ΣΧΟΛΙΚΗ ΑΙΘΟΥΣΑ**

Στον συγκεκριμένο χώρο είχαμε την αντίληψη ότι οι χρόνοι αντήχησης ήταν μικρότεροι σε σχέση με το άδειο δωμάτιο αλλά παρατηρούμε μεγαλύτερες συχνοτικές επιδράσεις ιδιαίτερα στις χαμηλότερες συχνοτικές περιοχές. Αυτό δίνει την αίσθηση ενός «πλούσιου» ήχου. Στην συγκεκριμένη περίπτωση στην ακουστική κιθάρα και στο white noise δεν εντοπίζουμε αξιοσημείωτες διαφορές.

### **2.5.3 ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ**

Στον χώρο αυτόν παρατηρούμε ότι όλα τα δείγματα έχουν μια διαφοροποίηση σε σχέση με την αρχική τους κατάσταση. Ο χρόνος αντήχησης είναι μηδαμινός ωστόσο δημιουργείται μία αίσθηση χωρικότητας. Δηλαδή προσεγγιστικά αντιλαμβανόμαστε ότι πρόκειται για μικρό χώρο. Σε όλα τα δείγματα παρατηρήθηκαν ακουστικές διαφορές όσον αφορά την μεγάλη αύξηση της έντασής τους. Στα drums, γυναικεία φωνή και ακουστική κιθάρα παρατηρείται μια τέτοια αίσθηση «στεγνού» βάθους που θα μπορούσε να εξηγηθεί από το σχήμα του χώρου (μακρύς και στενός).

### **2.5.4 ΚΛΕΙΣΤΟΣ ΧΩΡΟΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ**

Ο χώρος αυτός δημιούργησε την μεγαλύτερη χρονικά αντήχηση σε σχέση με τους υπόλοιπους χώρους, όμως παρατηρείται και χωρική επιρροή. Οι ήχοι που περιλαμβάνουν και τα δύο χαρακτηριστικά σε μεγάλο βαθμό είναι η γυναικεία φωνή και τα drums. Επίσης αντιλαμβανόμαστε αύξηση έντασης στη γυναικεία φωνή και στο white noise. Όσον αφορά το white noise επίσης εντοπίζεται μεγαλύτερη ευκρίνεια στις υψηλές συχνότητες.



### 2.5.5 ΓΕΜΑΤΟ ΔΩΜΑΤΙΟ

Όσον αφορά τον χώρο αυτόν δεν φαίνεται να υπάρχει αύξηση έντασης στα δείγματα αλλά ούτε και χρονική επίδραση. Όμως δημιουργείται μια πολύ μικρή χωρική αίσθηση. Οι λόγοι που δημιουργούν την έλλειψη μεγάλης διαφοράς των ηχητικών δειγμάτων, είναι η απουσία ανακλαστικών επιφανειών και η παρουσία πολλών αντικειμένων που συντελούν στην απορρόφηση των αντηχήσεων.

### 2.5.6 ΣΚΑΛΑ ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΑΣ

Αυτός ο χώρος εμφανίζει τις περισσότερες ιδιομορφίες. Αρχικά στη γυναικεία φωνή παρατηρήσαμε μια τεράστια αύξηση της έντασης, στα drums μία αρκετά αισθητή αύξηση αλλά όχι όπως της γυναικείας φωνής, ενώ τα υπόλοιπα δείγματα δεν φέρουν διαφορά στο συγκεκριμένο κομμάτι. Σε όλα τα δείγματα είναι αισθητή η χρονική αλλά και η χωρική επίδραση. Παρά των ιδιαιτεροτήτων του χώρου (έλλειψη οριοθέτησης από τοίχους), δίνεται η αίσθηση υπαρκτών διαστάσεων.

## 2.6 ΜΕΣΑ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το πρώτο και βασικό μέσο που χρησιμοποιήθηκε είναι το Cubase της εταιρίας Steinberg. Με το συγκεκριμένο πρόγραμμα έγιναν όλες οι επεξεργασίες των ηχητικών δειγμάτων καθώς και η δημιουργία των ψηφιακών αντηχήσεων είτε με τον τρόπο του convolution είτε με τον τρόπο του plugin reverb. Το Cubase είναι ένα μουσικό προϊόν λογισμικού, που αναπτύχθηκε από μία ομάδα Γερμανών προγραμματιστών για την εταιρεία εξοπλισμού Steinberg. Το οποίο δημιουργήθηκε για την μουσική καταγραφή, οργάνωση και επεξεργασία ψηφιακών ηχητικών δειγμάτων. Η πρώτη έκδοση, η οποία έτρεχε στον υπολογιστή Atari ST και χρησιμοποιούσε μόνο πρωτόκολλα midi, κυκλοφόρησε το 1989. [20]

Το Cubase δημιουργεί έργα που επιτρέπουν στον χειριστή να επεξεργάζεται αρχεία MIDI, ακατέργαστα κομμάτια ήχου και άλλες συναφείς πληροφορίες, όπως στίχους, και να τις παρουσιάζει σε μια σειρά μορφών, συμπεριλαμβανομένων των μουσικών κομματιών, της κονσόλας επεξεργασίας, των λιστών συμβάντων κ.λπ. ο χειριστής έχει την δυνατότητα να εξάγει πολλά διαφορετικά κανάλια ήχου σε ένα στερεοφωνικό αρχείο .wav έτοιμο για εγγραφή σε ένα CD (compact disc) σε μορφή Red Book format ή .mp3 που εγγράφονται σε CD ή DVD ως αρχεία ή για δημοσίευση στο διαδίκτυο.

---

[20] <https://www.steinberg.net/en/products/cubase/start.html>

## 2.7 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Τα ηχητικά δείγματα που ηχογραφήθηκαν σε όλους τους χώρους συγκεντρώθηκαν, επεξεργάστηκαν και επιλέχθηκαν μέσω του Cubase, με κριτήριο την αρτιότητά τους. Μέσα από τον μεγάλο αριθμό των δειγμάτων κρατήσαμε τα επικρατέστερα σύμφωνα με τους λόγους που αναφέρθηκαν και αναλύθηκαν στην παράγραφο των ηχογραφήσεων της ανάλυσης πειραματικής διαδικασίας. Επίσης μέσω του συγκεκριμένου προγράμματος καταφέραμε να συνηχούν οι δύο διαφορετικές ηχογραφήσεις του φορητού καταγραφέα (stereo recording). Εν συνεχεία λόγω της συγκεκριμένης διάρκειας των αρχικών δειγμάτων (10 sec) , δημιουργήθηκε η ανάγκη στα παραγόμενα δείγματα, λόγω της αντήχησης, οι ήχοι να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια. Προφανώς βάση της διαφορετικής φύσης του κάθε χώρου τα καινούργια δείγματα δεν έχουν πλέον μια σταθερή και συγκεκριμένη διάρκεια.

## 2.8 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΑΝΤΗΧΗΣΕΩΝ

Ο σκοπός της ενότητας αυτής είναι η δημιουργία ψηφιακών αντηχήσεων με την μέθοδο του convolution reverb και πιο συγκεκριμένα με την χρήση κρότων και sweep tone. Έτσι θα έχουμε μια τεχνητή αντήχηση χρησιμοποιώντας αποτελέσματα ηχογράφησης ενός φυσικού χώρου. Βάσει των ηχογραφήσεων που έγιναν είχαμε ως αποτέλεσμα κάποια ηχητικά δείγματα τα οποία μας έδιναν την απόκριση του χώρου και θα μας βοηθήσουν στην συνέχεια να παράγουμε τα ψηφιακά μας δείγματα για την τεχνητή αντήχηση.

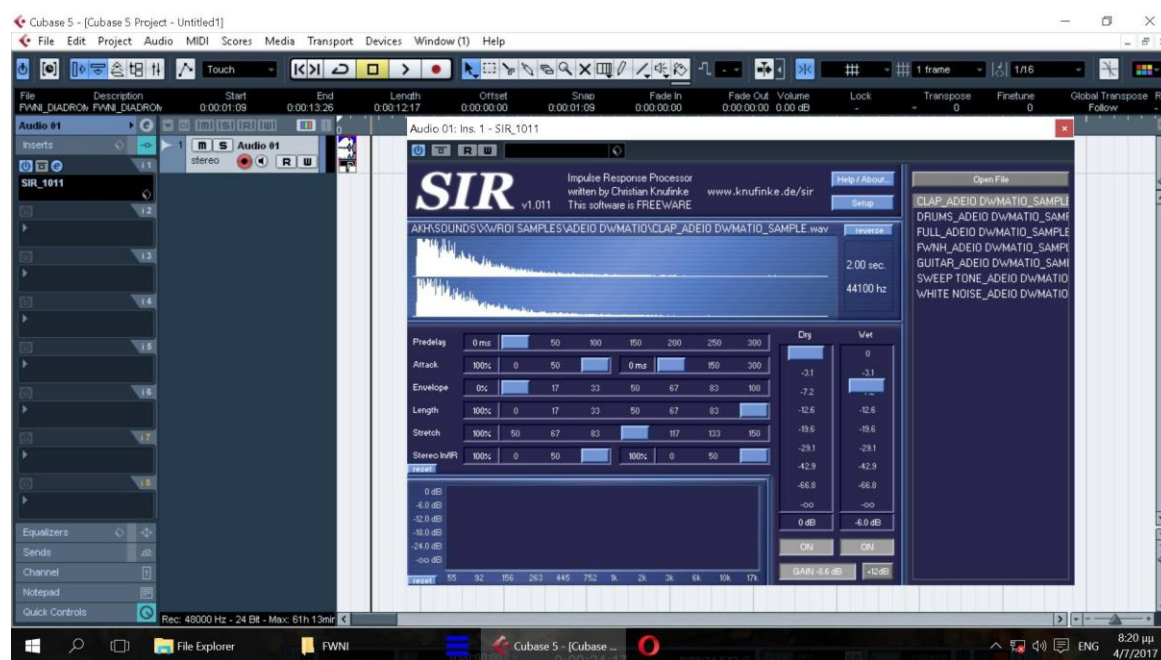
### 2.8.1 CONVOLUTION REVERB – ΚΡΟΤΟΙ

Το convolution reverb που χρησιμοποιήσαμε ήταν το SIR1 της εταιρίας SIR AudioTools. Αυτή είναι μια συσκευή αντήχησης που λειτουργεί με κρουστικές αποκρίσεις. Οι αποκρίσεις αυτές δημιουργούνται καταγράφοντας σύντομα ευρυζωνικά σήματα και τις αντίστοιχες ανακλάσεις του δωματίου τους. Αυτό που λαμβάνουμε περιέχει τις πληροφορίες που απαιτούνται για την προσομοίωση ενός δωματίου με άλλα σήματα. Για τεχνικούς λόγους ο SIR1 λειτουργεί με σταθερή καθυστέρηση 8960 δειγμάτων που αντισταθμίζεται από τον κεντρικό επεξεργαστή VST. Ο Sir είναι μια στερεοφωνική ψηφιακή συσκευή (plug in). Για να εκμεταλλευτούμε πλήρως τις στερεοφωνικές αποκρίσεις για μονοφωνικά σήματα, πρέπει πρώτα να μετατρέψουμε το κομμάτι σε στερεοφωνικό. Είναι σημαντικό να κοπεί το αρχικό σήμα στην αρχή του αρχείου (δηλαδή να ξεκινάει ακαριαία).[21]

---

[21] <http://www.siraudiotools.com/sir1.php>

Αρχικά σε κάθε χώρο του πειράματος δημιουργήθηκαν αρκετοί κρότοι (παλαμάκια), και επιλέχθηκε το δείγμα το οποίο δημιουργούσε την βέλτιστη διέγερση του χώρου, μέσα από πολλές και διαφορετικές θέσεις που παράγαμε μέσα σε αυτόν. Στη συνέχεια με την χρήση του προγράμματος Cubase επεξεργαστήκαμε τις κρουστικές αποκρίσεις των χώρων έτσι ώστε τα δείγματα να μην έχουν παύση στην αρχή και να τελειώνουν στο σημείο το οποίο σβήνει η αντήχηση του κάθε χώρου. Έπειτα φορτώσαμε τις επεξεργασμένες κρουστικές αποκρίσεις στο plug in convolution reverb SIR1. Εν συνεχεία φορτώσαμε τα πέντε αρχικά δείγματά μας κι έτσι το SIR1 σύμφωνα με την εισαγωγή των κρότων που του είχαμε δώσει (κρουστικές αποκρίσεις χώρων), προσομοίωσε τις αντηχήσεις του εκάστοτε χώρου.

