



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Συσχέτιση Συναισθηματικής Απόκρισης και Κυματομορφών Ηχοχρώματος των Αναλογικών Synthesizer

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΤΣΩΛΗ ΦΩΤΙΟΥ

Επιβλέποντες : **Δημήτριος-Διονύσιος Κουτσούρης**
Καθηγητής ΕΜΠ

Ουρανία Πετροπούλου
Μέλος ΕΔΙΠ

Αθήνα, Ιούνιος 2020



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Συσχέτιση Συναισθηματικής Απόκρισης και Κυματομορφών Ηχοχρώματος των Αναλογικών Synthesizer

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΤΣΩΛΗ ΦΩΤΙΟΥ

Επιβλέπων : Δημήτριος - Διονύσιος Κουτσούρης - Ουρανία Πετροπούλου

Καθηγητής ΕΜΠ

Μέλος ΕΔΙΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 1η Ιουνίου 2020

.....
Δ. Κουτσούρης
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Γ. Ματσόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Π. Τσανάκας
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούνιος 2020

.....
ΦΩΤΙΟΣ ΤΣΩΛΗΣ

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

Copyright © ΦΩΤΙΟΣ ΤΣΩΛΗΣ

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η μουσική είναι ένας από τους πιο διαδεδομένους τρόπους επικοινωνίας συναισθήματος στον σύγχρονο πολιτισμό. Από τις διαφημίσεις και τον κινηματογράφο μέχρι τις κλινικές εφαρμογές της μουσικής ιατρικής, η εμβάθυνση στο πως επηρεάζει ο ήχος τα ανθρώπινα συναισθήματα μπορεί να ανοίξει νέους ορίζοντες στη σύνθεση αλλά και τη χρήση του ήχου και της μουσικής. Ενώ η μουσική ακαδημαϊκή θεωρία έχει μοντελοποιήσει με διάφορους τρόπους τις συναισθηματικές αποκρίσεις με βάση το ρυθμό, την αρμονία, τις νότες, δεν μπορεί να περιγράψει ικανοποιητικά τη συσχέτιση συναισθήματος και ηχοχρώματος. Το ηχώχρωμα αποτελεί την χαρακτηριστική εκείνη χροιά με βάση την οποία το ανθρώπινο αυτί μπορεί να ξεχωρίσει ένα μουσικό όργανο από ένα άλλο.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, ερευνάται η συσχέτιση του συναισθήματος της χαράς και της λύπης με τις κυματομορφές που χρησιμοποιεί ένα αναλογικό synthesizer προκειμένου να συνθέσει ηχοχρώματα. Το ερώτημα είναι αν μπορεί να χαρτογραφηθεί συγκεκριμένη συναισθηματική απόκριση ενός ακροατή με βάση τους τύπους των κυματομορφών που συνθέτουν τον ήχο. Οι παλμοί που αποτελούν ένα τέτοιο ηχώχρωμα μπορούν να είναι ο ημιτονικός, ο τριγωνικός, ο τετραγωνικός και ο πριονωτός. Στόχος είναι να μπορέσει ο μηχανικός ήχου ή ο μουσικός να μπορεί να γνωρίζει ποιές κυματομορφές να χρησιμοποιήσει ανάλογα με το τι συναισθηματικό αποτέλεσμα επιδιώκει σε οποιαδήποτε εφαρμογή απαιτεί sound design, ή σύνθεση μουσικής.

Ύστερα από ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας η οποία ήταν ιδιαίτερα περιορισμένη στο ζήτημα του ηλεκτρονικού ηχοχρώματος, δημιουργήθηκε με τη χρήση του Ableton Live 10 και του Audacity ένα ερωτηματολόγιο με βάση το δυαδικό διακριτό ψυχοακουστικό μοντέλο με τις διαστάσεις “Χαρούμενος” και “Θλιμμένος” το οποίο επιλέχθηκε με στόχο να είναι εύκολα κατανοητό από τον ακροατή. Το ερωτηματολόγιο περιείχε όλες τις δυνατές συγκρίσεις μεταξύ όλων των δυνατών ηχοχρωμάτων που μπορεί να κατασκευάσει ένα synthesizer με δύο ταλαντωτές, συνδυάζοντας τις κυματομορφές που αναφέρθηκαν παραπάνω. Σε κάθε ερώτηση, παίζονταν με τα δύο ηχοχρώματα υπό σύγκριση δύο μείζονες ή δύο ελάσσονες συγχορδίες, οι οποίες σύμφωνα με την μουσική θεωρία εγείρουν χαρά και θλίψη αντίστοιχα. Ο ακροατής έπρεπε στη συνέχεια να επιλέξει ποιά συγχορδία του ακουγόταν περισσότερο χαρούμενη στην περίπτωση που είχαμε δύο μείζονες συγχορδίες ή περισσότερο θλιμμένη στην περίπτωση που είχαμε δύο ελάσσονες συγχορδίες. Προέκυψαν 21 συγκρίσεις και 42 ερωτήσεις. Οι απαντήσεις των 15 μελών του δείγματος δέχθηκαν στατιστική επεξεργασία με τη χρήση του Point Biserial μέτρου συσχέτισης. Τα αποτελέσματα έδειξαν όντως στατιστική συσχέτιση μεταξύ των διαστάσεων του ψυχοακουστικού μοντέλου και των κυματομορφών.. Συγκεκριμένα, ο ημιτονικός και ο τριγωνικός παλμός συσχετίστηκαν από το δείγμα με τον χαρακτηρισμό “Θλιμμένος” ενώ ο τετραγωνικός και ο πριονωτός παλμός με τον χαρακτηρισμό “Χαρούμενος”. Περαιτέρω έρευνες πάνω στο θέμα μπορούν να επεκτείνουν τη μελέτη και σε πολυδιάστατα ψυχοακουστικά μοντέλα με πιο εκτενή δειγματοληψία, ώστε να γενικευθεί η συσχέτιση που δείχθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Λέξεις Κλειδιά:

Ηχώχρωμα, Συναισθηματική Απόκριση, Αναλογική Σύνθεση Ήχου, Ψυχοακουστική, Διακριτό Ψυχοακουστικό Μοντέλο, Δυαδικό Ψυχοακουστικό Μοντέλο, Συνθεσάιζερ, Μουσικοθεραπεία, Μουσική Ιατρική.

Abstract

In our modern culture, music is one of the most widespread ways of communicating feelings. From advertising and cinema to the clinical applications of music medicine, capitalizing on understanding how sound affects human emotions can broaden our horizons on composing and using music and sound. While music theory has described in various ways the emotional response of a listener in terms of rhythm, harmony and notes, it cannot describe in a satisfying way the correlation between emotion and timbre, the latter being the feature of every musical sound through which the human ear can tell one instrument from another.

This paper investigates the correlation between happy and sad emotions and the waveforms an analog synthesizer utilizes in order to create various timbres. The question is whether it is possible to map a listener's emotional response based on the kind of waveforms used to synthesize a timbre. The most used waveforms are the sine wave, the triangular wave, the square wave and the saw wave. The goal is to be able to assist the audio engineer or the musician in choosing which waveforms to utilize based on the kind of emotions he seeks to elicit in any application of sound design or music in general.

After reviewing related bibliography, which was found lacking in the topic of electronic timbre and emotional response, a questionnaire was created, using Ableton Live 10 and Audacity, based on the discrete binary psychoacoustic model, its two dimensions being "Happy" and "Sad", which was chosen to be easily understood by a listener. The questionnaire included all the possible comparisons between every timbre that an analogue synthesizer can create, using two oscillators to combine the aforementioned waveforms. In each question, the two timbres under comparison were heard playing a major and a minor chord, which, based on traditional music theory, elicit happy and sad feelings respectively. The listener then had to choose which chord sounded happier in the case of the two major chords, or sadder in the case of two minor chords. A total of 21 comparisons formed 42 questions.

The answers of the 15 members of the sample were then processed using the Point Biserial correlation. The results showed that there is indeed a correlation between the dimensions of the psychoacoustic model and the waveforms. The sine and triangular waves were found to be more sad and the square and saw waves were found to be more happy. Further research on the topic should expand the study to multidimensional psychoacoustic models with a greater sample, in order to generalize the correlation that was shown.

Key words:

Timbre, Emotional Response, Analog Synthesis, Psychoacoustics, Discrete Psychoacoustic Model, Binary Psychoacoustic Model, Synthesizer, Music Therapy, Music Medicine.

Ευχαριστίες

Για αρχή, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Παναγιώτη Κατρακάζα που συμπάθησε ένα σχετικά ιδιαίτερο θέμα, και που η καθοδήγηση του με βοήθησε σε κάθε στάδιο εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Ευχαριστώ τους καθηγητές μου, κύριο Κουτσούρη και κυρία Πετροπούλου για την ευχάριστη και αποδοτική μας συνεργασία.

Το ταξίδι από το πρώτο εξάμηνο μέχρι το τέλος των σπουδών δεν ήταν σε καμία περίπτωση ευχάριστο. Κάθε άλλο, περισσότερο ως επίπονο θα το χαρακτήριζα, ψυχολογικά, πνευματικά και σωματικά. Γι' αυτό είναι σημαντικό να θυμάσαι τους ανθρώπους που σε βοήθησαν να φτάσεις στον τερματισμό. Θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου, που παρά τις δυσκολίες και τις διαφορές μας δεν σταμάτησαν να με στηρίζουν. Τη Δήμητρα που βρισκόταν εκεί στα χειρότερα και συνεχίζει με υπομονή να πιστεύει. Τον Ευάγγελο Φωτόπουλο, τον Χάρη, τον Βασίλη, τον Δημήτρη, την Ίλια, τη Σταυρούλα, τον Φοίβο, τον Νικόλα, την Βασιλική, την Έλλη, τον Πάνο, τον Σπύρο, τον Λουκά, την Μαρία, την Μυρτώ τον Άλεξ, τον Σάγκερ και όσους ξεχνώ άθελα μου. Suffer Well.

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract	6
Ευχαριστίες	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΤΟ ΗΧΟΧΡΩΜΑ ΚΑΙ Η ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ	10
1.1 Καταγεγραμμένες ψυχοακουστικές αποκρίσεις σε ηχοχρώματα	11
1.2 Τα χαρακτηριστικά του ηχοχρώματος, συγκεντρωτικά	12
1.3 Η ADSR μεταβολή του μουσικού ηχητικού κύματος και τα χρονικά χαρακτηριστικά του ηχοχρώματος.	14
1.4 Τα φασματικά χαρακτηριστικά του ηχοχρώματος.	16
1.4.1 Το φασματικό κέντρο βάρους (Spectral Centroid)	17
1.4.2 Η απόκλιση από το φασματικό κέντρο βάρους (Spectral Centroid Deviation)	18
1.4.3 Φασματική έλλειψη συνεκτικότητας (Spectral Incoherence)	18
1.4.4 Φασματική Ανωμαλία (Spectral Irregularity)	19
1.4.5 Αναλογία Άρτιων/Περιττών Αρμονικών (Even/Odd Harmonic Ratio)	19
1.4.6 Πυκνότητα Σημαντικών Αρμονικών (Density of Significant Harmonics)	20
1.5 Χαρακτηριστικά του Ηχοχρώματος και Συναισθηματική Απόκριση.	20
1.6 Ηλεκτρονικοί Ήχοι, Ηχόχρωμα και Συναισθηματική Απόκριση	25
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΤΟ ΗΧΟΧΡΩΜΑ ΚΑΙ ΨΥΧΟΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	
2.1 Μονοφωνικοί ήχοι, μεταβολή φασματικών χαρακτηριστικών και ADSR δόμηση. Χρήση του μοντέλου Valence, Energy and Tension arousal.	28
2.2 Συγκριτική επιλογή ηχοχρώματος με βάση τη σύγκριση	

ως προς συγκεκριμένες μεταβλητές ψυχοακουστικού μοντέλου με 8 διαστάσεις.	30
2.3 Χρήση του μοντέλου Pleasantness - Activity - Potency.	32
2.4 Ανάλυση και σύγκριση των ψυχοακουστικών μοντέλων για την αξιολόγηση ηχοχρώματος.	33
3. ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ ΚΑΙ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	37
3.1 Σύνθεση των ηχητικών αποσπασμάτων προς αξιολόγηση.	38
3.2 Το ερωτηματολόγιο και οι προκαταρκτικές ερωτήσεις.	42
3.3 Οι απαντήσεις των ακροατών	47
3.4 Αποτελέσματα και στατιστική επεξεργασία	68
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	77
4.1 Συμπεράσματα και στοιχεία προς βελτίωση για μελλοντικές έρευνες	78
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	80

***ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΤΟ ΗΧΟΧΡΩΜΑ ΚΑΙ Η
ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ***

1.1 Καταγεγραμμένες ψυχοακουστικές αποκρίσεις σε ηχοχρώματα.

Προηγούμενες έρευνες έχουν δείξει πως τα συναισθήματα που γεννά η μουσική επηρεάζονται και από το timbre (στα πλαίσια της παρούσας εργασίας θα αναφέρεται ως ηχοχρώμα) των ήχων που αποτελούν μια μουσική ιδέα και πώς τα μουσικά όργανα από μόνα τους έχουν ισχυρά συναισθηματικά χαρακτηριστικά [1]-[4]. Ακόμα και εκτός ενός μουσικού πλαισίου, δηλαδή ενός ολοκληρωμένου μουσικού μοτίβου, αρμονίας, ο ακροατής μπορεί να χαρακτηρίσει συναισθηματικά το ποιόν του ήχου που ακούει. Συγκεκριμένα, στην έρευνα του Filipic το 2010 [5], στο πλαίσιο ακουστικών δοκιμών, οι ακροατές μπορούσαν να κατηγοριοποιήσουν συναισθηματικά ηχητικά αποσπάσματα διάρκειας μέχρι και 250 ms, συμπέρασμα ιδιαίτερης σημασίας. Στο μόλις ένα τέταρτο του δευτερολέπτου είναι φανερό πως δεν μιλάμε για ολοκληρωμένη μουσική ιδέα ή ρυθμό, παράγοντες που έχουν μελετηθεί και έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζουν τη συναισθηματική επίδραση της μουσικής [6]-[12].

Μερικά συμπεράσματα που εξήχθησαν ήταν ότι η τρομπέτα, το κλαρινέτο, και το βιολί προκαλούν πιο συχνά χαρά ενώ το κόρνο (και η ευρύτερη κατηγορία του χάλκινου) προκαλεί θλίψη [13]. Όταν αξιολογήθηκαν σε ένα πιο λεπτομερές μοντέλο από την δυαδική συναισθηματική διάκριση μεταξύ χαράς και θλίψης, το ξυλόφωνο, η μαρίμπα και το μεταλλόφωνο κατηγοριοποιήθηκαν κυρίως ως χαρούμενα, εύθυμα, ηρωικά και κωμικά σε μικρότερης διάρκειας νότες. Η άρπα, η κιθάρα και το πιτσικάτο βιολί αξιολογήθηκαν ως καταθλιπτικά ενώ η άρπα και το πιτσικάτο βιολί χαρακτηρίστηκαν επίσης και ως ντροπαλά. Το τσέμπαλο άφησε έντονες ηρωικές εντυπώσεις σε σχέση με τα υπόλοιπα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα και θεωρήθηκε χαρούμενο για νότες μεγαλύτερης διάρκειας. Το μεταλλόφωνο χαρακτηρίστηκε ως το πιο ικανό όργανο για να προκαλέσει αισθήματα φόβου. Γενικά, τα συναισθηματικά χαρακτηριστικά των κρουστών οργάνων που μελετήθηκαν στην εν λόγω έρευνα [13] ήταν πιο ξεκάθαρα σε χτύπους που παίζονταν με staccato, κοφτό τρόπο (μέση διάρκεια 0.25s) από ότι σε χτύπους με μεγαλύτερη διάρκεια (1s). Η διάκριση αυτή αποδόθηκε από τους ερευνητές στις διαφορετικές πηγές ταλάντωσης στο attack phase (η ηχητική απόκριση αμέσως μόλις ο παίκτης χτυπά μια χορδή, ένα πλήκτρο, ένα κρουστό) του ήχου και στο decay phase (ο λεγόμενος απόηχος μιας νότας ή χτύπου) του ήχου [13], [14]. Τα χαρακτηριστικά που μόλις αναφέραμε θα αναλυθούν λεπτομερώς στη συνέχεια και θα εξηγηθεί ο τρόπος με τον οποίον επηρεάζουν το ηχοχρώμα και τις συναισθηματικές αποκρίσεις που αυτό γεννά.

Ο Bigand [15] κατέληξε επίσης στο συμπέρασμα ότι οι ακροατές μπορούν να κατηγοριοποιήσουν συναισθηματικά ηχητικά αποσπάσματα ενός δευτερολέπτου με το μουσικό πλαίσιο να απουσιάζει. Άλλες έρευνες έχουν αποδείξει ότι η ταυτοποίηση ενός μουσικού είδους είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί επιτυχώς μέσα σε 0.25 δευτερόλεπτα ακρόασης [16] και παρόμοια συμπεράσματα προέκυψαν από άλλες έρευνες που χρησιμοποίησαν μικρής διάρκειας ήχους [5], [17]. Έχει μάλιστα δειχθεί πως το ηχοχρώμα παίζει μεγάλο ρόλο στην αναγνώριση μουσικού είδους [18] - [20].

Όπως έχει ήδη δειχθεί [1], υπάρχουν ισχυροί συσχετισμοί μεταξύ φασματικών και χρονικών μεγεθών που αφορούν το ηχοχρώμα και των συναισθημάτων που αυτό γεννά. Για αυτό το λόγο, κρίνεται χρήσιμη η ανάλυση και περιγραφή αυτών. Στις έρευνες που διεξήχθησαν από τους Lee και Horner [21], [22], βρέθηκε ότι φασματικά αλλαγμένες αλληλουχίες νοτών

με βάση τα φασματικά μεγέθη του ηχοχρώματος ήταν πολύ πιο χαρακτηρισμένες συναισθηματικά από ξεχωριστές νότες που δεν είχαν την ίδια επεξεργασία.

Καθώς λοιπόν είναι γνωστό ότι το ηχώχρωμα ενός οργάνου επηρεάζει τη συναισθηματική απόκριση του ακροατή, θα οριστούν τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν το ηχώχρωμα. Η παράθεση αυτή δεν είναι εξαντλητική, αφορά όμως τα μεγέθη που μελετώνται συνήθως σε ψυχοακουστικές έρευνες. Χωρίζονται σε μεγέθη στο πεδίο του χρόνου και στο πεδίο της συχνότητας.

1.2 Τα χαρακτηριστικά του ηχοχρώματος, συγκεντρωτικά.

Πριν παρουσιαστεί η εκτενής ανάλυση των χρονικών και φασματικών χαρακτηριστικών του ηχοχρώματος και τις συσχετίσεις αυτών με τις συναισθηματικές αποκρίσεις που γεννούν στον ακροατή, παρουσιάζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας με τα περισσότερα από αυτά. Δεν θα αναλυθούν λεπτομερώς όλα, αλλά κυρίως αυτά που έχουν αξιοποιηθεί στη βιβλιογραφία για σχετικές ψυχοακουστικές έρευνες. Στα πλαίσια της εργασίας, το ενδιαφέρον βρίσκεται στο συσχετισμό αυτών (και εκ παραδρομής του ηχοχρώματος) και της συναισθηματικής απόκρισης.

Πίνακας 1: Τα χρονικά και φασματικά χαρακτηριστικά του ηχοχρώματος

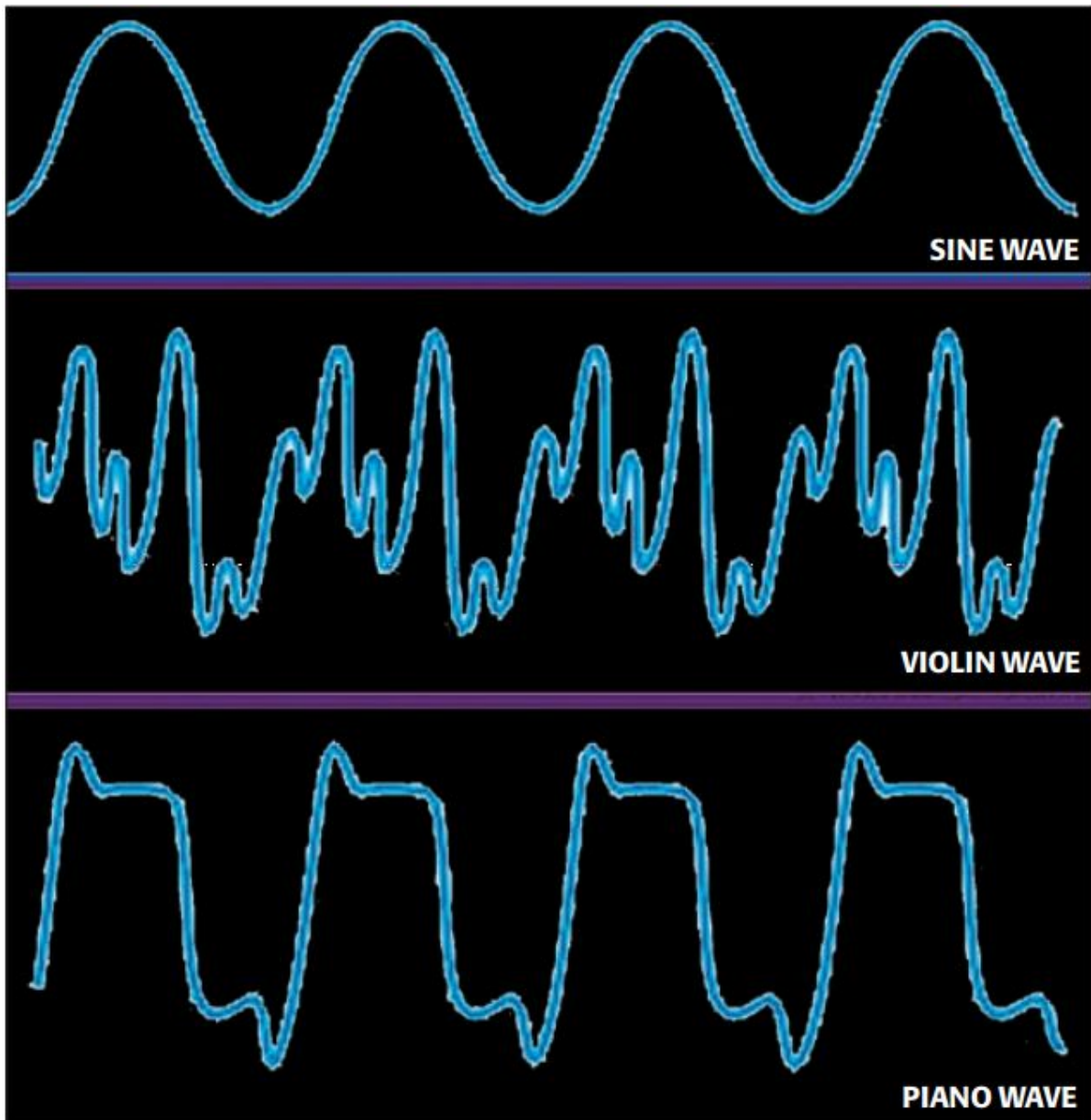
ΠΕΔΙΟ*	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
X	Attack Slope	Η κλίση του Attack Phase του ήχου
X	Κέντρο Βάρους του ASDR (Envelope Centroid)	Το κέντρο βάρους της χρονικής ASDR δόμησης του ήχου (δείχνει ποιά φάση είναι η διαρκέστερη ανά ήχο)
X	Χρονική Απόκλιση (Envelope Fluctuation)	Η απόκλιση του ήχου από το θεωρητικού του ASDR μοντέλου.
X	Zero Crossing Rate	Πόσες φορές η κυματομορφή του ήχου στο πεδίο του χρόνου περνάει από το μηδέν.
Φ	Φασματικό Κέντρο Βάρους (Spectral Centroid)	Το γεωμετρικό κέντρο του φάσματος.
Φ	Αναλογία Ενέργειας Υψηλών/Χαμηλών Συχνοτήτων	Αναλογία του ενεργειακού περιεχομένου που βρίσκεται στις υψηλές συχνότητες του

	(Ratio of HF-LF energy)	φάσματος και του αντίστοιχου στις χαμηλές
Φ	Φασματική Απόκλιση (Spectral Spread)	Η απόκλιση του φάσματος του ήχου.
Φ	Φασματική Ασυμμετρία (Spectral Skewness)	Η ασυμμετρία του φάσματος του ήχου.
Φ	Φασματική Κυρτότητα (Spectral Kurtosis)	Η κυρτότητα του φάσματος του ήχου.
Φ	Φασματική Επιπεδότητα (Spectral Flatness)	Η αναλογία μεταξύ του γεωμετρικού και αριθμητικού μέσου του φάσματος.
Φ	Φασματική Ομαλότητα (Spectral Regularity)	Ο βαθμός της ομοιομορφίας των διαδοχικών κορυφών του φάσματος.
Φ	Δυσαρμονία (Inharmonicity)	
Φ	Φασματικό Roll-off (Spectral Roll-off)	Τα όρια συχνοτήτων μέσα στα οποία βρίσκεται το 85% της συνολικής φασματικής ισχύος.
Φ	Φασματική Εντροπία (Spectral Entropy)	Μέτρο της διαταραχής στο φάσμα.
Φ-X	Τραχύτητα (Roughness)	Εκτίμηση της ακουστικής διαφωνίας.
Φ-X	Φασματική Ροή (Spectral Flux)	Η αλλαγή που διακρίνεται μεταξύ των διαδοχικών παραθύρων που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση του σήματος.

