



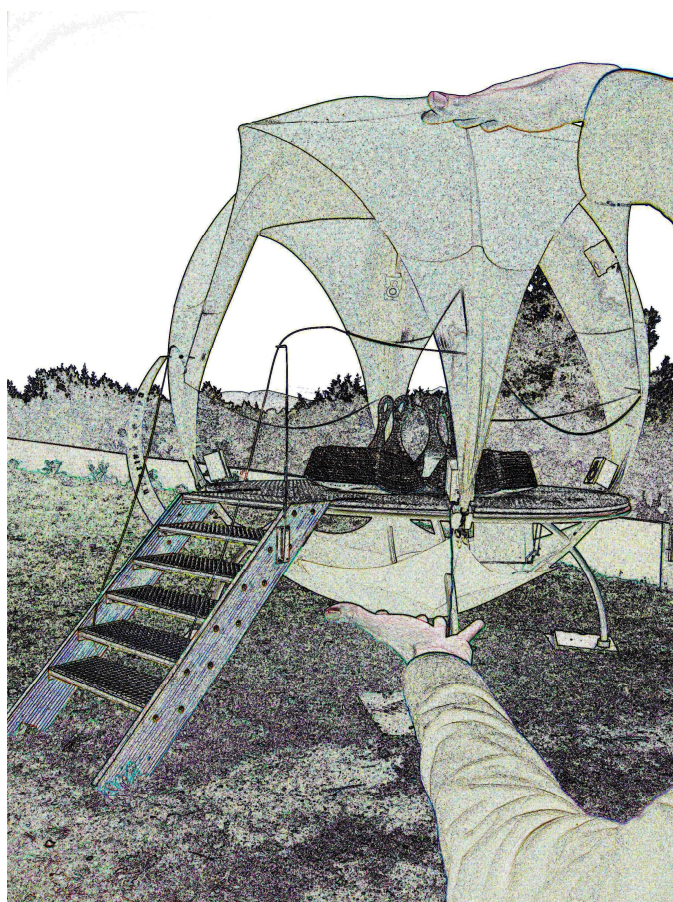
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Παράρτημα Ρεθύμνου

Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: Η ΗΧΗΤΙΚΗ ΣΦΑΙΡΑ



Επιβλέπων Καθηγητής:

Βαλσαμάκης Νικόλας

Σπουδαστής:

Τριποδάκης Παύλος

Ευχαριστίες:

Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή μου Νικόλα Βαλσαμάκη, που με ενθάρρυνε να διεκπεραιώσω την Ηχητική Σφαίρα σε μεγάλη διάσταση και όχι σαν κάποια μακέτα, καθώς και για την στήριξή του σε όλες τις δυσκολίες που συναντήθηκαν μέχρι το τελικό στάδιο της Ηχητικής Σφαίρας.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω και:

Τον Άρη Μπουρσινό, για την ψηφιακή σχεδίαση.

Τον Σιφάκη Μηνά, για την καθοδήγησή του ως προς τα υλικά της Σφαίρας.

Τον Άρη Μπαλλή, για τις στατικές μελέτες.

Τον Γιάννη Μάνο και τους βοηθούς, για την τεχνική επίβλεψη και επεξεργασία σιδήρου.

Τον Άκη Βλαχοστέργιο, για την μουσική σύνθεση του διαφημιστικού βίντεο της Veta AEBE.

Την εταιρία εμπορίας και επεξεργασίας σιδήρου Veta AEBE.

Την εταιρία βιομηχανικών σχαρών ASCO.

Την εταιρία μουσικής τεχνολογίας ELINA SA και τον εκπρόσωπό της κύριο Γιάννη Παπανάνο, για την χορηγία ηχητικού εξοπλισμού.

Την μοδίστρα κ. Βάια Εξάρχου, για την κατασκευή του σκέπαστρου.

Το κατάστημα ΙΚΕΑ για την χορήγηση καρεκλών.

Τον Γιώργο Κωνσταντινίδη, για την σημαντική του τεχνική υποστήριξη.

«Την Πτυχιακή αυτή την αφιερώνω στους Φοιτητές και στους Καθηγητές που με στήριξαν ως αθλητή της Εθνικής Ομάδος Σκι στα χρόνια φοίτησής μου στο Α.Τ.Ε.Ι. Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής.»

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	8
----------------------	----------

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Κεφάλαιο 1.

Ιστορία της τεχνολογίας ηχογράφησης και αναπαραγωγής του ήχου.

1.1 Ιστορία και εξέλιξη της τεχνολογίας αποθήκευσης και μετάδοσης ήχου.....	10
1.2 Μηχανική Αυτόματη Αναπαραγωγή Μουσικής (9^ο με 19^ο αιώνα).....	11
1.3 Ακουστική Ηχογράφηση και Αναπαραγωγή (19^ο αιώνας).....	11
1.4 Ηλεκτρική Ηχογράφηση και Αναπαραγωγή (20^ο αιώνας).....	14
1.5 Μαγνητική Ηχογράφηση (20^ο αιώνας).....	16
1.6 Μαγνητοταινία (το βήμα για την πολυκάναλη ηχογράφηση και αναπαραγωγή).....	17
1.7 Εξέλιξη της πολυκάναλης ηχ. και αναπαραγωγής.....	19

Κεφάλαιο 2.

Η Ψηφιακή Τεχνολογία Αποθήκευσης και Πολυκάναλης Αναπαραγωγής Ήχου

2.1 Εισαγωγή στη Ψηφιακή Εποχή	22
2.2 Σημερινή τεχνολογία Ηχογράφησης και Αναπαραγωγής του Ήχου.....	25

Κεφάλαιο 3.

Μονοφωνία και Πολυκάναλα Συστήματα Ήχου

3.1 Μονοφωνία.....	26
3.2 Πολυκάναλα Συστήματα.....	26
3.3 Σύστημα Στερεοφωνίας.....	26
3.4 Πλεονεκτήματα Στερεοφωνίας.....	27
3.5 Surround Sound.....	27
3.6 Quadraphonic Sound (Τετραφωνία).....	28
3.7 Cinema Quadraphonic Sound.....	28
3.8 LFE Channel (Κανάλι Χαμηλών Συχνοτήτων).....	29
3.9 Άλλα Πολυκάναλα Συστήματα (7.1, 10.2 Channel Surround).....	30
3.10 Πολυκάναλα formats κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης.....	30
3.11 Ambisonics.....	31
3.12 Wave field synthesis.....	32
Δημιουργία και Επεξεργασία Πολυκάναλου Ηχητικού Υλικού	
3.13 Τεχνικές πολυκάναλης ηχογράφησης φυσικών ήχων.....	32
3.14 Πολυκάναλη μίξη.....	34
3.15 Πολυκάναλο Mastering.....	35

Πολυκάναλες Ιστορικές Εφαρμογές

3.16 Οκταφωνία.....	36
3.17 Phillips Pavilion 1958.....	39
3.18 1970 World's Fair Expo (OSAKA-Japan).....	40
3.19 Τρισδιάστατες Ηχητικές Διατάξεις στον Κινηματογράφο.....	43
3.20 Σφαιρικά πολυκάναλα συστήματα.....	44

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ: Η ΗΧΗΤΙΚΗ ΣΦΑΙΡΑ

Κεφάλαιο 4.

ΗΧΗΤΙΚΗ ΣΦΑΙΡΑ

4.1 Εισαγωγή και Ιδέα.....	47
4.2 Τρόπος και Κατασκευή.....	47
4.3 Περιγραφή και Σχέδια.....	49
4.4 Σχέδια Ηχητικής Σφαίρας.....	61
4.5 Τεχνολογία Ηχητικής Σφαίρας.....	81
4.6 Ταξινόμηση και τοποθέτηση των ηχείων.....	81
4.7 Τεχνικά χαρακτηριστικά Ηχητικής Σφαίρας.....	83
4.8 Διαδικασία πολυκάναλης μετάδοσης στην Ηχητική Σφαίρα.....	84
4.9 Ήχος και Τέχνη.....	84
4.10 Λειτουργία και παρατηρήσεις.....	87
4.11 Η 1^η Δημόσια Προβολή.....	88
4.12 Ψυχαγωγικές Παρατηρήσεις	90

4.13	Ακουστικές Παρατηρήσεις.....	90
4.14	Κατασκευαστικές Παρατηρήσεις.....	91
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ		
4.15	Εκπαίδευση.....	92
4.16	Ψυχαγωγία.....	92
Έρευνα, Αναβαθμίσεις και Συμπέρασμα		
4.17	ΕΡΕΥΝΑ.....	93
ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ		
4.18	Τεχνολογικές Εξελίξεις.....	93
4.19	Ακουστικές Εξελίξεις.....	94
4.20	Καλλιτεχνικές Εξελίξεις.....	94
4.21	Μηχανολογικές Εξελίξεις.....	94
4.22	Κατασκευαστικές Εξελίξεις.....	94
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ.....		95
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		96
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ.....		98

Ο ήχος... και ένα ποίημα

Εκεί που δεν φτάνει το φως, άκουσε κάτι, αντιλήφθηκε αμέσως τον κίνδυνο και έφυγε.

*Τότε, τον οδήγησαν κάποιες γλυκές μελωδίες μέχρι την θάλασσα...
...όπου εκεί κολύπησε, την άκουσε και είδε τον βυθό της.*

Ξάπλωσε να ξεκουραστεί, όμως άκουσε τα σπλάχνα του και πρόγνωσε τον καρκίνο.

Σηκώθηκε, άκουγε σχήματα και πορείες και διαπίστωσε πόσο μακριά ή κοντά είναι.

Μα τελικά κοιμόταν αφού του είπε: ζύπνα!

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η όραση θεωρείται η πιο δυνατή αίσθηση του ανθρώπου στην αντίληψη του φυσικού κόσμου. Εκεί όμως που δεν φτάνει το φως λόγω φυσικών εμποδίων, φτάνει ο ήχος με την κυματική μετάδοσή του.

Με τον ρυθμό, την αρμονική ποικιλία συχνοτήτων εντάσεων και τον συνδυασμό ηχοχρωμάτων, ο ήχος δημιουργεί τη μαγική και μοναδική αίσθηση, την μουσική. Η ιδιότητα της μουσικής να επηρεάζει άμεσα τον ψυχικό κόσμο του ανθρώπου, οδήγησε στην υπέρογκη διαχρονική μουσικολογική ποικιλία ανάλογη των φυσικών και τεχνολογικών μέσων αναπαραγωγής της που συνόδευε η κάθε εποχή.

Η επιστημονική ανάλυση της κυματικής περιγραφής του ήχου, οδήγησε στην δημιουργία πολλών τεχνολογικών συστημάτων για την χαρτογράφηση του θαλάσσιου βυθού και άλλων αναγνωριστικών εφαρμογών.

Στην βιοϊατρική τεχνολογία, η χρήση του ήχου σε υψηλότερες συχνότητες από το ακουστικό φάσμα έχει οδηγήσει σε πολύ σημαντικές διαγνωστικές εφαρμογές που αφορούν την εγκυμοσύνη, τις λειτουργίες του καρδιαγγειακού συστήματος, τον καρκίνο και άλλων.

Η σπουδαιότερη εφαρμογή του ήχου είναι η προερχόμενη από το ανθρώπινο ηχείο που παράγει και εκπέμπει την υπεύθυνη για την επικοινωνία του άρθρωση, το λόγο.