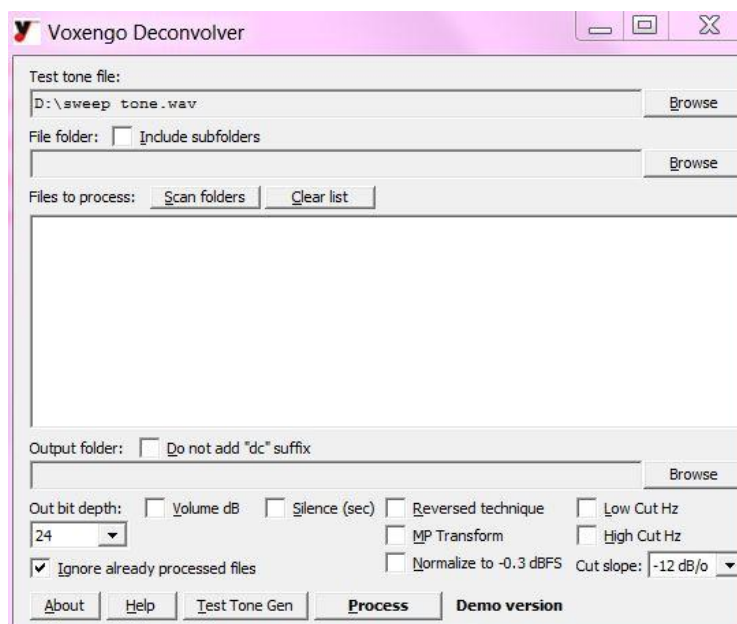


Εικόνα[33] Interface του plug in SIR1.

Τέλος τα δείγματα που παράχθηκαν είναι η ψηφιακή αντήχηση του κάθε χώρου με την χρήση των κρότων μέσω convolution reverb και συγκεκριμένα του plug in SIR1.

## 2.8.2 CONVOLUTION REVERB – SWEEP TONE

Αρχικά, στην συγκεκριμένη διαδικασία όπως αντίστοιχα και στην παραπάνω παράχθηκε ο sweep tone ήχος σε κάθε έναν από τους χώρους και έγινε η ηχογράφηση του αποτελέσματος που προέκυψε από την διέγερση του χώρου με τη συγκεκριμένη μέθοδο. Η ηχογράφηση αυτή πραγματοποιήθηκε αρκετές φορές έτσι ώστε να δίνεται η δυνατότητα επιλογής του βέλτιστου αποτελέσματος ηχογράφησης. Το αποτέλεσμα αυτό δεν μπορούσαμε να το χρησιμοποιήσουμε αυτούσιο, γι' αυτό τον λόγο χρειαστήκαμε την βοήθεια ενός προγράμματος που ονομάζεται Voxengo Deconvolver.



Εικόνα[34] Voxengo interface

Η λειτουργία αυτού του προγράμματος είναι η εξής: Το πρόγραμμα αυτό έχει δύο πεδία εισαγωγής ήχων, το ένα είναι το sweep tone αρχικής κατάστασης (dry), και το δεύτερο είναι οι ηχογραφήσεις που έγιναν στους χώρους κατά την διάρκεια της αναπαραγωγής του dry sweep tone. Οι ήχοι αυτοί είναι η συνήχηση του sweep tone με τα χωρικά στοιχεία και τους χρωματισμούς που προήλθαν από την διέγερση του κάθε δωματίου. Αυτό το πρόγραμμα στην ουσία μας δίνει το αποτέλεσμα της χωρικής ανταπόκρισης του εκάστοτε χώρου με την έλλειψη του ακούσματος του sweep tone. Η επεξεργασία του προγράμματος αλληλοεξουδετερώνει τα δύο sweep tones και αφήνει το χωρικό αποτέλεσμα. Το τελικό αρχείο το οποίο παράχθηκε, μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί ως όρισμα εισαγωγής στο πρόγραμμα SIR και να ακολουθηθεί η διαδικασία με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως έγινε και στην παραπάνω ενότητα. Τελικώς τα αρχεία που παράχθηκαν με την συγκεκριμένη μεθοδολογία είναι τα τελικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στο ερωτηματολόγιο που θα παρουσιαστεί στην συνέχεια της πειραματικής διαδικασίας.

## 2.9 PLUG-IN REVERB

Στην ενότητα αυτή θα γίνει προσπάθεια να κατασκευαστούν ήχοι με την χρήση plug in reverb, οι οποίοι θα προσομοιώνουν την φυσική αντήχηση των χώρων της πειραματικής διαδικασίας. Αρχικά κάτι τέτοιο περιέχει μία μεγάλη δυσκολία καθώς δεν μπορεί σε καμία περίπτωση οι φυσικές ηχογραφήσεις και τα παραγόμενα δείγματα να είναι εκατό τοις εκατό πανομοιότυπα. Τα plug in reverbs κατέχουν πληθώρα ρυθμιστικών τα οποία δίνουν την δυνατότητα μεγάλης επεξεργαστικής ισχύος. Πέρα από τα ρυθμιστικά υπάρχουν προεγκατεστημένα χωρικά δεδομένα που προσομοιώνουν συγκεκριμένους χώρους καθώς και γνωστούς χώρους όσον αφορά την ακουστική τους (αίθουσες λυρικής σκηνής κ.α.). Τα plug in reverbs είναι πρόσθετα εργαλεία που υπάρχουν ή μπορούν να εγκατασταθούν σε προγράμματα επεξεργασίας ήχου και σημάτων, όπως το Cubase που στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε.

### 2.9.1 PLUG-IN REVERB (ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΗ)

Αρχικά, ακούσαμε αρκετές φορές τις ηχογραφήσεις των φυσικών χώρων που έγιναν στο πείραμα για να μπορούμε να κατανοήσουμε σε μεγαλύτερο βαθμό την φύση των ήχων ενδελχώς. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας το plug in reverb REVerence το οποίο υπήρχε προεγκατεστημένο στο πρόγραμμα Cubase, έγινε προσπάθεια προσομοίωσης των χώρων.

Πρώτα επιλέχθηκε σύμφωνα με κάθε χώρο, μια προεπιλεγμένη μορφή ψηφιακής αντήχησης (preset). Πιο συγκεκριμένα για ένα μικρό δωμάτιο επιλέχθηκε μια προεπιλογή για τον αντίστοιχο χώρο. Έπειτα με τις ρυθμίσεις που παρέχει το συγκεκριμένο ψηφιακό plug in reverb, όπως μέγεθος χώρου, χρόνος αντήχησης, χρόνος πρώιμων ανακλάσεων, χρόνος μεταγενέστερων ανακλάσεων, καταληπτότητα, ρυθμίσεις συχνοτήτων, ένταση μίξης και τέλος παρέχεται ρύθμιση για όλα τα παραπάνω δύο κατευθύνσεων (μπροστά-πίσω, front-rear) για καλύτερο και πιστότερο αποτέλεσμα. Σύμφωνα με τα παραπάνω μέσα από τις ρυθμίσεις που δόθηκαν έγινε προσπάθεια τα ψηφιακά ηχητικά μας αποτελέσματα να είναι όσο το δυνατόν πιστά με την αντήχηση των πραγματικών χώρων. [22]

---

[22][https://www.steinberg.net/en/products/cubase/cubase\\_music\\_production\\_software/virtual\\_instruments\\_and\\_effect\\_plug\\_ins.html](https://www.steinberg.net/en/products/cubase/cubase_music_production_software/virtual_instruments_and_effect_plug_ins.html)



*Εικόνα[35] REVerence plug in interface*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

### 3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ

Το συγκεκριμένο κεφάλαιο αποτελεί το σημαντικότερο μέρος της πτυχιακής εργασίας, καθώς στην ενότητα αυτή θα πραγματοποιηθεί το ερωτηματολόγιο της πιστότητας των μεθόδων της τεχνητής αντήχησης. Αντιλαμβάνεται κανείς πως αποτελεί μείζονος σημασίας η ορθότητα του και η πλήρης κατανόησή του από τους συμμετέχοντες.

Για τον λόγο αυτό θα γίνει προσπάθεια το ερωτηματολόγιο να είναι αρκετά ξεκάθαρο και συνάμα να καλύπτει σε βέλτιστο βαθμό όλες τις περιπτώσεις που συναντώνται. Γίνεται αντιληπτό ότι ο αριθμός των συμμετεχόντων είναι αρκετά σημαντικός οπότε έγινε προσπάθεια ώστε αυτός ο αριθμός να είναι ο μεγαλύτερος δυνατός για να θεωρηθεί το δείγμα αξιόπιστο. Το φάσμα των ερωτηθέντων διαφέρει σε ηλικίες, φύλο και επαγγελματικής ενασχόλησης (συμφοιτητές του τμήματος Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής και λοιπές ειδικότητες). Σε αυτό το σημείο γίνεται ένας τέτοιος διαχωρισμός καθώς μπορεί να οδηγήσει σε ενδιαφέροντα συμπεράσματα.

Το ερωτηματολόγιο εμπεριείχε τους έξι χώρους στους οποίους έλαβε χώρα το πειραματικό μέρος τούτης της πτυχιακής εργασίας. Καθένας από τους ερωτώμενους, ακροάστηκε τρεις διαφορετικές εκδοχές του αρχικού ήχου ώστε να έρθει σε θέση να απαντήσει βάσει της πιστότητας σε σχέση με την ηχογράφιση που έγινε στον εκάστοτε χώρο. Οι τρεις τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αυτές που αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια του πειραματικού μέρους αυτής της εργασίας, δηλαδή πιο συγκεκριμένα, το convolution reverb με τους τρόπους των κρότων και της γεννήτριας συχνοτικού φάσματος, καθώς και το plug in reverb. Επίσης, τα άτομα που συμμετείχαν θα γίνει η προσπάθεια να δώσουν μία απάντηση για την φύση του κάθε χώρου, καθώς στη διάρκεια των ακροάσεων, δεν θα τους γίνει γνωστό ο τύπος του χώρου στον οποίο πραγματοποιήθηκε το πείραμα. Οι ακροάσεις έλαβαν χώρα σε απομονωμένο δωμάτιο ώστε να παρέχεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μόνωση έτσι ώστε να παρεμβάλουν τις ακροάσεις λιγότεροι εξωγενείς παράγοντες. Στη συνέχεια η αναπαραγωγή έγινε από τα ηχεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και στην υλοποίηση του πειράματος. Το κάθε δείγμα αναπαραχθήκε από μία έως τρεις φορές ανάλογα με την ανάγκη του κάθε ερωτώμενου. Η σειρά με την οποία ακούστηκαν οι ήχοι και οι χώροι ήταν τυχαία και διαφορετική για τον κάθε ερωτώμενο. Αρχικά, έγινε αναπαραγωγή του φυσικού δείγματος το οποίο ηχογραφήθηκε στο κάθε χώρο, έτσι ώστε σύμφωνα με αυτό, οι ερωτηθέντες να μπορούν να απαντήσουν στο ερωτηματολόγιο βάσει της πιστότητας των τεχνητών αντηχήσεων. Όλη η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε κλίμα ηρεμίας, ώστε οι απαντήσεις των συμμετεχόντων να είναι προϊόν συγκέντρωσης και προσήλωσης στην συγκεκριμένη διαδικασία. Το ερωτηματολόγιο δεν δημιούργησε σύγχυση και ερωτήματα από τα άτομα που συμμετείχαν στην διαδικασία, καθώς δεν αντιμετωπίστηκαν προβλήματα και περαιτέρω απορίες κατά της συμπλήρωσή του από τους ερωτηθέντες. Με βάση αυτό κρίνεται η συνάφεια επιτυχής. Εν κατακλείδι έγινε προσπάθεια για να υπάρχει η αντίστοιχη σοβαρότητα από τα άτομα τα οποία ερωτήθηκαν εφάμιλλη των εκπονητών της πτυχιακής εργασίας.