* X: Χρονικό χαρακτηριστικό, Φ: Φασματικό χαρακτηριστικό, Φ-X: Φασματικό και χρονικό χαρακτηριστικό.

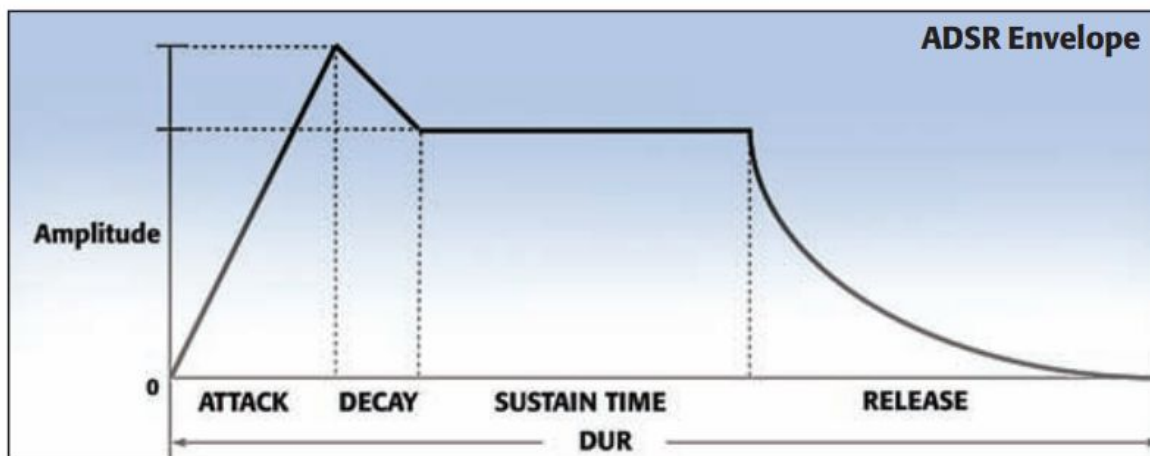
1.3 Η ADSR μεταβολή του μουσικού ηχητικού κύματος και τα χρονικά χαρακτηριστικά του ηχοχρώματος.

Αρχικά, η μορφή των ηχητικών κυμάτων που παράγεται από όργανο σε όργανο διαφέρει σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Οι διαφορές για τα ακουστικά όργανα προκύπτουν από τα υλικά κατασκευής τους [23].



Εικόνα 1 Οι κυματομορφές ενός ημιτόνου, ενός ήχου παραγόμενου από βιολί και από πιάνο. (Taylor, E. (2009). *Engineer of music. Engineering & Technology*, 4(18), 25–27)

Τα βασικότερα χρονικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν το ηχόχρωμα ενός οργάνου είναι το λεγόμενο ADSR envelope, δηλαδή το Attack, Decay, Sustain και Release phase του ήχου [23].



Εικόνα 2. Η ADSR δόμηση της μουσικής κυματομορφής. (Taylor, E. (2009). *Engineer of music. Engineering & Technology*, 4(18), 25–27)

Στο παραπάνω σχήμα απεικονίζεται η ADSR δόμηση του μουσικού ήχου. Στον κάθετο άξονα απεικονίζεται η ένταση του ήχου (ποιοτικά) και στον οριζόντιο η διάρκεια του (ποιοτικά).

- Το Attack Phase περιγράφεται ως ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει ο ήχος στο μέγιστο της έντασης του [23].

Διαφορετικές έρευνες οι οποίες επεξεργάζονταν κρουστά όργανα, όρισαν το Attack Phase ως το χρόνο που απαιτείται για να φτάσει η ένταση του ήχου στο πρώτο τοπικό μέγιστο της RMS τιμής του [13]. Ο λόγος αυτού του συμβιβασμού στον ορισμό προκύπτει από το γεγονός πως αρκετά κρουστά που μελετήθηκαν, όπως το ξυλόφωνο, παρουσίαζαν ιδιαίτερες δυσκολίες στη μέτρηση του πραγματικού Attack Phase, λόγω του κοφτού χτυπήματος της ματσόλας που απαιτείται για το παίξιμο του συγκεκριμένου οργάνου.

- Το Decay Phase περιγράφεται ως ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει ο ήχος από το μέγιστο της έντασης του στο επίπεδο της έντασης του Sustain time [23].
- Το Sustain Phase (ή Time) είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο η ένταση του ήχου έχει ένα σταθερό επίπεδο έντασης [23].
- Το Release Phase είναι το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να επιστρέψει ο ήχος από το Sustain Phase στη σιωπή [23].

Στην περίπτωση των κρουστών οργάνων, το Sustain Phase του ήχου δεν υπάρχει. Σε αυτή την περίπτωση από το Attack ο ήχος μεταβαίνει στο Release, δηλαδή στην κάθοδο της έντασης μέχρι τη σιωπή. Τα επιπλέον χαρακτηριστικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι:

1. Το Decay Ratio, δηλαδή ο λόγος μεταξύ του ολικού RMS μέγιστου του ήχου και του RMS πλάτους κάποια χιλιοστά του δευτερολέπτου πριν τη σιωπή.
2. Η κλίση του Decay Phase.

Η ορολογία για την ADSR μεταβολή του μουσικού ήχου δεν έχει μεταφραστεί σε ελληνική βιβλιογραφία. Για αυτό το λόγο θα διατηρηθούν οι αρχικές αγγλικές ονομασίες σε όλη την έκταση της εργασίας.

1.4 Τα φασματικά χαρακτηριστικά του ηχοχρώματος.

Έρευνες όπως η [13] έχουν ορίσει τη φασματική αναπαράσταση μουσικών σημάτων με όρους χρονικά μεταβαλλόμενων πλατών και συχνοτήτων ενός αθροίσματος ημιτόνων που συνθέτουν το συνολικό ήχο. Συγκεκριμένα:

$$s(t) = \sum_{k=1}^K Ak(t) \cos(2\pi \int_0^t (kfa + fk(\tau)) d\tau + \theta k(0)) \quad (1)$$

Όπου:

$s(t)$ = το ηχητικό σήμα ,

t = ο χρόνος σε δευτερόλεπτα,

τ = χρονική μεταβλητή ολοκλήρωσης,

k = αριθμός αρμονικής,

K = το πλήθος των αρμονικών,

$Ak(t)$ = το πλάτος της k αρμονικής σε χρόνο t ,

fa = προσέγγιση της μέσης θεμελιώδους αρμονικής,

$fk(t)$ =συχνότητα απόκλιση της k αρμονικής, έτσι ώστε η $fk(t)=kfa+fk(t)$ να είναι η συνολική στιγμιαία συχνότητα της k αρμονικής,

$\theta k(0)$ = αρχική φάση της k αρμονικής [13].

Οι παρακάτω ορολογίες παρατίθενται μεταφρασμένες στην προκείμενη παράγραφο, αλλά για λόγους ακριβείας οι αρχικοί αγγλικοί όροι αναφέρονται στις παρενθέσεις.

1.4.1 Το φασματικό κέντρο βάρους (Spectral Centroid).

Το φασματικό κέντρο βάρους είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του ηχοχρώματος, στενά συνδεδεμένο με την έννοια της φωτεινότητας (brightness) του ήχου [13]. Το κανονικοποιημένο φασματικό κέντρο βάρους (NSC) [24] έχει οριστεί ως ο αριθμός της αρμονικής εκείνης όπου το φάσμα ισορροπεί μεταξύ των αρμονικών υψηλού και χαμηλού πλάτους.

$$NSC(tn) = \frac{\sum_{k=1}^K kAk(tn)}{\sum_{k=1}^K Ak(tn)} \quad (2)$$

Για πολλά όργανα, ειδικά για όργανα με μεγάλο Sustain Phase, το κανονικοποιημένο φασματικό κέντρο βάρους συχνά αυξάνεται μαζί με την RMS τιμή του πλάτους.

1.4.2 Η απόκλιση από το φασματικό κέντρο βάρους (Spectral Centroid Deviation).

Περιγράφεται ποιοτικά ως η χρονική εξέλιξη του φασματικού περιεχομένου του ήχου [17]. Αλλιώς [25], ορίζεται ως εξής :

$$SCD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (NSC(tn) - NSC_{xx})^2}$$

(3)

Όπου το NSC_{xx} μπορεί να είναι η μέση, η RMS, ή η μέγιστη τιμή του NSC.

1.4.3 Φασματική έλλειψη συνεκτικότητας (Spectral Incoherence).

Η φασματική διακύμανση μετρήθηκε [26] με την ποιοτική έννοια της έλλειψης συνεκτικότητας στο φάσμα του ήχου, ένα μέτρο που αφορά τις διαφορές του φάσματος από την συνεκτική μορφή του.

Ένα τελείως συνεκτικό φάσμα ορίζεται ως το μέσο φάσμα του αρχικού ήχου, αλλά σε αντίθεση με αυτόν, όλα τα πλάτη των αρμονικών μεταβάλλονται στο χρόνο ανάλογα με την RMS τιμή του πλάτους και άρα σε σταθερούς μεταξύ τους λόγους. Με απλούστερα λόγια, τα πλάτη των αρμονικών είναι σταθερά.

Ένα τελείως στατικό φάσμα έχει έλλειψη συνεκτικότητας ίση με το μηδέν. Η μεγαλύτερη έλλειψη συνεκτικότητας δείχνει ένα πιο δυναμικό φάσμα, ενώ μικρότερες τιμές έχουν τα στατικά φάσματα. Το εύρος των τιμών της έλλειψης συνεκτικότητας είναι από το μηδέν στο ένα.

Αν το πλάτος της συνεκτικής k αρμονικής ορίζεται ως:

$$\hat{A}k(tn) = \frac{\overline{A}k_{RMS}(tn)}{\sqrt{\sum_{k=1}^K \overline{A}k^2}}$$

(4)

Με το $\overline{A}k$ να είναι ο χρονικός μέσος όρος του πλάτους της k αρμονικής.

Έτσι μπορεί να οριστεί η έλλειψη φασματικής συνεκτικότητας ως:

$$SI = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=1}^K (Ak(tn) - \hat{A}k(tn))^2}{\sum_{n=0}^{N-1} (ARMS(tn)^2)}} \quad (5)$$

1.4.4 Φασματική Ανωμαλία (Spectral Irregularity).

Το μοντέλο της φασματικής ανωμαλίας εισάγει έναν τρόπο μέτρησης της τραχύτητας του φάσματος ενός ήχου [25]. Μαθηματικά ορίζεται ως [26]:

$$SIR = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \frac{\sum_{k=2}^{K-1} Ak(tn) |Ak(tn) - A(tn)|}{Arms(tn) \sum_{k=2}^{K-1} Ak(tn)} \quad (6)$$

Όπου $A = ((Ak-1(tn) + Ak(tn) + Ak+1(tn))/3)$.

Η παραπάνω εξίσωση ορίζει το χρονικό και αρμονικό μέσο όρο της διαφοράς μεταξύ ενός φάσματος και μιας εξομαλυμένης εκδοχής του, κανονικοποιημένο με το RMS του πλάτους του ήχου.

1.4.5 Αναλογία Άρτιων/Περιττών Αρμονικών (Even/Odd Harmonic Ratio).

Ένα επιπλέον μέγεθος της τραχύτητας του φάσματος, που προφανώς στηρίζεται στην αναλογία μεταξύ περιττών και άρτιων αρμονικών στο φάσμα [13].

$$E/O = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} \sum_{j=1}^{K/2} A_{2j}(tn)}{\sum_{n=0}^{N-1} \sum_{j=1}^{(K+1)/2} A_{2j-1}(tn)} \quad (7)$$

Το συγκεκριμένο μέγεθος έχει ιδιαίτερη σημασία για τα κλαρινέτα, τα οποία έχουν ισχυρές περιττές αρμονικές στο χαμηλότερο ρετζίστρο τους (τονικό κέντρο). Μια Αναλογία Άρτιων/Περιττών Αρμονικών με χαμηλή τιμή (όπως σε ένα μουσικό μοτίβο παιγμένο από ένα κλαρινέτο σε χαμηλό ρετζίστρο) συνήθως συνήθως καταλήγει σε υψηλότερη φασματική ανωμαλία. Το αντίστροφο δεν ισχύει πάντα.

1.4.6 Πυκνότητα Σημαντικών Αρμονικών (Density of Significant Harmonics).

Το μέγεθος αυτό [13] μοντελοποιεί το πόσο πυκνά βρίσκονται στο φάσμα οι σημαντικές αρμονικές. Σημαντικές ορίζονται εκείνες οι αρμονικές που το πλάτος τους ξεπερνάει ένα συγκεκριμένο όριο, συνήθως το 5% του πλάτους της θεμελιώδους αρμονικής. Η πυκνότητα είναι ο αριθμός αυτών των αρμονικών διαιρεμένος με το εύρος ζώνης τους. Ο λόγος αυτός έπειτα διαιρείται με τον αριθμό των παραθύρων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση του σήματος και προκύπτει συνεπώς ο μέσος όρος για όλο το φάσμα.

Μαθηματικά ορίζεται ως:

$$\text{Πυκνότητα Σημαντικών Αρμονικών} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^N \frac{\sum_{k=1}^K I(Ak(t))}{\Delta(t)} \quad (8)$$

Όπου $I(Ak(t)) = 1$ αν $Ak(t) \geq 0.05A_1(t)$, αλλιώς 0.

Και $\Delta(t) = \max(k-k'+1)$, $k, k' \in [1, K]$, $\forall I(Ak(t)), I(Ak'(t)) > 0$

Ορισμένες έρευνες [13] που αφορούσαν τις ψυχοακουστικές επιδράσεις του ηχοχρώματος των μουσικών οργάνων χρησιμοποίησαν και τοπικούς συντελεστές βαρύτητας στα παραπάνω χαρακτηριστικά σε φασματικά μέρη του ήχου που είχαν ισχυρές εντάσεις, μέθοδος χρήσιμη ειδικά στα κρουστά όργανα.

1.5 Χαρακτηριστικά του Ηχοχρώματος και Συναισθηματική Απόκριση.

Έχει θεμελιωθεί [1],[2],[13] συσχετισμός μεταξύ της συναισθηματικής απόκρισης του ακροατή και των φασματικών και χρονικών γνωρισμάτων του ηχοχρώματος.

Η έρευνα [14] χρησιμοποίησε ένα πολυδιάστατο συναισθηματικό μοντέλο ¹ που επέτρεπε στον ακροατή να κατηγοριοποιήσει τους ήχους που άκουγε ως χαρούμενο, λυπητερό, ηρωικό, τρομακτικό, κωμικό, ντροπαλό, εύθυμο και καταθλιπτικό. Με τη χρήση του γραμμικού συσχετισμού Pearson και κατάλληλη επεξεργασία στα χαρακτηριστικά του ηχοχρώματος, συνέδεσε τα χαρακτηριστικά με τις παραπάνω κατηγορίες, με βάση προφανώς τις απαντήσεις των εθελοντών ακροατών.

¹ Λεπτομερής ανάλυση των διαφορετικών ψυχοακουστικών μοντέλων κατηγοριοποίησης της συναισθηματικής απόκρισης γίνεται στην ανάλυση της μεθοδολογίας της παρούσας εργασίας.

Features	Emotion							
	Happy	Sad	Heroic	Scary	Comic	Shy	Joyful	Depressed
Average Spectral Centroid	0.7849**	-0.8154**	0.5647	-0.5598	0.7905**	-0.8007**	0.8511**	-0.8126**
Spectral Centroid Deviation	0.6743*	-0.8414**	0.697*	-0.6621*	0.6264*	-0.8132**	0.7047*	-0.8163**
Spectral Incoherence	0.7036*	-0.4996	0.7293**	0.1275	0.3489	-0.6003	0.604	-0.5277
Spectral Irregularity	0.2567	-0.341	-0.1834	-0.23	0.2803	-0.3212	0.2198	-0.3553
Even/odd Ratio	0.0853	-0.0516	0.0285	0.0878	-0.0774	-0.0789	-0.0229	-0.0747

Εικόνα 3. Συσχετισμός Pearson μεταξύ συναισθηματικών κατηγοριών του μοντέλου και χαρακτηριστικών του ηχοχρώματος [14].

Όταν κατόπιν επεξεργασίας το Φασματικό Κέντρο Βάρους εξισώθηκε σε όλα τα δείγματα ήχου προς ακρόαση, προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

Features	Emotion							
	Happy	Sad	Heroic	Scary	Comic	Shy	Joyful	Depressed
Spectral Centroid Deviation	-0.2203	-0.3516	0.5243	0.4562	0.5386	-0.7834**	0.1824	-0.3149
Spectral Incoherence	0.1083	-0.298	0.31	0.4081	0.5046	-0.2665	0.3025	-0.2373
Spectral Irregularity	-0.13	0.499	-0.5082	0.2697	-0.3124	0.3419	-0.2543	0.4877
Even-odd ratio	0.8596**	-0.6686*	0.3785	-0.018	0.4869	-0.0963	0.6879*	-0.6575*

Εικόνα 4. Συσχετισμός Pearson μεταξύ συναισθηματικών κατηγοριών του μοντέλου και χαρακτηριστικών του ηχοχρώματος για μουσικούς ήχους με εξισωμένο Φασματικό Κέντρο Βάρους [14].

Τα αποτελέσματα της έρευνας [14] συμφωνούν και με τα αποτελέσματα της έρευνας [1] που χρησιμοποιεί διαφορετικό ψυχοακουστικό μοντέλο συναισθηματικής απόκρισης, συγκεκριμένα το Valence-Arousal (Σθένους-Διέγερσης).

Και οι δύο κατέληξαν στο συμπέρασμα πώς το Φασματικό Κέντρο Βάρους και εκ παραδρομής η φωτεινότητα του ηχοχρώματος παίζουν σημαντικό ρόλο στο συναισθηματικό αποτέλεσμα της μουσικής ιδέας. Το ίδιο το σχήμα του φάσματος μπορεί να διεγείρει ισχυρές αποκρίσεις, ενώ η Αναλογία Άρτιων/Περιττών Αρμονικών είναι ίσως το πιο εξέχον χαρακτηριστικό του ηχοχρώματος μετά το attack time και την προαναφερθείσα φωτεινότητα.

Μια διαφορετική έρευνα [13] χρησιμοποίησε το ίδιο ψυχοακουστικό μοντέλο και το συσχετισμό Pearson για ήχους κρουστών οργάνων ή κοφτά παιχνίδια ακουστικών οργάνων, όπως το πιτσικάτο βιολί και γενικότερα ήχους από όργανα με περιορισμένο sustain time.

Το πείραμα χωρίστηκε σε τρία διαφορετικά σκέλη, όπου τα δείγματα του ήχου που άκουγαν οι εθελοντές διέφεραν σε χρονική διάρκεια, ξεκινώντας με ήχους διάρκειας 1s, έπειτα 0.5s και τέλος 0.25s.

Features	Happy	Sad	Heroic	Scary	Comic	Shy	Joyful	Depressed	Number of emotional categories with significant correlation
Attack Time	0.86***	-0.69*	0.59	-0.52	0.62*	-0.41	0.78**	-0.70*	5
Decay Ratio	0.19	-0.06	0.32	0.21	-0.48	-0.04	0.16	-0.13	0
Decay Slope	0.74**	-0.86***	0.8**	-0.41	0.31	-0.54	0.83**	-0.91***	5
Spectral Centroid	-0.50	-0.14	-0.35	-0.03	0.62	0.04	-0.28	-0.06	0
Spectral Centroid (AW)	0.60	-0.81**	0.81**	-0.69*	0.50	-0.81**	0.62*	-0.76**	6
Spectral Centroid Deviation	-0.53	-0.04	-0.49	0.10	0.56	0.20	-0.30	0.03	0
Spectral Centroid Deviation (AW)	0.45	-0.71*	0.72**	-0.77**	0.57	-0.83**	0.46	-0.66*	5
Spectral Incoherence	0.50	-0.65*	0.40	-0.62*	0.88***	-0.48	0.53	-0.73**	4
Spectral Incoherence (AW)	0.47	-0.53	0.38	-0.65*	0.76**	-0.49	0.48	-0.67*	3
Spectral Irregularity	-0.10	0.53	-0.58	0.83***	-0.44	0.84***	-0.20	0.52	2
Spectral Irregularity (AW)	-0.23	0.51	-0.69*	0.90***	-0.31	0.92***	-0.28	0.53	3
Even/odd Harmonic Ratio	0.03	-0.53	0.39	-0.37	0.63*	-0.46	0.09	-0.52	1
Even/odd Harmonic Ratio (AW)	-0.08	-0.45	0.26	-0.28	0.64*	-0.34	0.00	-0.45	1
Density of Significant Harmonics	-0.67*	0.75**	-0.64*	0.04	-0.14	0.27	-0.75**	0.75**	5
Density of Significant Harmonics (AW)	-0.78**	0.73**	-0.68*	0.20	-0.27	0.34	-0.79**	0.80**	5

Εικόνα 5. Συσχετισμός Pearson μεταξύ συναισθηματικών κατηγοριών του μοντέλου και χαρακτηριστικών του ηχοχρώματος για ήχους διάρκειας 1s [13].

Με βάση τον παραπάνω πίνακα, το φασματικό κέντρο βάρους με χρήση τοπικού συντελεστή βαρύτητας συσχετίζεται σημαντικά με έξι από τις οκτώ κατηγορίες, ενώ η απόκλιση από το φασματικό κέντρο βάρους (επίσης με χρήση τοπικών συντελεστών) με πέντε από τις οκτώ. Και τα δύο αυτά μεγέθη που αφορούν το φασματικό κέντρο βάρους είχαν συσχετισμό με τις τέσσερις κατηγορίες χαμηλού σθένους. Σημαντική παρατήρηση είναι πως χωρίς τη χρήση τοπικών συντελεστών βαρύτητας δεν συσχετίστηκαν με καμία κατηγορία. Η έμφαση που δόθηκε στις υψηλής έντασης περιοχές του ήχου έπαιξε καθοριστικό ρόλο.

Το Decay Slope (χρήσιμο άλλωστε για κρουστά) καθώς και η πυκνότητα σημαντικών αρμονικών είχαν σημαντική συσχέτιση με τις περισσότερες κατηγορίες συναισθηματικής απόκρισης, αλλά όχι με τις πιο ασαφείς κατηγορίες περί κωμικού, τρομακτικού και ντροπαλού ήχου.

Ήχοι με μικρότερο decay phase και πιο πλήρη φάσμα θεωρήθηκαν κατά βάση λυπητερά και καταθλιπτικά. Ήχοι με μεγαλύτερο decay phase και πιο αραιές αρμονικές θεωρήθηκαν πιο χαρούμενα, ηρωικά και εύθυμα.