Γίνεται έτσι σαφές ότι στόχος του παραπάνω ποιητικού χωρίου είναι να αναδείξει και να τονίσει την πληθώρα των εφαρμογών του ήχου ως φυσικού φαινομένου και αισθητικού ερεθίσματος και ως εκ τούτου τη μοναδικότητά του, αλλά και την σημαντικότητά του ως αίσθηση και πληροφορία. Ένα ηχητικό κύμα με την συχνότητα, την ένταση και την ποικιλία των αρμονικών του, σε συνδυασμό με την ικανότητά του να μεταδίδεται δια μέσου όλων των στοιχείων της φύσης, οδηγεί σε μια πολυδιάστατη γκάμα επιστημονικής αναζήτησης και εύρεσης πληροφοριών.

Ο άνθρωπος, περιβάλλεται τρισδιάστατα από άπειρα σημεία που προσδιορίζουν τη θέση ηχητικών πηγών, που παντοκατευθυντικά γίνονται αντιληπτά από αυτόν. Σήμερα, η ψηφιακή τεχνολογία επεξεργασίας ήχου μπορεί εύκολα να εξομοιώσει την παντοκατευθυντική και τρισδιάστατη ηχητική μετάδοση απευθυνόμενη στη κεντρομόλο ηχητική αντίληψη του ανθρώπου.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι εμπνευσμένη από αυτή την ακουστική ανθρώπινη ικανότητα. Έχει στόχο να εφαρμόσει και να εξομοιώσει με τεχνητούς τρόπους το τρισδιάστατο ηχητικό περιβάλλον του ανθρώπου προσφέροντάς του ένα ηχητικό ερέθισμα σφαιρικής προέλευσης. Σκοπός της είναι να γίνει πρακτική εφαρμογή και αξιολόγηση αυτής της ηχητικής μετάδοσης, κατασκευάζοντας ηχειακή συσκευή που την ονομάζει «**Ηχητική Σφαίρα**».

Στο 1^ο Κεφάλαιο, ιστορία της τεχνολογίας ηχογράφησης και αναπαραγωγής του ήχου.

Στο 2^ο Κεφάλαιο, σημερινή τεχνολογία ηχογράφησης και αναπαραγωγής του ήχου.

Στο 3^ο Κεφάλαιο, μονοφωνία και πολυκάναλα συστήματα ήχου.

Στο 4^ο Κεφάλαιο, Η Ηχητική Σφαίρα

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Κεφάλαιο 1^ο

Η αρχική αναφορά στη παγκόσμια ιστορία της τεχνολογίας καταγραφής και αναπαραγωγής του ήχου αποβλέπει στη κατανόηση της εξέλιξης της ανθρώπινης εφευρετικότητας προκειμένου να υπηρετήσει την ανάγκη αυτή, σε σχέση με τα διατιθέμενα σε κάθε εποχή μέσα. Συγχρόνως όμως η ιστορική αναφορά ανοίγει προοπτική υποψίας του μέλλοντος.

1.1 Ιστορία και εξέλιξη της τεχνολογίας αποθήκευσης και μετάδοσης ήχου

Η ανάγκη του ανθρώπου να δημιουργεί συνεχώς εξελισσόμενες μηχανές αποθήκευσης και παραγωγής ήχου κυρίως αφορούσε τη μουσική και τη ψυχαγωγία. Οι εφευρέσεις αυτές προκαλούσαν αρχικά δευτερογενές ενδιαφέρον στους επιστήμονες, αφού προτεραιότητα έδιναν σε εκείνες που ήταν ζωτικής σημασίας (μεταφορές, επικοινωνία, ενέργεια), της αμυντικής σκοπιμότητας (οπλικά συστήματα, βόμβες, κτλ.) και της οικονομίας (αριθμομηχανές, υπολογιστές, κτλ.).

Η τεχνολογική εξέλιξη αναμετάδοσης του ήχου ήταν πάντα ανάλογη της τεχνολογίας ηχογράφησης και αποθήκευσής του. Έτσι, η μετάδοση του ήχου από την απλή μηχανική καταγραφή και αναπαραγωγή, εξελίχθηκε στην αυτόματη αναλογική και στη συνέχεια έγινε ψηφιακή.

1.2 Μηχανική Αυτόματη Αναπαραγωγή Μουσικής (9^ο με 19^ο αιώνα)

Η μηχανική αυτόματη αναπαραγωγή μουσικής χρονολογείται ήδη από τον 9^ο αιώνα. Πληροφορίες σχετικές προέρχονται κυρίως από τον Charles B. Fowler. Οι αδελφοί Banu Musa κατασκεύασαν το πρώτο μηχανικό όργανο αναπαραγωγής ήχου που λειτουργούσε με εναλλασσόμενη περιστροφική κίνηση κυλίνδρων μέσω υδροδυναμικής ενέργειας. Οι κύλινδροι αυτοί έφεραν στην επιφάνειά τους προσαρτημένες μεταλλικές καρφίδες που με την περιστροφή τους μετέδιδαν κίνηση διαδοχικά και ανάλογα με την διάταξή τους σε ελάσματα που ηχούσαν. Αυτός ο περιστρεφόμενος αγκαθωτός κύλινδρος παρέμεινε ως βασική ιδέα αναπαραγωγής μουσικής μέχρι και το δεύτερο μισό του 19^{ου} αιώνα. Επίσης, οι αδελφοί Banu Musa εφηύραν και έναν αυτόματο οργανοπαίχτη φλάουτου που φαίνεται να είναι η πρώτη προγραμματιζόμενη μηχανή αναπαραγωγής μουσικής. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ιδέα της ψηφιακής τεχνολογίας βασίστηκε στην παραπάνω τεχνολογία χρησιμοποιώντας δηλαδή σημεία με κοινά χαρακτηριστικά που η θέση τους καθορίζει την επιθυμητή λειτουργία.



Το 1206, ο Al-Jazari κατασκεύασε ένα προγραμματιζόμενο σύνολο από πολλές κούκλες-μουσικούς και τυμπανιστές. Το μουσικό αυτό κατασκεύασμα ήταν ένας αυτοματισμός που έδινε την δυνατότητα για περισσότερους από 50 διαφορετικούς συνδυασμούς κινήσεων των κούκλων, για κάθε μουσική παραλλαγή που αναπαραγόταν.

(Φωτογραφία 1.1)

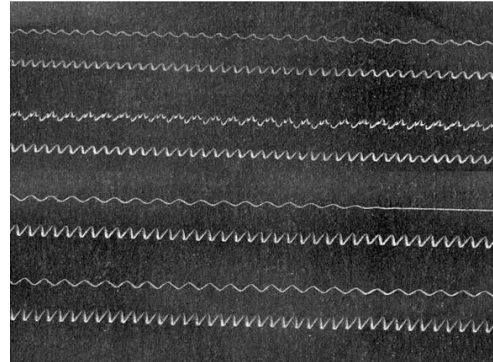
1.3 Ακουστική Ηχογράφηση και Αναπαραγωγή (19^{ος} αιώνας)



Οι πρώτες μέθοδοι αυτόματης ηχογράφησης δηλαδή από την ζωντανή ηχητική απόδοση κατευθείαν στην αποθήκευση, συναντώνται το 1857 από τον Edouard-Léon Scott de Martinville με το phonautograph.

Ο εφευρέτης χρησιμοποιώντας μια μεμβράνη *(Φωτογραφία 1.2)* συνδεδεμένη με μια πένα που παλλόταν ανάλογα με τον ήχο και έγραφε πάνω σε ένα καπνισμένο χαρτί που γυρνούσε σε έναν κύλινδρο. Όμως, δεν υπήρχε κατευθείαν αναπαραγωγή του ηχογραφημένου υλικού γιατί πρώτα έπρεπε να φωτοσκαλιστεί σε έναν μεταλλικό δίσκο.

Οι πρώτες ζωντανές ηχογραφήσεις ήταν μονοφωνικές. Η δυνατότητα πολυφωνικής αναπαραγωγής με την χρήση των πρώτων μονοφωνικών μηχανημάτων ηχογράφησης μέχρι και τα τέλη της δεκαετίας του 1930 ήταν σχεδόν αδύνατη γιατί απαιτείτο άψογος συγχρονισμός πολλών μηχανημάτων και αυτό ήταν πρακτικά πολύ δύσκολο. Παράλληλα, το ενδιαφέρον των ερευνητών τότε ήταν η εύρεση νέων τρόπων βελτίωσης της ποιότητας της ηχογράφησης και της αναπαραγωγής και όχι ο αριθμός των καναλιών διαχείρισης του ήχου.



(Φωτογραφίες αριστερά 1.3 και δεξιά 1.4) Στην αριστερή απεικονίζεται ένα phonoauto-graph και δεξιά ένα καταγραμμένο χαρτί από την πένα του μηχανήματος

Βασισμένος στο photoautograph, ο Thomas Edison δημιούργησε τον φωνόγραφο. Ο φωνόγραφος αποτελούνταν από έναν κώνο που είχε στην άκρη του το διάφραγμα με μια καρφίτσα όπου προσαρμόζοντας στο διάφραγμα την καρφίτσα, χάραζε με διαφορά βάθους πάνω σε μαλακά υλικά όπως φύλλα αλουμινίου. Υπήρχε ένας περιστρεφόμενος κύλινδρος όπου στην επιφάνειά του είχε ένα λεπτό μεταλλικό φύλλο.



Αριστερά (φωτογραφία 1.5) ο Thomas Edison δεξιά (φωτογραφία 1.6) μια διαφημιστική αφίσα του 1898 από την εταιρία του Edison, από κάτω (φωτογραφία 1.7) ο Bell κρατώντας ένα μικρόφωνο τηλεφώνου.

Το 1878 ο Alexander Graham Bell μαζί με τον Charles Sumner



Tainter τελειοποίησαν την ποιότητα του φωνόγραφου αλλάζοντας την μεταλλική λεπτή επιφάνεια του κυλίνδρου σε κεριά αυξάνοντας έτσι αρκετά την ποιότητα αναπαραγωγής του ήχου. Έτσι, ήταν δυνατή και η αναπαραγωγή του ήχου ακολουθώντας απλά η καρφίτσα την (φωτογραφία 1.7) ήδη χαραγμένη της πορεία που προέκυψε από την ηχογράφιση. Η πολυπλοκότητα

δημιουργίας του περιστρεφόμενου κυλίνδρου του φωνογράφου, κατέστησε αδύνατο να βγει στην μαζική παραγωγή.

Το 1881 στην Έκθεση του Παρισιού στην Γαλλία ο Clement Ader's πραγματοποίησε την πρώτη στερεοφωνική αναπαραγωγή.

Στην όπερα της εκθέσεως τοποθέτησε δεξιά και αριστερά, δίπλα στους προβολείς της όπερας, από ένα μικρόφωνο τηλεφώνου. Έξω από την όπερα, οι επισκέπτες είχαν την δυνατότητα με δύο ακουστικά τηλεφώνου να ακροαστούν την όπερα με όλη την χορική της αναπαράσταση.

Δυστυχώς, χρειάστηκε να περάσει σχεδόν μισός αιώνας μέχρι να διεκπεραιωθεί αυτή η καινοτόμα ιδέα και να γίνει δημοφιλής.