Παρακάτω ακολουθεί δείγμα του ερωτηματολογίου όπως δόθηκε στους ερωτηθέντες και ένα δείγμα που αντιστοιχεί στις απαντήσεις.

DRUMS ΜΟΥΣΙΚΟ ΚΟΜΜΑΤΙ ΓΥΝΑΙΚΕΙΑ ΦΩΝΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΚΙΘΑΡΑ ΛΕΥΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ

	A	A	A	A	A
ΠΡΩΤΟΣ ΧΩΡΟΣ	B	B	B	B	B
	C	C	C	C	C
	A	A	A	A	A
ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΧΩΡΟΣ	B	B	B	B	B
	C	C	C	C	C
	A	A	A	A	A
ΤΡΙΤΟΣ ΧΩΡΟΣ	B	B	B	B	B
	C	C	C	C	C
	A	A	A	A	A
ΤΕΤΑΡΤΟΣ ΧΩΡΟΣ	B	B	B	B	B
	C	C	C	C	C
	A	A	A	A	A
ΠΕΜΠΤΟΣ ΧΩΡΟΣ	B	B	B	B	B
	C	C	C	C	C
	A	A	A	A	A
ΕΚΤΟΣ ΧΩΡΟΣ	B	B	B	B	B
	C	C	C	C	C

Εικόνα[36] Δείγμα ερωτηματολογίου



ΑΔΕΙΟ ΔΩΜΑΤΙΟ	ΚΡΟΤΟΣ A PLUG IN B SWEEP TONE C	ΚΡΟΤΟΣ C PLUG IN A SWEEP TONE B	ΚΡΟΤΟΣ B PLUG IN A SWEEP TONE C	ΚΡΟΤΟΣ C PLUG IN B SWEEP TONE A	ΚΡΟΤΟΣ A PLUG IN C SWEEP TONE B
ΣΧΟΛΙΚΗ ΑΙΘΟΥΣΑ	ΚΡΟΤΟΣ C PLUG IN A SWEEP TONE B	ΚΡΟΤΟΣ A PLUG IN B SWEEP TONE C	ΚΡΟΤΟΣ B PLUG IN C SWEEP TONE A	ΚΡΟΤΟΣ C PLUG IN B SWEEP TONE A	ΚΡΟΤΟΣ A PLUG IN C SWEEP TONE B
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ	ΚΡΟΤΟΣ B PLUG IN A SWEEP TONE C	ΚΡΟΤΟΣ C PLUG IN A SWEEP TONE B	ΚΡΟΤΟΣ A PLUG IN C SWEEP TONE B	ΚΡΟΤΟΣ B PLUG IN A SWEEP TONE C	ΚΡΟΤΟΣ A PLUG IN B SWEEP TONE C
ΧΩΡΟΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ	ΚΡΟΤΟΣ B PLUG IN A SWEEP TONE C	ΚΡΟΤΟΣ B PLUG IN C SWEEP TONE A	ΚΡΟΤΟΣ C PLUG IN B SWEEP TONE A	ΚΡΟΤΟΣ A PLUG IN B SWEEP TONE C	ΚΡΟΤΟΣ C PLUG IN A SWEEP TONE B
ΓΕΜΑΤΟ ΔΩΜΑΤΙΟ	ΚΡΟΤΟΣ A PLUG IN B SWEEP TONE C	ΚΡΟΤΟΣ B PLUG IN A SWEEP TONE C	ΚΡΟΤΟΣ C PLUG IN A SWEEP TONE B	ΚΡΟΤΟΣ B PLUG IN A SWEEP TONE C	ΚΡΟΤΟΣ B PLUG IN A SWEEP TONE C
ΣΚΑΛΑ ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΑΣ	ΚΡΟΤΟΣ A PLUG IN C SWEEP TONE B	ΚΡΟΤΟΣ B PLUG IN A SWEEP TONE C	ΚΡΟΤΟΣ A PLUG IN B SWEEP TONE C	ΚΡΟΤΟΣ A PLUG IN C SWEEP TONE B	ΚΡΟΤΟΣ B PLUG IN A SWEEP TONE C

Εικόνα[37] Δείγμα απαντήσεων ερωτηματολογίου

### 3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ

Στο συγκεκριμένο σημείο της πτυχιακής εργασίας, θα γίνει προσπάθεια ερμηνείας και ανάλυσης των αποτελεσμάτων που λήφθηκαν από την εκπόνηση των ερωτηματολογίων. Οι απαντήσεις δόθηκαν βάσει της πιστότητας των ψηφιακών δειγμάτων σε σχέση με τις ηχογραφήσεις των φυσικών χώρων.

Τα άτομα που συμμετείχαν ήταν στο σύνολο 20 και το κάθε άτομο απάντησε ανάμεσα σε 90 διαφορετικές περιπτώσεις, από τις οποίες επέλεξε τις 30 επικρατέστερες και πιστότερες ανάμεσα σε 6 διαφορετικούς χώρους όπου ο καθένας περιείχε 5 ηχητικά δείγματα. Άρα, τελικώς θα προκύψουν συνολικά 600 απαντήσεις.

Αρχικά το πρώτο και πιο προφανές αποτέλεσμα του ερωτηματολογίου, είναι βάσει όλων των απαντήσεων του συνόλου των ερωτηθέντων καθώς, και των χώρων η ποσοτική διαφορά που έχουν οι τρεις μέθοδοι τεχνητών αντηχήσεων. Η μέθοδος του convolution reverb με την τεχνική της γεννήτριας συχνοτικού φάσματος (sweep tone) κατέλαβε την πρώτη θέση με 318 απαντήσεις. Εν συνεχεία, η μέθοδος του plug in reverb κατέφθασε στην δεύτερη θέση με 199 απαντήσεις και τελικά η μέθοδος η οποία ήρθε τρίτη με 83 απαντήσεις ήταν το convolution reverb με την τεχνική του κρότου.

Ήδη παρατηρείται πως δημιουργείται μία αρκετά μεγάλη απόκλιση στις απαντήσεις των ερωτηθέντων όμως, δεν αρκεί ώστε να βγουν ακόμα ασφαλή συμπεράσματα. Θεωρητικά θα περίμενε κάποιος οι δύο τεχνικές του convolution reverb να έχουν παρόμοιο αριθμό απαντήσεων καθώς αποτελούν προϊόν επεξεργασίας ψηφιακών δεδομένων που έλαβαν χώρο σε ηχογράφηση φυσικών χώρων. Σε αντίθεση με το plug in reverb το οποίο αποτελεί προϊόν ανάπτυξης ψηφιακής διαδικασίας των εκπονητών της πτυχιακής εργασίας αλλά περαιτέρω ανάλυση τέτοιου τύπου θα γίνει στο κεφάλαιο των συμπερασμάτων.

<b>ΗΧΟΙ</b> <b>ΧΩΡΟΙ</b>	<i>DRUMS</i>	<i>ΜΟΥΣΙΚΟ</i> <i>ΚΟΜΜΑΤΙ</i>	<i>ΓΥΝΑΙΚΕΙΑ</i> <i>ΦΩΝΗ</i>	<i>ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ</i> <i>ΚΙΘΑΡΑ</i>	<i>WHITE</i> <i>NOISE</i>	<i>SUM</i> <i>ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ</i> <i>ΑΝΑ ΧΩΡΟ</i>
<i>ΑΔΕΙΟ</i> <i>ΔΩΜΑΤΙΟ</i>	<b>11</b> 2 7	<b>10</b> 6 4	<b>7</b> 8 5	<b>8</b> 7 5	<b>8</b> 4 8	<b>44</b> 27 29
<i>ΑΙΘΟΥΣΑ</i> <i>ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ</i>	<b>15</b> - 5	<b>13</b> 3 4	<b>15</b> 5 -	<b>16</b> 2 2	<b>12</b> 3 5	<b>71</b> 13 16
<i>ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ</i>	<b>13</b> - 7	<b>9</b> 4 7	<b>7</b> 1 12	<b>11</b> - 9	<b>9</b> 3 8	<b>49</b> 8 43
<i>ΧΩΡΟΣ</i> <i>ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ</i>	<b>15</b> - 5	<b>10</b> 1 9	<b>8</b> 2 10	<b>9</b> 1 10	<b>7</b> 2 11	<b>49</b> 6 45
<i>ΓΕΜΑΤΟ</i> <i>ΔΩΜΑΤΙΟ</i>	<b>14</b> 1 5	<b>7</b> 9 4	<b>8</b> 8 4	<b>12</b> 1 7	<b>9</b> 4 7	<b>50</b> 23 27
<i>ΣΚΑΛΑ</i> <i>ΠΟΛΥΚΑΤΟΙΚΙΑΣ</i>	<b>16</b> - 4	<b>11</b> 1 8	<b>11</b> 2 7	<b>5</b> - 15	<b>12</b> 3 5	<b>55</b> 6 39
<i>SUM</i> <i>ΑΠΑΝΤΗΣΕΩΝ</i> <i>ΑΝΑ ΗΧΗΤΙΚΟ</i> <i>ΔΕΙΓΜΑ</i>	<b>84</b> 3 33	<b>60</b> 24 36	<b>56</b> 26 38	<b>61</b> 11 48	<b>57</b> 19 44	<b>318</b> 83 199

Πίνακας[1] πίνακας αποτελεσμάτων ερωτηματολογίου.

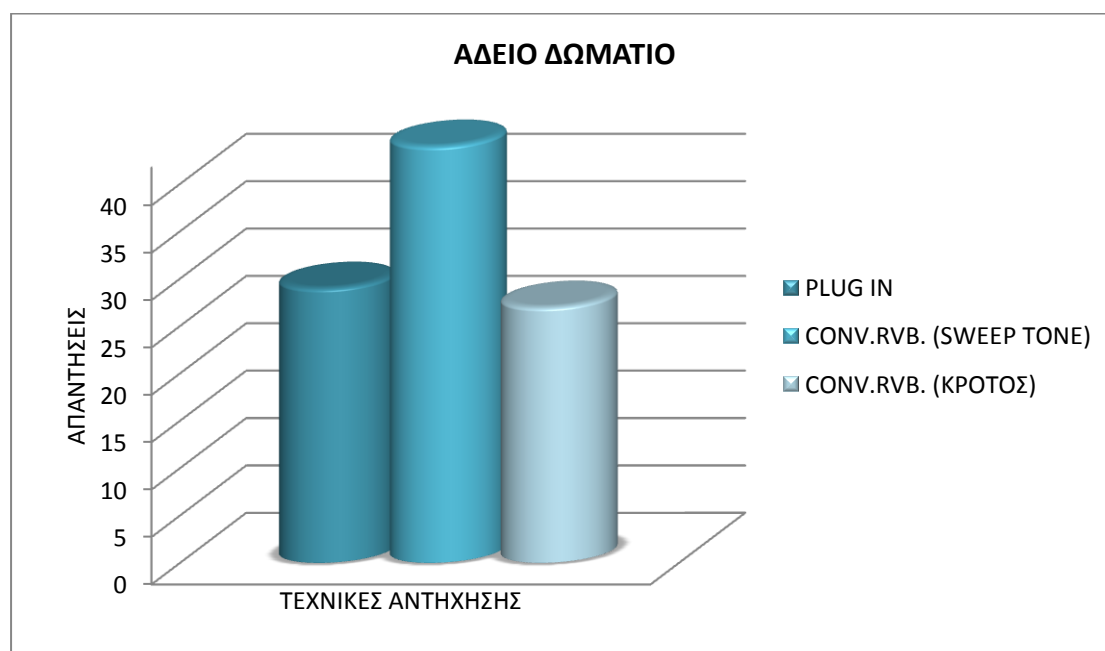
Με **κόκκινο χρώμα** συμβολίζεται η τεχνική της αντήχησης του convolution reverb (sweep tone), με **μπλε** convolution reverb (κρότος) και **πράσινο** το plug in reverb.

### 3.3 ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΧΩΡΟ

Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα ανά χώρο σε πίνακες έτσι ώστε να παρατηρηθεί πιο ευδιάκριτα η ποσοτική διαφορά που έχουν μεταξύ τους οι τεχνικές αντήχησης. Όλα τα δεδομένα μπορούν να εντοπιστούν αναλυτικά στον πίνακα [1] που παρατέθηκε στην αρχή του κεφαλαίου.