Features	Happy	Sad	Heroic	Scary	Comic	Shy	Joyful	Depressed	Number of emotional categories with significant correlation
Attack Time	0.76**	-0.76**	0.61	-0.33	0.52	-0.46	0.87***	-0.82**	4
Decay Ratio	0.36	-0.49	0.27	0.30	-0.21	-0.08	0.32	-0.45	0
Decay Slope	0.76**	-0.82**	0.77**	-0.31	0.40	-0.64*	0.64*	-0.77**	6
Spectral Centroid	0.07	0.02	0.22	-0.36	0.62	-0.29	0.08	-0.08	0
Spectral Centroid (AW)	0.69*	-0.53	0.80**	-0.54	0.49	-0.77**	0.54	-0.58	3
Spectral Centroid Deviation	-0.54	0.53	-0.43	-0.06	0.41	0.26	-0.40	0.46	0
Spectral Centroid Deviation (AW)	0.45	-0.27	0.60	-0.56	0.46	-0.65*	0.30	-0.31	1
Spectral Incoherence	0.28	-0.38	0.11	-0.42	0.86***	-0.27	0.54	-0.39	1
Spectral Incoherence (AW)	0.25	-0.36	0.07	-0.44	0.82**	-0.28	0.48	-0.32	1
Spectral Irregularity	-0.30	0.12	-0.48	0.86***	-0.45	0.67*	-0.10	0.06	2
Spectral Irregularity (AW)	-0.43	0.23	-0.60	0.90***	-0.40	0.77**	-0.18	0.15	2
Even/odd Harmonic Ratio	0.08	-0.11	0.23	-0.02	0.51	-0.18	0.06	-0.19	0
Even/odd Harmonic Ratio (AW)	-0.04	-0.02	0.10	0.02	0.52	-0.07	-0.02	-0.09	0
Density of Significant Harmonics	-0.70*	0.82**	-0.63*	0.09	-0.48	0.51	-0.70*	0.82**	5
Density of Significant Harmonics (AW)	-0.77**	0.89***	-0.65*	0.14	-0.49	0.53	-0.79**	0.87***	5

Εικόνα 6. Συσχετισμός Pearson μεταξύ συναισθηματικών κατηγοριών του μοντέλου και χαρακτηριστικών του ηχοχρώματος για ήχους διάρκειας 0.5s [13].

Οι ήχοι διάρκειας 0.5s παρουσίασαν τους παραπάνω συσχετισμούς με τα φασματικά και χρονικά χαρακτηριστικά του ηχοχρώματος. Προφανώς, όσο οι ήχοι μικραίνουν σε διάρκεια, η προσοχή του ακροατή κατευθύνεται κυρίως στο attack phase και στο πρώιμο decay του ήχου. Μιλάμε άλλωστε για ένα χρονικό διάστημα ιδιαίτερος περιορισμένο, όπου το αυτί δεν έχει αρκετό χρόνο για να παρατηρήσει επαρκώς το sustain ή το release του ήχου.

Η πυκνότητα των σημαντικών αρμονικών, το decay slope και το attack time του ήχου είχαν σημαντικό συσχετισμό με τις περισσότερες συναισθηματικές κατηγορίες και δεν επηρεάστηκαν από την περιορισμένη διάρκεια. Το φασματικό κέντρο βάρους και η απόκλιση συσχετίστηκαν με σαφώς λιγότερες κατηγορίες.

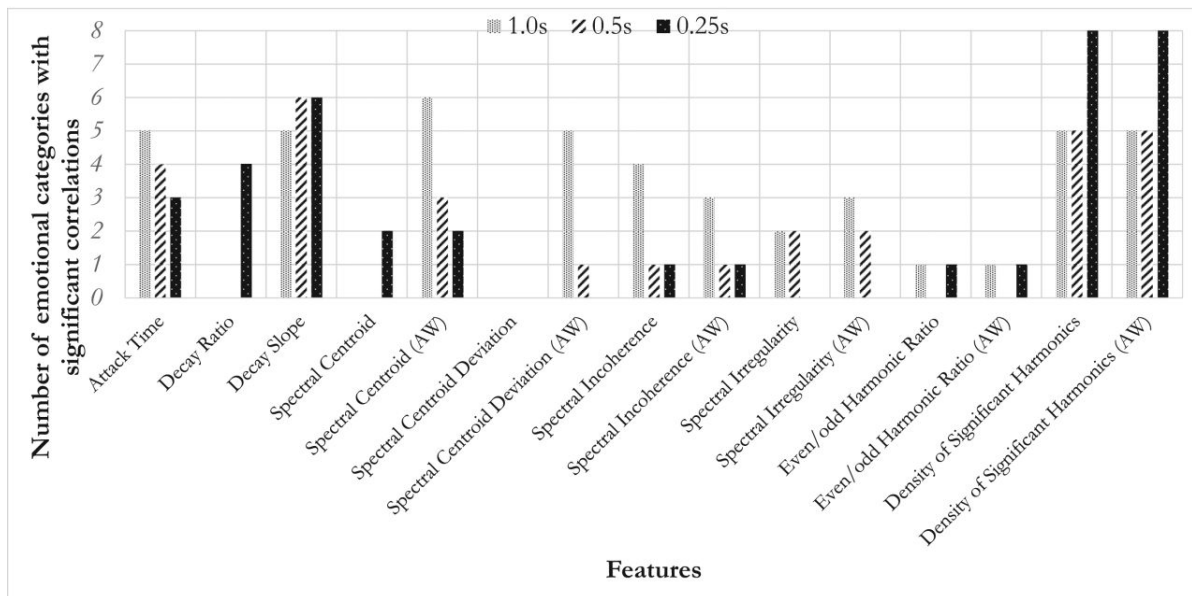
Features	Happy	Sad	Heroic	Scary	Comic	Shy	Joyful	Depressed	Number of emotional categories with significant correlation
Attack Time	0.48	-0.73**	0.68*	0.43	0.35	-0.60	0.56	-0.79**	3
Decay Ratio	0.69*	-0.79**	0.65*	0.42	0.47	-0.59	0.74**	-0.62	4
Decay Slope	0.67*	-0.82**	0.76**	0.54	0.52	-0.73**	0.75**	-0.68*	6
Spectral Centroid	-0.16	-0.31	0.66*	0.38	-0.14	-0.66*	0.01	-0.40	2
Spectral Centroid (AW)	-0.15	-0.32	0.67*	0.36	-0.15	-0.69*	0.01	-0.39	2
Spectral Centroid Deviation	-0.35	-0.01	0.29	0.13	-0.19	-0.34	-0.22	-0.14	0
Spectral Centroid Deviation (AW)	-0.41	0.05	0.31	0.11	-0.26	-0.39	-0.29	-0.06	0
Spectral Incoherence	0.40	-0.25	-0.02	0.10	0.65*	-0.04	0.35	-0.35	1
Spectral Incoherence (AW)	0.38	-0.21	-0.06	0.05	0.63*	-0.04	0.31	-0.27	1
Spectral Irregularity	0.40	-0.17	-0.22	0.23	0.33	0.43	0.43	-0.10	0
Spectral Irregularity (AW)	0.38	-0.12	-0.28	0.23	0.35	0.49	0.40	-0.08	0
Even/odd Harmonic Ratio	-0.09	-0.03	0.18	0.66*	0.13	-0.08	0.03	-0.30	1
Even/odd Harmonic Ratio (AW)	-0.10	0.02	0.10	0.62*	0.14	-0.01	0.00	-0.26	1
Density of Significant Harmonics	-0.84***	0.96***	-0.81**	-0.77**	-0.72**	0.71**	-0.91***	0.94***	8
Density of Significant Harmonics (AW)	-0.82**	0.96***	-0.83**	-0.76**	-0.70*	0.73**	-0.90***	0.94***	8

Εικόνα 7. Συσχετισμός Pearson μεταξύ συναισθηματικών κατηγοριών του μοντέλου και χαρακτηριστικών του ηχοχρώματος για ήχους διάρκειας 0.25s [13].

Στους ήχους πολύ μικρής διάρκειας, ο ακροατής προφανώς μπορεί να ακούσει μόνο το attack phase του ήχου.

Η πυκνότητα των σημαντικών αρμονικών για ήχους διάρκειας 0.25s συσχετίστηκε σαφώς με τις οκτώ κατηγορίες που δοκιμάστηκαν. Η χαμηλή πυκνότητα αυξάνει τα θετικά συναισθηματικά χαρακτηριστικά.

Υπάρχει σαφής συσχετισμός μεταξύ του decay slope και των κατηγοριών, το ίδιο ισχύει για ήχους μεγαλύτερης διάρκειας. Το attack time, το φασματικό κέντρο βάρους και η απόκλιση παίζουν πολύ μικρότερο ρόλο σε βραχείς ήχους.



Εικόνα 8. Συγκεντρωτικός πίνακας με τα χαρακτηριστικά του ηχοχρώματος και τους συσχετισμούς αυτών με τις συναισθηματικές αποκρίσεις του ακροατή [13].

1.6 Ηλεκτρονικοί Ήχοι, Ηχόχρωμα και Συναισθηματική Απόκριση.

Όσον αφορά την διερεύνηση των συναισθηματικών αποκρίσεων που μπορεί να προκαλέσει ένας ήχος που παράγεται με την σύνθεση από synthesizer, η βιβλιογραφία είναι ιδιαίτερος περιορισμένη. Έχει δοθεί αρκετή βαρύτητα στη σύνθεση φωνής για άτομα με ειδικές ανάγκες [27], αλλά η ενασχόληση με την σύνθεση ηχοχρώματος σε μουσικό επίπεδο και η σύνδεση αυτού με συναισθηματικές αποκρίσεις βρίσκεται σε πολύ πρώιμο στάδιο.

Η πλησιέστερη στο παρόν θέμα ερευνητική δουλειά [28] είχε ως σκοπό να αναλύσει την εκφραστικότητα που μπορούν να προσδώσουν μεταβολές σε χαρακτηριστικά των ήχων που παράγονται με την ηλεκτρονική σύνθεση. Τέτοια χαρακτηριστικά ήταν η ένταση, ο τόνος (με τη μουσική έννοια), η ταχύτητα της μουσικής ιδέας, τα ADSR χαρακτηριστικά και η εφαρμογή διαφορετικών φίλτρων με διαφορετικές, μεταβλητές συχνότητες αποκοπής. Να σημειωθεί πως την [28] την απασχόλησαν συνθετικοί ήχοι που είχαν τη βάση τους στον πρωτοειδή παλμό και μόνο.

Όπως έχει προαναφερθεί, πολλά από τα παραπάνω γνωρίσματα επηρεάζουν τη συναισθηματική απόκριση του ακροατή, ενώ μερικά (όπως το ADSR) επηρεάζουν μέχρι και το ηχόχρωμα που παράγεται. Καμία όμως έρευνα δεν έχει αποπειραθεί να συσχετίσει τις δυναμικές των κυματομορφών της αναλογικής σύνθεσης με κάποιο συναισθηματικό ψυχοακουστικό μοντέλο.

Acoustic parameters of tone sequences	Direction of effect	Emotion rating scales listed in decreasing order of associative strength
Amplitude variation	Small Large	Happiness, pleasantness, activity Fear
Pitch variation	Small Large	Disgust, anger, fear, boredom Happiness, pleasantness, activity, surprise
Pitch contour	Down Up	Boredom, pleasantness, sadness Fear, surprise, anger, potency
Pitch level	Low High	Boredom, pleasantness, sadness Surprise, potency, anger, fear, activity
Tempo	Slow Fast	Sadness, boredom, disgust Activity, surprise, happiness, pleasantness, potency, fear, anger
Envelope	Round Sharp	Disgust, sadness, fear, boredom, potency Pleasantness, happiness, surprise, activity
Filtration cutoff level (number of harmonics)	Intermediate (few) High (many)	Pleasantness, boredom, happiness, sadness Potency, anger, disgust, fear, activity, surprise

Εικόνα 9. Συγκεντρωτικά οι μεταβλητές ενδιαφέροντος στην προαναφερθείσα ερευνητική εργασία [28] και οι ευρεθείσες αντιστοιχίσεις σε συναισθήματα.

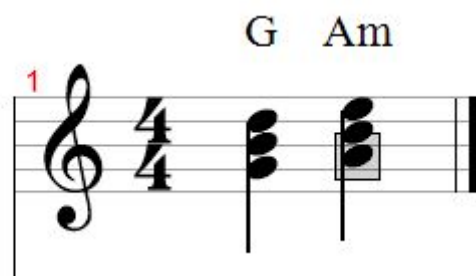
***ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ
ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΤΟ ΗΧΟΧΡΩΜΑ
ΚΑΙ ΨΥΧΟΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ***

Η παρούσα έρευνα θα στηριχθεί στην σύνθεση ερωτηματολογίων όπου ο ακροατής θα ερωτάται για τα συναισθήματα που του γέννησαν οι ήχοι που του παρουσιάζονται. Προκειμένου να υιοθετηθεί η βέλτιστη προσέγγιση της σύνθεσης των ερωτηματολογίων αλλά και των ήχων που θα αξιοποιηθούν για αυτά, αναλύονται παρακάτω οι μεθοδολογίες που ακολούθησαν οι βασικότερες από τις έρευνες στο πεδίο. Αν και μόνο μερικές από αυτές [28],[29] αφορούν τόνους από synthesizer (για τους λόγους που εξηγήθηκαν παραπάνω), η διαδικασία των ακουστικών δοκιμών και οι συνθήκες που προτιμήθηκαν μπορούν να δώσουν σημαντική καθοδήγηση για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας.

Θα παρουσιαστούν παρακάτω ζητήματα της διαδικασίας των πειραμάτων που διεξήχθησαν που είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος για τη διεξαγωγή του πειράματος για την παρούσα εργασία. Τα χρήσιμα στοιχεία που θα συγκεντρωθούν από κάθε διαδικασία θα παρατεθούν στο τέλος της ανάλυσης και με τη σύνθεση αυτών θα προκύψει το πείραμα.

2.1 Μονοφωνικοί ήχοι, μεταβολή φασματικών χαρακτηριστικών και ADSR δόμησης. Χρήση του μοντέλου Valence, Energy and Tension arousal.

Η [1] χρησιμοποίησε στο πείραμα της μονοφωνικούς ήχους. Αυτό σημαίνει ότι δεν χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα συγχορδίες. Η μουσική βιβλιογραφία [30] ορίζει ως συγχορδία την συνήχηση τριών ή παραπάνω φωνών (νοτών). Οι συγχορδίες χωρίζονται σε μείζονες και ελάσσονες, κατηγορίες που αντιστοιχίζονται στις αργισι έννοιες του “χαρούμενου” και του “λυπημένου”. Αυτό σημαίνει πως η συγχορδία, κομμάτι της αρμονικής λειτουργίας της μουσικής αποτελεί μεταβλητή που επηρεάζει τη συναισθηματική απόκριση του ακροατή. Συνεπώς, επιλέχθηκαν μονοφωνικοί ήχοι, δηλαδή απομονωμένες νότες με σκοπό το συναισθηματικό αποτέλεσμα στον ακροατή να προκαλείται αποκλειστικά (ει δυνατόν) από το ηχόχρωμα. Με αυτή την επιλογή, μουσικοί παράγοντες όπως ο ρυθμός, η κλίμακα, το ρετζίστρο και η αρμονία αποκλείονται από την εμπειρία του ακροατή. Οι ήχοι του πειράματος διέφεραν μόνο ως προς το φάσμα και την ADSR δομή τους, παράγοντες που επηρεάζουν το ηχόχρωμα. Οι μονοφωνικοί ήχοι σπάνια απαντώνται στη μουσική χωρίς κανένα από τα παραπάνω μουσικά στοιχεία, προσφέρουν τη δυνατότητα να αντληθούν πληροφορίες για την “απο φύση” μουσική εκφραστικότητα ενός οργάνου.



Εικόνα 10. Η απεικόνιση μιας μείζονας και μιας ελάσσονας συγχορδίας σε πεντάγραμμα.

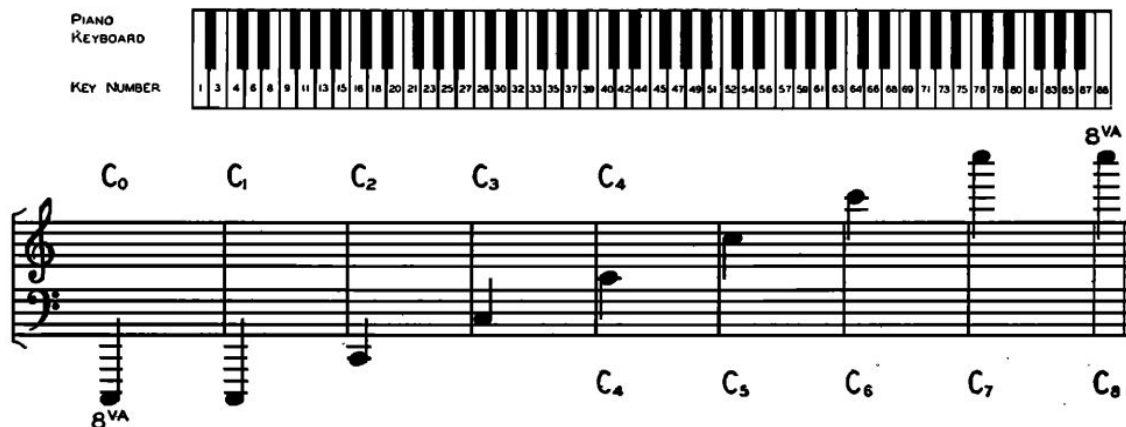
Χρησιμοποιήθηκε τρισδιάστατο ψυχοακουστικό μοντέλο, με τρεις δηλαδή συναισθηματικές κατηγορίες με δυαδική υπόσταση. Στο πρωτότυπο της βιβλιογραφίας αναφέρεται ως Valence, Energy and Tension arousal, από εδώ και μπρός στην παρούσα εργασία θα αναφέρεται ως διέγερση Σθένους, Ενέργειας και Έντασης. Επιλέχθηκε αυτό το μοντέλο

καθώς έχει στιβαρή ψυχοακουστική βάση αλλά και για την ευκολότερη σύγκριση των αποτελεσμάτων με περεταίρω βιβλιογραφία².

Οι ήχοι που επιλέχθηκαν ήταν ήχοι φυσικών οργάνων και όχι κάποια προσομοίωση αυτών από κάποιο λογισμικό για λόγους μουσικής πιστότητας. Οι ερευνητές κατέληξαν σε 101 δείγματα από βιβλιοθήκη, που περιλάμβαναν τα περισσότερα συνήθη μουσικά όργανα (πιάνο, κιθάρα, φλάουτο, κλαρινέτο, κόρνο, όμποε) αλλά και κάποια πιο ασυνήθιστα όργανα (μεσαιωνικό όμποε, cymhorn).

Ένας από τους στόχους της έρευνας ήταν να μεταβάλλεται το ηχόχρωμα χωρίς να καταφύγουν οι ερευνητές σε γεννήτριες τεχνητών ήχων ή προσομοιώσεις, αντικείμενο ενδιαφέροντος για την παρούσα εργασία. Ακολουθήθηκε λοιπόν μια λογική διατήρησης (ει δυνατόν με τη σωστή επιλογή αποσπασμάτων ήχου) του φυσικού ηχοχρώματος, ενώ οι ακροατές αξιολόγησαν τα όργανα όταν αυτά βρέθηκαν σε πλήρη μουσική και ηχητική απομόνωση.

Επιλέχθηκε οι ήχοι να είναι πανομοιότυποι σε τόνο, και συγκεκριμένα στην D#4, επειδή βρίσκεται γενικά στην περιοχή του μεσαίου ρετζίστρου και είναι μια νότα που όλα τα παραπάνω όργανα της έρευνας μπορούσαν να παίζουν.



Εικόνα 11. Η αρίθμηση των νοτών με νούμερα που χαρακτηρίζουν το ρετζίστρο τους. Βλέπουμε ότι η D#4 απέχει 3 ημιτόνια από το C4 [31]. Το C0 αντιστοιχεί στο πλήκτρο 4 του πιάνο.

Η διάρκεια των ήχων περιορίστηκε στο 1s για όλα τα όργανα, με απόσβεση 23 ms στο τέλος κάθε δείγματος. Η ένταση μεταξύ των αποσπασμάτων εξισώθηκε χειροκίνητα, δηλαδή με την ακουστική ευχέρεια των ερευνητών. Να σημειωθεί η εισαγωγή του ανθρώπινου παράγοντα στην επεξεργασία του ήχου και τα σφάλματα που ίσως αυτή να εισάγει στη διαδικασία. Από την άλλη, καθώς οι ήχοι προορίζονται για να ακουστούν από ακροατές, το σφάλμα αυτό είναι πιθανώς αμελητέο.

Όσον αφορά το δείγμα των ακροατών, το 13% από αυτούς που επέλεξαν οι ερευνητές δεν είχε ολοκληρωμένη επίσημη μουσική εκπαίδευση, ενώ το 26.67% είχε. Οι υπόλοιποι εθελοντές είχαν κατά μέσο όρο εκπαίδευση στη μουσική (θεωρητική και/ή πρακτική).

² Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, γίνεται εκτενής αναφορά στα διαθέσιμα ψυχοακουστικά μοντέλα παρακάτω στην εργασία.

Όλοι τους ανέφεραν τη μουσική σαν ένα χόμπι που διατηρούν για πολύ καιρό. Υπολογίστηκε η ενασχόληση με τη μουσική σύμφωνα με τις εκτιμώμενες ώρες ακρόασης μουσικής των εθελοντών ανά εβδομάδα (μέσος όρος 11.2 ώρες) και με τα χρόνια που έπαιζαν μουσική μέχρι και τη διεξαγωγή του πειράματος.

Οι επιλογές που δόθηκαν για να αντιστοιχηθούν με κάθε απόσπασμα ήχου ήταν: ευχάριστο ή δυσάρεστο (pleasant/unpleasant) για τη μεταβλητή του Σθένους, ενεργητικό ή κουρασμένο (awake/tired) για τη μεταβλητή της Ενέργειας και τεταμένο ή χαλαρό για τη μεταβλητή της Έντασης.

Η σειρά των αποσπασμάτων ήταν τυχαία για κάθε συμμετέχοντα και το πείραμα έγινε με υψηλής ποιότητας ακουστικά σε ήσυχο δωμάτιο.

2.2 Συγκριτική επιλογή ηχοχρώματος με βάση τη σύγκριση ως προς συγκεκριμένες μεταβλητές ψυχοακουστικού μοντέλου με 8 διαστάσεις.

Το πείραμα της [13] αποτελούνταν από τρεις ακουστικές δοκιμές, στις οποίες οι εθελοντές ακροατές κλήθηκαν να συγκρίνουν ζεύγη ήχων από διαφορετικά όργανα και να τα κατηγοριοποιήσουν σε διαφορετικά συναισθήματα. Η συγκεκριμένη μέθοδος ενδείκνυται για την απλότητα της. Οι ακροατές χρειάζονταν να συγκρατούν μόνο δύο ήχους για κάθε σύγκριση και στο τέλος έκαναν μια απλή, δυαδική επιλογή. Με αυτόν τον τρόπο χρειάστηκε ελάχιστη απομνημόνευση από τους ακροατές οι οποίοι μπορούσαν να δώσουν πιο “αυθόρμητες” απαντήσεις. Το να μην απαιτείται από τους ερωτηθέντες ιδιαίτερη προσπάθεια στη μνήμη και το να παραμένουν οι δοκιμές και αυτά που ζητούνται από αυτούς σε ένα απλό επίπεδο εξασφαλίζουν μια πιο οργανική απόκριση όσον αφορά τα συναισθήματα που τους προκύπτουν.

Συγκεκριμένα, σε κάθε δοκιμή, ο ακροατής άκουγε ένα ζευγάρι ήχων και έπρεπε να επιλέξει τον ήχο που προσεγγίζει περισσότερο μια δοσμένη συναισθηματική απόκριση. Κάθε συνδυασμός ανά δύο μουσικά όργανα παρουσιάστηκε στον ακροατή τέσσερις φορές για κάθε συναισθηματική κατηγορία³.