(φωτογραφία 1.8) Το 1887 ο Emile Berliner (ο οποίος ήταν ο εφευρέτης του μικροφώνου στις τηλεπικοινωνίες) κατασκεύασε το γραμμόφωνο. Το γραμμόφωνο κατέγραφε τον ήχο πάνω σε έναν περιστρεφόμενο δίσκο στην οριζόντια επιφάνειά του σε αντίθεση με το φωνόγραφο που χάραζε στην

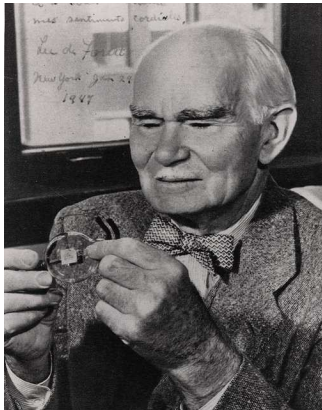
επιφάνεια του κυλίνδρου. Επίσης η βελόνα στο γραμμόφωνο χάραζε τον ήχο με τη διαφορά πλάτους οριζόντια και όχι όπως στο φωνόγραφο που χάραζε με την διαφορά βάθους. Αμέσως μετά ο Eldidge Johnson που ήταν ο βασικός βοηθός και μηχανικός του Emile Berliner εξέλιξε το γραμμόφωνο μηχανικά και εξασφάλισε την σταθερή απόδοση του ήχου. Βέβαια, η δυνατότητα εγγραφής με τη διαφορά βάθους στον φωνόγραφο έδινε καλύτερο δυναμικό εύρος. Παρόλα αυτά, η μαζική παραγωγή δίσκων ήταν πολύ πιο εύκολη και φθηνή και ο Eldidge Johnson ίδρυσε την τότε μεγάλη εταιρία The Victor Talking Machine Company.



(φωτογραφία 1.9)

1.4 Ηλεκτρική Ηχογράφιση και Αναπαραγωγή (20^{ος} αιώνας)

Η τεχνολογία του ρεύματος εξελισσόταν ήδη από το 1600. Μέχρι τα τέλη του 1900 γινόντουσαν δεκάδες σημαντικές ανακαλύψεις όπως τηλεπικοινωνίες, ραδιοφωνία και ηλεκτρικό φως. Η ηχογράφιση καθώς και η κινηματογράφηση λειτουργούσαν μηχανικά. Αξίζει να σημειωθεί ότι το φιλμ τότε, ήτανε ένα μέσο που θεωρητικά θα μπορούσε να αποδώσει πολύ ποιοτικότερα από τα τότε βινύλλια τον καταγραμμένο ήχο γιατί είχε την ικανότητα να μετατρέπει οπτικά και ακουστικά σήματα σε αντίστοιχο ηλεκτρικό ρεύμα μέσω της φωτοηλεκτρικής τεχνολογίας είχε ανακαλυφθεί από το 1887. Αυτό όμως που το καθιστούσε αδύνατο, είναι ότι δεν υπήρχε κάποιος μηχανισμός ενίσχυσης ηλεκτρικού σήματος που θα ενίσχυε το φωτοηλεκτρικό σήμα του φιλμ προκειμένου να γίνει ακουστό.



(φωτογραφία 1.10)

Το 1906 ο Lee De Forest ανακάλυψε την λυχνία κενού, γνωστή ως «τρίοδος», που πρακτικά ενίσχυε ένα αδύναμο ηλεκτρικό σήμα. Έφερε επανάσταση σε όλο τον χώρο της ηλεκτρονικής. Αξίζει να σημειωθεί ότι αμέσως μετά ο Lauste, χρησιμοποίησε την ανακάλυψη του Forest συνδυάζοντάς τη με το φιλμ μέσω του φωτοηλεκτρικού διαφράγματος προκειμένου να αναπαράγει ήχο, αλλά δεν κατάφερε να το κάνει εμπορικά αποδεκτό γιατί, λένε, ήταν πολύ μπροστά για την εποχή του. Το 1923 ο Lee de Forest έκανε επίσης ηχογράφιση πάνω σε φιλμ και μετά από πολλά πειράματα ο William Fox άρχισε να το εφαρμόζει στις κινηματογραφικές ταινίες.



(φωτογραφία 1.11)

Με την ανακάλυψη του Forest από το 1925 οι μεγάλες δισκογραφικές εταιρίες άρχισαν να χρησιμοποιούν μικρόφωνα, μεγάφωνα και κονσόλες μίξης για τις παραγωγές τους, ακολουθώντας και οι μικρότερες εταιρίες στο τέλος της δεκαετίας. Η

ηλεκτρική ηχογράφηση βελτίωσε την ποιότητά της μουσικής απόδοσης.



Married on December 1, 1923, Howard and Marion Armstrong went to Palm Beach for their honeymoon. Here on the beach Howard tunes in the world's first "portable" radio, a wedding gift to his bride.

(φωτογραφία 1.12)

Η ηλεκτρική επανάσταση έδωσε και στις μηχανές αναπαραγωγής της μουσικής άλλη διάσταση στην ποιότητα. Η αναπαραγωγή του ήχου γινόταν πάνω σε ηλεκτρικούς φωνογράφους και γραμμόφωνα και οι τότε εμπορικές δισκογραφικές όπως η **Victor Talking Machine Company** και η **Columbia Graphophone Company** έκαναν τεράστια άλματα και τα μηχανήματα αναπαραγωγής προσέγγιζαν την φλατ συχνοτική απόκριση δηλαδή την άριστη απόδοση.



Στις δύο πάνω (φωτογραφίες 1.13 και 1.14) φαίνονται τα λογότυπα των μεγάλων δισκογραφικών εταιριών.

1.5 Μαγνητική Ηχογράφηση (20^{ος} αιώνας)

Κατά την περίοδο 1920 με 1930 η ηχογράφηση από μηχανική έγινε μαγνητική. Με την βοήθεια των τριοδικών λυχνιών που ανακάλυψε αρχικά ο Lee De Forest αναπτύχθηκε η ιδέα της παραγωγής ηλεκτρικού σήματος από ηχητικά κύματα μέσω μαγνητικών πεδίων. Έτσι, με την επιρροή του Valdemar Poulsen, κατασκευάστηκε το πρώτο μαγνητικό ηχογραφητικό μηχάνημα, το wire recorder. Ήταν ένα ηχογραφητικό μηχάνημα που για μέσο ηχογράφησης και παραγωγής ήχου είχε μαγνητιζόμενο σύρμα.



Πάνω αριστερά (φωτογραφία 1.15) φαίνεται ο τηλεγράφος του Poulsen όπου πάνω σε αυτόν βασίστηκε η μαγνητική ηχογράφηση σε σύρμα. Δεξιά (φωτογραφία 1.16) φαίνεται ένα ηχογραφητικό σύρμα και κάτω αριστερά (φωτογραφία 1.17) ανταλλακτικά ρολά σύρματος προς ηχογράφηση.

Η καλωδιακή ηχογράφηση σχεδιάστηκε κυρίως για συνεντεύξεις και ομιλίες. Παρόλα αυτά χρησιμοποιήθηκε και για ηχογράφηση μουσικής όπως στη Μέση Ανατολή στον Ραδιοφωνικό σταθμό του Καΐρου από τον Halim EI-Dabh.

Το 1930 ο Guglielmo Marconi κατασκεύασε ένα μαγνητικό ηχογραφητικό μηχάνημα με ηχογραφητικό μέσο την ατσαλένια ταινία.

Το μηχάνημα αυτό ήταν εξαιρετικά επικίνδυνο γιατί όταν κοβόταν η 3^{ων}mm ατσαλένια ταινία τινάζοταν παντού και ήταν εξαιρετικά κοφτερή.

Κατασκευάστηκε στην Γερμανία για την ραδιοφωνία της και χρησιμοποιήθηκε και στη Ραδιοφωνία του Καναδά κατά το 1933.



Πάνω (φωτογραφία 1.18) απεικονίζεται ένα ηχογραφητικό μηχάνημα μαγνητικής ηχογράφησης σε ατσαλένια ταινία.

1.6 Μαγνητοταινία (το βήμα για την πολυκάναλη ηχογράφηση και αναπαραγωγή)



(φωτογραφία 1.19) Το 1928 Ο Γερμανός Fritz Pfelemer ανακάλυψε την πρώτη μαγνητική ταινία. Η Γερμανική εταιρία AEG (Βασική Εταιρία Ηλεκτρισμού) πήρε τα δικαιώματα του Pfelemer και το 1932 σε συνεργασία με την IG Farben (χημικός οργανισμός) κατασκεύασε το πρώτο παγκοσμίως μαγνητόφωνο, το K1.



Figure 1. At a WWII Berlin Stuttgart installation, an operator threads a Magnaphone tape recorder. Photo courtesy The Peace Museum.

Αριστερά (φωτογραφία 1.20) Γερμανικό κ1 σε χρήση.

Πριν περάσουμε στην ιστορία της εξέλιξης ηχογράφησης και αναπαραγωγής από μονοφωνική σε πολυκάναλη, έχει ενδιαφέρον να αναφερθεί η ιστορία που οδήγησε στην μετάβαση αυτή.

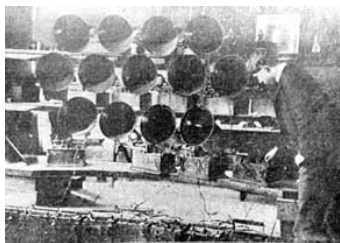
Ο Αμερικάνος μηχανικός ήχου John T. Mullin υπηρέτησε στην πολεμική ραδιοφωνία όπου μια από τις αποστολές της ομάδας του ήταν να μάθουν τα πάντα για την Γερμανική Ραδιοφωνική τεχνολογία. Κατά το τέλος του 2^{ου} παγκοσμίου η μονάδα του Mullin εξέτασε δεκάδες μαγνητικά μηχανήματα ήχου μέτριας ποιότητας αλλά όλα άλλαξαν όταν επισκέφτηκε ένα ραδιοφωνικό στούντιο στο Bad Neuheim κοντά στην Φραγκφούρτη, όπου εκεί βρήκε την τελευταία ραδιοφωνική τεχνολογία των Γερμανών. Εκεί, του δόθηκαν δύο ηχογραφητικά μαγνητικής ταινίας υψηλής ευκρίνειας της εταιρίας AEG και πενήντα μαγνητοταινίες. Έτσι ο Mullin, για τα επόμενα δύο χρόνια μελετούσε αυτές τις μηχανές και τις εξέλιξε κάνοντας δύο δημόσιες παρουσιάσεις όπου προκάλεσε πολύ ενθουσιασμό στις Αμερικάνικες εταιρίες ήχου.



Πολλοί ακροατές δεν πίστευαν ότι αυτό που άκουγαν δεν είναι ζωντανή μετάδοση ανάμεσα σε αυτούς και ο Bing Crosby όπου μαζί με τον Mullin έκαναν τεχνολογική επανάσταση στο Hollywood στην Τηλεόραση και στη Ραδιοφωνία και η Αμερικάνικη εταιρία τεχνολογίας ήχου η Ampex σε συνεργασία με την 3M, εμπορικοποίησε τις μαγνητοφωνικές μηχανές στα τέλη του 1940 και σε δικάναλη δυνατότητα εγγραφής και αναπαραγωγής.