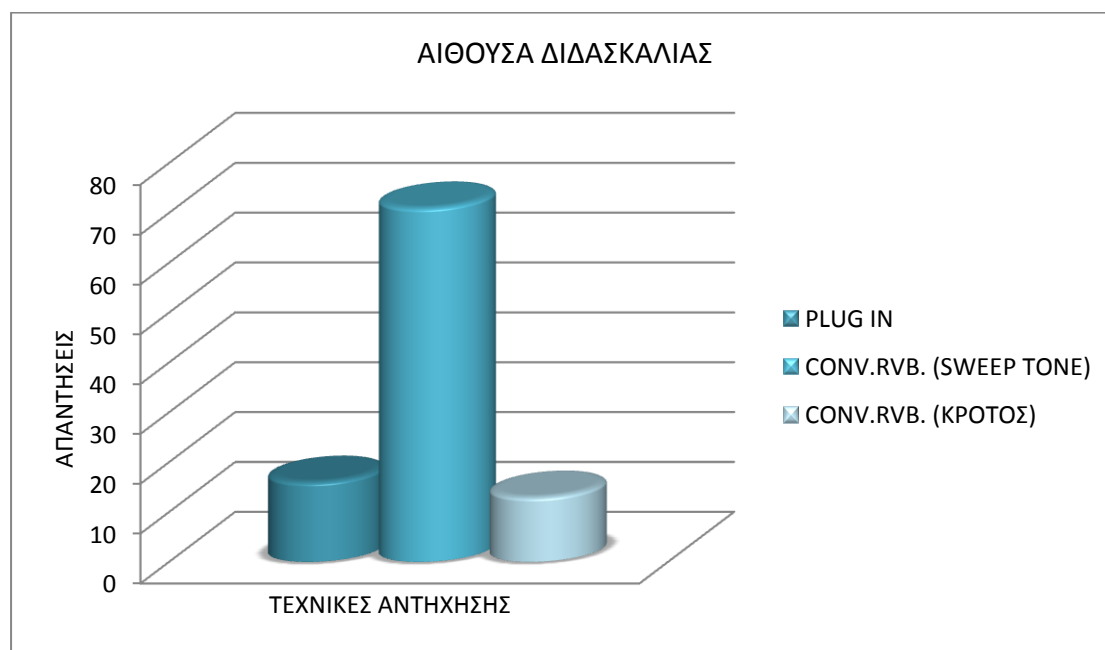
Πρωτίστως παρατηρείται ότι η μέθοδος του convolution reverb με την τεχνική του sweep tone σε όλες τις περιπτώσεις κατείχε τις περισσότερες απαντήσεις. Έπειτα η μέθοδος του plug in reverb σε μόνο μία περίπτωση παρατηρείται η έλλειψη απάντησης από τους ερωτηθέντες, ενώ στην περίπτωση του convolution reverb με κρότο έξι.

Στο άδειο δωμάτιο φαίνεται ότι υπερισχύουν οι απαντήσεις των ερωτηθέντων για την μέθοδο του convolution reverb με sweep tone με 44 απαντήσεις ενώ οι άλλες δυο τεχνικές είναι συγκρίσιμες με πολύ κοντινό αριθμό απαντήσεων, 29 και 27 αντίστοιχα για την μέθοδο του plug in και του convolution reverb με κρότο. Στην ερώτηση που έγινε στα άτομα που συμμετείχαν για την φύση του χώρου, η πλειοψηφία αποφάνθηκε ότι πρόκειται για κάποιον μεγάλο κλειστό χώρο, ενώ δύο άτομα απάντησαν ότι πρόκειται για εξωτερικό χώρο.



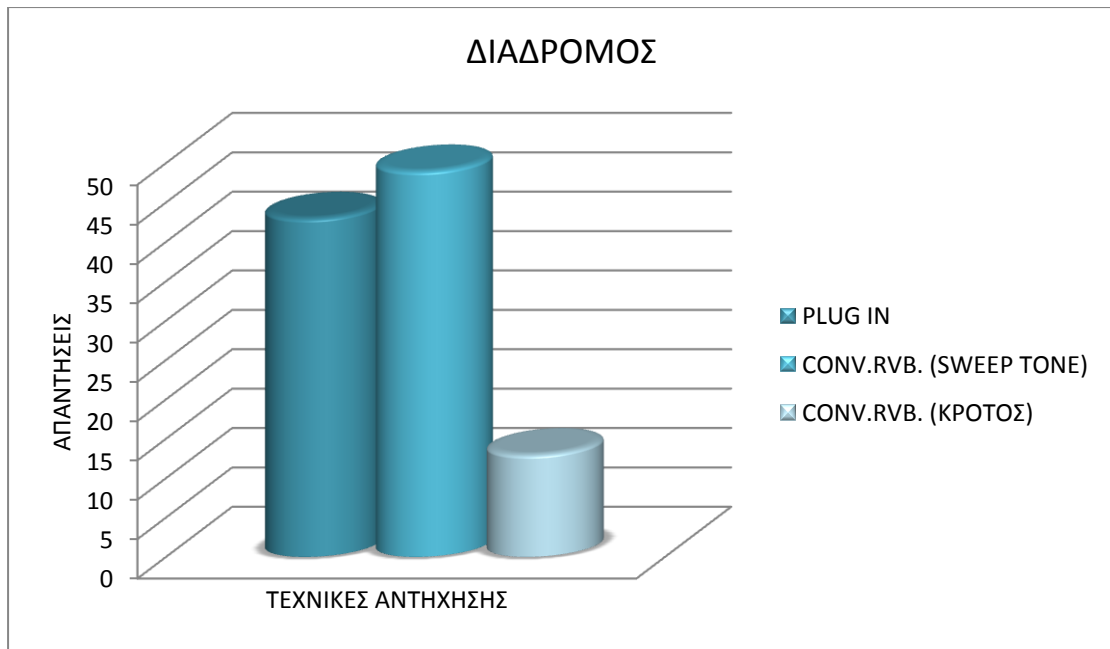
Σχεδιάγραμμα [1] Πίνακας αποτελεσμάτων άδειου δωματίου

Στην αίθουσα διδασκαλίας καταγράφηκε η μεγαλύτερη διαφορά στον αριθμό απαντήσεων συνολικά σε σχέση με όλους τους χώρους αλλά και σε σχέση με τις άλλες δυο τεχνικές στον συγκεκριμένο χώρο. Η τεχνική του convolution reverb με sweep tone ήρθε πρώτη με 71 απαντήσεις ενώ οι άλλες δυο τεχνικές είναι συγκρίσιμες με πολύ κοντινό αριθμό απαντήσεων, 16 και 13 αντίστοιχα για την μέθοδο του plug in και του convolution reverb με κρότο. Επίσης στον συγκεκριμένο χώρο υπήρχε από μία μηδενική απάντηση στην τεχνική του convolution reverb με κρότο και plug in αντίστοιχα (πίνακας []). Στην ερώτηση που έγινε στα άτομα που συμμετείχαν για την φύση του χώρου, υπήρχε πληθώρα διαφορετικών απαντήσεων από μικρό άδειο χώρο μέχρι μεγάλο εξωτερικό και νυχτερινό κέντρο.



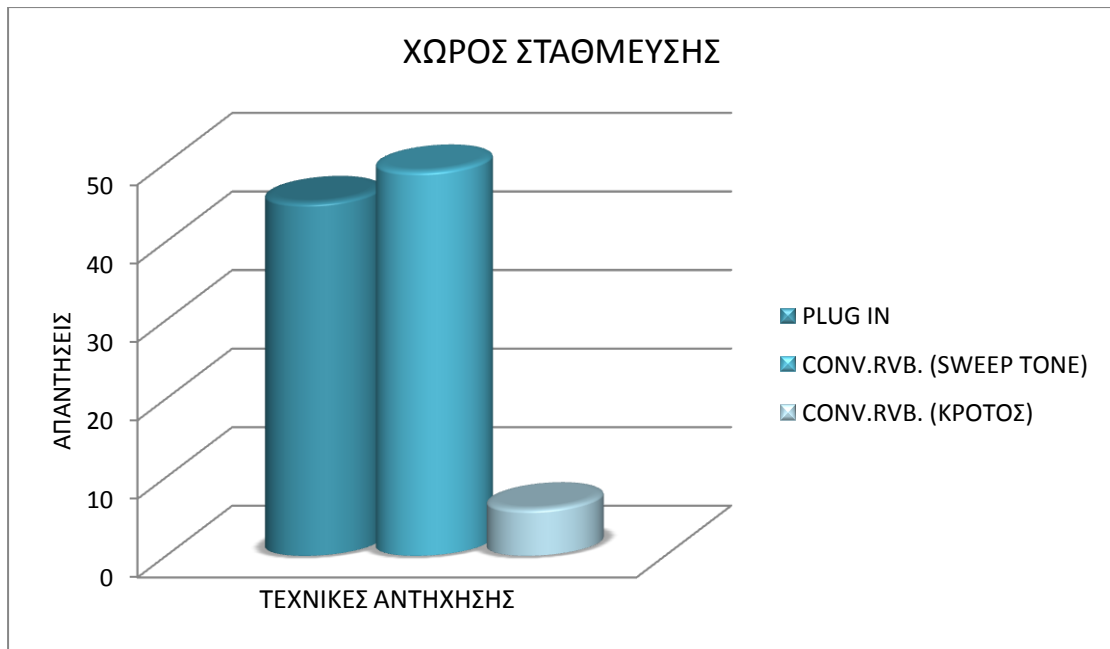
**Σχεδιάγραμμα [2]** Πίνακας αποτελεσμάτων αίθουσας διδασκαλίας.

Στον διάδρομο παρουσιάζεται για πρώτη φορά αποτέλεσμα όπου η πρώτη και η δεύτερη τεχνική είναι πολύ κοντά ενώ η τρίτη έχει ελάχιστες απαντήσεις. Η τεχνική του convolution reverb με sweep tone ήρθε πρώτη με 49 απαντήσεις ενώ οι άλλες δυο τεχνικές 43 και 8 αντίστοιχα για την μέθοδο του plug in και του convolution reverb με κρότο. Ακόμη, η τεχνική του convolution reverb με κρότο είχε δύο μηδενικές απαντήσεις για τον συγκεκριμένο χώρο (πίνακας []). Στην ερώτηση που έγινε στα άτομα που συμμετείχαν για την φύση του χώρου, υπήρχε ομοφωνία στις απαντήσεις ότι πρόκειται για πολύ μικρό κλειστό χώρο.



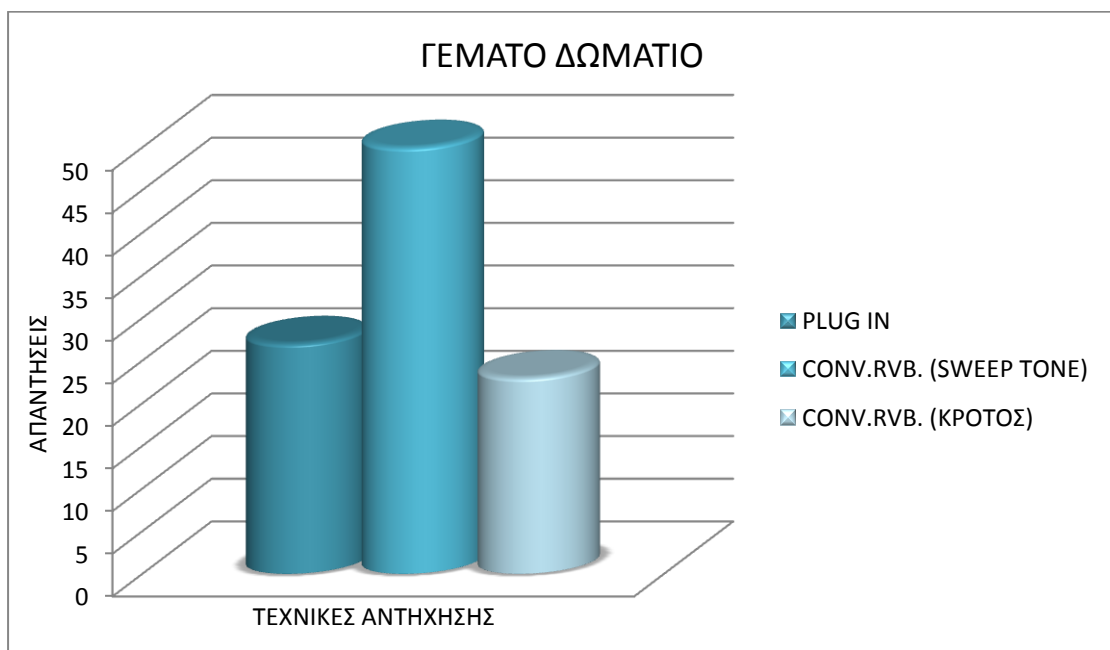
**Σχεδιάγραμμα [3]** Πίνακας αποτελεσμάτων διαδρόμου

Ο χώρος στάθμευσης είχε πολύ μεγάλες ομοιότητες στα αποτελέσματα με τον διάδρομο. Η τεχνική του convolution reverb με sweep tone ήρθε πρώτη με 49 απαντήσεις ενώ οι άλλες δυο τεχνικές με 45 και 6 αντίστοιχα για την μέθοδο του plug in και του convolution reverb με κρότο. Επίσης υπήρχε μία μηδενική απάντηση στην τεχνική του convolution reverb με κρότο. Στην ερώτηση που έγινε στα άτομα που συμμετείχαν για την φύση του χώρου, υπήρχαν απαντήσεις όπου οι ερωτηθέντες αντιλήφθηκαν την πραγματική φύση του και οι υπόλοιπες είχαν ως κοινό γνώμονα έναν κλειστό μεγάλο χώρο.