Οι ήχοι που μελετήθηκαν προέρχονταν από κρουστά όργανα ή πιτσικάτο παίξιμο. Υπενθυμίζεται πως αυτό σημαίνει ήχους με πολύ περιορισμένο, έως και ανύπαρκτο Sustain Phase.

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε άρπα, πιτσικάτο βιολί, πιτσικάτο κιθάρα, μαρίμπα, μεταλλόφωνο, ξυλόφωνο, τσέμπαλο και πιανο. Όλοι οι ήχοι αντλήθηκαν από βιβλιοθήκες με έτοιμα δείγματα για το κάθε όργανο. Επιλέχθηκε ο τόνος F4 στα 349.2 Hz, καθώς βρίσκεται εντός του εύρους όλων των οργάνων και όσο δυνατόν στο μέσο αυτού. Η άρπα έπαιξε στον τόνο E4 (329.6 Hz), ο τόνος κατέβηκε με τη βοήθεια του software Audacity. Να σημειωθεί πως η αλλαγή του τόνου εισάγει έναν ορισμένο βαθμό ασάφειας στο κατά πόσο ο ακροατής θα επηρεαστεί από άλλους παράγοντες εκτός από το ηχόχρωμα. Οι ήχοι που χρησιμοποιήθηκαν δεν πέρασαν από περαιτέρω επεξεργασία.

³ Υπενθυμίζεται πως η [13] χρησιμοποίησε πολυδιάστατο ακουστικό μοντέλο, με τις κατηγορίες: χαρούμενο, λυπητερό, ηρωικό, τρομακτικό, κωμικό, ντροπαλό, εύθυμο, καταθλιπτικό.

Η ένταση των ήχων εξισώθηκε ώστε να μην εισάγονται επιπλέον μεταβλητές στη διαδικασία. Αρχικά οι ήχοι κανονικοποιήθηκαν με κριτήριο το RMS πλάτος τους και έπειτα χειροκίνητα μέχρι το σημείο που οι ερευνητές έκριναν οι ίδιοι ότι οι ήχοι είχαν ίδια ένταση.

Η διάρκεια των ήχων διέφερε από δείγμα σε δείγμα, συγκεκριμένα από τα 5.6s μέχρι τα 0.9s ενώ σημαντικό στοιχείο είναι ότι όλα είχαν διαφορετική κλίση στο Decay Phase. Το Decay Phase παίζει σημαντικό ρόλο σε κρουστικούς ήχους μαζί με το Attack Phase και οι διαφορές στην κλίση αυτού από ήχο σε ήχο χαρακτηρίζει έντονα και τις αντίστοιχες διαφορές στο ηχόχρωμα.

Οι ήχοι περιορίστηκαν σε μέγιστη διάρκεια 1s, εισήχθη μια γραμμική απόσβεση της έντασης μέχρι τη σιωπή διάρκειας 30 ms ενώ όπου υπήρχε σιωπή πριν από κάποιο δείγμα αφαιρέθηκε. Η δειγματοληψία των ήχων ήταν στα 44100 Hz.

Το δείγμα της έρευνας ήταν 34 φοιτητές πολυτεχνικών σχολών με ηλικίες από 19 έως 26 χωρίς προβλήματα ακοής. Οι ακροατές τοποθετήθηκαν σε ένα ήσυχο δωμάτιο⁴. Τα ηχητικά σήματα μετατράπηκαν σε αναλογικά με μια κάρτα ήχου Sound Blaster X-Fi Xtreme Audio και κατέληγαν σε ακουστικά Sony MDR-7506 σε περίπου 75 dB ένταση. Η συγκεκριμένη κάρτα ήχου χρησιμοποιεί 24 bits με μέγιστη δειγματοληψία στα 96 kHz και έχει 108dB Sound to Noise Ratio. Στους εθελοντές δόθηκε φύλλο που περιείχε τους ορισμούς για τις 8 συναισθηματικές κατηγορίες, παρμένους απο το Cambridge Academic Content Dictionary.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, κάθε εθελοντής έκανε συγκρίσεις ανά ζεύγη ήχων στον υπολογιστή, για όλους τους συνδυασμούς οργάνων, για κάθε κατηγορία συναισθηματικής απόκρισης. Η όλη διαδικασία κράτησε 2 ώρες, ήταν δηλαδή ιδιαιτέρως εκτενής. Η κούραση των ακροατών πρέπει να ληφθεί υπόψιν στην ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Να σημειωθεί πως η κοινή ηχητική εγκατάσταση και συνδεσμολογία για όλους τους εθελοντές καθώς και το ότι η ακρόαση έγινε στον ίδιο χώρο με τα ίδια ακουστικά, επιτρέπει μια εισαγωγή συστηματικού σφάλματος το οποίο είναι κοινό για όλες τις δοκιμές, άρα ουσιαστικά ανούσιο για τα τελικά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, η συχνοτική απόκριση των ακουστικών να μην παραλλάζει ελαφρώς τον ήχο, αλλά κάνει το ίδιο για όλους τους ήχους και για όλες τις δοκιμές. Ένας άλλος τρόπος διασφάλισης των αρχικών χαρακτηριστικών του ήχου θα ήταν η ακρόαση με Studio Monitor headset με επίπεδη συχνοτική απόκριση.

Να σημειωθεί εδώ πως και η [4] χρησιμοποίησε την ίδια διαδικασία, εξαιρώντας από το δείγμα εθελοντές με προβλήματα στην ακοή. Δόθηκε επιπλέον έμφαση στο αν οι εθελοντές έχουν μουσική εκπαίδευση, και επιλέχθηκε να αποτελούν τον μισό πληθυσμό του δείγματος.

Η μέθοδος της [13], δηλαδή η δυαδική επιλογή μεταξύ δύο διαφορετικών ηχοχρωμάτων με κριτήριο το ποιο από τα δύο ηχοχρώματα “ικανοποιεί” καλύτερα την μεταβλητή (π.χ. στην [13], ποιο όργανο ακούγεται πιο ηρωικό) θα αποτελέσει τη βάση και για την μέθοδο της παρούσας εργασίας.

⁴ Με λιγότερο από 40dB περιβαλλοντικό θόρυβο. Ο θόρυβος που υπήρχε προερχόταν από τον κλιματισμό του δωματίου και τις ψήκτρες των υπολογιστών. Τα ακουστικά που χρησιμοποιήθηκαν από τους ακροατές περιόριζαν το θόρυβο ακόμα περισσότερο.



Εικόνα 12. Ενδεικτική εικόνα από το ερωτηματολόγιο της [4] και της [13].

2.3 Χρήση του μοντέλου Pleasantness - Activity - Potency.

Η [28] διεξήχθη με την βοήθεια 48 προπτυχιακών φοιτητών του University of Pennsylvania (25 άντρες και 23 γυναίκες), οι οποίοι συγκεντρώθηκαν από μαθήματα ψυχολογίας. Η συμμετοχή ήταν εθελοντική και με χρηματική αμοιβή. Οι εθελοντές χωρίστηκαν σε 4 ομάδες (7 άντρες και 6 γυναίκες στην πρώτη, 8 άντρες και 5 γυναίκες στη δεύτερη, 5 άντρες και 7 γυναίκες στην τρίτη και 5 άντρες και 5 γυναίκες στην τέταρτη). Κάθε ομάδα πέρασε από μια συνεδρία αξιολόγησης των ήχων.

Οι ερευνητές είχαν ενημερώσει τους ακροατές για τον στόχο της εργασίας, συγκεκριμένα ότι αφορά την συναισθηματική έκφραση στο λόγο και τη μουσική και ότι η δουλειά τους ήταν να κρίνουν τι είδους συναίσθημα παράγει ο κάθε συνθετικός ήχος. Τους προμήθευσαν με μια μπροσουρά η οποία περιείχε τις κλίμακες της αξιολόγησης και μια σειρά με την αριθμητική κωδικοποίηση των ηχητικών αποσπασμάτων. Πρώτα έπαιξαν δύο δοκιμαστικές συνθετικές ακολουθίες τις οποίες έπρεπε να αξιολογήσουν οι εθελοντές. Με αυτές τις δύο απόπειρες οι ερευνητές διασφάλισαν ότι είχε γίνει κατανοητή η διαδικασία της αξιολόγησης.

Στην πρώτη ακρόαση κάθε αποσπάσματος οι εθελοντές αξιολογούσαν τον ήχο με βάση 3 άξονες στο ψυχοακουστικό μοντέλο Pleasantness - Activity - Potency (όπως εμφανίζεται στην βιβλιογραφία). Στην δεύτερη ακρόαση αξιολογούσαν με βάση τα συναισθήματα που τους δόθηκαν. Τα αποσπάσματα παίχτηκαν από ηχεία και όχι από ακουστικά όπως έγινε με τις παραπάνω και συντέθηκαν από ένα MOOG synthesizer.

Το πείραμα της [29] χρησιμοποίησε 16 ακροατές από το Stanford University. Όλοι τους ήταν εκπαιδευμένοι μουσικά, μερικοί ήταν εκτελεστές υψηλού επιπέδου, άλλοι μαέστροι

και άλλοι συνθέτες. Μεγάλη μερίδα του δείγματος δήλωσαν ιδιαίτερος εξοικειωμένοι με την ηλεκτρονική μουσική.

Χρησιμοποιήθηκαν και εδώ ηχεία, σε απόσταση τριών μέτρων από τον ακροατή, ακριβώς απέναντι του, στη διαγώνιο ενός κατάλληλα ηχομονωμένου δωματίου. Το πείραμα κρατούσε δύο ώρες ανα ακροατή και αποτελούνταν από 573 δοκιμές το κάθε ένα. Στην πρώτη συνεδρία ο ακροατής αξιολογούσε αποσπάσματα εκ των οποίων τα πρώτα 30 ήταν δοκιμαστικά, ενώ στη δεύτερη συνεδρία ήταν τα πρώτα 15.

Σε κάθε δοκιμή ο ακροατής άκουγε τέσσερις τόνους, χωρισμένους χρονικά με τέτοιο τρόπο ώστε να δίνουν την εντύπωση δύο ζευγών. Πριν από κάθε δοκιμή προηγούνταν ένας κοφτός χτύπος διάρκειας 50 msec με σκοπό τον ακουστικό διαχωρισμό στο αυτί του ακροατή δύο διακριτών δοκιμών. Μετά τον χτύπο αυτό ακολουθούσαν 2 δευτερόλεπτα σιωπής και μετά το απόσπασμα της δοκιμής. Στο τέλος κάθε δοκιμής ο ακροατής είχε χρόνο 4 δευτερόλεπτα για να αξιολογήσει το δοκίμιο.

Τα αποσπάσματα αντλήθηκαν από 16 διαφορετικούς τόνους μουσικών οργάνων οι οποίοι ψηφιοποιήθηκαν μέσω synthesizer. Επιλέχθηκε ένα τονικό κέντρο κοντά στην Ε που βρίσκεται πάνω από το μεσαίο C (C4), συχνότητα περίπου στα 311Hz, με διάρκειες 280-400 msec. Η απαίτηση των ερευνητών να είναι οι ήχοι ίδιοι ως προς τη θεμελιώδη συχνότητα κάθε τόνου οδήγησε στο να παιχτούν τόνοι έξω από τα μεσαία ρετζίστρα κάποιων οργάνων. Για παράδειγμα, η Ε που προαναφέρθηκε προσεγγίζει το υψηλότερο εύρος στο τρομπόνι και το φαγκότο ενώ βρίσκεται στις χαμηλές νότες του φλάουτου. Από την άλλη, δεν βρίσκεται στο ακραίο εύρος κανενός οργάνου.

Οι παραπάνω ερευνητικές διαδικασίες, πέρα από επιμέρους διαφορές στη διεξαγωγή τους, εγείρουν ένα σημαντικό ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί προκειμένου να οργανωθεί βέλτιστα οποιοδήποτε σχετικό πείραμα. Είναι αυτό του κατάλληλου ψυχοακουστικού μοντέλου. Όπως δείχθηκε παραπάνω, τα τρία βασικότερα μοντέλα που χρησιμοποιούνται είναι το δυαδικό Happy/Sad (Χαρούμενο/Θλιμμένο) και τα πολυδιάστατα Valence, Energy and Tension Arousal και Pleasantness - Activity - Potency. Πρέπει να μελετηθούν συγκριτικά και να επιλεγεί το μοντέλο που θα εξυπηρετήσει καλύτερα το τρέχον πείραμα.

2.4 Ανάλυση και σύγκριση των ψυχοακουστικών μοντέλων για την αξιολόγηση ηχοχρώματος.

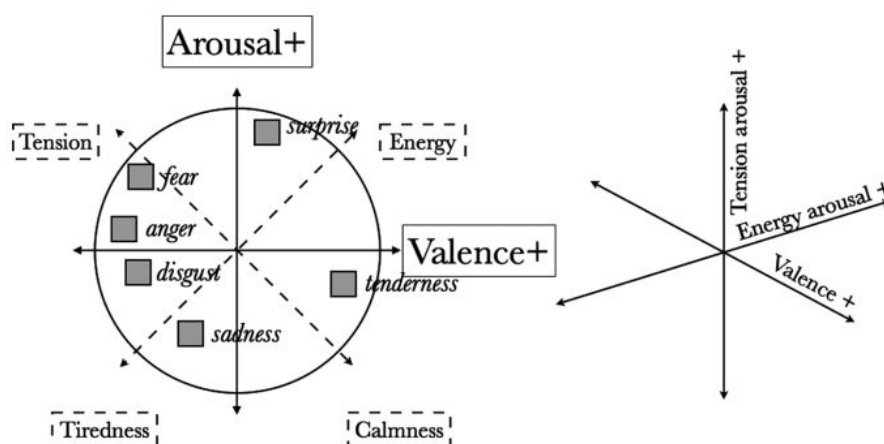
Η [33] είναι μια μεγάλη μελέτη έρευνα που πραγματοποιήθηκε με χρήση 110 αποσπασμάτων από μουσική κινηματογράφου και χρησιμοποίησε και τις δυο προσεγγίσεις όσον αφορά τα ψυχοακουστικά μοντέλα με σκοπό να συγκριθούν οι μεταξύ τους επιδόσεις.

Με βάση το διαδεδομένο διακριτό μοντέλο, όλα τα συναισθήματα μπορούν να εξαχθούν από ένα συγκεκριμένο αριθμό οικουμενικών, βασικών συναισθημάτων, όπως είναι ο φόβος, η οργή, η αποστροφή, η θλίψη, η χαρά. Το διακριτό μοντέλο λειτουργεί με βάση την υπόθεση ότι υπάρχει ένα ανεξάρτητο νευρικό σύστημα για κάθε ένα από αυτά τα διακριτά, βασικά συναισθήματα. Όσο και να συνάδει αυτό το συμπέρασμα με την ανθρώπινη διαίσθηση (ότι δηλαδή κάθε άνθρωπος βιώνει τα συναισθήματα αυτά με τον ίδιο τρόπο), φυσιολογικές έρευνες και έρευνες νευροαπεικόνισης δεν έχουν καταφέρει να καταλήξουν σε έμπιστα, συνεπή τεκμήρια προς υποστήριξη της υπόθεσης. Σε πολλές μελέτες που

αφορούν τη μουσική και το συναίσθημα, το διακριτό μοντέλο έχει συχνά προσαρμοστεί ώστε να περιγράφει καλύτερα τα συναισθήματα που συχνά εγείρει η μουσική, καθώς είναι αρκετά περιορισμένο στο να περιγράψει πιο ανάμικτα ή σύνθετα συναισθήματα.

Για παράδειγμα, βασικά συναισθήματα που σπάνια εκφράζονται μέσα από τη μουσική, όπως η αποστροφή, συχνά αντικαθίστανται από πιο ταιριαστά συναισθήματα, όπως η τρυφερότητα και η ηρεμία (tenderness and peacefulness στη βιβλιογραφία) [33], [34], [35]. Τα μοντέλα και οι θεωρίες σαν το διακριτό μοντέλο έχουν σχεδιαστεί για να περιγράφουν χρηστικά συναισθήματα [36] και παραμένει ζήτημα προς διευκρίνιση αν όντως μπορούν να εφαρμοστούν σε πλαίσια αισθητικής, όπως στη μουσική. Έρευνες έχουν επιχειρηματολογήσει ότι μερικά βασικά και πρωτόλεια συναισθήματα μοιάζουν ανεπαρκή στο να περιγράψουν τον πλούτο των συναισθηματικών επιρροών που γεννά η μουσική [37]. Η [37] πρότεινε ένα νέο μοντέλο για συναισθήματα που προκύπτουν από τη μουσική, συλλέγοντας αντίστοιχους όρους και αποκαλύπτοντας την υποβόσκουσα συναισθηματική δομή τους. Αποτέλεσμα ήταν η Geneva Emotion Music Scale (GEMS), μια κλίμακα 9 διαβαθμίσεων, αποτελούμενη από θαυμασμό, υπερβατικότητα, τρυφερότητα, νοσταλγία, ηρεμία, δύναμη, εύθυμη ενεργοποίηση, ένταση και θλίψη (στη βιβλιογραφία ως wonder, transcendence, tenderness, nostalgia, peacefulness, power, joyful activation, tension and sadness). Για σχετικές μελέτες, το μοντέλο αυτό τονίζει τις θετικές και εσωτερικές πτυχές των συναισθημάτων που προκαλεί η μουσική. Αν και δείχθηκε ότι το GEMS αποδίδει καλύτερα από το διακριτό και το πολυδιάστατο μοντέλο για την αξιολόγηση των συναισθημάτων στη μουσική, η [33] αμφισβητεί τα εν λόγω αποτελέσματα και υποστηρίζει ότι συγκρίθηκαν βασικά συναισθήματα με την GEMS κλίμακα με ανακριβή τρόπο ενώ η έρευνα στηρίχθηκε σε πολύ γνωστά κλασικά κομμάτια μουσικής. Η οικειότητα του ακροατή με τα εν λόγω κομμάτια καθώς και η βιωματική τους σύνδεση με καταστάσεις ή αναμνήσεις είναι ικανά να επηρεάσουν το δείγμα.

Τα δισδιάστατα συναισθηματικά μοντέλα, αντί για ένα ανεξάρτητο νευρικό σύστημα για κάθε βασικό συναίσθημα, προτείνουν ότι όλες οι συναισθηματικές καταστάσεις προκύπτουν από δύο ανεξάρτητα νευρικά συστήματα. ένα που σχετίζεται με το σθένος (που ορίζεται ως ένα φάσμα ικανοποίησης και μη ικανοποίησης) και το άλλο με τη διέγερση (ενεργοποίηση/απενεργοποίηση). Με άλλα λόγια, η υπόθεση είναι ότι όλα τα συναισθήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν σαν ένας συνδυασμός διαφορετικών βαθμών σθένους και διέγερσης. Αντίθετα, η [38] προτείνει ότι οι δύο υποβόσκουσες διαστάσεις συναισθηματικής επιρροής είναι δύο διαφορετικές διαστάσεις διέγερσης. Η ενεργητική διέγερση και η διέγερση έντασης (energetic and tension arousal). Με βάση αυτό, το σθένος μπορεί να αναλυθεί ως διαφορετικοί συνδυασμοί ενεργητικής διέγερσης και διέγερσης έντασης.



Εικόνα 13. Απεικόνιση των διαφορετικών πολυδιάστατων μοντέλων με σημειωμένα τα διακριτά σημεία [33].

Όσον αφορά τη μουσική, η [35] βρήκε πώς τα αποσπάσματα που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα μπορούσαν να χαρτογραφηθούν σε ένα δισδιάστατο επίπεδο όπου οι διαστάσεις μπορούσαν να εξηγηθούν καλύτερα με όρους ενέργειας και έντασης. Από την άλλη, τα δισδιάστατα μοντέλα έχουν κατηγορηθεί για έλλειψη διαφοροποίησης για τα συναισθήματα που βρίσκονται κοντά στο χώρο του σθένους-ενεργοποίησης, όπως ο θυμός και ο φόβος [39]. Υπάρχει επίσης και το επιχείρημα ότι τα δισδιάστατα μοντέλα δεν μπορούν να αναπαραστήσουν κατάλληλα την ποικιλία των συναισθημάτων που γεννά η μουσική [39], [40].

Δύο ενδιαφέροντα ευρήματα της πρόσφατης βιβλιογραφίας [41], [42], [43], καθιστούν τη σύγκριση και την προσεκτική επιλογή ψυχοακουστικού μοντέλου ακόμα πιο επιτακτική. Μελέτες που έγιναν με ασθενείς που έχουν υποστεί εγκεφαλική βλάβη βρήκαν αδυναμία σύνδεσης εκ μέρους των ασθενών μεταξύ των διακριτών και πολυδιάστατων μοντέλων, πράγμα που υπονοεί ότι διαφορετικές νευρικές διεργασίες επιβάλλονται για την αξιολόγηση με βάση διαφορετικά μοντέλα. Επίσης έχει δείχθει ότι ένας ακροατής είναι δυνατό να αισθάνεται διαφορετικά συναισθήματα, θετικά και αρνητικά ταυτόχρονα όταν έρχεται σε επαφή με συνθέσεις και ήχους με ανάμεικτα (απο τη συναισθηματική πλευρά) στοιχεία [44].

Η σύγκριση της [33] απέδωσε εν τέλει αποτελέσματα με ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Αν και διαισθητικά το διακριτό μοντέλο θα έπρεπε να είναι πιο συνεπές λόγω της ξεκάθαρης συναισθηματικής ορολογίας που χρησιμοποιεί (θυμός, θλίψη κ.λ.π.). Αντιθέτως, η μέση συνέπεια για το διακριτό και τα πολυδιάστατα μοντέλα που δοκιμάστηκαν δεν παρουσίασαν ιδιαίτερες διαφορές. Όπως ήταν αναμενόμενο όμως, το διακριτό μοντέλο υστερούσε από άποψη αξιοπιστίας όταν είχε να κάνει με ανάμεικτα συναισθήματα, άρα δεν ενδείκνυται για έρευνες που στοχεύουν στη μελέτη αυτών. Πέρα όμως από την περιορισμένη διακριτική ικανότητα του διακριτού μοντέλου, οι δυο ψυχοακουστικές προσεγγίσεις δείχνουν να φέρουν συγκρίσιμα αποτελέσματα όταν καλούνται να διαχειριστούν ένα μεγάλο δείγμα απαντήσεων, ενώ η [33] τονίζει ότι προκύπτουν ακόμα πιο συγκλίνοντα αποτελέσματα όταν μιλάμε για μουσικά δείγματα που συντίθενται για τις ανάγκες της εκάστοτε έρευνας.