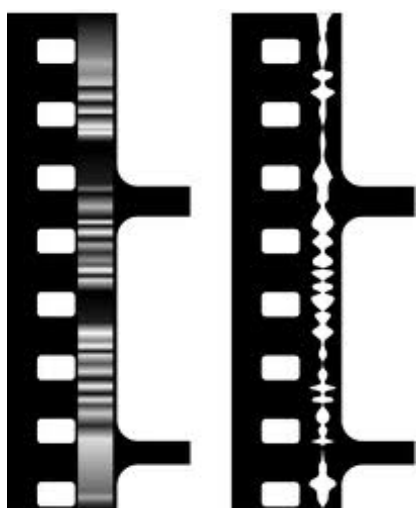
Αριστερά (φωτογραφία 1.21) ο Bing Crosby

1.7 Εξέλιξη της πολυκάναλης ηχογράφησης και αναπαραγωγής



(φωτογραφία 1.22) Πειράματα και προσπάθειες για πολυκάναλη ηχογράφηση και αναπαραγωγή είχαν γίνει κατά την περίοδο του 1880, του 1930 αλλά χωρίς ιδιαίτερα αποτελέσματα γιατί υπήρχε το πρόβλημα του συγχρονισμού των γραμμοφώνων που απαιτούνταν.

Αριστερά πάνω φαίνεται ο Edison σε προσπάθεια ταυτόχρονης ηχογράφησης με 13 γραμμόφωνα «ίσως για να αυξήσει την ταχύτητα παραγωγής των δίσκων του». Αριστερά κάτω, φαίνονται τα δύο κανάλια ήχου πάνω σε φιλμ.



(φωτογραφία 1.23) Η πρώτη πετυχημένη ηχογράφηση σε δύο κανάλια ταυτόχρονα έγινε από τα εργαστήρια του Bell το 1937 χρησιμοποιώντας στο φιλμ δύο οπτικά κανάλια ήχου. Το 1938 βγήκε η πρώτη ταινία (Listen Darling) με στερεοφωνία και δύο χρόνια μετά, το 1940 η πρώτη ταινία με ήχο surround χρησιμοποιώντας τριφωνία (Fantasia). Πρέπει να σημειωθεί ότι η τριφωνία που χρησιμοποιήθηκε στην ταινία, δηλαδή η χρήση τριών ανεξάρτητων καναλιών ήχου, δεν έγινε πάνω στο φιλμ αλλά με μαγνητοταινία από ξεχωριστές μηχανές.

Ήταν τόσο πολύπλοκος ο συγχρονισμός, όπου αυτός ήταν και ο λόγος που η ταινία Fantasia προβλήθηκε με την μορφή περιοδείας μόνο στην Αμερική.

Η πρώτη μηχανή πολυκάναλης ηχογράφησης με μαγνητική ταινία ήτανε δικάναλη ή αλλιώς στερεοφωνική και έγινε από την Ampex το 1940 και από την AEG το 1943. Η στέρεο ηχογράφηση γρήγορα έγινε συνηθισμένη για τις περισσότερες ηχογραφήσεις κλασσικής μουσικής και εκπομπές ραδιοφώνου. Παρόλα αυτά, πολλές ηχογραφήσεις pop και jazz συνέχισαν να παράγονται μονοφωνικά μέχρι τα μέσα του 1960.

Πριν καθιερωθεί η στερεοφωνία σε δύο κανάλια ήχου, επικράτησε σε πειραματικό στάδιο η στερεοφωνία των τριών καναλιών. Ο Steinberg και ο Snow στα εργαστήρια Bell το 1934 βρήκαν ότι τα τρία κανάλια

είναι αυτά που μεταδίδουν την πληρέστερη φανταστική εικόνα μιας ηχητικής πηγής στο οπτικό πεδίο χωρίς «κενά». Αργότερα, ο Blumlein ανακάλυψε την δημιουργία της ηχητικής εικονικής ψευδαίσθησης με την χρήση δύο καναλιών, αλλάζοντας τα ποσοστά εντάσεων στο κάθε κανάλι ξεχωριστά. Αυτή η ανακάλυψη έφερε την επανάσταση στον χώρο της ραδιοφωνίας και της μουσικής βιομηχανίας όπου όλα τα μηχανήματα και οι δίσκοι από μονοφωνικοί έγιναν δυκάναλοι ή στερεοφωνικοί από τα τέλη του 1960. Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι η έρευνα του Steinberg και του Snow δεν πήγε χαμένη γιατί στους κινηματογράφους μέχρι και σήμερα χρησιμοποιούνται τα 3 κανάλια ήχου, που είχαν καταστεί ως ελάχιστα, προκειμένου να περιγράψουν την μπροστινή εικόνα της μεγάλης οθόνης χωρίς κενά.

Στις αρχές του 1950, ο Αμερικανός κιθαρίστας Les Paul κατασκεύασε σε συνεργασία με την Ampex το πρώτο πολυκάναλο ηχογραφητικό μηχάνημα. Η δυνατή και εύκολη δυνατότητα του over-dubbing σε αυτή την οκτακάναλη ηχογραφητική μηχανή, έφερε μια καινούρια επανάσταση στο χώρο της ηχογράφησης.



(Φωτογραφία 1.24)
ο Les Paul με το 1^ο



(φωτογραφία 1.25) Απάνω αριστερά φαίνεται ο Les Paul και δεξιά οκτακάναλο ηχογραφητικό μηχάνημα)



(φωτογραφία 1.26) Η πολυκάναλη ηχογράφηση υιοθετήθηκε αμέσως από την Ampex όπου παρήγαγε εμπορικά τρικάναλα ηχογραφητικά. Αυτά απέβησαν πολύ χρήσιμα για την εμπορική μουσική γιατί κατάφεραν να ηχογραφούν την ορχήστρα στα δύο κανάλια και την φωνή στο τρίτο. Τα τρικάναλα ηχογραφητικά παραμείναν σε μεγάλη εμπορική χρήση μέχρι τα μέσα του 1960 και πολλές διάσημες ηχογραφήσεις της pop μουσικής προερχόταν από αυτά.



(φωτογραφία 1.27) Η επόμενη σημαντική εξέλιξη στα τέλη του 1960 ήταν τα τετρακάναλα ηχογραφητικά όπου έδωσαν τεράστια ελαστικότητα στα στούντιο διευκολύνοντας την τεχνική του over-dubbing. Παράλληλα, την περίοδο αυτή εξελίχτηκε και η ιδέα της τετρακάναλης ακρόασης, η λεγόμενη τετραφωνία. Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική αναφορά. Η τετρακάναλη ταινία έκανε δυνατή την ανάπτυξη σε τετραφωνία δηλαδή παραγωγή ήχου σε τέσσερα ξεχωριστά κανάλια, όπου τα τέσσερα κανάλια μαζί, χρησιμοποιούνταν για να εξομοιώσουν μια ολοκληρωμένη κυκλική

ακρόαση 360 μοιρών, γνωστή ως surround sound. Ένας μεγάλος αριθμός άλμπουμ βγήκαν με αυτή την τετραφωνία εκείνη την εποχή όπως των Pink Floyd The Dark Side Of The Moon και του Mike Oldfield Tubular Bells που βγήκαν σε format stereo και τετραφωνικό το 1973. Όμως η τετραφωνία απέτυχε να γίνει εμπορικά αποδεκτή. Παρόλα αυτά χρησιμοποιούνταν από το 1950 πολύ έντονα στον κινηματογράφο με τετραφωνία στο 35mm φιλμ και εξαφωνία στο 70mm φιλμ.

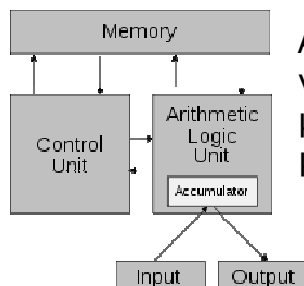
Η βολικότητα της μίξης και η πολυκάναλη ηχογράφηση οδήγησε σε γρήγορη υιοθέτηση της μαγνητοταινίας, ως την πρωτογενή τεχνολογία για την επαγγελματική αλλά και εμπορική χρήση. Παρόλα αυτά οι 33 1/3 και οι 45 rpm βινύλια ήταν τα κυρίαρχα καταναλωτικά format μέχρι τα τέλη του 1980 λόγω της καλύτερης ποιότητας ήχου σε σχέση με τις μαγνητικές κασέτες.

Κεφάλαιο 2^ο

Η Ψηφιακή Τεχνολογία Αποθήκευσης και Πολυκάναλης Αναπαραγωγής Ήχου

2.1 Εισαγωγή στη Ψηφιακή Εποχή

(φωτογραφία 2.1)



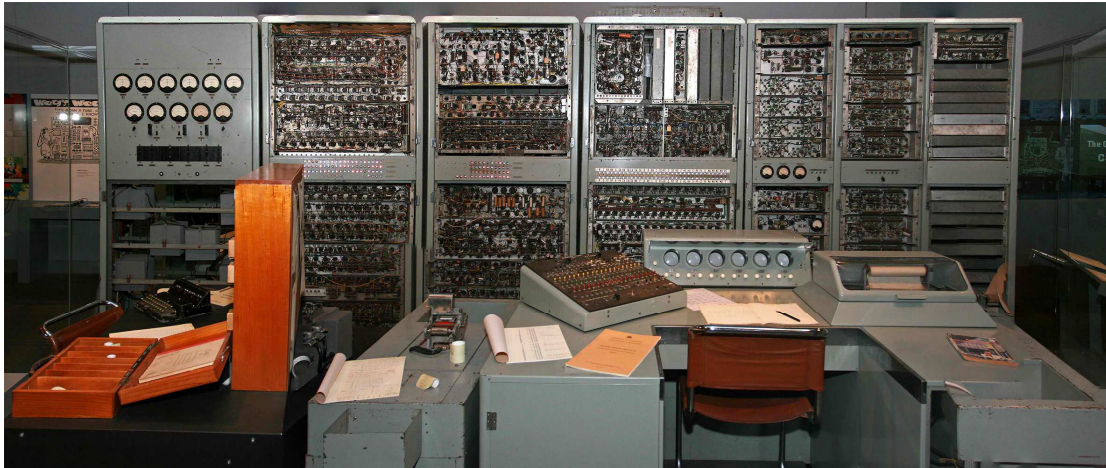
Από το 1940 τα ηλεκτρονικά κυκλώματα άρχισαν να αντικαθιστούν τα μηχανικά και οι ψηφιακοί μετρητές έπαιρναν τη θέση των αναλογικών μετρητών.



Η ψηφιακή τεχνολογία, ως πρωτογενέστερη επιστήμη και τεχνολογία που άλλαξε ριζικά το βιοτικό επίπεδο του ανθρώπου, βασίστηκε στην κωδικοποίηση αναλογικού σήματος με τους αριθμούς 0 και 1. Αξίζει να σημειωθεί ότι επηρεάστηκε από την τεχνολογία της «τρυπημένης κάρτας» που είχε εφαρμοστεί ήδη από το 1801 από τον Joseph-Marie Jacquard με σκοπό να αποθηκεύει και να αναπαράγει μουσική!