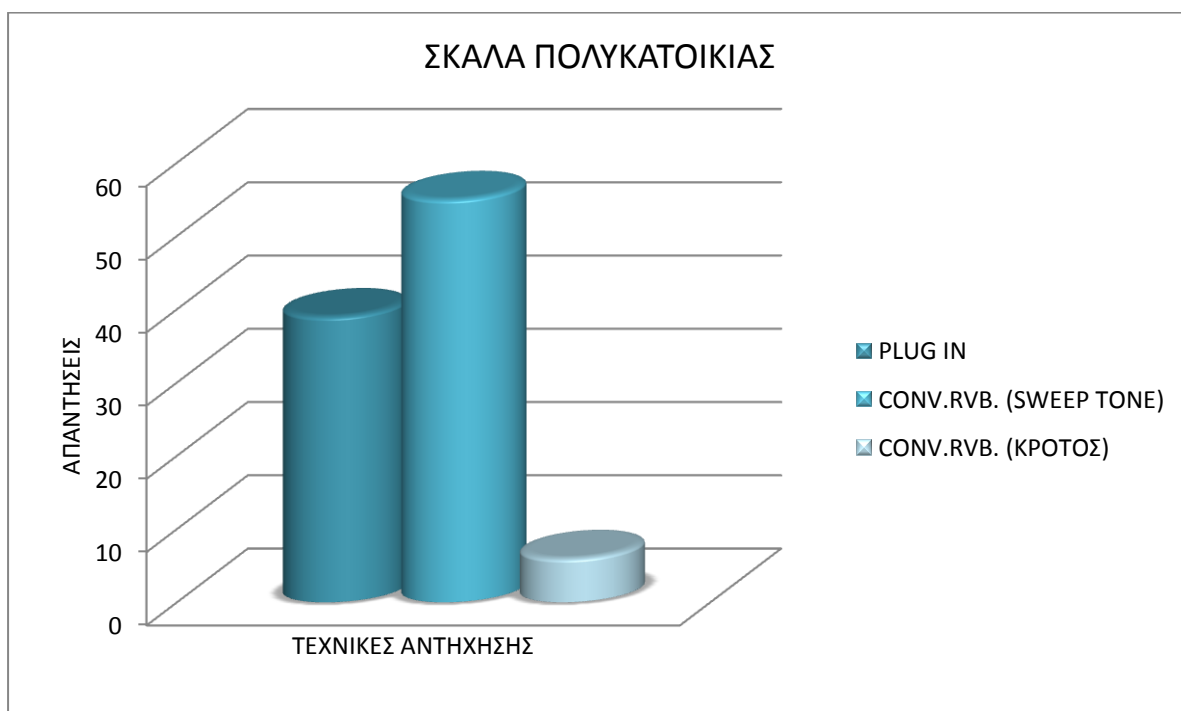
*Σχεδιάγραμμα [4] Πίνακας αποτελεσμάτων χώρου στάθμευσης*

Στο γεμάτο δωμάτιο υπάρχει όπως και στον πρώτο χώρο μια μεγάλη διαφορά της πρώτης τεχνικής σε σχέση με τις άλλες δυο. Οι τεχνικές που βρίσκονται στην δεύτερη και τρίτη θέση των απαντήσεων είναι παραπλήσιες. Η τεχνική του convolution reverb με sweep tone ήρθε πρώτη με 50 απαντήσεις ενώ οι άλλες δυο τεχνικές με 27 και 23 αντίστοιχα για την μέθοδο του plug in και του convolution reverb με κρότο. Όταν ερωτήθηκαν οι συμμετέχοντες για την φύση του χώρου, οι περισσότερες απαντήσεις που δόθηκαν υπέδειξαν έναν αρκετά μικρό χώρο.



*Σχεδιάγραμμα [5] Πίνακας αποτελεσμάτων γεμάτου δωματίου.*

Στην σκάλα πολυκατοικίας διαφαίνεται μία ομοιότητα όσον αφορά την κατανομή των απαντήσεων με τους χώρους του διαδρόμου και του χώρου στάθμευσης, όπου η τρίτη σε απαντήσεις τεχνική έχει τεράστια διαφορά με τις δυο πρώτες. Επίσης υπάρχει μία μεγαλύτερη διαφορά της πρώτης με την δεύτερη. Η τεχνική του convolution reverb με sweep tone ήρθε πρώτη με 55 απαντήσεις ενώ οι άλλες δυο τεχνικές με 39 και 6 αντίστοιχα για την μέθοδο του plug in και του convolution reverb με κρότο. Η μέθοδος του convolution reverb με κρότο έχει δυο μηδενικές απαντήσεις. Στην ερώτηση που αφορά την φύση του χώρου οι συμμετέχοντες σε πολλές περιπτώσεις αντιλήφθηκαν ότι ο χώρος έχει μεγάλο ύψος, όμως υπήρξαν και ενδιαφέρουσες απαντήσεις όσον αφορά το υλικό κατασκευής του χώρου (π.χ. ξύλο).

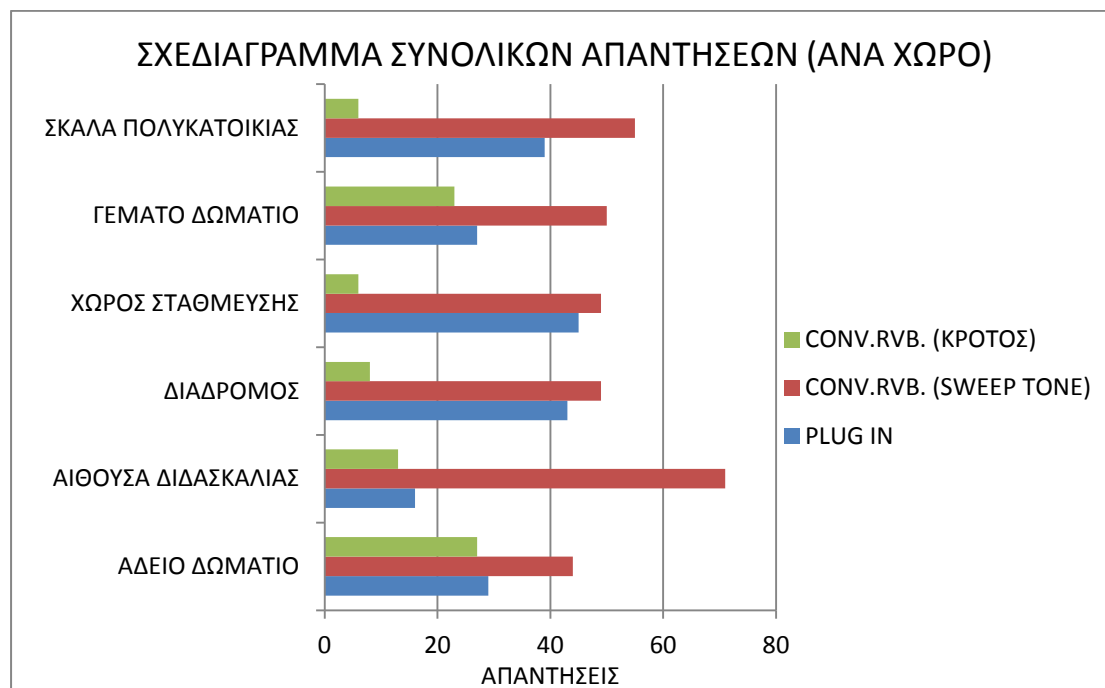


**Σχεδιάγραμμα [6]** Πίνακας αποτελεσμάτων σκάλας πολυκατοικίας.



### 3.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΩΡΩΝ

Σε αυτή την ενότητα θα επιχειρηθεί μια πρώτη και συνολική ανάλυση όλων των χώρων σε σχέση με τις απαντήσεις του ερωτηματολογίου για την πιστότητα των τεχνικών αντήχησης που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα πτυχιακή εργασία.

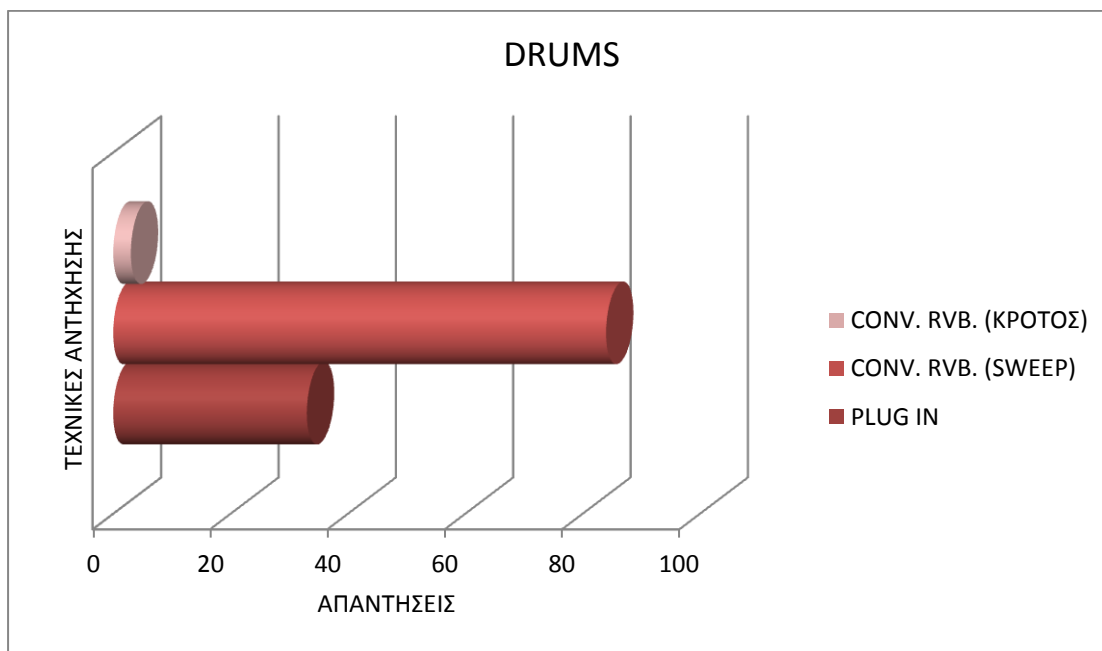


*Σχεδιάγραμμα [7] Σχεδιάγραμμα συνολικών απαντήσεων (ανά χώρο).*

Αρχικά, στον παραπάνω πίνακα παρατίθενται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των απαντήσεων έτσι ώστε να μπορεί εκ πρώτης όψευς να φανούν ποσοτικά τα δεδομένα τα οποία λήφθηκαν από το ερωτηματολόγιο. Παρατηρείται ότι η μέθοδος του convolution reverb με sweep tone βρίσκεται σταθερά πρώτη σε όλους τους χώρους και με αρκετά μεγάλη διαφορά με εξαίρεση των χώρων στάθμευσης και διαδρόμου. Επίσης, η μέθοδος του plug in reverb βρίσκεται πάντα στην δεύτερη θέση, και στους χώρους του γεμάτου δωματίου, αίθουσα διδασκαλίας και άδειου δωματίου είναι συγκρίσιμη ποσοτικά με την τρίτη τεχνική αντήχησης. Η μέθοδος του convolution reverb με κρότο σε καμία περίπτωση δεν έφτασε να βρίσκεται κοντά στην πρώτη θέση. Εν κατακλείδι, παρατηρείται μία αρκετά μεγάλη ομοιομορφία για όλους τους χώρους οπότε συμπεραίνεται ότι βγαίνουν αρκετά ασφαλή συμπεράσματα τα οποία θα αναλυθούν στην ενότητα των συμπερασμάτων.