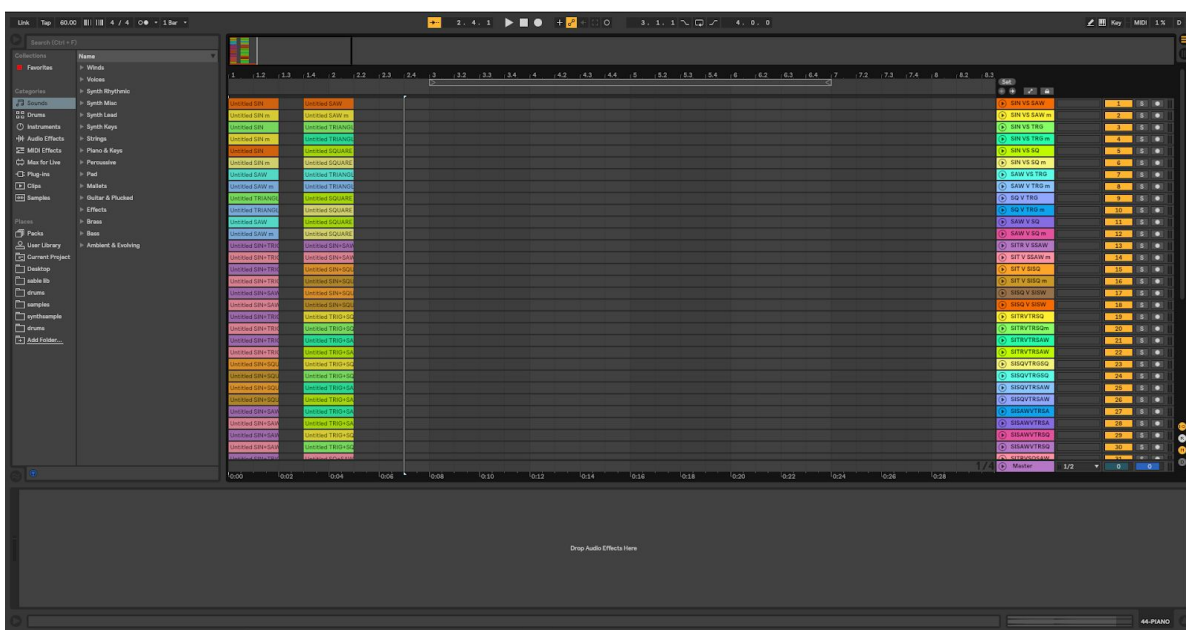
Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, θα χρησιμοποιηθεί το δυαδικό διακριτό μοντέλο Happy/Sad. Παρά τους περιορισμούς του, η απλότητα του αποτελεί ιδιαίτερα χρήσιμο προτέρημα, όχι μόνο για να διευκολύνει την ανάλυση αλλά και για τους πρακτικούς λόγους διεξαγωγής της έρευνας. Οι ακροατές απαντούν στο ερωτηματολόγιο χωρίς να έχουν άμεση επαφή με τον ερευνητή. Η χρήση όρων όπως “σθένος”, “ένταση”, “διέγερση” είναι πολύ πιθανό να μπερδέψουν τον ακροατή χωρίς να υπάρχει

***ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ ΚΑΙ
ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ***

3.1 Σύνθεση των ηχητικών αποσπασμάτων προς αξιολόγηση.

Στα πλαίσια της ερευνητικής διαδικασίας, κατασκευάστηκε ένα ερωτηματολόγιο το οποίο ζητούσε από τους ερωτηθέντες να αξιολογήσουν συγκεκριμένα αποσπάσματα ήχου σε σχέση με τα συναισθήματα που τους προκαλούν.

Αρχικά, τα αποσπάσματα κατασκευάστηκαν από την αρχή στο περιβάλλον Ableton Live 10. Πρόκειται για ένα Digital Audio Workspace (DAW) επεξεργασίας ήχου με ιδιαίτερη έμφαση στην δημιουργία ηλεκτρονικής μουσικής.



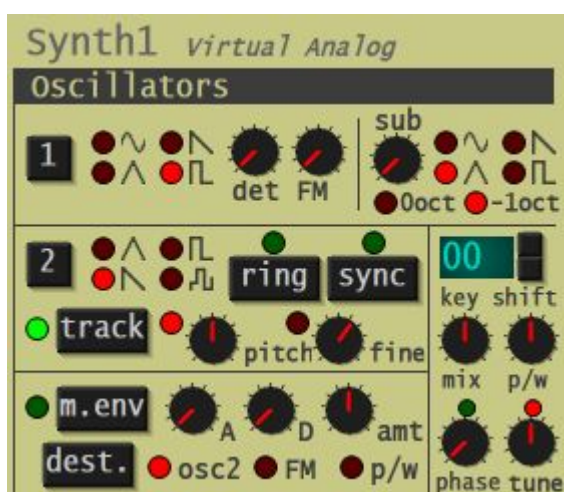
Εικόνα 14. Μια γενική εικόνα του project που δημιουργήθηκε στο Ableton Live 10.

Οι ήχοι αποτελούν πιστές προσομοιώσεις αναλογικού synthesizer και δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος (Vst plug in, 64 bit) Synth1, από τον developer Daichi Laboratory (Ichiro Toda).



Εικόνα 15. Το Synth1, η προσομοίωση του αναλογικού Synthesizer που χρησιμοποιήθηκε.

Όπως φαίνεται και από την παραπάνω εικόνα, το Synth1 χρησιμοποιεί δύο ταλαντωτές, με τις δεδομένες επιλογές ημιτονικού, πριονικού, τριγωνικού και τετραγωνικού παλμού, καθώς και την επιλογή για την ενσωμάτωση λευκού θορύβου.

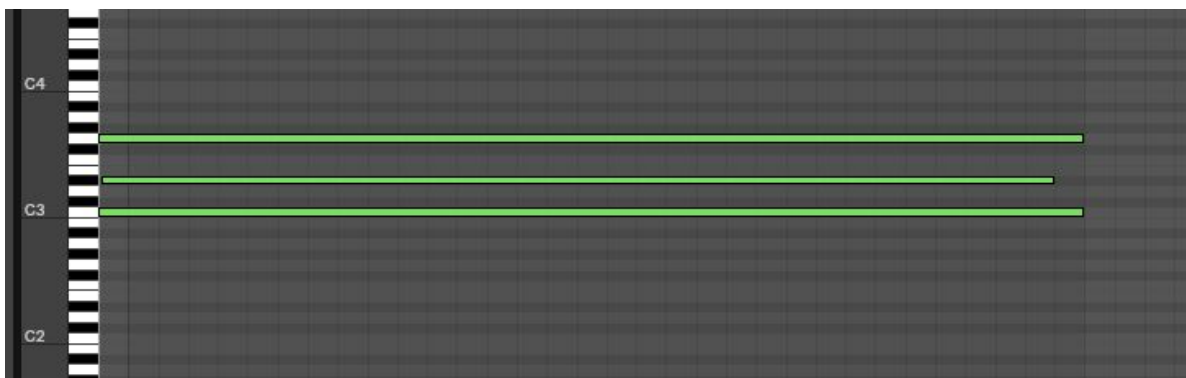


Εικόνα 16. Οι ταλαντωτές που παρέχει το Synth1.

Η χρήση των ταλαντωτών στο Synth1 είναι αρκετά απλή. Ο επιλογέας mix που φαίνεται στο κάτω δεξιά μέρος της εικόνας καθορίζει την ένταση με την οποία θα συμμετέχει ο κάθε ταλαντωτής (άρα και η κυματομορφή που παράγει) στο τελικό ηχητικό αποτέλεσμα. Αν ο επιλογέας βρίσκεται στη θέση της εικόνας, δηλαδή ακριβώς στη μέση, οι δύο κυματομορφές θα έχουν την ίδια ένταση στον τελικό ήχο. Αν ο επιλογέας βρεθεί στην ακραία αριστερή θέση, ο πρώτος ταλαντωτής θα έχει μέγιστη ένταση και ο δεύτερος μηδενική. Το ακριβώς ανάποδο θα γίνει αν ο επιλογέας βρεθεί στην ακραία δεξιά θέση.

Με αυτή τη διαδικασία δημιουργήθηκαν όλοι οι συνδυασμοί που επιτρέπουν οι δύο ταλαντωτές, εξαιρώντας την επιλογή του λευκού θορύβου, σύνολο 10 διαφορετικά ηχοχρώματα, τα 4 εκ των οποίων είναι μόνες τους οι κυματομορφές.

Αφού δημιουργήθηκαν τα ηχοχρώματα, επιλέχθηκε ο τρόπος με τον οποίον θα συγκριθούν ως προς τη συναισθηματική απόκριση. Για την ανάγκη αυτή, παίχτηκαν με κάθε ηχοχρώμα δύο διαφορετικές συγχορδίες. Μια μείζονα (Major) συγχορδία και μια ελάσσονα (Minor) ίδιας τονικότητας, με την πρώτη νότα να είναι το τρίτο ντο του πιάνο, δηλαδή η C3 (138 Hz). Η τονικότητα επιλέχθηκε γιατί το C3 δεν βρίσκεται σε κάποια ακραία θέση του ηχητικού φάσματος. Όπως εξηγήθηκε, η μείζονα και η ελάσσονα συγχορδία χαρακτηρίζονται στη δυτική μουσική ως a priori χαρούμενες και λυπημένες αντίστοιχα. Οι συγχορδίες παίχτηκαν στο MIDI (Musical Instrument Digital Interface) keyboard Alesis V Mini κατευθείαν μέσα στο Ableton Live 10 .



Εικόνα 17. Εικόνα από το Ableton Live 10 μιας ελάσσονας συγχορδίας που παίχτηκε στο Alesis V Mini σε Midi περιβάλλον, πριν διορθωθούν εκτελεστικά λάθη.

Οι πράσινες γραμμές αναπαριστούν τις νότες που παίχτηκαν από τον μουσικό, ενώ το μήκος τους υποδηλώνει τη διάρκεια των νοτών. Όπως φαίνεται στην εικόνα, η μεσαία νότα Mi ύφεση (Eb) διαρκεί ελάχιστα λιγότερο από τις υπόλοιπες. Αυτό αποτελεί σφάλμα από πλευράς του μουσικού που ηχογράφησε τη συγκεκριμένη συγχορδία. Τέτοια σφάλματα υπόκεινται στα πλαίσια του ανθρώπινου παιξίματος της μουσικής, όμως στην περίπτωση μας το ανθρώπινο σφάλμα αφαιρέθηκε από τις εκτελέσεις για να αποφευχθούν τυχόντα συστηματικά σφάλματα στις αποκρίσεις των θεατών. Χαρακτηριστικό είναι για παράδειγμα το εικονιζόμενο σφάλμα. Η νότα που σταμάτησε να ακούγεται πιο γρήγορα είναι η νότα

που μουσικά προσδίδει το χαρούμενο ή θλιμμένο περιεχόμενο στις μείζονες και ελάσσονες συγχορδίες [30].

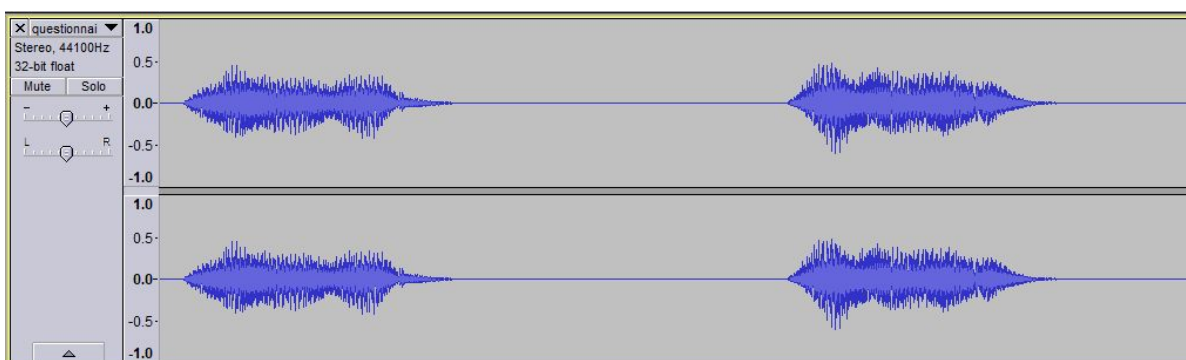
Το MIDI περιβάλλον του Ableton Live 10 επιτρέπει άμεση επεξεργασία των παικτικών λαθών όταν αυτά αφορούν τη διάρκεια και την τονικότητα μιας νότας.



Εικόνα 18. Η ίδια ελάσσονα συγχορδία ύστερα από χρονική επεξεργασία του MIDI δεδομένου.

Οι λεπτομέρειες της επεξεργασίας που ακολουθήθηκε για να εξαλειφθούν τα λάθη στην εκτέλεση δεν θα αναλυθούν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, καθώς αφορούν τον χειρισμό του Ableton Live 10.

Σε αυτή τη φάση της διαδικασίας, το κάθε ηχόχρωμα παίζει μια μείζονα και μια ελάσσονα συγχορδία διαδοχικά. Με τη βοήθεια του προγράμματος επεξεργασίας ήχου Audacity, δημιουργήθηκαν όλα τα δυνατά ζεύγη ηχοχρωμάτων με τέτοιο τρόπο ώστε ο ακροατής να ακούει μια μείζονα συγχορδία με ένα ηχόχρωμα και ύστερα από λίγο χρόνο σιωπής να ακούει μια μείζονα συγχορδία με ένα διαφορετικό ηχόχρωμα. Το ίδιο ακριβώς έγινε για όλα τα ηχοχρώματα και για τις ελάσσονες συγχορδίες. Συγκεκριμένα, κάθε συγχορδία διαρκούσε ένα δευτερόλεπτο, ενώ οι συγχορδίες χωρίστηκαν με ενάμισι δευτερόλεπτο σιωπής. Στην αρχή του κάθε αποσπάσματος προηγούνταν σιωπή 150ms και στο τέλος σιωπή 400ms. Όλοι οι χρόνοι επιλέχθηκαν λαμβάνοντας υπόψη, όσο αυτό ήταν δυνατό, έναν συνολικό συμβιβασμό με τους αντίστοιχους χρονισμούς που προτείνει η βιβλιογραφία που παρουσιάστηκε.



Εικόνα 19, Εικόνα από τη διαδικασία επεξεργασίας των ήχων στο περιβάλλον Audacity.

3.2 Το ερωτηματολόγιο και οι προκαταρκτικές ερωτήσεις.

Ο ακροατής άκουγε έναν συνδυασμό κυματομορφών να παίζουν μια μείζονα ή ελάσσονα συγχορδία και ύστερα από σιωπή έναν διαφορετικό συνδυασμό να παίζει την ίδια ακριβώς συγχορδία. Όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί απέδωσαν 42 ηχητικά αποσπάσματα. Η μορφή της σύγκρισης ουσιαστικά ήταν “χαρούμενο-χαρούμενο” και “θλιμμένο-θλιμμένο”. Σε αυτό το πλαίσιο, ο ακροατής έπρεπε να διαλέξει ποιά από τις δύο συγχορδίες ήταν περισσότερο χαρούμενη ή θλιμμένη. Με βάση τη βιβλιογραφία, αφού απουσιάζει κάθε μουσικό πλαίσιο, σύνθεση, ρυθμός, αρμονία, μελωδία, απομονώνεται σε έναν μεγάλο βαθμό η συναισθηματική απόκριση σε σύνδεση με το ηχόχρωμα, άρα και με τις κυματομορφές που αποτελούν το κάθε ένα. Θα γίνει έτσι δυνατό να εντοπιστούν ποιές κυματομορφές έχουν καλύτερη “επίδοση” στις χαρούμενες και θλιμμένες συγχορδίες, με κριτήριο αν τις κάνουν πιο χαρούμενες ή πιο θλιμμένες από ότι τις κάνουν άλλες κυματομορφές. Σε ένα παραπάνω στάδιο αφαίρεσης λοιπόν, θα μπορούσε να εξαχθεί σύνδεση μεταξύ του χαρακτηρισμού “χαρούμενος/θλιμμένος” και των κυματομορφών.

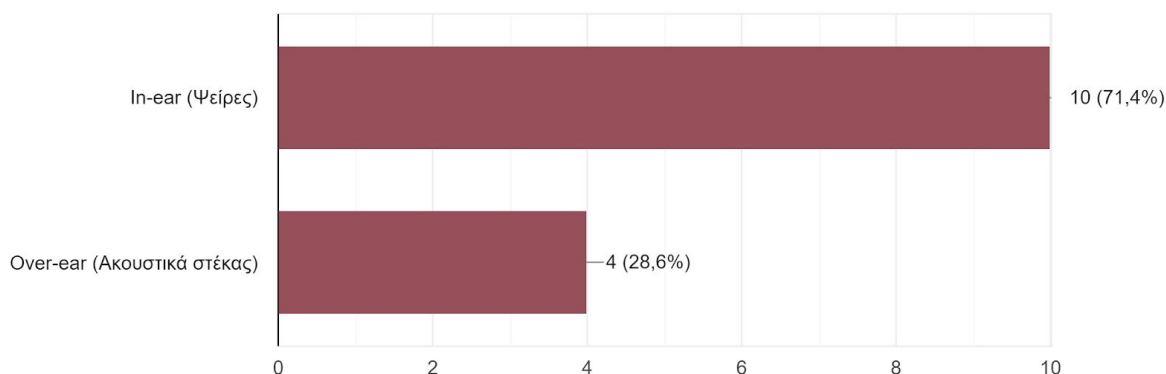
Το ερωτηματολόγιο δημιουργήθηκε στα Google Forms και αποτελούνταν ουσιαστικά από δύο σκέλη, το ένα ήταν προκαταρκτικό και το δεύτερο ήταν το βασικό κομμάτι.



Εικόνα 20. Το ενημερωτικό μήνυμα στην αρχή του πρώτου μέρους.

Όπως φαίνεται και στην εικόνα, ζητήθηκε από τους εθελοντές να χρησιμοποιήσουν ακουστικά για τη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου. Ρωτήθηκαν επίσης αν θα χρησιμοποιήσουν ακουστικά στέκας ή ψείρες και συμπλήρωσαν και τη μάρκα των ακουστικών. Αρχικά, επιλέχθηκε να είναι υποχρεωτικά τα ακουστικά για να προσεγγιστούν παρόμοιες συνθήκες ακρόασης για τον κάθε εθελοντή, όπως σε όλες τις έρευνες της βιβλιογραφίας. Ήταν δυστυχώς πέραν των δυνατοτήτων της παρούσας εργασίας να κληθούν οι εθελοντές σε συνεχόμενες συνεδρίες σε ελεγχόμενο χώρο με συγκεκριμένο εξοπλισμό.

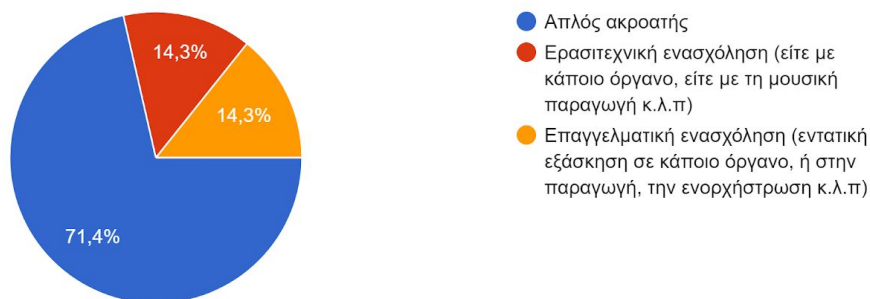
Τι είδους ακουστικά σκοπεύετε να χρησιμοποιήσετε για τη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου;
14 απαντήσεις



Εικόνα 22. Στο συνολικό δείγμα 14 εθελοντών, πάνω από το 70% χρησιμοποίησε ακουστικά τύπου ψείρας.

Από μάρκες, οι απαντήσεις έδειξαν ότι υπήρχαν 4 Samsung, 2 Sony, 2 Huawei, και έπειτα από ένα Nokia, Riversong, Senheiser, Yankee, iLuv και Philipps.

Ποια είναι η σχέση σας με τη μουσική;
14 απαντήσεις

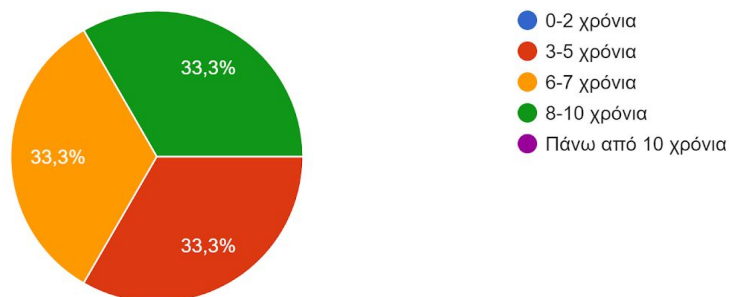


Εικόνα 23. Η μουσική εκπαίδευση του δείγματος.

Στη συνέχεια, όπως φαίνεται και παραπάνω, οι εθελοντές ερωτήθηκαν σχετικά με τη σχέση τους με τη μουσική, όπως η [1]. Το 71,4% δήλωσαν απλοί ακροατές, χωρίς να έχουν ποτέ εκπαιδευτεί επαγγελματικά στην μουσική παραγωγή, σε κάποιο μουσικό όργανο κ.λ.π.

Από αυτούς που έχουν λάβει κάποια μουσική εκπαίδευση, δηλαδή το 28.6%, οι δύο ήταν επαγγελματίες μουσικοί (στην εικόνα με πορτοκαλί και πράσινο) ενώ ο τρίτος ερασιτέχνης.

Αν ασχολείστε ερασιτεχνικά ή επαγγελματικά, συμπληρώστε τη χρονική διάρκεια της ενασχόλησης σας με αυτόν τον τρόπο. Αν είστε απλός ακροατής, αφήστε την ερώτηση κενή.
3 απαντήσεις



Εικόνα 24. Η κατανομή των εθελοντών που έχουν εκπαιδευτεί μουσικά.

Στη συνέχεια, ακολούθησαν δύο δοκιμαστικές ακουστικές ερωτήσεις. Με την ίδια στρατηγική που κατασκευάστηκαν τα ηχοχρώματα και τα αποσπάσματα, φτιάχτηκαν δύο αποσπάσματα με πιάνο, τα οποία όμως έπαιζαν μια μείζονα και μια ελάσσονα συγχορδία στο ίδιο απόσπασμα. Ο ακροατής έπρεπε να εντοπίσει την χαρούμενη συγχορδία. Αν κάποιος απαντούσε λάθος σε αυτές τις δύο πρώτες ερωτήσεις δεν του επιτρεπόταν να προχωρήσει στο δεύτερο μέρος και το ερωτηματολόγιο για εκείνον σταματούσε εκεί. Αυτό έγινε για να κρατηθεί ένα δείγμα των πιο συγκεντρωμένων ακροατών. Τέσσερα άτομα εξαιρέθηκαν από το δείγμα μέσω αυτής της διαδικασίας, ενώ δέκα προχώρησαν στην πλήρη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου.

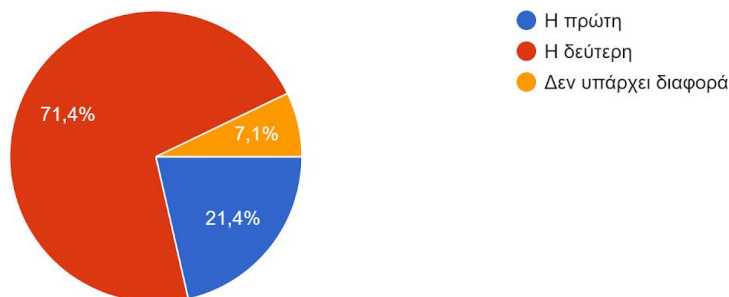
Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι η χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/u5b855e>
14 απαντήσεις



Εικόνα 25. Η πρώτη δοκιμαστική ερώτηση, με 100% ποσοστό επιτυχίας.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι η χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/rpxl82>

14 απαντήσεις



Εικόνα 26. Η δεύτερη δοκιμαστική ερώτηση, όπου 4 εθελοντές απάντησαν λανθασμένα.

Οι εθελοντές που λανθασμένα θεώρησαν τη δεύτερη δοκιμαστική ερώτηση ως “χαρούμενη” δήλωσαν όλοι τους απλοί ακροατές. Οι επαγγελματίες μουσικοί και ο ερασιτέχνης την αναγνώρισαν σωστά ως , ενώ όλοι οι εθελοντές αναγνώρισαν σωστά την πρώτη δοκιμαστική ερώτηση.

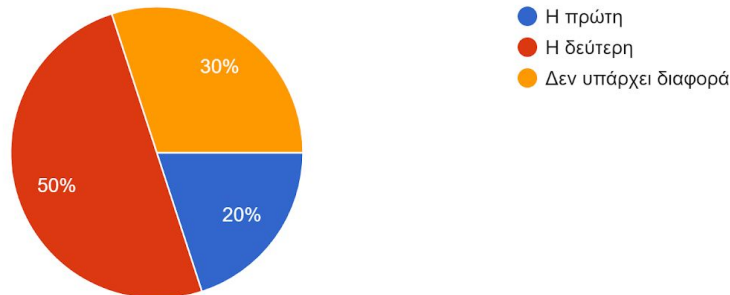
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται όλες οι κυματομορφές και οι συνδυασμοί, μαζί με κάποιες συντομεύσεις που θα χρησιμοποιήθουν ώστε να περιγραφούν οι συγκρίσεις και τα αποτελέσματα με πιο κατανοητό τρόπο.