Αριστερά (φωτογραφία 2.2) φαίνεται το σύστημα της τρυπημένης κάρτας ενός μουσικού μηχανήματος ή όπως λεγόταν αλλιώς μουσικού βιβλίου)

Άλλο ένα χαρακτηριστικό στοιχείο που επίσης αξίζει να αναφερθεί, είναι ότι ενώ οι πρώτοι ψηφιακοί υπολογιστές κατασκευάστηκαν από τις μεγάλες δυνάμεις (Αγγλία, Γερμανία, Αμερική) προκειμένου να εξασφαλίζουν κρατικά συμφέροντα που σχετιζόντουσαν άμεσα με τον 2^ο παγκόσμιο πόλεμο όπως υπολογιστές αποκρυπτογράφησης κ.α., το 1949 κατασκευάστηκε από τους Αυστραλούς ένας ψηφιακός υπολογιστής με το όνομα CSIRAC που έπαιζε μουσική!



(φωτογραφία 2.3)

Έτσι, αποκτάει ένα ενδιαφέρον αυτή η αντίθεση των παραπάνω γεγονότων. Σχετίζετε άμεσα με την αξία της μουσικής για τον άνθρωπο. Υπό συνθήκες ειρήνης φαίνεται ότι η ανάγκη του να βρει κάποιον τρόπο να αποθηκεύσει την μουσική ήταν μεγαλύτερη από το να εξελίξει κάποια άλλη πρωτογενής ανάγκη. Στην συνέχεια ο τρόπος αυτός, με αφορμή τον πόλεμο οδήγησε σε εξελιγμένη τεχνολογία πρωτογενούς φύσης, την οποία όμως, σε περιοχή με ειρήνη, την χρησιμοποίησαν για μουσική!

Ψηφιακή Τεχνολογία

Η δυνατότητα της ψηφιακής τεχνολογίας να μεταφέρει ένα οποιοδήποτε σήμα σε αριθμούς, προσφέρει δυνατότητες ταχύτατης επεξεργασίας, ανεπηρέαστης αποθήκευσης και ανεπηρέαστης αντιγραφής. Δεν άργησε αυτή η τεχνολογία να χρησιμοποιηθεί στην μαζική παραγωγή μουσικής. Κατά την διαδικασία ηχογράφησης και αναπαραγωγής ήχου από τα αναλογικά μηχανήματα, υπήρχαν πολυάριθμες αιτίες θορύβου και παραμόρφωσης. Αντίθετα, με την ψηφιακή τεχνολογία τα μόνα μέσα που προκαλούν θόρυβο είναι αυτά που αφορούν αναλογικό σήμα δηλαδή μικρόφωνα, μεγάφωνα και καλώδια. Μια άλλη επίσης πρόκληση που δέλεασε τις εταιρίες μαζικής παραγωγής, ήταν η ευχρηστία των μηχανημάτων σε σχέση με τα αναλογικά μηχανήματα και η ταχύτατη παραγωγή.

Το 1971 άρχισε η εμπορική παραγωγή ψηφιακών μηχανημάτων ηχογράφησης όπου μετά το 1982 με πρωταγωνίστριες εταιρίες την Sony και την Philips απελευθερώθηκαν και τα καινούρια μέσα αναπαραγωγής μουσικής τα compact discs (CD) όπου σταδιακά αναβαθμίζονται μέχρι και σήμερα. π.χ. (mini discs, super audio CD, DVD-A, Blue-Ray).

Το 1980, η ψηφιακή τεχνολογία άρχισε να ανθίζει στην ηχογράφηση και σταδιακά οι αναλογικές κασέτες ηχογράφησης μειωνόντουσαν. Παρόλα αυτά πολλά μεγάλα στούντιο χρησιμοποιούσαν αναλογικά ηχογραφητικά.



Μετά το 1990 τα ψηφιακά ηχογραφητικά είχανε δυνατότητες πολυκάναλης ηχογράφησης σε δεκάδες κανάλια ήχου. Το πιο δημοφιλές format ήταν το DAT (digital audio tape) και μηχανήματα όπως τα ADAT προσφερόντουσαν για πολυκάναλλη εγγραφή.

Αριστερά (φωτογραφία 2.4) μια 90 λεπτών κασέτα DAT συγκρινόμενη με το μέγεθος μιας μπαταρίας AAA.



Απάνω (φωτογραφία 2.5) ADAT οκτακάναλο μηχανήμα ηχογράφησης σε ψηφιακή κασέτα.

Η ταχύτερη εξέλιξη της τεχνολογίας των ψηφιακών υπολογιστών οδήγησε σε καινούργια μέσα εγγραφής και αποθήκευσης ήχου, τους σκληρούς δίσκους. Η μετάβαση από αναλογικό σήμα σε ψηφιακό γίνεται με την βοήθεια ειδικών μετατροπέων ή μονάδων του υπολογιστή. Η μονάδα του υπολογιστή που είναι υπεύθυνη για την ψηφιακή διαχείριση του ήχου είναι γνωστή ως, κάρτα ήχου.

Η κάρτα ήχου αποτελεί ένα κομμάτι του ηλεκτρονικού υπολογιστή που είναι υπεύθυνο για την ψηφιοποίηση ηλεκτρικού εναλλασσόμενου ρεύματος που προέρχεται από ηχητικά κύματα μέσω των μικροφώνων και επίσης υπεύθυνο για να αναλάβει την διαδικασία αποψηφιοποίησης δηλαδή να φτιάξει εναλλασσόμενο ρεύμα ανάλογο των ψηφιακών δεδομένων που λαμβάνει, όπου στη συνέχεια αυτό θα γίνει ηχητικό κύμα μέσω των ηχείων.

2.2 Σημερινή τεχνολογία Ηχογράφησης και Αναπαραγωγής του Ήχου

Σήμερα, διαρκώς προγραμματίζονται καινούργια προγράμματα (software) που αφορούν την επεξεργασία των ψηφιοποιημένων σημάτων ήχου που προέρχονται από την διαδικασία A/D (analog to digital) της κάρτας ήχου ή και την δημιουργία ψηφιακών σημάτων ήχου που απευθύνονται κατευθείαν στη διαδικασία D/A (digital to analog) της κάρτας ήχου. Ένα μεγάλο θετικό στοιχείο που αφορά την επεξεργασία ψηφιοποιημένου σήματος είναι η δυνατότητα χρήσης εκατοντάδων ξεχωριστών καναλιών προς επεξεργασία με τέλειο συγχρονισμό, καθώς και με ταχύτερη αντιγραφή.

Όσον αφορά την ταυτόχρονη πολυκάναλη ηχογράφηση και αναπαραγωγή, η σημερινή ψηφιακή τεχνολογία έχει καταστήσει πλέον δυνατό να γίνεται σε εκατοντάδες κανάλια. Μηχανήματα όπως τα ADAT στις αρχές του 1990 που ηχογραφούσαν πάνω σε τρεις ψηφιακές κασέτες με δυνατότητα ταυτόχρονης ηχογράφησης 24^{ωv} καναλιών σε δειγματοληψία 44.100 ή 48.000 δείγματα ήχου το δευτερόλεπτο. Σήμερα, τα νέα ADAT HD ηχογραφούν σε έναν σκληρό δίσκο 24 κανάλια ταυτόχρονα με δειγματοληψία έως και 192.000 δείγματα ήχου το δευτερόλεπτο.



Αριστερά (φωτογραφία 2.6) PCM-H128 Multi-channel recorder Η εταιρία Sadie κατασκεύασε ψηφιακό μηχάνημα με δυνατότητα ταυτόχρονης ηχογράφησης και αναπαραγωγής 128^{ωv} καναλιών με δειγματοληψία από 94Khz μέχρι και 192Khz δηλαδή μέχρι και 192.000 δείγματα ήχου το δευτερόλεπτο.

Η ιστορία της τεχνολογίας ηχογράφησης και αναπαραγωγής του ήχου από την μηχανική, σε αναλογική και σε ψηφιακή, φανερώνει αντίστοιχα την εκθετική αύξηση των δυνατοτήτων που προσφέρονται στον τρόπο ηχογράφησης και αναπαραγωγής επηρεάζοντας ταυτόχρονα και τα καλλιτεχνικά κινήματα από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα μέχρι σήμερα.

Η σημερινή τεχνολογία ηχητικών συστημάτων μας καθιστά ξεκάθαρο ότι έχει απεριόριστες δυνατότητες συγχρονισμού πολλαπλών καναλιών και ταχύτερης επεξεργασίας του ήχου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Μονοφωνία και Πολυκάναλα Συστήματα Ήχου

3.1 Μονοφωνία

Μονοφωνία ονομάζεται η ηχητική εκπομπή που παράγεται από ηχεία ελεγχόμενα από ένα κανάλι ήχου. Στο σύστημα αυτό δεν υπάρχει δυνατότητα χωρικής ηχητικής διασποράς περιφερειακά παρά μόνο η διαχείριση του βάθους με την διαφορά εντάσεων μεταξύ των παραγόμενων ηχοχρωμάτων. Μεγάλο πλεονέκτημα της μονοφωνίας είναι ότι δεν υπάρχει δέσμευση καλύτερης θέσης ακρόασης για τους ακροατές. Από τα τέλη του 18^{ου} αιώνα που ανακαλύφθηκαν τα πρώτα αυτόματα μηχανήματα καταγραφής και αναπαραγωγής του ήχου μέχρι και τα τέλη του 1950, ήταν μονοφωνικά.

3.2 Πολυκάναλα Συστήματα

Πολυκάναλα συστήματα είναι τα τεχνολογικά συστήματα ήχου που είναι ικανά να καταγράψουν και να αναμεταδώσουν τον ήχο από πολλά ανεξάρτητα κανάλια, συγχρονισμένα. Οι εφαρμογές των συστημάτων αυτών ποικίλουν ανάλογα με τον αριθμό των καναλιών, τον σκοπό και τον τρόπο αναπαραγωγής τους.

3.3 Σύστημα Στερεοφωνίας

Η λέξη STEREO προέρχεται από την Ελληνική λέξη Στερεό. Στην Επιστήμη της Φυσικής, **στερεό** ονομάζεται κάθε ουσία της οποίας τα μόρια είναι σε καθορισμένες θέσεις μεταξύ τους και συγκρατούνται από συγκεκριμένου τύπου δυνάμεις. Μακροσκοπικά, τα στερεά έχουν καθορισμένο σχήμα και όγκο. Το στερεό αποτελεί μία από τις τρεις μορφές της κατάστασης της ύλης.

Στον ήχο, σύστημα στερεοφωνίας είναι το σύστημα που περιέχει πολλά ανεξάρτητα κανάλια ήχου που στέκουν στο χώρο σε απόλυτη συμμετρία γύρω από τον ακροατή. Παρόλα αυτά σήμερα, η λέξη stereo έχει καθιερωθεί για τα δικάναλα συστήματα ήχου.

3.4 Πλεονεκτήματα Στερεοφωνίας

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα της στερεοφωνίας είναι ότι τα δύο σημεία που χαρακτηρίζονται από τα δύο κανάλια είναι αρκετά για την πολύ αποτελεσματική χωρική αναπαράσταση του μετωπικού ηχητικού πεδίου του ανθρώπου.

Η θέση του ακροατή προκειμένου να ισχύει η στερεοφωνία, είναι αυτή που δημιουργεί ένα ισοσκελές τρίγωνο ανάμεσα στα δύο κανάλια εξόδου των ηχείων και τον ακροατή.