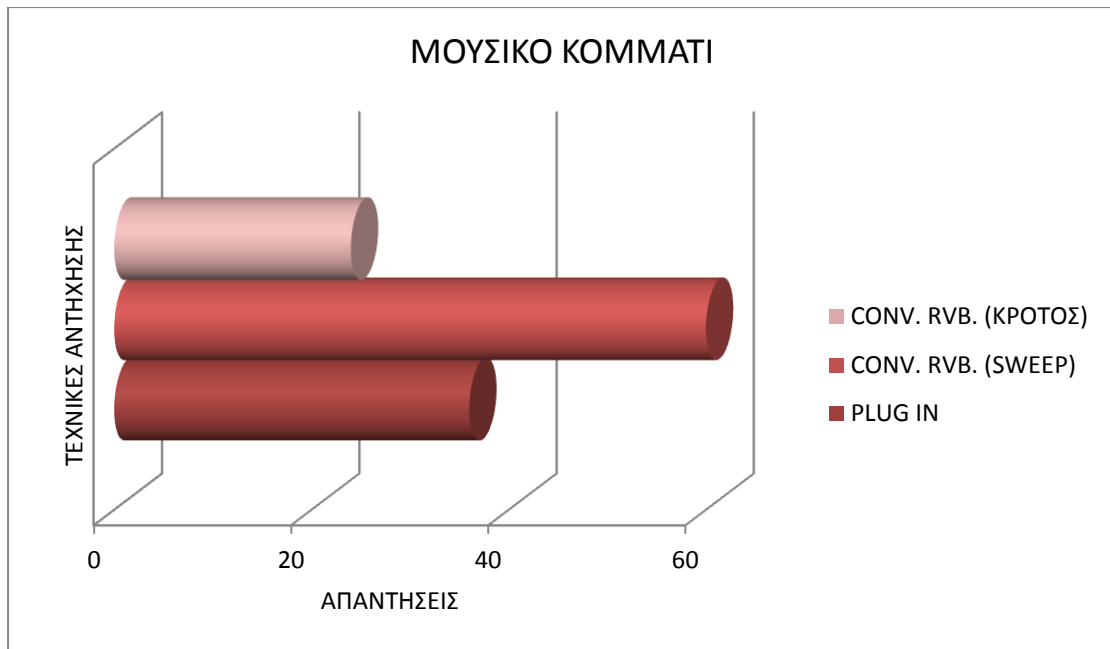
### 3.5 ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΝΑ ΗΧΗΤΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ

Στο σύνολο των αποτελεσμάτων στο ηχητικό δείγμα του drums παρατηρείται μεγάλη διαφορά ανάμεσα στις τρεις μεθόδους τεχνητής αντήχησης. Η τεχνική του convolution reverb με sweep tone είχε συντριπτική διαφορά με 84 απαντήσεις ενώ οι άλλες δυο τεχνικές με 33 και 3 αντίστοιχα για την μέθοδο του plug in και του convolution reverb με κρότο.



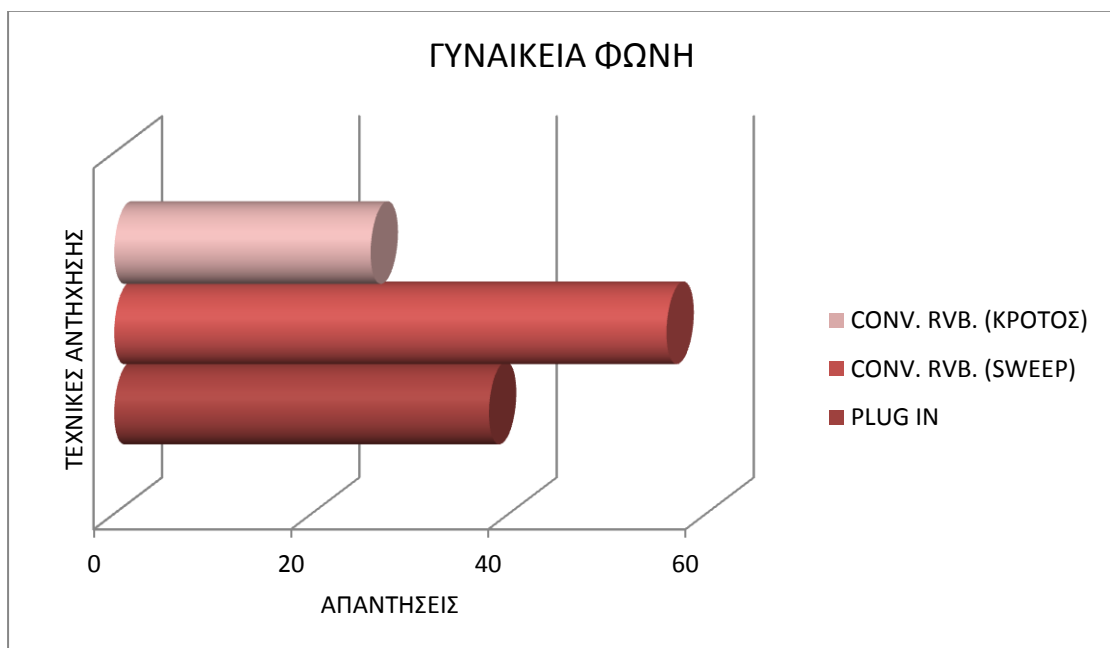
Σχεδιάγραμμα [8] Πίνακας αποτελεσμάτων drums.

Στο σύνολο των αποτελεσμάτων στο ηχητικό δείγμα του μουσικού κομματιού παρατηρείται μεγάλη διαφορά ανάμεσα στην πρώτη μέθοδο τεχνικής αντήχησης σε σχέση με τις άλλες δύο. Η τεχνική του convolution reverb με sweep tone είχε 60 απαντήσεις ενώ οι άλλες δυο τεχνικές με 36 και 24 αντίστοιχα για την μέθοδο του plug in και του convolution reverb με κρότο.



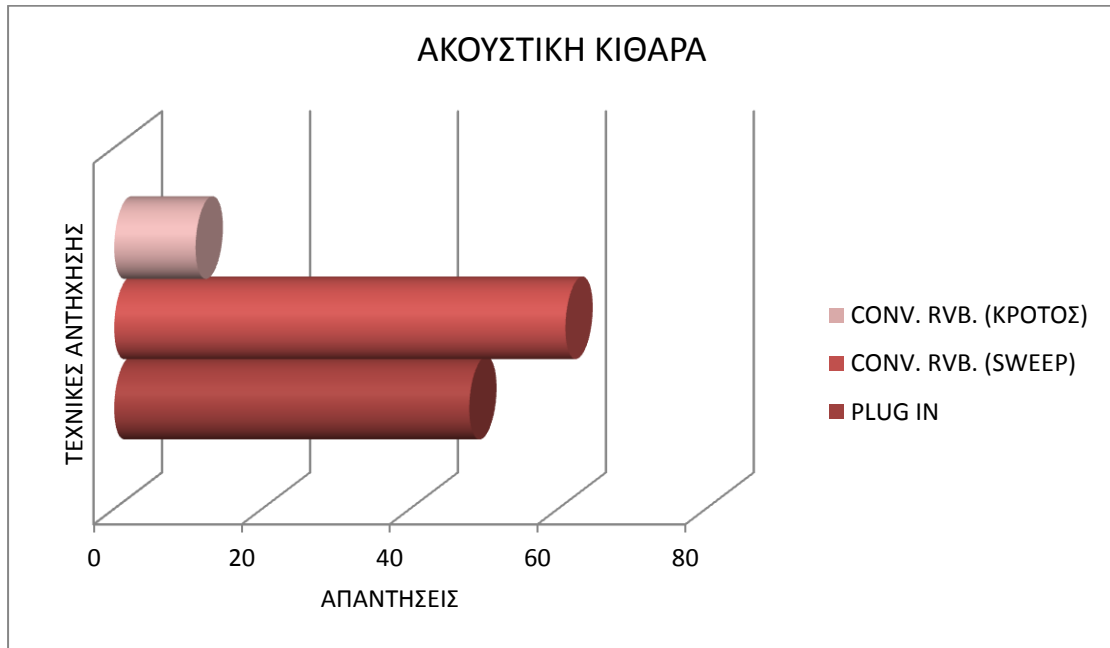
**Σχεδιάγραμμα [9]** Πίνακας αποτελεσμάτων μουσικού κομματιού.

Για το ηχητικό δείγμα της γυναικείας φωνής παρατηρούνται παρόμοια αποτελέσματα με αυτών που προέκυψαν στο ηχητικό δείγμα του μουσικού κομματιού. Η τεχνική του convolution reverb με sweep tone είχε 56 απαντήσεις ενώ οι άλλες δυο τεχνικές με 38 και 28 αντίστοιχα για την μέθοδο του plug in και του convolution reverb με κρότο.



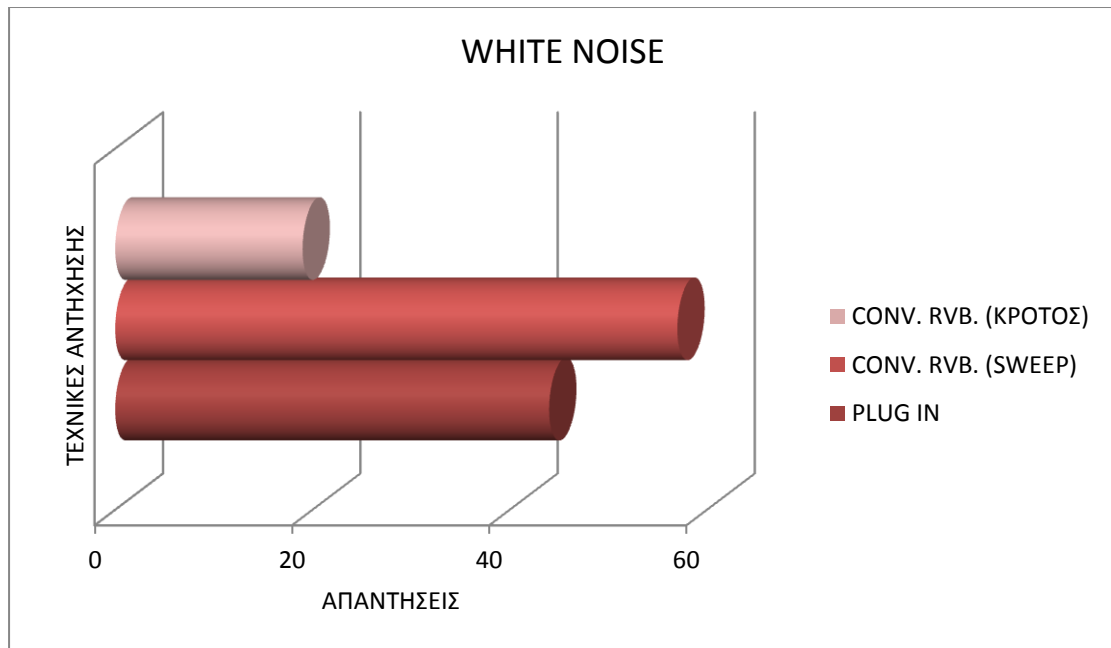
**Σχεδιάγραμμα[10]** Πίνακας αποτελεσμάτων γυναικείας φωνής.