ΗΧΟΣ	ΣΥΜΒΟΛΟ
Ημίτονο	Sin
Τρίγωνο	Trig
Πριονικό	Saw
Τετράγωνο	Sq
Ημίτονο με Τρίγωνο	SinTrig
Ημίτονο με Πριονικό	SinSaw
Ημίτονο με Τετράγωνο	SinSq
Τρίγωνο με Πριονικό	TrigSaw
Τρίγωνο με Τετράγωνο	TrigSq
Πριονικό με Τετράγωνο	SawSq

3.3 Οι απαντήσεις των ακροατών.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι λιγότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/vwrh5r3>

10 απαντήσεις

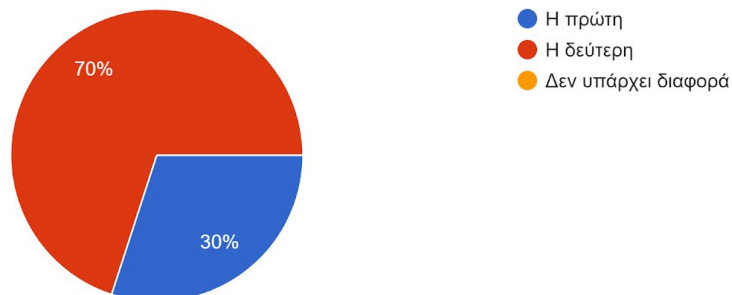


Εικόνα 27. Ερώτηση 1.

- Σύγκριση: Τετραγωνικός με Τριγωνικό σε ελάσσονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 50% απάντησε πως ο τριγωνικός έκανε τη συγχορδία λιγότερο θλιμμένη, το 30% δεν άκουσε διαφορά, ενώ το 20% απάντησε πως ο τετραγωνικός έκανε τη συγχορδία λιγότερο θλιμμένη.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/shhmobn>

10 απαντήσεις

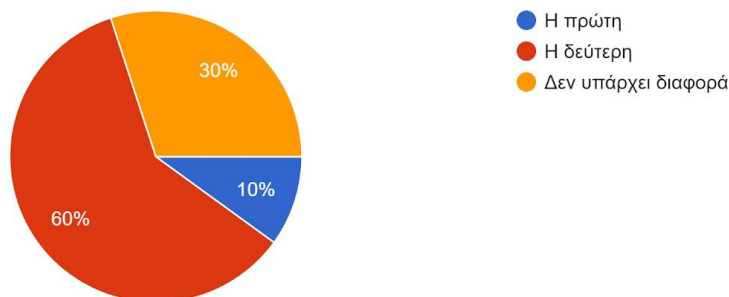


Εικόνα 28. Ερώτηση 2.

- Σύγκριση: Τετραγωνικός με Τριγωνικό σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 70% απάντησε ότι ο τριγωνικός κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, το 30% απάντησε ότι ο τετραγωνικός κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη. Παρατηρείται συνέπεια στις ερωτήσεις 1-2.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/ro9vlp5>

10 απαντήσεις

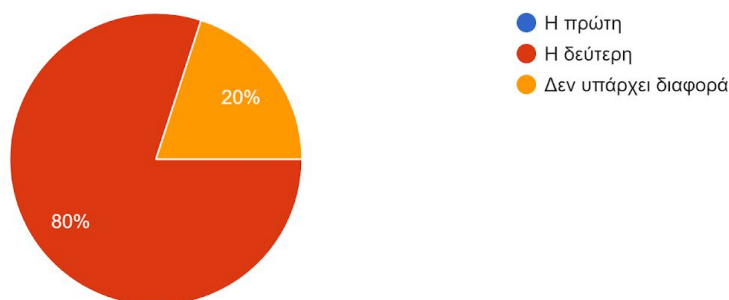


Εικόνα 29. Ερώτηση 3.

- Σύγκριση: Προιωντός με Τετραγωνικό σε ελάχιστο συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 60% απάντησε πως ο τετραγωνικός έκανε τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη, το 30% δεν άκουσε διαφορά, ενώ το 10% απάντησε πως ο προιωντός έκανε τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι λιγότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/tztjpp>

10 απαντήσεις

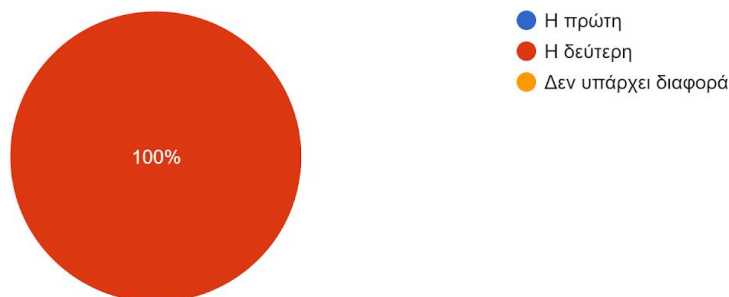


Εικόνα 30. Ερώτηση 4.

- Σύγκριση: Προιωντός με Τετραγωνικό σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 80% απάντησε πως ο τετραγωνικός έκανε τη συγχορδία λιγότερο χαρούμενη, ενώ το 20% δεν άκουσε διαφορά. Παρατηρείται συνέπεια στις ερωτήσεις 3-4.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/ttklvhr>

10 απαντήσεις

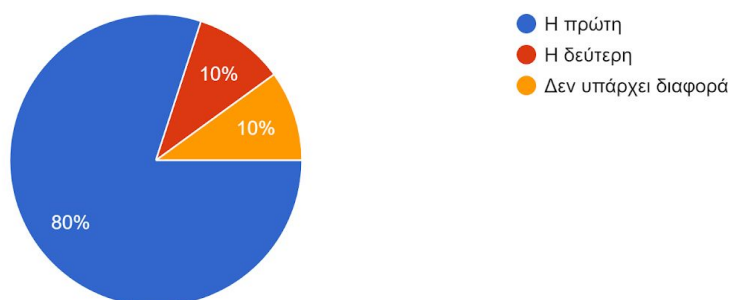


Εικόνα 31. Ερώτηση 5.

- Σύγκριση: Πριονωτός με Τριγωνικό σε ελάσσονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 100% απάντησε πως ο τριγωνικός έκανε τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/thsvaag>

10 απαντήσεις



Εικόνα 32. Ερώτηση 6.

- Σύγκριση: Πριονωτός με Τριγωνικό σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 80% απάντησε πως ο πριονωτός έκανε τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, το 10% πως ο τριγωνικός έκανε τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη ενώ το 10% δεν άκουσε διαφορά. Παρατηρείται συνέπεια στις ερωτήσεις 5-6.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/whj9hkm>

10 απαντήσεις

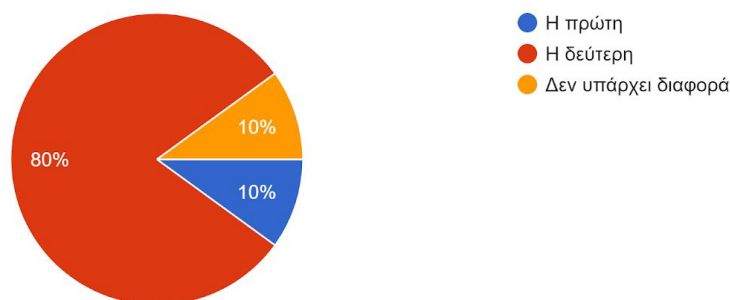


Εικόνα 33. Ερώτηση 7.

- Σύγκριση: Ημιτονικός με Πριονωτό σε ελάσσονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 100% απάντησε πως ο ημιτονικός έκανε τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/wq3fccca>

10 απαντήσεις



Εικόνα 34. Ερώτηση 8.

- Σύγκριση: Ημιτονικός με Πριονωτό σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 80% απάντησε πως ο πριονωτός έκανε τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, το 10% απάντησε πως ο ημιτονικός έκανε τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, το 10% δεν άκουσε διαφορά. Παρατηρείται συνέπεια στις ερωτήσεις 7-8.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/upxf7je>

10 απαντήσεις

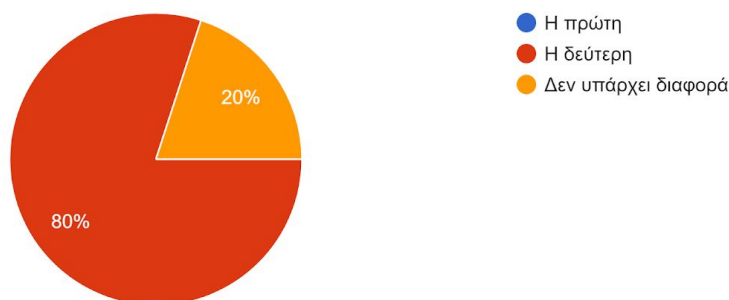


Εικόνα 35. Ερώτηση 9.

- Σύγκριση: Ημιτονικός με Τετραγωνικό σε ελάσσονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 100% απάντησε πως ο ημιτονικός έκανε τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/wy4dag2>

10 απαντήσεις

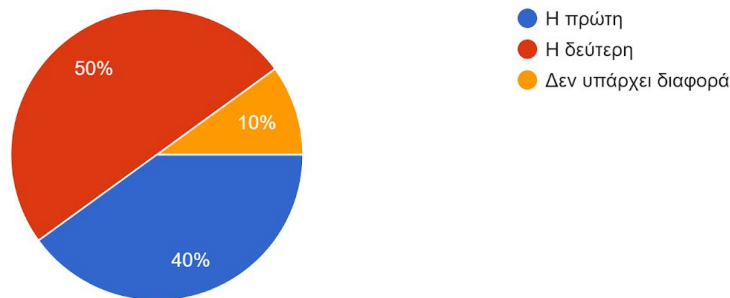


Εικόνα 36. Ερώτηση 10.

- Σύγκριση: Ημιτονικός με Τετραγωνικό σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 80% απάντησε πως ο τετραγωνικός έκανε τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, ενώ το 20% δεν άκουσε διαφορά. Παρατηρείται συνέπεια στις ερωτήσεις 9-10.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/wjeaxar>

10 απαντήσεις

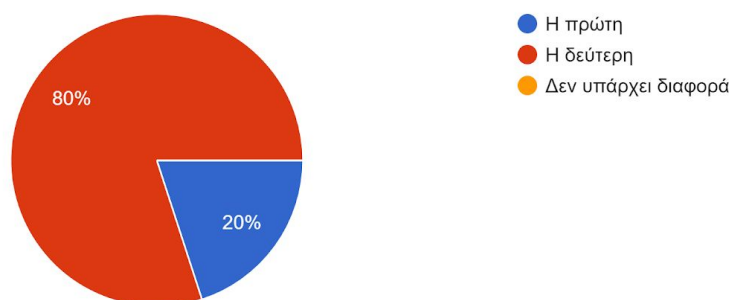


Εικόνα 37. Ερώτηση 11.

- Σύγκριση: Ημιτονικός με Τριγωνικό σε ελάσσονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 50% απάντησε πως ο τριγωνικός έκανε τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη, το 40% απάντησε πως ο ημιτονικός έκανε τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη, ενώ το 10% δεν άκουσε διαφορά. Πρόκειται για μια από τις ερωτήσεις που δίχασαν το δείγμα περισσότερο.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/tbc3yxm>

10 απαντήσεις

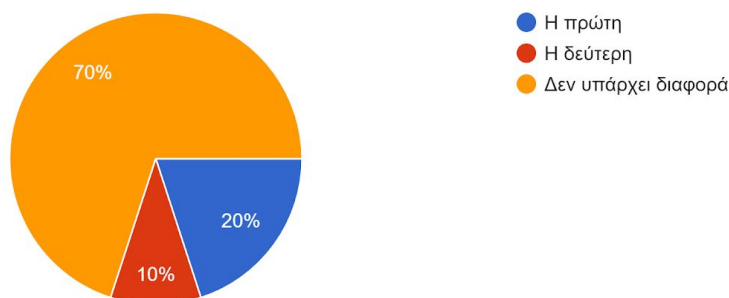


Εικόνα 38. Ερώτηση 12.

- Σύγκριση: Ημιτονικός με Τριγωνικό σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 80% απάντησε πως ο τριγωνικός έκανε τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, το 20% απάντησε πως ο ημιτονικός έκανε τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη. Ενώ το δείγμα στη σύγκριση ημιτονικού και τριγωνικού ήταν διχασμένο όσον αφορά το ελάσσον περιβάλλον, φαίνεται να τάσσεται ξεκάθαρα υπέρ του τριγωνικού όσον αφορά το μείζον περιβάλλον σε σχέση με το ημίτονο.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/ttagddw>

10 απαντήσεις

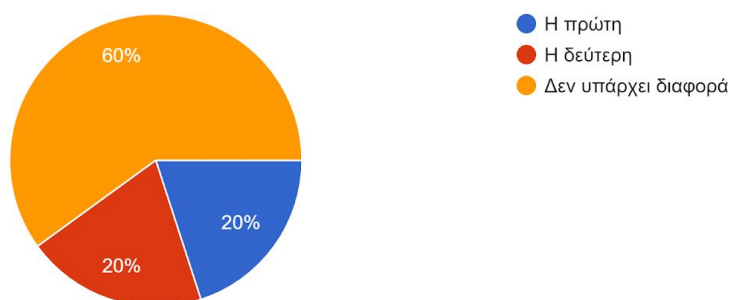


Εικόνα 39. Ερώτηση 13.

- Σύγκριση: Ηχώχρωμα SinSaw με ηχώχρωμα TrigSaw σε ελάσσονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 70% απάντησε πως δεν υπάρχει διαφορά. Το 20% απάντησε πως το SinSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη, ενώ το 10% πως το TrigSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/r4hsowa>

10 απαντήσεις



Εικόνα 40. Ερώτηση 14.

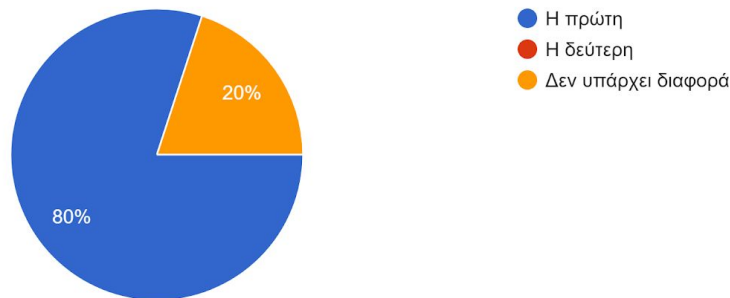
- Σύγκριση: Ηχώχρωμα SinSaw με ηχώχρωμα TrigSaw σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 60% απάντησε πως δεν υπάρχει διαφορά. Το 20% απάντησε πως το SinSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, ενώ το 20% πως το TrigSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη.

Όσον αφορά τα δυο αυτά ηχοχρώματα, η πλειοψηφία του δείγματος απάντησε ότι δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ τους, είτε σε μείζον είτε σε ελάσσον περιβάλλον. Το αναμενόμενο

επακόλουθο λοιπόν είναι μια συνέπεια του δείγματος όσον αφορά τις συγκρίσεις αυτών των ηχοχρωμάτων με τα υπόλοιπα. Αναμένεται δηλαδή να συγκλίνουν οι απαντήσεις.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/r4b49xn>

10 απαντήσεις

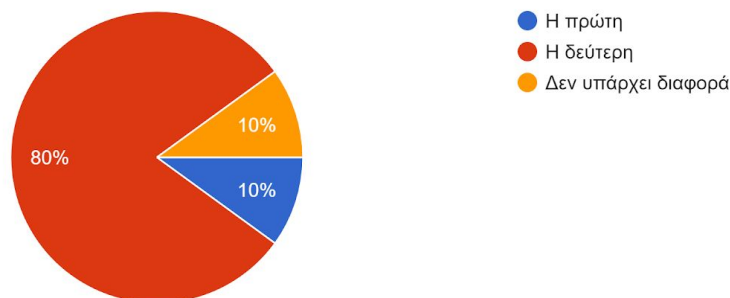


Εικόνα 41. Ερώτηση 15.

- Σύγκριση: Ηχοχρωμα SinSaw με ηχοχρωμα TrigSq σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 80% απάντησε πως το SinSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη. Το 20% απάντησε πως δεν υπάρχει διαφορά.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/ukz4dpx>

10 απαντήσεις

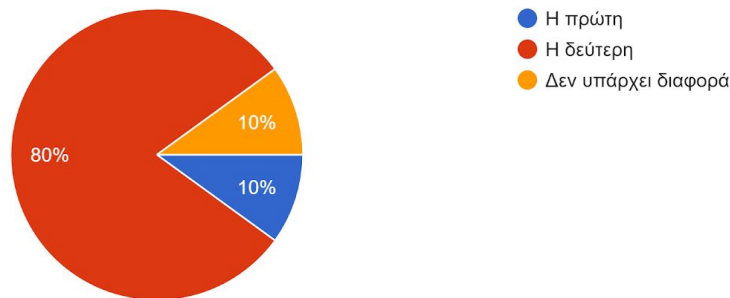


Εικόνα 42. Ερώτηση 16.

- Σύγκριση: Ηχοχρωμα SinSaw με ηχοχρωμα TrigSq σε ελάσσονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 80% απάντησε πως το TrigSq κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη. Το 10% απάντησε πως το SinSaw την κάνει περισσότερο θλιμμένη, ενώ το 10% δεν άκουσε διαφορά. Παρατηρείται συνέπεια στις ερωτήσεις 15-16.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/rkfdhjv>

10 απαντήσεις

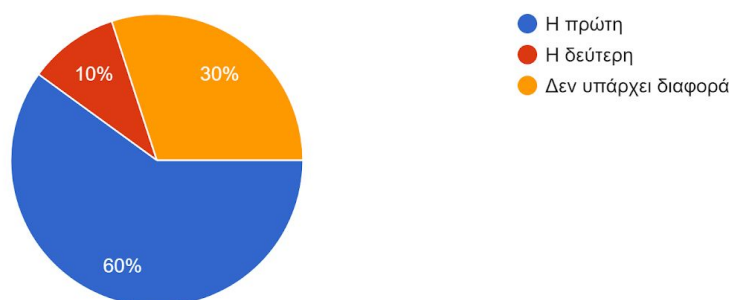


Εικόνα 43. Ερώτηση 17.

- Σύγκριση: Ηχόχρωμα SinSq με ηχόχρωμα SinSaw σε ελάχισονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 80% απάντησε πως το SinSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη. Το 10% απάντησε πως το SinSq την κάνει περισσότερο θλιμμένη, ενώ το 10% δεν άκουσε διαφορά.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/tgrqazg>

10 απαντήσεις



Εικόνα 44. Ερώτηση 18.

- Σύγκριση: Ηχόχρωμα SinSq με ηχόχρωμα SinSaw σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 60% απάντησε πως το SinSq κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη. Το 10% απάντησε πως το SinSaw την κάνει περισσότερο χαρούμενη, ενώ το 30% δεν άκουσε διαφορά. Παρατηρείται συνέπεια στις ερωτήσεις 17-18.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/vm3o8j3>

10 απαντήσεις

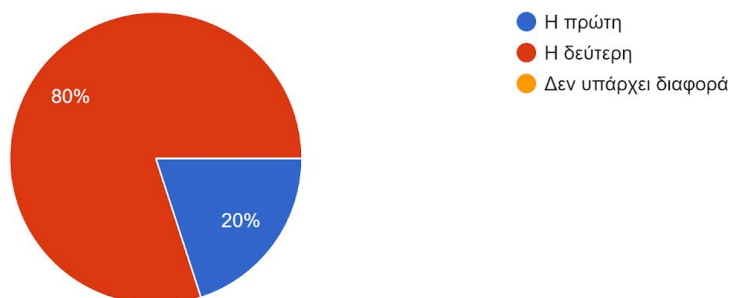


Εικόνα 45. Ερώτηση 19.

- Σύγκριση: Ηχόχρωμα SinSq με ηχόχρωμα SqSaw σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 100% απάντησε ότι το SinSq κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/s6h272g>

10 απαντήσεις

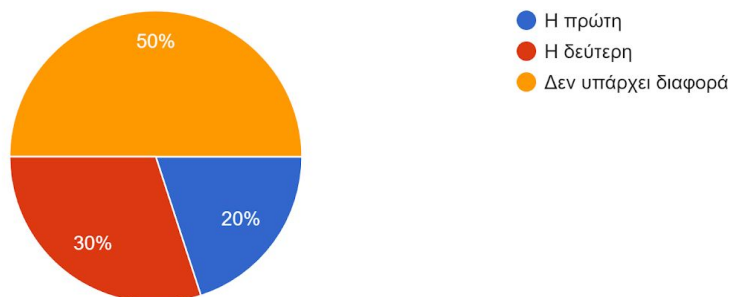


Εικόνα 46. Ερώτηση 20.

- Σύγκριση: Ηχόχρωμα SinSq με ηχόχρωμα SqSaw σε ελάσσονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 80% απάντησε ότι το SqSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη, ενώ το 20% απάντησε ότι το SinSq κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη. Παρατηρείται συνέπεια στις ερωτήσεις 19-20.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/smytza2>

10 απαντήσεις

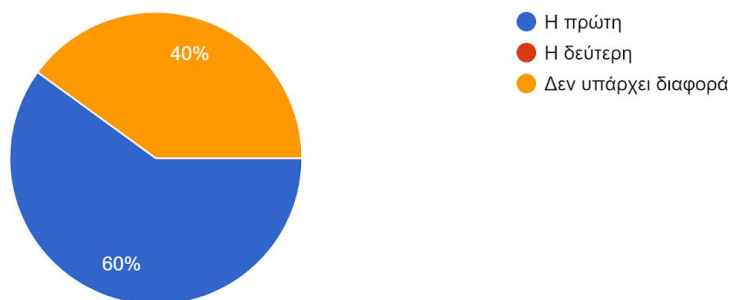


Εικόνα 47. Ερώτηση 21.

- Σύγκριση: Ηχώχρωμα SinSq με ηχώχρωμα TrigSq σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 50% απάντησε ότι δεν υπάρχει διαφορά, το 30% απάντησε ότι το TrigSq κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, το 20% απάντησε ότι το SinSq κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/td7e8qd>

10 απαντήσεις

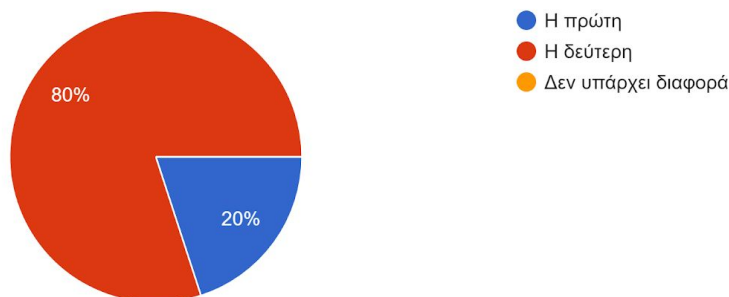


Εικόνα 48. Ερώτηση 22.

- Σύγκριση: Ηχώχρωμα SinSq με ηχώχρωμα TrigSq σε ελάσσονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 60% απάντησε ότι το SinSq κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη, το 40% απάντησε ότι δεν υπάρχει διαφορά.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/u8km49h>

10 απαντήσεις



Εικόνα 49. Ερώτηση 23.

- Σύγκριση: Ηχόχρωμα SinSq με ηχόχρωμα TrigSaw σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 80% απάντησε ότι το TrigSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, το 20% απάντησε ότι το SinSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/u3oa3og>

10 απαντήσεις

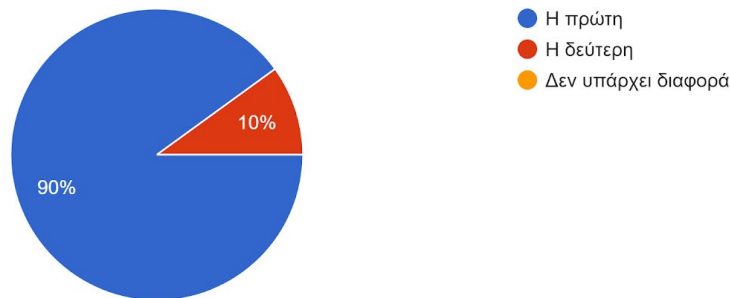


Εικόνα 50. Ερώτηση 24.