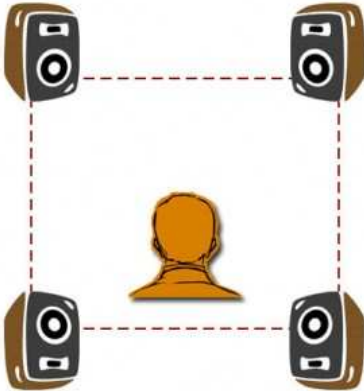
Παράλληλα, με την στερεοφωνία είναι και δυνατή η χρήση ψυχοακουστικών τεχνικών διαμόρφωσης ήχου, μιμούμενων τα HRTF και HRIR του ανθρώπου, που δίνει την δυνατότητα σε ένα απλό στέρεο σήμα να έχει τρισδιάστατη χωροδιάταξη και κίνηση. Αυτή η τεχνική δουλεύει με εξαιρετικά αποτελέσματα με την χρήση των δυκάναλων ακουστικών.

3.5 Surround Sound

Surround Sound είναι ο όρος που αποτελεί την πλήρη κυκλική οριζόντια ηχητική εκπομπή προς τους ακροατές. Ο ελάχιστος αριθμός καναλιών για την εφαρμογή του surround sound είναι 3. Left, Right και Surround. Όμως, η δημιουργία του κύκλου με την χρήση τριών καναλιών υστερεί γιατί η γωνία που σχηματίζουν τα ηχεία με τον ακροατή ξεπερνάει κατά πολύ την γωνία των 60 μοιρών που θεωρείται η ιδανική προκειμένου να λειτουργούν οι φανταστικές πηγές μεταξύ των ηχείων ισοδύναμα. Έτσι, ο ελάχιστος αριθμός καναλιών που απαιτείται για ολοκληρωμένο surround χωρίς αδύναμες φανταστικές πηγές μεταξύ δύο ηχείων είναι 6 χωρίζοντας δηλαδή τον κύκλο σε 6 ισοσκελή τρίγωνα έχοντας εξαφωνία. Παρόλα αυτά, ο αριθμός των καναλιών που εφαρμόστηκε ευρέως και εμπορικά προκειμένου να εφαρμόσει την κυκλική surround sound ηχητική απόδοση ήταν τέσσερα, ονομαζόμενη ως διάταξη quadraphonic sound.

3.6 Quadraphonic Sound (Τετραφωνία)

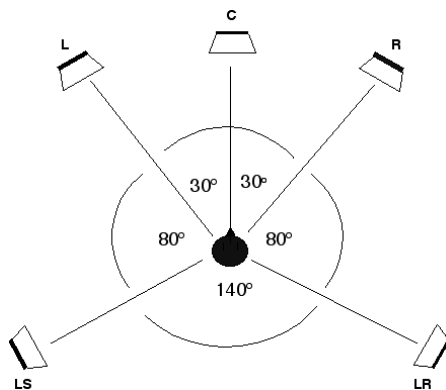
Η τετραφωνία αρχικά σαν ιδέα ήταν ένα σύστημα που μετέδιδε την πλήρη κυκλική ηχητική μετάδοση στους ακροατές. Μετά από πάρα πολλούς πειραματισμούς στα μέσα του 1960 στον τρόπο κωδικοποίησης των 4^{ωv} καναλιών βγήκαν στο εμπόριο τα τετρακάναλα βινύλια αλλά και μηχανήματα με τρόπους μετατροπής (φωτογραφία 3.1) τετραφωνίας σε διφωνία όπως τα βινύλια LPs (4-2-4



matrix systems) και οι εταιρίες μουσικής παραγωγής άρχισαν την πολυκάναλη παραγωγή με πρώτο πολυκάναλο άλμπουμ των Beatles (Sergeant Pepper). Όμως η εμπορική αυτή απόπειρα απέτυχε. Όχι γιατί δεν είχε ακουστικό ενδιαφέρον, αλλά γιατί δεν ήταν καθόλου πρακτικό για τον κοινό πολίτη. Παρά το γεγονός ότι κολοσσοί της τότε pop μουσικής έβγαλαν τέτοιους δίσκους, ο κόσμος δίσταζε να αντικαταστήσει τα παλιά ηχοσυστήματα και έτσι η μουσική τετραφωνία έλαβε τέλος.

3.7 Cinema Quadraphonic Sound

Η χρήση της τετραφωνίας σε μορφή τετραγώνου απέτυχε και στον κινηματογράφο για τον λόγο ότι δημιουργούσε μεγάλα ηχητικά κενά στο κέντρο του μπροστινού μέρους της οθόνης λόγω των μεγάλων της διαστάσεων. Λειτουργήσε όμως με επιτυχία χρησιμοποιώντας τα τρία κανάλια μπροστά στην οθόνη και το ένα πίσω για χωρική αντίληψη. (φωτογραφία 3.2)



Εν συνεχεία, το ότι το πίσω κανάλι (S) χωρικής αντίληψης ήταν μονοφωνικό, αποτελούσε μειονέκτημα γιατί δεν υπήρχε δυνατότητα χωρικής επεξεργασίας. Έτσι, προκειμένου να εξαλειφθεί, πρόσθεσαν άλλο ένα πίσω κανάλι ώστε να δημιουργηθεί ένα νέο στέρεο πεδίο. Έτσι, ανοίχτηκε μια νέα οδός πάνω στο χώρο του χωρικού εμπλουτισμού ταινιών γνωστού ως 5.1.

Πρακτικά τα τρία μπροστινά κανάλια ήταν υπεύθυνα για την στέρεο περιγραφή της απεικονιζόμενης εικόνας και τα δύο πίσω κανάλια

είχαν υποστηρικτικό ρόλο για ηχητικά εφέ και για έμφαση χωρικής αντίληψης.

Οι προδιαγραφές των συστημάτων που αφορούν την ποσότητα καναλιών ήχου γίνεται με τον εξής τρόπο. Ο αριθμός των καναλιών ήχου συμβολίζεται συνήθως με δύο αριθμούς που τους χωρίζει ένα κόμμα. Ο πρώτος αριθμός συμβολίζει τον αριθμό των ανεξάρτητων δρόμων ήχου πάνω από την συχνότητα περίπου των 120 HZ και δεξιά από το κόμμα συμβολίζεται ο αριθμός των καναλιών χαμηλών συχνοτήτων δηλαδή κάτω των 120 HZ. π.χ 4,1 δηλ. Τέσσερις ανεξάρτητοι δρόμοι ήχου και ένας δρόμος χαμηλών συχνοτήτων.

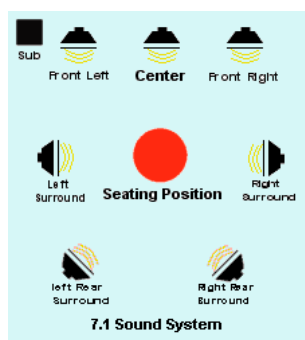
Ένας άλλος συμβολισμός διάταξης καναλιών είναι με καθέτους δηλαδή π.χ. 2/2/1 αυτός ο συμβολισμός εκφράζει όχι μόνο τον αριθμό των καναλιών αλλά και την θέση τους στον χώρο. Π.χ 4,1 είναι και 2/2/1 που σημαίνει δύο κανάλια ήχου μπροστά από τους ακροατές δύο πίσω και ένα κανάλι χαμηλών συχνοτήτων.

3.8 LFE Channel (Κανάλι Χαμηλών Συχνοτήτων)

Το κανάλι χαμηλών συχνοτήτων που συμβολίζεται μετά την τελεία (5.1) προστέθηκε για να υπάρχει η δυνατότητα ανεξάρτητης ενίσχυσής του, αφ'ενός επειδή η ανθρώπινη ακουστική ευαισθησία στις χαμηλές συχνότητες υστερεί χοντρικά κατά 10db σε σχέση με τις υπόλοιπες στο ακουστικό εύρος, αφ'ετέρου, για την μεγέθυνση ηχητικών εφέ όπως εκρήξεις, αεροπλάνα, κεραυνούς, βήματα δεινοσαύρων κτλ.

Τα κανάλια χαμηλών συχνοτήτων καταλήγουν σε ηχεία woofers που είναι κατασκευασμένα αποκλειστικά για την καλή απόδοση στις συχνότητες αυτές. Ο λόγος που συνήθως είναι μόνο 1 ή 2 κανάλια χαμηλών συχνοτήτων, είναι γιατί δεν υπάρχει κατευθυντική δυνατότητα και παρουσιάζουν μεγάλη κυματική συμβολή λόγω των τεραστίων μηκών κύματος που παρουσιάζουν αυτές οι συχνότητες.

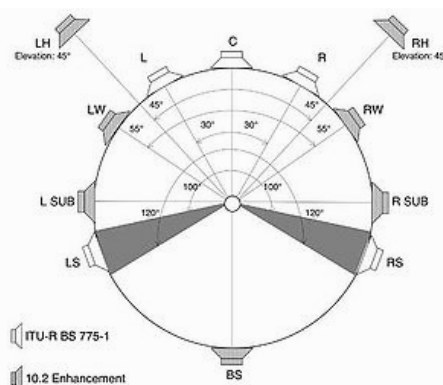
3.9 Άλλα Πολυκάναλα Συστήματα (7.1, 10.2 Channel Surround)



Τα συστήματα 7.1 αρχικά φτιάχτηκαν για τον κινηματογράφο προκειμένου να εμπλουτίσουν το μπροστινό οπτικό πεδίο που βρίσκεται η οθόνη προσθέτοντας στα 3 κανάλια των 5.1 συστημάτων (L,C,R) άλλα 2. Το CL και το CR. Εν συνεχεία τα 7.1 χρησιμοποιήθηκαν και με άλλη διάταξη (Lexicon logic 7) δηλαδή χρησιμοποιώντας τα δύο νέα κανάλια στο πλάι ενισχύοντας την χωρική μετάδοση.

(φωτογραφία 3.3)

Ο Tolminson Holman προσπάθησε να αναπτύξει την ιδέα του συστήματος 10.2 στους κινηματογράφους λέγοντας την ατάκα: "the next step" υποστηρίζοντας το σύστημα αυτό προσθέτοντας ένα πίσω κανάλι Center (για την αποφυγή κενών) δύο κανάλια στα μπροστινά πλαινά σαν FLS και FRS και δύο κανάλια σε ύψος. Επίσης, για το δεύτερο κανάλι χαμηλών συχνοτήτων, υποστήριξε την σημαντικότητα του για τον χωρικό διαχωρισμό χαμηλών συχνοτήτων. Το σύστημα αυτό τελικά, το χρησιμοποίησαν οι κινηματογράφοι IMAX που φαίνεται παρακάτω στις πρακτικές εφαρμογές πολυκάναλων συστημάτων. (φωτογραφία 3.4)



3.10 Πολυκάναλα formats κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης

Η ανάγκη συμβατότητας αλλά και πολυκάναλης surround απόδοσης όλων των ειδών formats π.χ.(2,0 2,1 5,1 7,1) των ηχογραφημένων υλικών σε όλων των ειδών συστημάτων αναπαραγωγής, οδήγησε στην κατασκευή νέων συστημάτων διαχείρισης εισερχόμενου format. Δηλαδή ένα δικάναλο στέρεο σήμα να μπορεί να αναπαραχθεί πολυκάναλα σε surround μορφή και ένα πολυκάναλο σήμα να μπορεί να αναπαραχθεί σε stereo μορφή.