Όσον αφορά το ηχητικό δείγμα της ακουστικής κιθάρας παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα διαφέρουν λίγο από τα προηγούμενα ηχητικά δείγματα που παρουσιάστηκαν. Η τεχνική του convolution reverb με sweep tone είχε 61 απαντήσεις ενώ οι άλλες δυο τεχνικές με 48 και 11 αντίστοιχα για την μέθοδο του plug in και του convolution reverb με κρότο.



**Σχεδιάγραμμα [11]** Πίνακας αποτελεσμάτων ακουστικής κιθάρας.

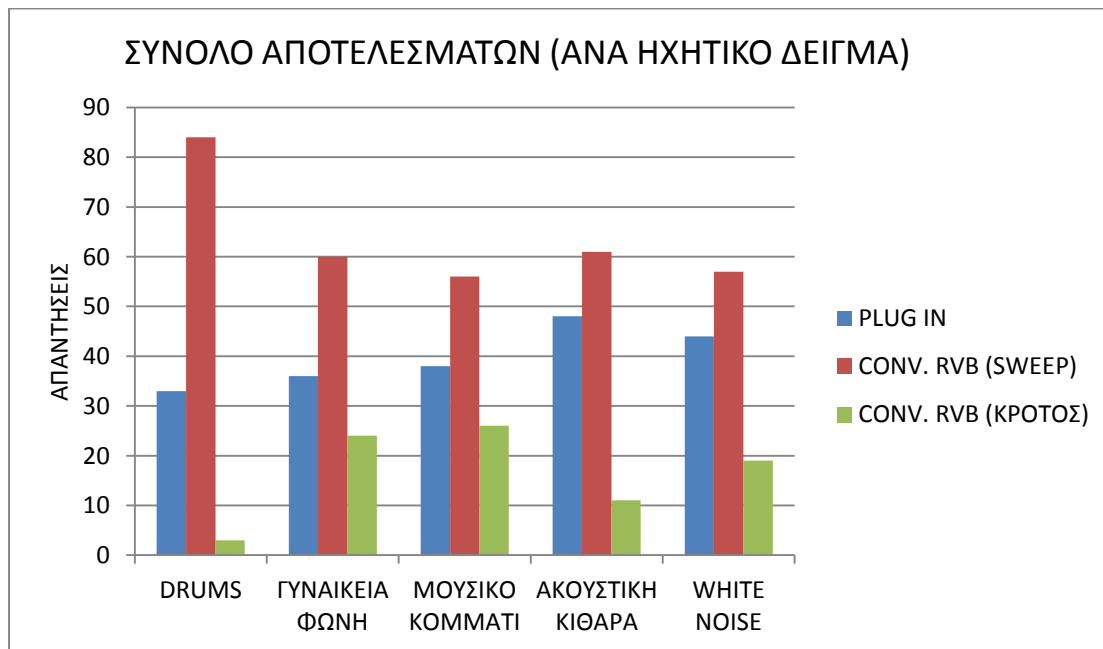
Το ηχητικό δείγμα του white noise ενώ θα περίμενε κανείς ότι λόγω της ιδιομορφίας του τα αποτελέσματά του θα έχουν διαφορετικές τιμές από τα υπόλοιπα ηχητικά δείγματα παρατηρείται ότι οι απαντήσεις είναι αρκετά παρόμοιες με τα ηχητικά δείγματα της γυναικείας φωνής και του μουσικού κομματιού. Η τεχνική του convolution reverb με sweep tone είχε 57 απαντήσεις ενώ οι άλλες δυο τεχνικές με 44 και 19 αντίστοιχα για την μέθοδο του plug in και του convolution reverb με κρότο.



Σχεδιάγραμμα [12] Πίνακας αποτελεσμάτων white noise.

### 3.6 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Σε αυτή την υποενότητα θα επιχειρηθεί η ανάλυση των δεδομένων που λήφθηκαν από τους ερωτηθέντες για την πιστότητα των τεχνικών αντηχήσεων όσον αφορά τα ηχητικά δείγματα.



*Σχεδιάγραμμα [13] Σχεδιάγραμμα συνολικών απαντήσεων (ανά ηχητικό δείγμα).*

Με την βοήθεια του πίνακα που παρατέθηκε παραπάνω, φαίνεται η ποσόστωση των απαντήσεων για την πιστότητα των τεχνητών αντηχήσεων. Όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο η τεχνική του convolution reverb με sweep tone κατέχει την πρώτη θέση για όλα τα ηχητικά δείγματα. Επίσης, παρατηρείται μία τεράστια διαφορά για τα drums. Η τεχνική του plug in reverb αποτελεί την δεύτερη τη τάξει επιλογή των ερωτηθέντων. Εν συνεχεία, η συγκεκριμένη τεχνική δεν έχει μεγάλες διακυμάνσεις στον αριθμό των απαντήσεων ανά ηχητικό δείγμα. Ακόμη, φαίνεται ότι όσον αφορά την γυναικεία φωνή και το μουσικό κομμάτι τα αποτελέσματα είναι παραπλήσια. Τέλος το convolution reverb όχι μόνο κατέχει την τελευταία θέση αλλά φαίνεται ότι για το δείγμα των drums και ακουστικής κιθάρας οι απαντήσεις ήταν εξαιρετικά λίγες. Όπως και στον αντίστοιχο πίνακα του προηγούμενου κεφαλαίου η σειρά των θέσεων που κατέχουν οι τεχνικές αντήχησης είναι σταθερή και αρκετά ξεκάθαρη. Περαιτέρω ανάλυση θα ακολουθήσει στο τελικό κεφάλαιο των συμπερασμάτων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν περαιτέρω τα αποτελέσματα που συλλέχθηκαν από την πειραματική διαδικασία και θα γίνει προσπάθεια εξαγωγής συμπερασμάτων βάσει των απαντήσεων των ερωτηματολογίων, καταγραφή τυχών λαθών, αποκλίσεων και παραλήψεων που δημιουργήθηκαν λόγω διαφόρων δυσκολιών που θα αναλυθούν πιο κάτω .

Μία σημαντική διευκρίνιση που πρέπει να αναφερθεί είναι ότι παρατηρείται μία σημαντική απουσία στην εν λόγω πτυχιακή και αυτή δεν είναι άλλη από την έλλειψη του hardware reverb στην πειραματική διαδικασία. Δεδομένου ότι σε μία πτυχιακή εργασία γίνεται προσπάθεια χρήσης εξοπλισμού με συγκεκριμένα τεχνικά χαρακτηριστικά και άρα συγκεκριμένης χρηματικής αξίας, καταλαβαίνει κανείς ότι ο εξοπλισμός αυτός είναι δυσεύρετος. Ο εξοπλισμός που έπρεπε να χρησιμοποιηθεί εντοπίζεται κυρίως στα studio ηχογραφήσεων στο οποίο δεν είχαμε την δυνατότητα και τα μέσα ώστε να έχουμε πρόσβαση.

Αρχικά, το πρώτο συμπέρασμα που μπορεί να παρατηρήσει κανείς είναι ότι η μέθοδος του convolution reverb με sweep tone κατέχει την πρώτη θέση σε όλες τις περιπτώσεις είτε ανά χώρο είτε ανά ηχητικό δείγμα. Αυτό δείχνει ότι υπάρχει ομοιομορφία πράγμα το οποίο οδηγεί σε ασφαλέστερο συμπέρασμα. Η τεχνική του convolution reverb με κρότο έρχεται στην Τρίτη θέση με πολύ μεγάλη διαφορά σε σχέση με την πρώτη τεχνική. Θα περίμενε κανείς οι δύο αυτές τεχνικές να βρίσκονται κοντά σε αριθμό απαντήσεων καθώς αποτελούν στην ουσία ίδια τεχνική αλλά με διαφορετικό τρόπο εκτέλεσης. Δηλαδή, και στις δύο περιπτώσεις έγινε ηχογράφιση στους φυσικούς χώρους των ηχητικών δειγμάτων και στη συνέχεια ηχογράφιση της γεννήτριας συχνοτικού φάσματος και των κρότων. Τα αποτελέσματα των ηχογραφήσεων ενσωματώθηκαν και επεξεργάστηκαν από τον ίδιο αλγόριθμο προγράμματος και έτσι προέκυψαν οι τελικές παραχθείσες τεχνητές αντηχήσεις. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα ίσως θα μπορούσε να εξηγηθεί α) ότι υπήρξε λανθάνουσα μορφή διέγερσης των χώρων, σε αντίθεση με το sweep tone το οποίο παράχθηκε από το ηχείο το οποίο χρησιμοποιήθηκε και στην υπόλοιπη τέλεση του πειραματικού μέρους τις εργασίας. Β) πιθανόν ο φορητός καταγραφές που χρησιμοποιήθηκε να μην μπορούσε να ανταποκριθεί με τον βέλτιστο τρόπο στον συγκεκριμένο τρόπο διέγερσης του χώρου. γ) η γεννήτρια συχνοτικού φάσματος περιέχει όλο το ακουστικό φάσμα των συχνοτήτων το οποίο αποτελεί σημαντικό παράγοντα αν λογιστεί κανείς την φύση των ηχητικών δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν. Παρατηρείται ότι, υπήρξαν ηχητικά δείγματα διαφόρων φύσεων καθώς και το white noise το οποίο περιέχει όλες τις συχνότητες, άρα, για την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία η μέθοδος του convolution reverb με sweep tone αποτελεί καλύτερο κριτήριο χωρικής διέγερσης.

Εν συνεχεία, η μέθοδος του plug in reverb ήταν δεύτερη με μεγάλη διαφορά από την τρίτη κάτι που φανερώνει πως η ανάπτυξη της συγκεκριμένης τεχνικής τελέστηκε με σχετική επιτυχία. Αν λογιστεί κανείς ότι η συγκεκριμένη επιδίωξη εμπεριέχει μεγάλες δυσκολίες καθώς επεμβαίνει ο ανθρώπινος παράγοντας και η αισθητική των εκπονητών της εργασίας, καταλήγουμε ότι η υποκειμενικότητα της φύσης του συγκεκριμένου

εγχειρήματος οδήγησε σε ένα αρκετά αξιόπιστο αποτέλεσμα. Σε καμία περίπτωση δεν υπήρχαν εντυπώσεις κακής χρήσης και προσομοίωσης από τους ερωτηθέντες.

Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο που παρατηρήθηκε, ήταν ότι κατά την διάρκεια των ηχογραφήσεων η συμπεριφορά της χωρικής διέγερσης προκαλούσε μεταβολές στην ένταση των παραχθέντων ηχητικών δειγμάτων. Πιο συγκεκριμένα σε χώρους όπως ο διάδρομος και η σκάλα πολυκατοικίας υπήρχε μια μεγάλη αύξηση της έντασης των ήχων κάτι που εξηγείται από την έλλειψη απορροφητικών υλικών αλλά και από την φύση των υλικών που αποτελούνταν οι χώροι. Οπότε ένα συμπέρασμα είναι ότι παρόλο που στα dry ηχητικά δείγματα οι στάθμες είχαν την ίδια ένταση, στους χώρους με αντήχηση ο κάθε ήχος συμπεριφέρθηκε διαφορετικά και μπορούν αν εντοπιστούν από μικρές μέχρι μεγάλες διαφορές στην ένταση.

Όσον αφορά τους χώρους, η αίθουσα διδασκαλίας ήταν αυτή που κατείχε την πρώτη θέση με μεγαλύτερη διαφορά σχέση με τους υπολοίπους για την τεχνική του convolution reverb με sweep tone. Αυτό μπορεί να οφείλεται α) στην περίπτωση καλύτερης διέγερσης της γεννήτριας συχνοτικού φάσματος σε σύγκριση με τους υπόλοιπους χώρους, β) στην ίδια την φύση του χώρου, γ) στην εξοικείωση των ατόμων που έλαβαν μέρος στο ερωτηματολόγιο με τον συγκεκριμένο χώρο.

Στον χώρο στάθμευσης και στον διάδρομο παρατηρείται η μικρότερη διαφορά απαντήσεων ανάμεσα στην πρώτη και δεύτερη μέθοδο τεχνητής αντήχησης (convolution reverb με sweep tone - plug in reverb). Κάτι που ίσως δικαιολογείται αν αναλογιστεί κανείς ότι πρόκειται για τον μεγαλύτερο και τον μικρότερο χώρο σε έκταση αντίστοιχα, αλλά και της φύσης του σχήματός τους. Άρα η διέγερση που πραγματοποιήθηκε σε αυτούς τους χώρους ίσως δεν ήταν η βέλτιστη βάση της συγκεκριμένης πειραματικής διάταξης.