- Σύγκριση: Ηχόχρωμα SinSq με ηχόχρωμα TrigSaw σε ελάσσονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 100% απάντησε ότι το SinSq κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη. Παρατηρείται συνέπεια στις ερωτήσεις 23-24.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/u7n5fuw>

10 απαντήσεις

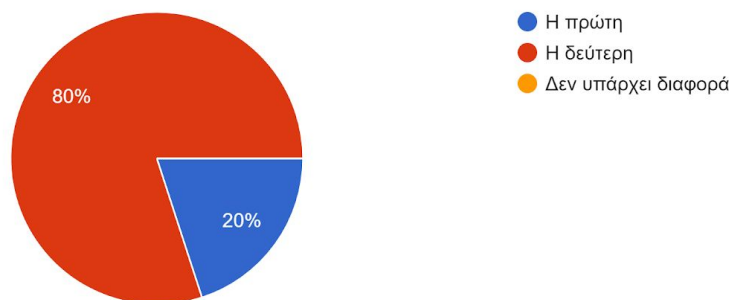


Εικόνα 51. Ερώτηση 25.

- Σύγκριση: Ηχώχρωμα SinTrig με ηχώχρωμα SinSq σε ελάσσονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 90% απάντησε ότι το SinTrig κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη, το 10% απάντησε ότι το SinSq κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/wtvmcmq>

10 απαντήσεις

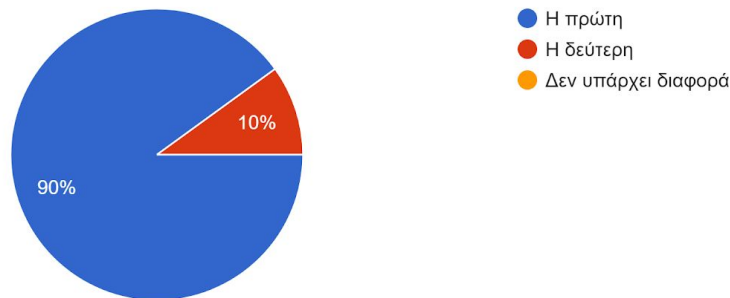


Εικόνα 52. Ερώτηση 26.

- Σύγκριση: Ηχώχρωμα SinTrig με ηχώχρωμα SinSq σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 80% απάντησε ότι το SinSq κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, το 20% απάντησε ότι το SinTrig κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη. Παρατηρείται συνέπεια στις ερωτήσεις 25-26.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/vqa3l8b>

10 απαντήσεις

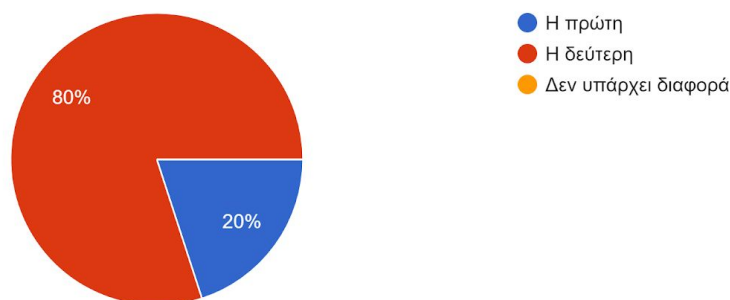


Εικόνα 53. Ερώτηση 27.

- Σύγκριση: Ηχώχρωμα SinTrig με ηχώχρωμα SinSaw σε ελάσσονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 90% απάντησε ότι το SinTrig κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη, το 10% απάντησε ότι το SinSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/s5cg4mn>

10 απαντήσεις

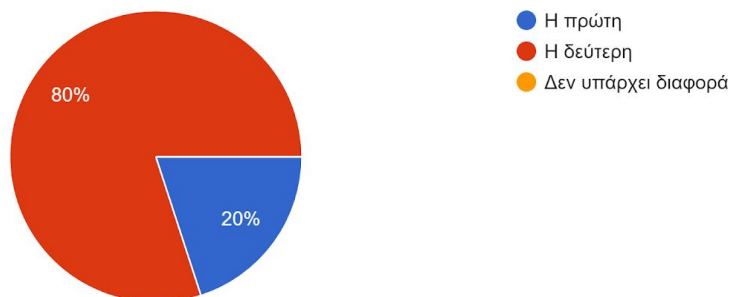


Εικόνα 54. Ερώτηση 28.

- Σύγκριση: Ηχώχρωμα SinTrig με ηχώχρωμα SinSaw σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 80% απάντησε ότι το SinSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, το 20% απάντησε ότι το SinTrig κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη. Παρατηρείται συνέπεια στις ερωτήσεις 27-28.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/sn87weu>

10 απαντήσεις

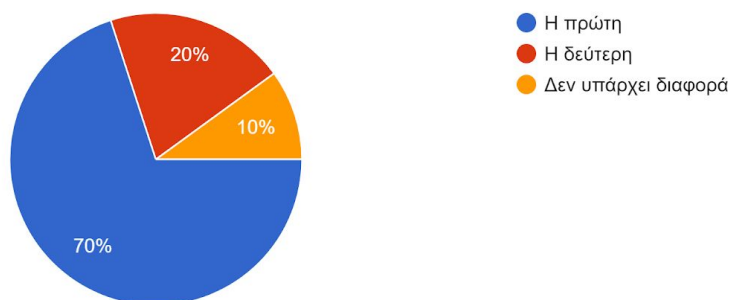


Εικόνα 55. Ερώτηση 29.

- Σύγκριση: Ηχώχρωμα SinTrig με ηχώχρωμα SqSaw σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 80% απάντησε ότι το SqSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, το 20% απάντησε ότι το SinTrig κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/u6lmhka>

10 απαντήσεις

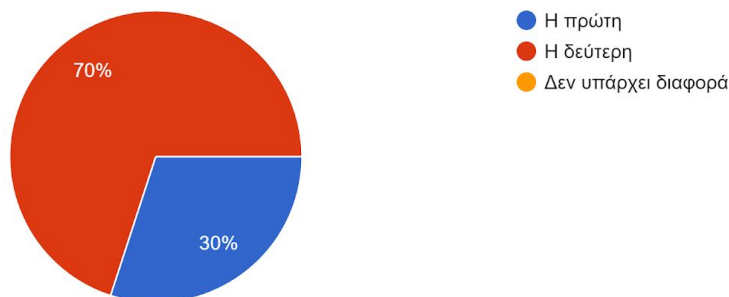


Εικόνα 56. Ερώτηση 30.

- Σύγκριση: Ηχώχρωμα SinTrig με ηχώχρωμα SqSaw σε ελάσσονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 70% απάντησε ότι το SinTrig κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη, το 20% απάντησε ότι το SqSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη, ενώ το 10% δεν άκουσε διαφορά. Παρατηρείται συνέπεια στις ερωτήσεις 29-30.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/rh2zgak>

10 απαντήσεις

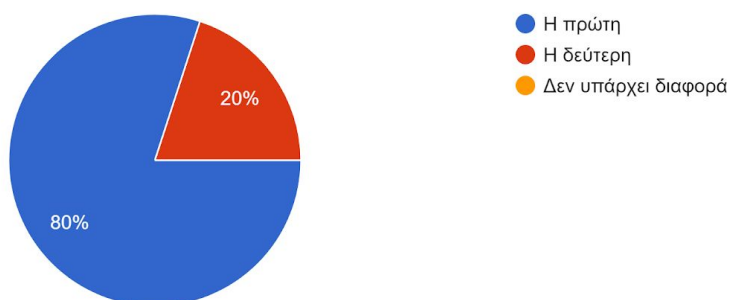


Εικόνα 57. Ερώτηση 31.

- Σύγκριση: Ηχώχρωμα SinTrig με ηχώχρωμα TrigSaw σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 70% απάντησε ότι το TrigSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, το 30% απάντησε ότι το SinTrig κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/wq7pkdj>

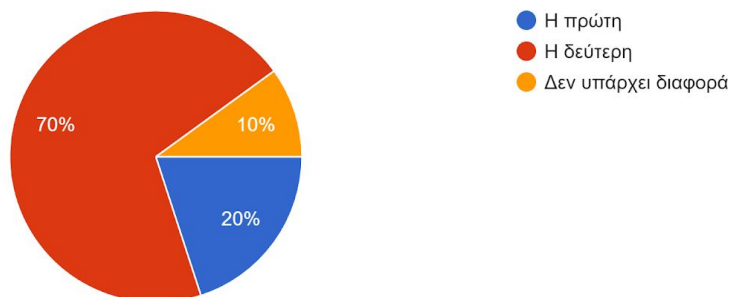
10 απαντήσεις



Εικόνα 58. Ερώτηση 32.

- Σύγκριση: Ηχώχρωμα SinTrig με ηχώχρωμα TrigSaw σε ελάσσονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 80% απάντησε ότι το SinTrig κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη, το 20% απάντησε ότι το TrigSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη. Παρατηρείται συνέπεια στις ερωτήσεις 31-32.

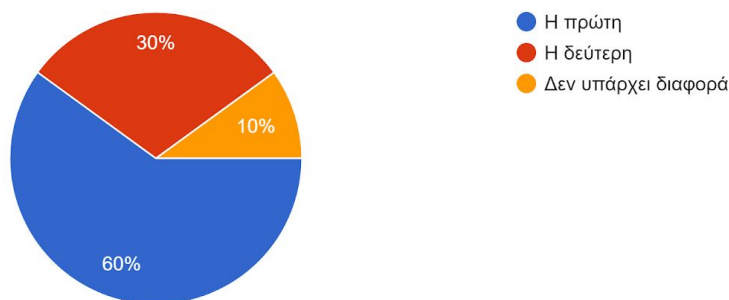
Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/srnxzfv>
10 απαντήσεις



Εικόνα 59. Ερώτηση 33.

- Σύγκριση: Ηχώχρωμα SinTrig με ηχώχρωμα TrigSq σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 70% απάντησε ότι το TrigSq κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, το 20% απάντησε ότι το SinTrig κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, το 10% δεν άκουσε διαφορά.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/aqdjsr3>
10 απαντήσεις

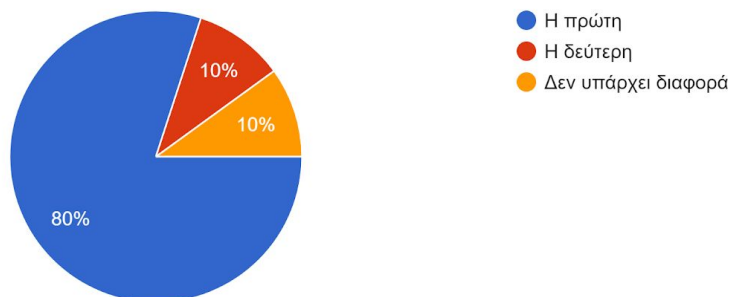


Εικόνα 60. Ερώτηση 34.

- Σύγκριση: Ηχώχρωμα SinTrig με ηχώχρωμα TrigSq σε ελάσσονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 60% απάντησε ότι το SinTrig κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη, το 30% απάντησε ότι το TrigSq κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη, το 10% δεν άκουσε διαφορά. Παρατηρείται συνέπεια στις ερωτήσεις 33-34.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/t2aqyfr>

10 απαντήσεις

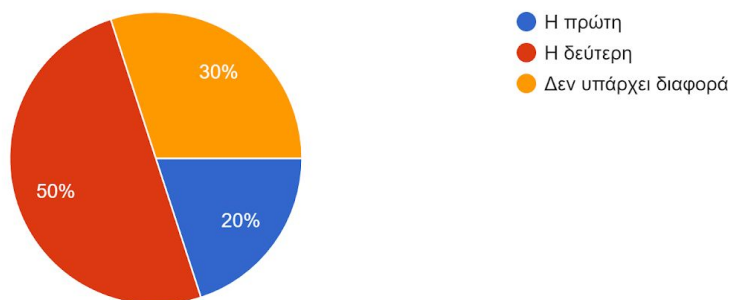


Εικόνα 61. Ερώτηση 35.

- Σύγκριση: Ηχώχρωμα SqSaw με ηχώχρωμα SinSaw σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 80% απάντησε ότι το SqSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, το 10% απάντησε ότι το SinSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, το 10% δεν άκουσε διαφορά.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/weo7t9r>

10 απαντήσεις

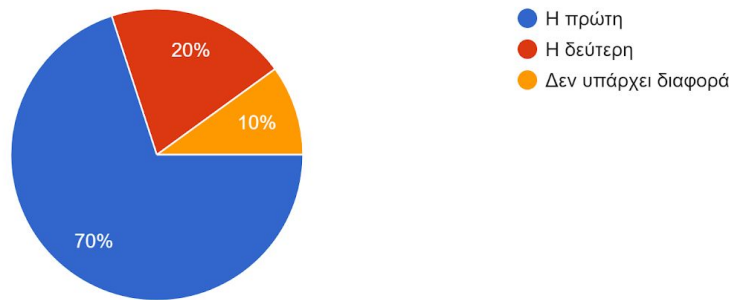


Εικόνα 62. Ερώτηση 36.

- Σύγκριση: Ηχώχρωμα SqSaw με ηχώχρωμα SinSaw σε ελάσσονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 50% απάντησε ότι το SinSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη, το 20% απάντησε ότι το SqSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη, το 30% δεν άκουσε διαφορά. Παρατηρείται ότι η πλειοψηφία είναι συνεπής στις ερωτήσεις 35-36.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/vxfhjgc>

10 απαντήσεις

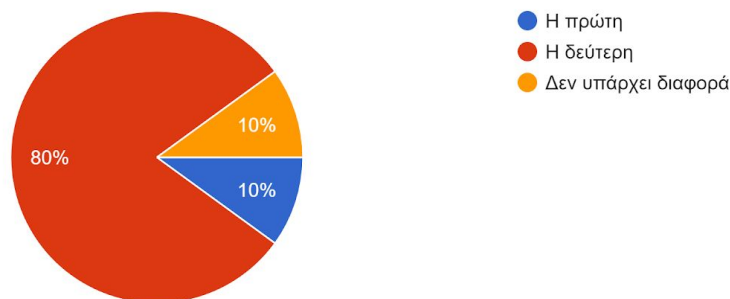


Εικόνα 63. Ερώτηση 37.

- Σύγκριση: Ηχώχρωμα SqSaw με ηχώχρωμα TrigSaw σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 70% απάντησε ότι το SqSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, το 20% απάντησε ότι το TrigSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, το 10% δεν άκουσε διαφορά.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/tkfcmgb>

10 απαντήσεις

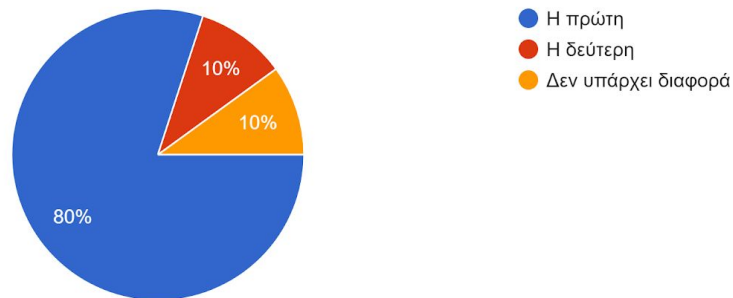


Εικόνα 64. Ερώτηση 38.

- Σύγκριση: Ηχώχρωμα SqSaw με ηχώχρωμα TrigSaw σε ελάσσονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 80% απάντησε ότι το TrigSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη, το 10% απάντησε ότι το SqSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη, το 10% δεν άκουσε διαφορά. Παρατηρείται συνέπεια στις ερωτήσεις 37-38.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/srhg6gx>

10 απαντήσεις

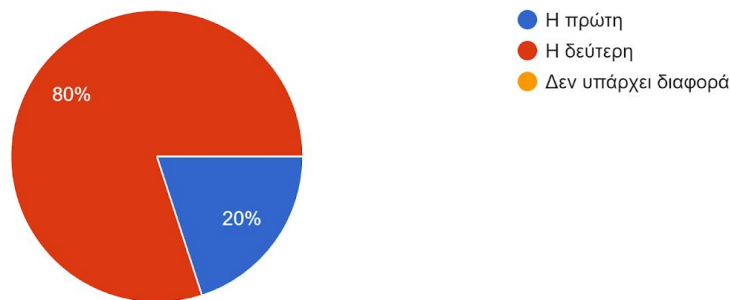


Εικόνα 65. Ερώτηση 39.

- Σύγκριση: Ηχώρωμα SqSaw με ηχώρωμα TrigSq σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 80% απάντησε ότι το SqSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, το 10% απάντησε ότι το TrigSq κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, το 10% δεν άκουσε διαφορά.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/r6kgnhy>

10 απαντήσεις

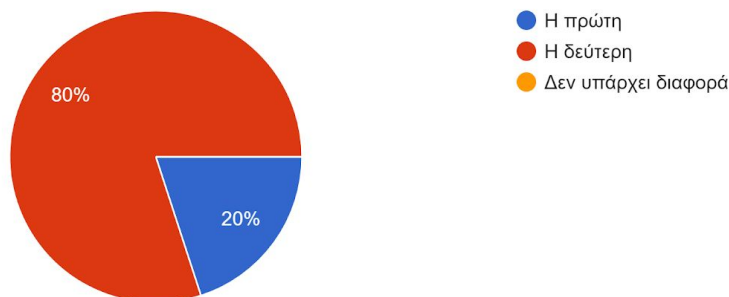


Εικόνα 66 Ερώτηση 40.

- Σύγκριση: Ηχώρωμα SqSaw με ηχώρωμα TrigSq σε ελλάσωνα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 80% απάντησε ότι το TrigSq κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη, το 20% απάντησε ότι το SqSaw. Παρατηρείται συνέπεια στις ερωτήσεις 39-40.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο χαρούμενη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/wxk8wms>

10 απαντήσεις

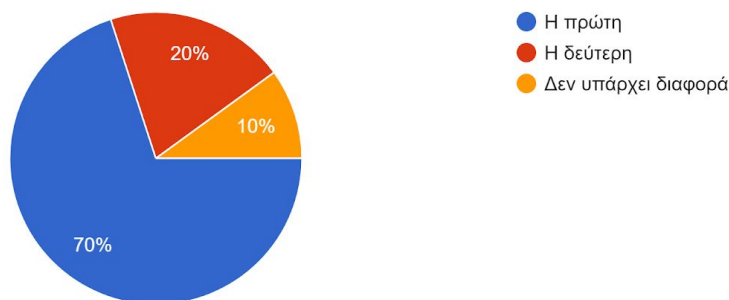


Εικόνα 67. Ερώτηση 41.

- Σύγκριση: Ηχώχρωμα TrigSq με ηχώχρωμα TrigSaw σε μείζονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 80% απάντησε ότι το TrigSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη, το 20% απάντησε ότι το TrigSq κάνει τη συγχορδία περισσότερο χαρούμενη.

Ποια συγχορδία θεωρείτε ότι είναι περισσότερο θλιμμένη; Το αρχείο που πρέπει να ακούσετε είναι στον παρακάτω σύνδεσμο: <https://tinyurl.com/t6ymqpy>

10 απαντήσεις



Εικόνα 68. Ερώτηση 42.

- Σύγκριση: Ηχώχρωμα TrigSq με ηχώχρωμα TrigSaw σε ελάσσονα συγχορδία.
- Αποτελέσματα: Το 70% απάντησε ότι το TrigSq κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη, το 20% απάντησε ότι το TrigSaw κάνει τη συγχορδία περισσότερο θλιμμένη, το 10% δεν άκουσε διαφορά. Παρατηρείται συνέπεια στις ερωτήσεις 41-42.

3.4 Αποτελέσματα και στατιστική επεξεργασία.

Οι συνολικοί συνδυασμοί κυματομορφών έχουν ήδη περιγραφεί συγκεντρωτικά. Αρχικά, θα παρουσιαστούν οι συνδυασμοί και οι αντίστοιχες επιδόσεις τους σε μείζον και ελάσσον πλαίσιο. Οι συνδυασμοί περνούν από 5 συγκρίσεις για κάθε πλαίσιο, ενώ οι απλές κυματομορφές από 3.

Τα ποσοστά που παρουσιάζονται παρακάτω προκύπτουν από το κλάσμα που έχει ως παρονομαστή τις συνολικές συγκρίσεις (5 και 3 αντίστοιχα) και ως αριθμητή τις φορές που το δείγμα κατά πλειοψηφία (τουλάχιστον 50% συμφωνία) αποφάσισε ότι ο συνδυασμός είναι πιο χαρούμενος (για μείζονα) και πιο θλιμμένος (για ελάσσονα.)

Πίνακας 2: Συνολικά ποσοστά ακροατών που έκριναν το κάθε ηχόχρωμα ως “πιο χαρούμενο”.

ΗΧΟΧΡΩΜΑ	ΣΥΜΒΟΛΟ	Ποσοστό στο οποίο χαρακτηρίστηκε ο συνδυασμός ως (συγκριτικά) πιο χαρούμενος
Ημίτονο	Sin	0
Τρίγωνο	Trig	66.6666%
Πριονικό	Saw	66.6666%
Τετράγωνο	Sq	66.6666%
Ημίτονο με Τρίγωνο	SinTrig	0
Ημίτονο με Πριονικό	SinSaw	40%
Ημίτονο με Τετράγωνο	SinSq	60%
Τρίγωνο με Πριονικό	TrigSaw	60%
Τρίγωνο με Τετράγωνο	TrigSq	20%
Πριονικό με Τετράγωνο	SawSq	80%

Πίνακας 3: Συνολικά ποσοστά ακροατών που έκριναν το κάθε ηχόχρωμα ως “πιο χαρούμενο”.

ΗΧΟΧΡΩΜΑ	ΣΥΜΒΟΛΟ	Ποσοστό στο οποίο χαρακτηρίστηκε ο συνδυασμός ως (συγκριτικά) πιο θλιμμένος
Ημίτονο	Sin	66.6666%
Τρίγωνο	Trig	100%
Πριονικό	Saw	0
Τετράγωνο	Sq	33.3333%
Ημίτονο με Τρίγωνο	SinTrig	80%
Ημίτονο με Πριονικό	SinSaw	40%
Ημίτονο με Τετράγωνο	SinSq	60%
Τρίγωνο με Πριονικό	TrigSaw	20%
Τρίγωνο με Τετράγωνο	TrigSq	60%
Πριονικό με Τετράγωνο	SawSq	20%

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε στην ανάλυση των δεδομένων το Point-Biserial Correlation Coefficient. Η ερμηνεία, η επεξήγηση και η εφαρμογή του μεγέθους αυτού στηρίχθηκε στην στατιστική επεξεργασία της [45].

Τα δεδομένα χωρίστηκαν με τέτοιο τρόπο, ώστε με την εφαρμογή του Point-Biserial Correlation Coefficient (από εδώ και μπρος PBCC) να απομονωθεί ει δυνατόν η επιρροή που ασκεί κάθε κυματομορφή στην επιλογή του ακροατή και τη χρήση του χαρακτηρισμού “χαρούμενος” ή “λυπημένος. Για τον στόχο αυτό, δημιουργήθηκαν 4 πίνακες, ένας συγκεντρωτικός για κάθε κυματομορφή.

Ο κάθε πίνακας περιέχει απαντήσεις στις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου που γίνονται συγκρίσεις όπου συμμετέχει μονομερώς η κυματομορφή που μας ενδιαφέρει. Για παράδειγμα, στον πίνακα του ημιτόνου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όλων των συγκρίσεων στις οποίες συμμετέχει είτε μόνο του το ημίτονο, είτε συμμετέχει *μονομερώς* σε συνδυασμό. Δηλαδή, για τον πίνακα του ημιτόνου λαμβάνεται υπόψη η σύγκριση Sin με Saw, αλλά και η σύγκριση SinSaw με SawSq, δεν λαμβάνεται όμως η σύγκριση SinSaw με SinTrig γιατί το ημίτονο δεν συμμετέχει μονομερώς στη σύγκριση, αλλά περιέχεται και στους δύο συνδυασμούς.