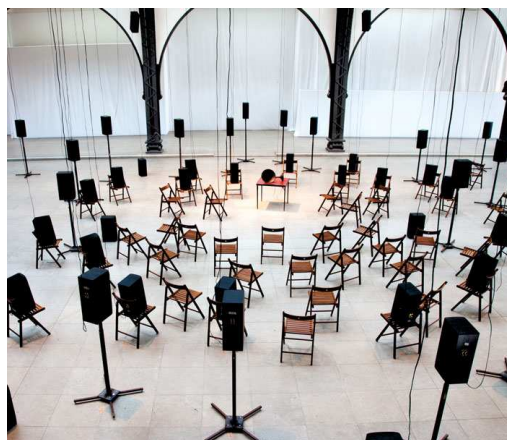
Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με τα συστήματα που ονομάζονται Matrixed Surround Systems. Ένα στέρεο format όταν περάσει από την διαδικασία matrix surround, μπορεί να αναπαραχθεί πολυκάναλα. Ο τρόπος που επιτυγχάνεται αυτό, είναι μια τεχνική που χρησιμοποιεί comb filtering, φίλτρα συχνοτήτων και φασικές

διαφορές. Αντίθετα, όταν ένα πολυκάναλο surround σήμα αναπαραχθεί σε σύστημα stereo τότε η διαδικασία μετάβασης είναι πολύ απλούστερη, μοιράζονται τα κανάλια L,LS στο Left, τα κανάλια R,RS στο Right και το κανάλι C μοιράζεται ισόποσα στα Left, Right.

Γνωστά format που κάνουν τις παραπάνω διαδικασίες είναι της Dolby (Dolby Stereo and Pro Logic, Dolby Digital), της Lexicon Logic, της DTS και της SDDS.

3.11 Ambisonics

Ambisonics, είναι τεχνικές που μπορούν να εφαρμοστούν σε διαδικασία ηχογράφησης και αναπαραγωγής με σκοπό να δειγματοληφτούν και να αναμεταδίδουν τον ήχο σε σημειακές πηγές με σκοπό να δημιουργούνται εκλεκτικά ηχητικά όρια. Έτσι, επιτυγχάνεται η δυσδιάστατη ή τρισδιάστατη αναπαράσταση του ήχου, ανάλογα με τα κανάλια που χρησιμοποιούνται, χωρίς να εξαρτάται από την θέση ακρόασης. Δεν υπάρχει δηλαδή κάποιο (Hot Spot) που θα επιτρέψει την ακριβή αντίληψη προέλευσης του ήχου γιατί δεν υπάρχει η ανάγκη δημιουργίας φανταστικών πηγών. Οι εφαρμογές Ambisonic απευθύνονται στο ακουστικό σύστημα του ανθρώπου κατευθυντικά εξ ολοκλήρου του φάσματος ακρόασης χωρίς κάποιον περιορισμό μεταξύ του μετωπικού και του πίσω φάσματος χωρικής ηχητικής αντίληψης. Οι ambisonic εφαρμογές ξεκίνησαν από το 1950 και χρησιμοποιούνται κυρίως για ηλεκτροακουστική μουσική. Οι βασικές ambisonic ηχογραφήσεις γίνονται με διάφορες ιδιικές τεχνικές. Η πιο απλή είναι με την χρήση του soundfield microphone όπου λαμβάνει τριών διαστάσεων σήμα, γνωστό ως B-Format, που αποτελείται από τέσσερα στοιχεία (όπως W, X, Y και Z). Στο τέλος του 3^{ου} κεφαλαίου φαίνονται κάποιες ιστορικές ambisonic εφαρμογές.



Απάνω (φωτογραφία 3.5) Βερολίνο 2009 ο Janet Cardiff και ο George Bures Miller με ambisonic installation 98 ηχείων παρουσίασαν το “The Murder of Crows”.

3.12 Wave field synthesis, είναι μια τεχνική αναπαραγωγής πολυκάναλου ήχου. Παρόμοια με τις Ambisonics εφαρμογές, η wave field synthesis έχει και αυτή σκοπό να δημιουργήσει ένα ηχητικό πεδίο αλλά καλύπτοντας μια περιοχή και όχι σημεία.

Οι εφαρμογές αυτές χρησιμοποιούν συστοιχίες πολλών και μικρών ηχείων όπου κάθε ηχείο αντιστοιχεί σε ανεξάρτητο κανάλι. Έτσι, ο συνδυασμός τους δημιουργεί και το ηχητικό πεδίο. Οι εφαρμογές αυτές δεν υστερούν στο πρόβλημα της οριακής ηχητικής επικάλυψης, όπως στις ambisonics εφαρμογές, αλλά στο θέμα της ηχογράφησης είναι πρακτικά αδύνατες.



Απάνω (φωτογραφία 3.6) φαίνεται μια οκτακάναλη εφαρμογή της Wave Field Synthesis

Δημιουργία και Επεξεργασία Πολυκάναλου Ηχητικού Υλικού

Το αναπαραγόμενο πολυκάναλο ηχητικό υλικό, απαιτεί μια πιο σύνθετη διαδικασία δημιουργίας και επεξεργασίας σε σχέση με την μονοφωνική ή την στερεοφωνική αναπαραγωγή, σε όλα τα στάδια, της ηχογράφησης, μίξης, και mastering.

3.13 Τεχνικές πολυκάναλης ηχογράφησης φυσικών ήχων

Η ηχογράφηση αποτελεί την πρώτη εφαρμογή στον κύκλο της ηχητικής παραγωγής. Είναι διαδικασία μεγάλης ευθύνης γιατί αποθηκεύει κάτι στον χρόνο δημιουργώντας την πρώτη ύλη της ακουστικής αλυσίδας μέχρι την αναπαραγωγή. Η ποικιλία μικροφώνων έγκειται στο γεγονός ότι εξαρτώνται από τα συστατικά του ήχου (ένταση, ηχόχρωμα) που πρόκειται να ηχογραφηθεί.

Οι τεχνικές ηχογράφησης, επίσης ποικίλουν και εξαρτώνται από τον τρόπο και το σύστημα της τελικής ηχητικής αναπαραγωγής. Οι

Ηχογραφήσεις που αποσκοπούν στις πολυκάναλες ηχητικές αναπαραγωγές ποικίλουν ανάλογα με τον τελικό τρόπο κατανομής και διαχείρισης του ήχου στα ηχεία.

Μονοφωνική ηχογράφηση. Αυτή η τεχνική ηχογράφησης αποβλέπει στην μετέπειτα επεξεργασία του ήχου από τον ηχολήπτη δίνοντας την δυνατότητα εύκολης διαχείρισης αφού πρόκειται για ένα μόνο κανάλι.



(φωτογραφία 3.7)

Στερεοφωνική ηχογράφηση X-Y. Η ηχογράφηση αυτή χρησιμοποιώντας δύο καρδιοειδή μικρόφωνα με μεταξύ τους γωνία (60-90 μοιρών) καταγράφουν όλο το μετωπικό οριζόντιο ηχητικό πεδίο σε δύο διαστάσεις

(βάθος και πλάτος). Αυτό πετυχαίνεται με την διαφορά έντασης του σήματος που λαμβάνουν τα δύο μικρόφωνα λόγω του κατευθυντικού πολικού τους διαγράμματος.



(φωτογραφία 3.8)

Binaural ηχογράφηση. Η ηχογράφηση αυτή εμπνευσμένη από τον μηχανισμό αντίληψης ήχου του ανθρώπου. Στα εσωτερικά σημεία των ψεύτικων αυτιών όπως φαίνεται στην φωτογραφία αριστερά, υπάρχουν μικρόφωνα. Η ηχογράφηση αυτή είναι τρισδιάστατη. Αυτό επιτυγχάνεται γιατί τα δύο μικρόφωνα, εκτός από την διαφορά έντασης που λαμβάνουν (όπως στην X-Y ηχογράφηση)

λαμβάνουν και τις μικροανακλάσεις των σημάτων οι οποίες αντιστοιχούν με αυτές που θα λάμβανε ο μηχανισμός του ανθρώπου λόγω των πτερυγίων του.



(φωτογραφία 3.9) **Ηχογράφηση M-S.**

Η ηχογράφηση M/S γίνεται συνήθως με ένα καρδιοειδές μικρόφωνο (εναλλακτικά με παντοκατευθυντικό) το οποίο καλύπτει το κυρίως ηχητικό πεδίο και στοχεύει ευθεία στο κέντρο της ηχητικής σκηνής (M: mid) και με ένα οκτοειδές μικρόφωνο τοποθετημένο "κάθετα" σε γωνεία 90° στον άξονα της σκηνής το οποίο

προσλαμβάνει ήχους από τα πλάγια (S: side). Η μετατροπή μιας ηχογράφησης M/S σε στερεοφωνική απαιτεί απλή επεξεργασία πάνω στις φάσεις των δύο σημάτων $M+S=R$ και $M-S=L$



(φωτογραφία 3.10)

Surround

ηχογράφηση. Η ηχογράφηση αυτή χρησιμοποιεί πολλά μικρόφωνα σε διαφορετικές γωνίες στον οριζόντιο άξονα. Π.χ Στην φωτογραφία φαίνεται μια τετραφωνική διάταξη ηχογράφησης. Βασικό στοιχείο για τις surround ηχογραφήσεις είναι ότι οι κατευθύνσεις και ο αριθμός των μικροφώνων πρέπει να

αντιστοιχούν με το format αναπαραγωγής και τις θέσεις των ηχείων.



(φωτογραφία 3.11)

Soundfield ηχογράφηση.

Η ηχογράφηση αυτή, γίνεται με την χρήση πολλών μικροφώνων και με αναγκαία την ειδική αποκωδικοποίηση που λέγεται B-Format. Η πιο απλή τεχνική, χρησιμοποιεί μικρόφωνο πολλαπλών καψών υπό διαφορετικών γωνιών που σχηματίζουν τετράεδρο προκειμένου να αποθηκεύει τρισδιάστατο σήμα. Είναι η πιο απλή

προκειμένου να αναλυθεί σε B-Format που απαιτείται για τον διαχωρισμό των σημάτων σε τρεις διαστάσεις. Υπάρχουν και άλλες τεχνικές μικροφώνων που αποσκοπούν στην τρισδιάστατη λήψη του ήχου αλλά είναι πιο πολύπλοκες. Με την χρήση 2 ή 3^{ωv} figure of 8 και ένα omni, είναι δυνατή η δημιουργία τρισδιάστατου ηχητικού πεδίου και η αναπαράστασή του μετά την επεξεργασία B-Format.

3.14 Πολυκάναλη μίξη

Η πολυκάναλη μίξη είναι μια διαδικασία που έπεται της βασικής μίξης σύνθεσης ηχογραφημένων ήχων και εστιάζει στην επεξεργασία της με σκοπό να την διαμοιράσει στο χώρο ανάλογα με τον αριθμό και την θέση των ηχείων που πρόκειται να αναπαραχθεί ο ήχος. Βασικό θέμα στην πολυκάναλη μίξη είναι η περιγραφή του ηχητικού πεδίου σε όλο το οριζόντιο επίπεδο. Αυτό πετυχαίνεται μοιράζοντας τους ήχους είτε εκλεκτικά στα κανάλια των ηχείων, είτε ποσοτικά για την δημιουργία φανταστικών πηγών.