Επίσης όσον αφορά το άδειο και το γεμάτο δωμάτιο οι απαντήσεις σε αναλογία φαίνονται αρκετά παρόμοιες, που μπορεί να εξηγηθεί λόγω των παρόμοιων διαστάσεων, σχήματος και υλικών κατασκευής των χώρων. Από αυτά τα δεδομένα ίσως θα μπορούσε να βγει ένα συμπέρασμα ότι για τα μέσα που χρησιμοποιήθηκαν αλλά και γενικά για την πραγμάτωση του πειράματος οι χώροι με αντίστοιχες διαστάσεις (άδειο-γεμάτο δωμάτιο) και παρόμοιο υλικό κατασκευής, αποκρίνονται με παρόμοιο τρόπο. Άρα τελικώς το άδειο και γεμάτο δωμάτιο είχαν την βέλτιστη διέγερση για την συγκεκριμένη πειραματική διάταξη καθώς και για τις συγκεκριμένες τεχνικές διέγερσής τους.

Βάσει όλων των διαφορών και ομοιοτήτων που προαναφέρθηκαν όσον αφορά την δομή, τα υλικά κατασκευής, τις διαστάσεις καθώς και την φύση των χώρων, η μέθοδος του convolution reverb με sweep tone έρχεται σταθερά στην πρώτη θέση των απαντήσεων. Αυτό βοηθάει στο να βγει συμπέρασμα ότι άσχετα από όλα τα υπόλοιπα που αναφέρθηκαν το convolution reverb με sweep tone αποτελεί την πιστότερη τεχνική αντήχησης σε σχέση με τους χώρους για την συγκεκριμένη εργασία.

Φτάνοντας στην ανάλυση αποτελεσμάτων των ηχητικών δειγμάτων, παρατηρείται ότι στα drums όχι μόνο υπάρχει η μεγαλύτερη διαφορά απαντήσεων μεταξύ των τεχνικών αντήχησης αλλά και βρίσκεται στην πρώτη θέση όσον αφορά το σύνολο του ερωτηματολογίου σε απόλυτο αριθμό απαντήσεων. Αυτό πιθανόν οφείλεται στη φύση του



συγκεκριμένου ηχητικού δείγματος καθώς είναι γενικώς αποδεκτό ότι η αντήχηση μπορεί να γίνει πιο εύκολα αντιληπτή όταν πρόκειται για κρουστικό ήχο. Άρα στην συγκεκριμένη περίπτωση όπως φαίνεται και στην συντριπτική θέση που κατέχει η τεχνική του convolution reverb με sweep tone, το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι αρκετά αξιόπιστο.

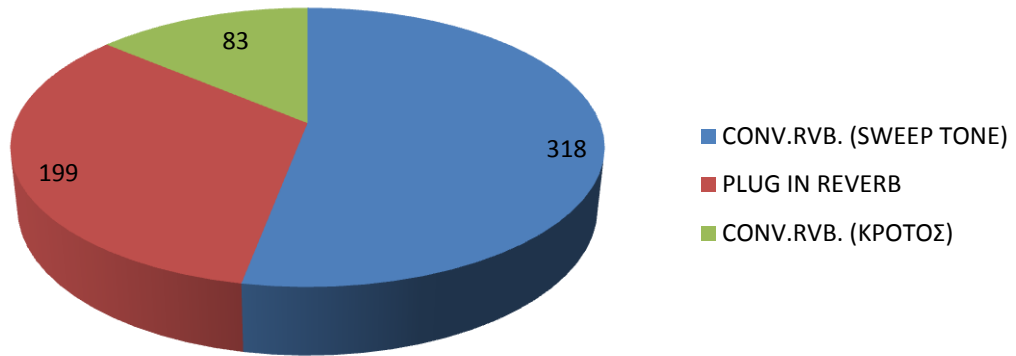
Στα υπόλοιπα ηχητικά δείγματα η κατανομή των απαντήσεων προκύπτει με παρόμοιο τρόπο αλλά η σειρά της πιστότητας ανάμεσα στις τεχνικές αντήχησης παραμένει σταθερή με πρώτη την μέθοδο του convolution reverb με sweep tone, δεύτερη του plug in reverb και τρίτη το convolution reverb με κρότο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση ασφάλειας εξαγωγής συμπερασμάτων.

Να σημειωθεί ότι στην πραγμάτωση της πειραματικής διαδικασίας έγινε προσπάθεια διαφοροποίησης συμπερασμάτων όσον αφορά τα άτομα τα οποία έχουν ιδιαίτερη σχέση και τριβή με τον ήχο και την μουσική τεχνολογία και τον υπολοίπων ατόμων. Όμως δεν παρατηρήθηκε κάποια συγκεκριμένη διαφοροποίηση των τελικών αποτελεσμάτων.

Θα πρέπει να γίνει μία ιδιαίτερη μνεία στο γεγονός ότι η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία δεν έχει μια αυτούσια επιστημονική προσέγγιση με την έννοια ότι έγινε μεγαλύτερη ανάλυση στο κομμάτι της ηχοληψίας και όχι στο κομμάτι της φυσικής στο οποίο στηρίζεται το μεγαλύτερο μέρος του πειράματος. Βάσει αυτού θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι μια μετέπειτα έρευνα δε θα πρέπει να λάβει ως επιστημονικό δεδομένο την παρούσα εργασία, όμως παρόλο που το πείραμα πιθανών έχει ατέλειες όπως παραδείγματος χάρη κάποιο σφάλμα στις ηχογραφήσεις, ή στην επιλογή των χώρων ή το επίπεδο των τεχνικών γνωρισμάτων του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε, το τελικό αποτέλεσμα παρουσιάζει ένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον που αυτό μπορεί να αποτελέσει το εφαλτήριο για περαιτέρω έρευνα πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο.

Τελικώς όπως προκύπτει από την έρευνα όσον αφορά τους χώρους αλλά και τα ηχητικά δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν το αποτέλεσμα προτίμησης είναι ξεκάθαρο. Άσχετα αν ο χώρος που έλαβε μέρος το πείραμα είχε διαφορές όσον αφορά το μέγεθος, το υλικό κατασκευής, την δομή αλλά και την φύση του η μέθοδος του convolution reverb με sweep tone κατείχε σταθερά την πρώτη θέση. Παρομοίως και στα ηχητικά δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν τα οποία είχαν διαφορετική φύση και με δεδομένο ότι στα drums (λόγω της κρουστικής τους ιδιότητας είχαν μια επιπλέον βαρύτητα), κατείχε την μεγαλύτερη διαφορά απαντήσεων χωρίς όμως να αλλάζει η σειρά προτίμησης και στα υπόλοιπα ηχητικά δείγματα. Άρα το τελικό συμπέρασμα για την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία είναι ότι η το convolution reverb με sweep tone είναι η πιστότερη μέθοδος τεχνητής αντήχησης, με την μέθοδο του plug in reverb να ακολουθεί και τρίτο με ελάχισονα πιστότητα το convolution reverb με κρότο. Παρακάτω ακολουθεί διάγραμμα με τα συνολικά αποτελέσματα των απαντήσεων.

## ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΙΣΤΟΤΗΤΑΣ ΑΝΤΗΧΗΣΕΩΝ



*Σχεδιάγραμμα [14] Σχεδιάγραμμα συνολικών απαντήσεων πιστότητας αντηχήσεων.*

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Μηνάς Κ. Σηφάκης, Χρήστος Κουτσοδημάκης, (Μάρτιος 2012), Τ.Ε.Ι. Κρήτης *Σημειώσεις Εφαρμοσμένης Ακουστικής Ι*, έκδοση 4<sup>η</sup>, Ρέθυμνο.
- [2] Σκαρλάτος Δημήτρης, (2008), *Εφαρμοσμένη Ακουστική*, 6<sup>η</sup> έκδοση, Πάτρα, GOTSIS, ISBN 960-87710-1-3.
- [3] Lloyd, Llewelyn Southworth (1970), *Music and Sound*, Ayer Publishing, ISBN 978-0-8369-5188-2.
- [4] Χατζηανδρέου Μαρία, (Μάιος 2003), ΤΕΙ Ιονίων Νήσων *Σημειώσεις Ακουστικής κεφάλαιο 4.2*, Αθήνα.
- [5] Σκαρλάτος Δημήτρης, (2008), *Εφαρμοσμένη Ακουστική*, 6<sup>η</sup> έκδοση, Πάτρα, GOTSIS, ISBN 960-87710-1-3.
- [6] The History of EMT end Reverb, τελευταία επίσκεψη 16/06/2017 <http://www.uaudio.com/blog/emt-reverb-history/>.
- [7] Καρακίτσιος Χρήστος, (2001), *Οργάνωση & Χειρισμός Ηχητικών Σημάτων (P.A.)*, εκδόσεις ΙΩΝ, ISBN 960-411-092-6.
- [8] Choosing The Right Reverb, τελευταία επίσκεψη 16/06/2017.  
<http://www.soundonsound.com/techniques/choosing-right-reverb>
- [9] The ultimate guide to effects: reverb, τελευταία επίσκεψη 19/06/2017.  
<http://www.musicradar.com/tuition/tech/the-ultimate-guide-to-effects-reverb-461487>
- [10] Eargle, John M. (2005), *Handbook of Recording Engineering*, 4<sup>th</sup> edition, Birkhäuser, ISBN 0-387-28470-2.
- [11] Laurens Hammond, (granted February 4, 1941), *Electrical Musical Instrument*, U.S. Patent 2,230,836.
- [12] The History of EMT end Reverb, τελευταία επίσκεψη 16/06/2017. <http://www.uaudio.com/blog/emt-reverb-history/>
- [13] Roey Izhaki, (2008), *Mixing Audio, Concepts, Practices & Tools*, Focal Press, Oxford, UK.
- [14] <http://www.soundonsound.com/techniques/convolution-processing-impulse-responses>
- [15] Monson H. Hayes, (2000), *Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος*, Τζιόλα, ISBN 960-8050-11-1.
- [1.5.2.1] Συνέλιξη-κρουστική απόκριση, τελευταία επίσκεψη 24/06/2017.  
<http://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/D61/Εργαστήριο%20MATLAB/lab3.pdf>
- [16] Σπυρίδων Ι. Λουτρίδης, (2010), *Ηλεκτροακουστική Και Ηχητικές Εγκαταστάσεις*, 1<sup>η</sup> έκδοση, Αθήνα, Ίων, ISBN 978-960-411-687-4.
- [1.5.2.2] Κρουστική απόκριση συστημάτων, τελευταία επίσκεψη 27/06/2017.  
<http://eclass.gunet.gr/modules/document/file.php/LABGU104/Μάθημα%201/M1.htm>
- [1.5.2.3] Monson H. Hayes, (2000), *Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος*, Τζιόλα, ISBN 960-8050-11-1.
- [17] Brilliant stereo recording H2 handy recorder, τελευταία επίσκεψη 27/06/2017. <https://www.zoom-na.com/products/field-video-recording/field-recording/h2-handy-recorder>
- [18] nEar06 70 Watt Bi-amplified 6" Studio Reference Monitor, τελευταία επίσκεψη 01/07/2017.  
<http://www.esi-audio.com/products/near06/>
- [19] Hewlett Packard official, τελευταία επίσκεψη 06/07/2017.  
<http://www8.hp.com/us/en/products/laptops/product-detail.html?oid=11489467>

[20] Steinberg Products, τελευταία επίσκεψη 17/07/2017.

<https://www.steinberg.net/en/products/cubase/start.html>

[21] Sir Audio Tools, τελευταία επίσκεψη 22/07/2017. <http://www.siraudiotools.com/sir1.php>

[22] Virtual Instruments and effects plug-ins, τελευταία επίσκεψη 14/10/2017.

[https://www.steinberg.net/en/products/cubase/cubase\\_music\\_production\\_software/virtual\\_instruments\\_and\\_effect\\_plug\\_ins.html](https://www.steinberg.net/en/products/cubase/cubase_music_production_software/virtual_instruments_and_effect_plug_ins.html)