Ο διαχωρισμός έγινε με αυτόν τον τρόπο ώστε να δοκιμαστεί η ισχύς της υπόθεσης “ο συνδυασμός που περιέχει ημίτονο συσχετίζεται στατιστικά με την απάντηση *το άκουσμα είναι χαρούμενο* ή *το άκουσμα είναι θλιμμένο*”.

Η παραπάνω διαλογή μας οδήγησε σε 23 συνολικά συγκρίσεις. Οι απαντήσεις του δείγματος ταξινομημένες με αυτή τη λογική παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 4: Συνολικά ποσοστά συγκρίσεων για όλους τους συνδυασμούς που περιέχουν ημιτονικό παλμό.

ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΡΩΤΗΣΗΣ	ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΒΡΗΚΕ ΤΟ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΣΙΝ ΠΙΟ ΧΑΡΟΥΜΕΝΟ	ΤΟΥ ΠΟΥ ΤΟ ΜΕ ΠΙΟ	ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΒΡΗΚΕ ΤΟ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΣΙΝ ΠΙΟ ΘΛΙΜΜΕΝΟ
6	0		1
7	0.1		0.8
8	0		1
9	0		0.8
10	0.5		0.4
11	0.2		0.8
12	0.1		0.2
13	0.2		0.2
14	0.8		0
15	0.8		0.1
18	1		0
19	0.8		0.2
20	0.2		0.3
21	0		0.6
22	0.2		0.8
23	0		1
28	0.2		0.8
29	0.2		0.7
30	0.3		0.7
31	0.2		0.8
32	0.2		0.7

33	0.3	0.6
35	0.1	0.8
36	0.2	0.5

Πίνακας 5: Συνολικά ποσοστά συγκρίσεων για όλους τους συνδυασμούς που περιέχουν τριγωνικό παλμό.

ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΡΩΤΗΣΗΣ	ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΒΡΗΚΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ TRIG ΠΙΟ ΧΑΡΟΥΜΕΝΟ	ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΒΡΗΚΕ ΤΟ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ TRIG ΠΙΟ ΘΛΙΜΜΕΝΟ
1	0.2	0.5
4	0	1
5	0.1	0.8
10	0.4	0.5
11	0.8	0,2
12	0.2	0.1
13	0.2	0.2
14	0	0.8
15	0.1	0.8
20	0.3	0.2
21	0.6	0
22	0.8	0.2
23	1	0
24	0.1	0.9
25	0.2	0.8
26	0.1	0.9
27	0.2	0.8
28	0.2	0.8
29	0.7	0.2
34	0.7	0.3
37	0.2	0.7
38	0.1	0.8

39	0.1	0.8
40	0.2	0.8

Πίνακας 6: Συνολικά ποσοστά συγκρίσεων για όλους τους συνδυασμούς που περιέχουν τετραγωνικό παλμό.

ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΡΩΤΗΣΗΣ	ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΒΡΗΚΕ ΤΟ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ SQ ΠΙΟ ΧΑΡΟΥΜΕΝΟ	ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΒΡΗΚΕ ΤΟ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ SQ ΠΙΟ ΘΛΙΜΜΕΝΟ
1	0.5	0.2
2	0.1	0.6
3	0	0.8
8	1	0
9	0.8	0
14	0	0.8
15	0.1	0.8
16	0.8	0.1
17	0.6	0.1
22	0.2	0.8
23	1	0
24	0.9	0.1
25	0.8	0.2
28	0.8	0.2
29	0.7	0.2
32	0.7	0.2
33	0.6	0.3
34	0.7	0.3
35	0.8	0.1
36	0.2	0.5
37	0.7	0.2
38	0.8	0.1
41	0.2	0.8
42	0.2	0.7

Πίνακας 7: Συνολικά ποσοστά συγκρίσεων για όλους τους συνδυασμούς που περιέχουν πριονωτό παλμό.

ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΡΩΤΗΣΗΣ	ΜΕΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΒΡΗΚΕ ΤΟ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ SAW ΠΙΟ ΧΑΡΟΥΜΕΝΟ	ΤΟΥ ΠΟΥ ΤΟ ΒΡΗΚΕ ΤΟ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ SAW ΠΙΟ ΘΛΙΜΜΕΝΟ
2	0.6	0.1
3	0.8	0
4	1	0
5	0.8	0.1
6	1	0
7	0.8	0.1
14	0.8	0
15	0.8	0.1
16	0.1	0.8
17	0.1	0.6
18	0	1
19	0.8	0.2
22	0.8	0.2
23	1	0
26	0.9	0.1
27	0.8	0.2
28	0.8	0.2
29	0.7	0.2
30	0.7	0.3
31	0.8	0.2
39	0.8	0.1
40	0.8	0.2
41	0.8	0.2
42	0.7	0.2

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί η δυαδικότητα του ψυχοακουστικού μοντέλου που επιλέχθηκε. Όλες οι ερωτήσεις του ερωτηματολογίου έχουν διατυπωθεί ως “Ποιά συγχορδία είναι πιο χαρούμενη/θλιμμένη”. Για την επεξεργασία των δεδομένων έχει γίνει η παραδοχή ότι οι δύο χαρακτηρισμοί είναι συμπληρωματικοί μεταξύ τους. Έτσι, όταν σε μια

ερώτηση το δείγμα επέλεξε τον συνδυασμό Α ως “περισσότερο χαρούμενο”, θεωρήθηκε κατά την επεξεργασία ότι η απάντηση αυτή ισοδυναμεί με την επιλογή του Β ως “περισσότερο θλιμμένο”. Η δυαδικότητα αυτή του ψυχοακουστικού μοντέλου είναι ένα στοιχείο το οποίο κρίνει η βιβλιογραφία που παρουσιάστηκε ως μειονέκτημα γιατί είναι κατανοητό ότι η επιρροή που μπορεί να έχει η μουσική στον ανθρώπινο ψυχισμό δεν μπορεί να περιοριστεί αποκλειστικά σε αποκρίσεις χαράς ή θλίψης. Όπως θα τονιστεί και παρακάτω στην παρούσα εργασία, η έλλειψη περισσότερων συναισθηματικών αποχρώσεων του μοντέλου είναι σημείο το οποίο επιδέχεται βελτίωση.

Ορίζονται οι μεταβλητές ως:

X = “ποσοστό προτίμησης του δείγματος στο συνδυασμό”

Y = “χαρακτηρισμός ως χαρούμενος ή θλιμμένος”

Το PBCC εφαρμόζεται για να συσχετίσει δύο μεταβλητές εκ των οποίων η μία είναι διχοτομημένη, είτε φυσικά είτε τεχνητά. Έτσι, το σύνολο τιμών της μεταβλητής Y θα είναι το 0 και το 1, τιμές που αντιστοιχούν στον χαρακτηρισμό “θλιμμένος” και “χαρούμενος” αντίστοιχα. Ουσιαστικά λοιπόν, οι τιμές της μεταβλητής X χωρίζονται σε δύο ομάδες, η μια ομάδα αντιστοιχεί στην τιμή 0 της Y (2η στήλη κάθε πίνακα) και η άλλη αντιστοιχεί στην τιμή 1 (η 1 στήλη κάθε πίνακα)

Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για την συσχέτιση Point-Biserial είναι ο παρακάτω.

$$r_{pb} = \frac{M_1 - M_0}{s_n} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n^2}}$$

(9)

- r_{pb} = Point Biserial Correlation των X,Y
- M_1 = ο μέσος όρος των τιμών της X που ανήκουν στην ομάδα 2, δηλαδή για Y=1
- M_0 = ο μέσος όρος των τιμών της X που ανήκουν στην ομάδα 1, δηλαδή για Y=0
- n_1 = το πλήθος των στοιχείων της ομάδας 1
- n_2 = το πλήθος των στοιχείων της ομάδας 2
- n = το πλήθος του δείγματος
- s_n = η τυπική απόκλιση των τιμών σε όλη την έκταση του δείγματος

Ο τύπος αυτός εφαρμόστηκε για κάθε πίνακα ξεχωριστά, δηλαδή 4 φορές συνολικά. Να σημειωθεί ότι για κάθε πίνακα ισχύει $n_1 = n_2 = 24$ και $n = 48$.

Τα παραπάνω μεγέθη υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του Excel και παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 8. Αποτελέσματα ημιτονικού παλμού.

SIN	
M1(happy)=	0.275
M0(sad)=	0.575
n0=	24
n1=	24
Sx=	0.3380167439
n=	48
rpb	-0.443764999

Πίνακας 9. Αποτελέσματα τριγωνικού παλμού.

TRIG	
M1(happy)=	0.3125
M0(sad)=	0.5608695652
n0=	24
n1=	24
Sx=	0.3305309271
n=	48
rpb	-0.3757130495

Πίνακας 10. Αποτελέσματα τετραγωνικού παλμού.

SQ	
M1(happy)=	0.55
M0(sad)=	0.3375
n0=	24
n1=	24
Sx=	0.3287023163
n=	48
rpb	0.3232408009

Πίνακας 11. Αποτελέσματα πρωνοτού παλμού.

SAW	
M1(happy)=	0.71
M0(sad)=	0.2125
n0=	24
n1=	24
Sx=	0.341825407
n=	48
rpb	0.7277106818

Η συσχέτιση Point-Biserial (εδώ το rpb) έχει εύρος τιμών από το -1 ως το 1, όπως και η Pearson που χρησιμοποιήθηκε σε έρευνες της σχετικής βιβλιογραφίας. Αν για δύο μεγέθη η Point-Biserial έχει τιμή -1, τότε οι δύο μεταβλητές έχουν αρνητική συσχέτιση. Αυτό σημαίνει πως όταν η τιμή της μιας αυξάνεται, μειώνεται η τιμή της δεύτερης και αντίστροφα. Οποιαδήποτε άλλη αρνητική τιμή της Point-Biserial υποδηλώνει την ίδια μεταξύ τους σχέση, αλλά στην περίπτωση του -1 η σχέση αυτή αποκτά γραμμική μορφή. Το ίδιο ισχύει και για την τιμή +1 (και αντίστοιχα όλες τις θετικές τιμές), αλλά σε αυτή την περίπτωση οι τιμές των μεταβλητών αυξάνονται ή μειώνονται μαζί. Αν η Point-Biserial έχει τιμή 0 (ή για πρακτικές εφαρμογές, κοντά στο 0), τότε οι δύο μεταβλητές δεν παρουσιάζουν συσχέτιση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1 Συμπεράσματα και στοιχεία προς βελτίωση για μελλοντικές έρευνες.

Με βάση τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας, παρατηρείται όντως στατιστική συσχέτιση μεταξύ των χαρακτηρισμών του ψυχοακουστικού μοντέλου και των παλμών που επιλέχθηκαν για την έρευνα. Αφού η διχοτομημένη μεταβλητή Y έχει την τιμή 0 να αντιστοιχεί στο “θλιμμένος” και την τιμή 1 να αντιστοιχεί στο “χαρούμενος”, τότε αν υπολογιστεί θετικό r_{pb} , αυτό υποδεικνύει ότι στις συγκρίσεις που συμμετείχε ο εκάστοτε παλμός, ο χαρακτηρισμός “χαρούμενος” επιλέγεται περισσότερο από το δείγμα και λιγότερο ο χαρακτηρισμός “θλιμμένος”. Αν υπολογιστεί αρνητική τιμή, τότε ο χαρακτηρισμός “θλιμμένος” προτιμήθηκε περισσότερο από το δείγμα.

Οι παλμοί που είχαν τον πιο ισχυρό συσχετισμό με κάποιον χαρακτηρισμό ήταν το ημίτονο και ο πριονωτός. Για το ημίτονο το r_{pb} υπολογίστηκε ως -0.443764999 , πράγμα που σημαίνει ότι οι ακροατές στο σύνολο τους το συσχέτισαν με τον χαρακτηρισμό “θλιμμένος”. Το $r_{pb}=0.7277106818$ του πριονωτού παλμού δηλώνει έντονο συσχετισμό με τον χαρακτηρισμό “χαρούμενος”.

Συσχέτιση παρατηρείται επίσης και στα αποτελέσματα του τριγώνου και του τετραγώνου αλλά με μικρότερες τιμές του r_{pb} . Συγκεκριμένα, για το τρίγωνο υπολογίστηκε ίσο με -0.3757130495 και για το τετράγωνο ίσο με 0.323240800 . Αυτό δηλώνει πως συσχετίζονται με τον χαρακτηρισμό “θλιμμένος” και “χαρούμενος” αντίστοιχα.

Το γεγονός πως το r_{pb} δεν μας έδωσε τιμές κοντά στο 0 είναι ενθαρρυντικό για την αρχική υπόθεση της έρευνας. Αποδεικνύει όντως έναν συσχετισμό που μπορεί να γίνει καθοδηγητικός για την σύνθεση ηχοχρωμάτων σε αναλογικά synthesizer ανάλογα με τη συναισθηματική απόκριση που επιθυμεί να πετύχει ο συνθέτης. Η μουσική κινηματογράφου αλλά και το sound design και οποιαδήποτε γενικά δραματική εφαρμογή της μουσικής θα μπορούσε να επωφεληθεί από έναν τέτοιο συσχετισμό. Ακόμα, η παρατήρηση αυτή θα μπορούσε να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για εφαρμογή στη μουσικοθεραπεία [46] και στην χρήση της προς όφελος παιδιών με αυτισμό [47], στην αντιμετώπιση του πόνου και των ψυχολογικών επιπτώσεων σε παιδιά στην μετεγχειρητική φάση [48 αλλά και σε ασθενείς με καρκίνο [49].

Περαιτέρω έρευνες στο θέμα θα πρέπει να περιλαμβάνουν ένα μεγαλύτερο δείγμα ακροατών ώστε να επιτευχθεί η γενίκευση των παρατηρήσεων και να υπολογιστούν στατιστικοί δείκτες με τη μεγαλύτερη ακρίβεια που προσφέρει ένα μεγαλύτερο δείγμα. Οι ιδανικές συνθήκες, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής επισκόπησης θα ήταν όλοι οι ακροατές να βρίσκονται στο ίδιο δωμάτιο και να ακούν τα ηχητικά παραδείγματα με τα ίδια ακουστικά σε σιωπηλό δωμάτιο. Όσον αφορά το δυαδικό ψυχοακουστικό μοντέλο, οι περιορισμοί του έχουν ήδη παρουσιαστεί. Η επέκταση της

έρευνας σε πολυδιάστατα ψυχοακουστικά μοντέλα θα μπορούσε πιθανόν να δώσει ακόμα πιο ακριβή αποτελέσματα. Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι η παρούσα έρευνα απέδειξε στατιστικό συσχετισμό μεταξύ συναισθηματικής απόκρισης και ηχοχρώματος αναλογικής σύνθεσης και όχι αιτιακό συσχετισμό. Η απόδειξη σε αυτό το επίπεδο αφορά το ευρύτερο πεδίο της νευροεπιστήμης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] T. Eerola, R. Ferrer, and V. Alluri, "Timbre and affect dimensions: Evidence from affect and similarity ratings and acoustic correlates of isolated instrument sounds," *Music Percept.*, 2012.
- [2] B. Wu, A. Horner, and C. Lee, "Musical timbre and emotion: The identification of salient timbral features in sustained musical instrument tones equalized in attack time and spectral centroid," in *Proceedings - 40th International Computer Music Conference, ICMC 2014 and 11th Sound and Music Computing Conference, SMC 2014 - Music Technology Meets Philosophy: From Digital Echos to Virtual Ethos*, 2014.
- [3] C. J. Chau, B. Wu, and A. Horner, "Timbre features and music emotion in plucked string, mallet percussion, and keyboard tones," in *Proceedings - 40th International Computer Music Conference, ICMC 2014 and 11th Sound and Music Computing Conference, SMC 2014 - Music Technology Meets Philosophy: From Digital Echos to Virtual Ethos*, 2014.
- [4] B. Wu, A. Horner, and C. Lee, "The correspondence of music emotion and timbre in sustained musical instrument sounds," *AES J. Audio Eng. Soc.*, 2014.
- [5] S. Filipic, B. Tillmann, and E. Bigand, "Judging familiarity and emotion from very brief musical excerpts," *Psychon. Bull. Rev.*, 2010.
- [6] L. L. Balkwill and W. F. Thompson, "A cross-cultural investigation of the perception of emotion in music: Psychophysical and cultural cues," *Music Percept.*, 1999.
- [7] J. Liebetrau, S. Schneider, and R. Jezierski, "Application of Free Choice Profiling for the Evaluation of Emotions Elicited by Music," *Cmmr*, 2012.
- [8] I. Lahdelma and T. Eerola, "Single chords convey distinct emotional qualities to both naïve and expert listeners," *Psychol. Music*, 2016.
- [9] J. Skowronek, M. McKinney, and S. Van De Par, "A demonstrator for automatic music mood estimation," in *Proceedings of the 8th International Conference on Music Information Retrieval, ISMIR 2007*, 2007.
- [10] M. Plewa and B. Kostek, "A study on correlation between tempo and mood of music," in *133rd Audio Engineering Society Convention 2012, AES 2012*, 2012.
- [11] Y. Hu, X. Chen, and D. Yang, "Lyric-based song emotion detection with affective lexicon and fuzzy clustering method," in *Proceedings of the 10th International Society for Music Information Retrieval Conference, ISMIR 2009*, 2009.
- [12] I. Ekman and R. Kajastila, "Localisation cues affect emotional judgements - Results from a user study on scary sound," in *Proceedings of the AES International Conference*, 2009.

- [13] C. J. Chau, B. Wu, and A. Horner, "The emotional characteristics and timbre of nonsustaining instrument sounds," *AES J. Audio Eng. Soc.*, 2015.
- [14] J. Meyer and J. Meyer, "Tonal Characteristics of Musical Instruments," in *Acoustics and the Performance of Music*, 2009.
- [15] E. Bigand, S. Vieillard, F. Madurell, J. Marozeau, and A. Dacquet, "Multidimensional scaling of emotional responses to music: The effect of musical expertise and of the duration of the excerpts," *Cogn. Emot.*, 2005.
- [16] R. O. Gjerdingen and D. Perrott, "Scanning the dial: The rapid recognition of music genres," *J. New Music Res.*, 2008.
- [17] C. L. Krumhansl, "Plink: 'Thin slices' of music," *Music Percept.*, 2010.
- [18] J. J. Aucouturier, F. Pachet, and M. Sandler, "'The way it sounds': Timbre models for analysis and retrieval of music signals," *IEEE Trans. Multimed.*, 2005.
- [19] G. Tzanetakis and P. Cook, "Musical genre classification of audio signals," *IEEE Trans. Speech Audio Process.*, 2002.
- [20] C. Baume, "Evaluation of acoustic features for music emotion recognition," in *134th Audio Engineering Society Convention 2013*, 2013.
- [21] C. Lee and A. Horner, "Discrimination of random spectral alterations in repeated notes of sustained musical instrument tones," *AES J. Audio Eng. Soc.*, 2014.
- [22] C. Lee and A. Horner, "Detection of random spectral alterations of sustained musical instrument tones in repeated note contexts," in *Proceedings - 40th International Computer Music Conference, ICMC 2014 and 11th Sound and Music Computing Conference, SMC 2014 - Music Technology Meets Philosophy: From Digital Echos to Virtual Ethos*, 2014.
- [23] E. Taylor, "No Title," *Eng. Music*, vol. 4, no. 18, pp. 25–27, 2009.
- [24] A. Horner, J. Beauchamp, and R. So, "Detection of random alterations to time-varying musical instrument spectra," *J. Acoust. Soc. Am.*, 2004.
- [25] J. Krimphoff, S. McAdams, and S. Winsberg, "Caracterisation du timbre des sons complexes. II. analyses acoustiques et quantification psychophysique," *J. Phys.*, 1994.
- [26] J. Beauchamp and S. Lakatos, "NEW SPECTRO-TEMPORAL MEASURES OF MUSICAL INSTRUMENT SOUNDS USED FOR A STUDY OF TIMBRAL SIMILARITY OF RISE- TIME- AND CENTROID-NORMALIZED MUSICAL SOUNDS," 2002.
- [27] H. Yuasa, H. Kawakami, and O. Katai, "A vowel and semivowel synthesizer for prompt and expressive communication," in *Proceedings of the SICE Annual Conference*, 2010.
- [28] K. R. Scherer and J. S. Oshinsky, "Cue utilization in emotion attribution from auditory stimuli," *Motiv. Emot.*, 1977.
- [29] J. M. Grey and J. A. Moorer, "Perceptual evaluations of synthesized musical instrument tones," *J. Acoust. Soc. Am.*, 1977.

- [30] Σ. Καβαλλιεράτος, Η θεωρία της Μουσικής, Σημειογραφία και Εφαρμοσμένη Αρμονία. 1992.
- [31] D. Terefenko, *Jazz Theory Workbook: From Basic to Advanced Study*. 2020.
- [32] I. Peretz, L. Gagnon, and B. Bouchard, "Music and emotion: Perceptual determinants, immediacy, and isolation after brain damage," *Cognition*, 1998.
- [33] T. Eerola and J. K. Vuoskoski, "A comparison of the discrete and dimensional models of emotion in music," *Psychol. Music*, 2011.
- [34] A. Gabrielsson and P. N. Juslin, "Emotional expression in music performance: Between the performer's intention and the listener's experience," *Psychol. Music*, 1996.
- [35] S. Vieillard, I. Peretz, N. Gosselin, S. Khalfa, L. Gagnon, and B. Bouchard, "Happy, sad, scary and peaceful musical excerpts for research on emotions," *Cogn. Emot.*, 2008.
- [36] K. R. Scherer, T. Wranik, J. Sangsue, V. Tran, and U. Scherer, "Emotions in everyday life: Probability of occurrence, risk factors, appraisal and reaction patterns," *Social Science Information*. 2004.
- [37] M. Zentner, D. Grandjean, and K. R. Scherer, "Emotions Evoked by the Sound of Music: Characterization, Classification, and Measurement," *Emotion*, 2008.
- [38] H. J. Eysenck, "The biopsychology of mood and arousal," *Pers. Individ. Dif.*, 1990.
- [39] D. Watson, L. A. Clark, and A. Tellegen, "Development and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS scales.," *J. Pers. Soc. Psychol.*, 1988.
- [40] G. Ilie and W. F. Thompson, "A comparison of acoustic cues in music and speech for three dimensions of affect," *Music Percept.*, 2006.
- [41] D. Dellacherie, N. Egrlé, and S. Samson, "Is the neutral condition relevant to study musical emotion in patients?," *Music Percept.*, 2008.
- [42] N. Gosselin, I. Peretz, E. Johnsen, and R. Adolphs, "Amygdala damage impairs emotion recognition from music," *Neuropsychologia*, 2007.
- [43] S. Khalfa, M. Roy, P. Rainville, S. Dalla Bella, and I. Peretz, "Role of tempo entrainment in psychophysiological differentiation of happy and sad music?," *Int. J. Psychophysiol.*, 2008.
- [44] P. G. Hunter, E. G. Schellenberg, and U. Schimmack, "Mixed affective responses to music with conflicting cues," *Cogn. Emot.*, 2008.
- [45] V. LeBlanc and M. A. A. Cox, "interpretation of the point-biserial correlation coefficient in the context of a school examination," *Quant. Methods Psychol.*, 2017.
- [46] W. B. Davis, K. E. Gfeller, and M. H. Thaut, *An Introduction to Music Therapy: Theory and Practice*. Third Edition. 2008.
- [47] A. E. Reschke-Hernández, "History of music therapy treatment interventions for children with autism," *Journal of Music Therapy*. 2011.

[48] S. Nilsson, E. Kokinsky, U. Nilsson, B. Sidenvall, and K. EnskÄr, "School-aged children's experiences of postoperative music medicine on pain, distress, and anxiety," *Paediatr. Anaesth.*, 2009.

[49] J. Bradt et al., "The impact of music therapy versus music medicine on psychological outcomes and pain in cancer patients: a mixed methods study," *Support. Care Cancer*, 2015.