Ένα άλλο θέμα στην πολυκάναλη μίξη είναι η δυνατότητα δημιουργίας ηχητικής κίνησης. Ο πιο αποτελεσματικός και πρακτικός τρόπος προκειμένου να δημιουργηθεί η κίνηση είναι το λεγόμενο Amplitude Panning όπου όλα τα κανάλια τροφοδοτούνται με κοινά μονοκάναλα σήματα. Με τον έλεγχο της έντασής τους ξεχωριστά, δημιουργείται η αίσθηση της ηχητικής κίνησης.

Παράλληλα, αν έχουν προηγηθεί πολυκάναλες ηχογραφήσεις όπως surround ή A-Format τότε στην μίξη το μόνο που καθίσταται αναγκαίο είναι να τοποθετούνται τα κανάλια ηχογράφησης στα αντίστοιχα κανάλια εξόδου των ηχείων.

3.15 Πολυκάναλο Mastering

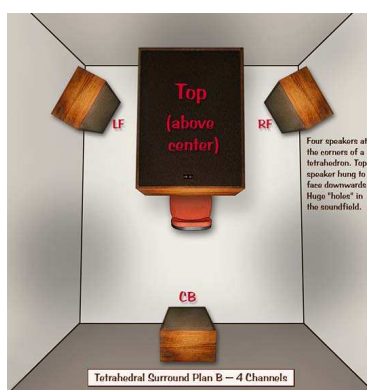
Την τελική διαμόρφωση του πολυκάναλου ηχητικού υλικού αναλαμβάνει το πολυκάναλο mastering. Σκοπό έχει να βελτιώσει την τελική μίξη, αλλά παράλληλα ευθύνεται για την λειτουργικότητα και συμβατότητα των πολυκάναλων formats που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί.

Πολυκάναλες Τεχνικές και Ιστορικές Εφαρμογές

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, η ανακάλυψη της ραδιοφωνίας, της τηλεφωνίας και ηχογράφησης οδήγησε σε πολυάριθμα πειράματα που αφορούσαν την καλλιτεχνική χρήση των παραπάνω τεχνολογιών. Σε αυτή την πτυχιακή θα γίνει η αναφορά των πειραμάτων που αφορά τις πολυκάναλες μουσικές πειραματικές διατάξεις.

Το 1923 ο Leon Theremin κατασκεύασε το πρώτο ηλεκτρικό μουσικό όργανο που αναπαρήγαγε πολυκάναλη μουσική. Το όργανο αυτό λειτουργούσε με ραδιοκύματα όπου μια κεραία έλεγχε την κίνηση των χεριών στον αέρα και την μετέδιδε στα ηχεία.

Το 1948 ο Pierre Schaeffer μηχανικός στην RTF (Radiodiffusion-Television Francaise), παρουσίασε τις πρώτες μουσικές δουλειές με πολλούς φωνογράφους αναπαράγοντας πολυκάναλα ήχους τις πόλης που τις ονόμασε: music concrete. Στην συνέχεια με την ηχητική αναπαραγωγή από κασέτες μαγνητοταινίας, οδήγησε τους συνθέτες της RTF σε μια νέα πολυκάναλη ηχητική διάταξη, την τετράεδρη.



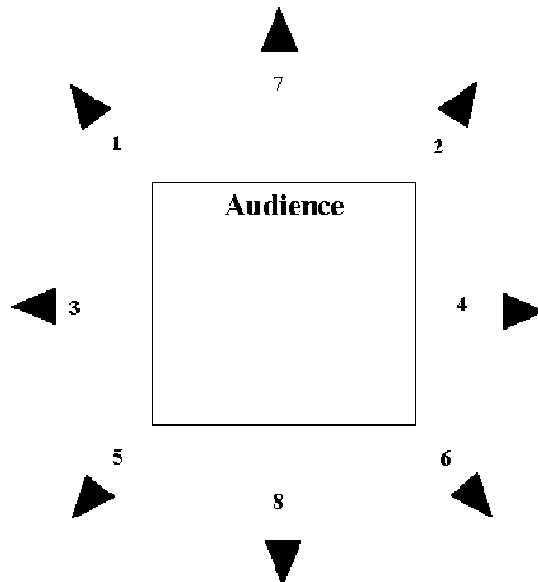
Χρησιμοποιώντας τέσσερα κανάλια ήχου, 2 κανάλια μπροστά αριστερά και δεξιά, 1 κανάλι πίσω και 1 κανάλι από πάνω, αναπαρήγαγαν το πολυκάναλο ηχογραφημένο υλικό και το καθοδηγούσαν στα ηχεία με έναν μηχανισμό που κατασκεύασε ο Schaeffer με το όνομα: Το Ποντεσιόμετρο Του Διαστήματος.

(φωτογραφία 3.12)

3.16 Οκταφωνία

Η πρώτη οκταφωνική εφαρμογή έγινε το 1952 στην Νέα Υόρκη από τον John Cage, όπου εφάρμοσε μια διάταξη οκτακάναλης αναπαραγωγής με οκτώ ξεχωριστές μονοφωνικές ταινίες που η κάθε μια αντιστοιχούσε σε ένα από τα οκτώ ηχεία. Τα ηχεία τοποθετούνταν περιφερειακά γύρω από την θέση ακρόασης σε ίσες αποστάσεις. Το πρώτο έργο που αναπαράχθηκε λεγόταν Williams Mix.

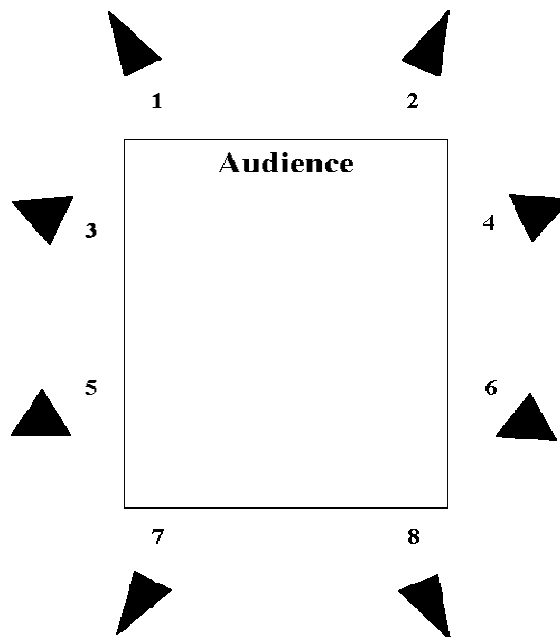
Η οκταφωνία αργότερα αποτέλεσε μία από τις πιο δημοφιλείς διατάξεις στον χώρο της ηλεκτροακουστικής μουσικής και οι δύο πιο γνωστοί τρόποι διαμόρφωσής της είναι η double diamond και η four pairs. Η double diamond είναι μια οκταφωνική διαμόρφωση όπου τα ηχεία τοποθετούνται ανά (45) μοίρες ξεκινώντας από τις (0) μοίρες όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



(φωτογραφία 3.13)

Η double diamond διαμόρφωση έχει το προτέρημα ότι μπορεί να δημιουργήσει πολλαπλές απλωμένες στέρεο εικόνες ταυτόχρονα. Αυτό επιτυγχάνεται γιατί μπορεί να χωριστεί σε πολλαπλές ομάδες τριών γειτονικών ηχείων. Αντίστοιχα η κάθε ομάδα, δημιουργεί πολύ απλωμένη στερεοφωνική εικόνα λόγω του ότι τα δύο από τα τρία ηχεία που αποτελούν τις άκρες της με διαφορά (90) μοιρών (γωνία που είναι (30) μοίρες πάνω από το σύνηθες στέρεο) χωρίς να υστερούν δυναμικά στο κέντρο τους γιατί υπάρχει το τρίτο ηχείο.

Η άλλη οκταφωνική διαμόρφωση είναι η double pairs. Όπως φαίνεται στην φωτογραφία είναι παρόμοια με την double diamond αλλά γυρισμένη (22.5) μοίρες.



(φωτογραφία 3.14)

Η double pairs θεωρείται η εξέλιξη της στέρεο diffusion 2.0 με την δυνατότητα να προσθέτει και άλλα ζεύγη προς diffusion διαχείριση όπως το πίσω και τα δύο πλαϊνά και έτσι να μπορεί να μεταφέρει απλωμένη εικόνα σε όλα τα επίπεδα από το μπροστινό επίπεδο, στα πλαϊνά ή στο πίσω.

Υπάρχουν και άλλα είδη οκταφωνιών όπως οκταφωνία τετραγώνου τα ηχεία δημιουργούν ένα τετράγωνο αντί κύκλο, η οκταφωνία που έχει 6 ηχεία στο μπροστινό πεδίο και 2 στο πίσω.



(φωτογραφία 3.15)

Αριστερά στην φωτογραφία φαίνεται η χρήση της οκταφωνίας σε διάταξη κύβου. Η διάταξη αυτή χωρίζει σε δύο ίσα επίπεδα από το σημείο ακρόασης δύο τετραφωνίες. Αυτό σαν αποτέλεσμα έχει την τρισδιάστατη κυκλική ακρόαση με την δυνατότητα δημιουργίας φανταστικών πηγών ήχου σε όλα τα επίπεδα και τις έδρες του κύβου.

Το 1956, ο Karlheinz Stockhausen δημιούργησε την πρώτη πολυκάναλη μουσική που αναπαράγονταν από πολυκάναλη μαγνητοταινία. Χρησιμοποιώντας μια τετρακάναλη μηχανή για κασέτα και επιπλέον ένα μονοφωνικό μηχάνημα για το πέμπτο κανάλι ήχου, αναπαρήγαγε την πεντακάναλη σύνθεσή του *Gesang der Junglinge* με ηλεκτρονικούς ήχους και ένα σοπράνο αγόρι. Το αρχικό πλάνο του Stockhausen ήταν να μπει το πέμπτο ηχείο κάτω από τους ακροατές, αλλά για οικονομικούς λόγους δεν έγινε εφικτό. Συνεχίζοντας την πρεμιέρα αυτή, ο Stockhausen μίξαρε το πέμπτο κανάλι στα υπόλοιπα τέσσερα.

Το 1960, λέγεται ότι ο Stockhausen πραγματοποίησε την πρώτη τετραφωνική σύνθεση (*Kontakte*) με ηλεκτρονικούς ήχους. Τοποθετούσε τα τρία ηχεία μπροστά και το ένα πίσω. Επίσης, προκειμένου να εντυπωσιάζει το κοινό με περιστροφικούς ήχους, έκανε τετρακάναλη surround ηχογράφιση περικυκλώνοντας με τέσσερα μικρόφωνα ένα περιστρεφόμενο τραπέζι με τέσσερα ηχεία.

Από τα τέλη του 1960 άρχισε μια σειρά επαναστατικών καλλιτεχνικών επιδείξεων χρησιμοποιώντας πολλαπλά κανάλια ήχου, εικόνας και τεχνολογικών εφέ. Τα σημαντικότερα ιστορικά επιτεύγματα που αξίζει να σημειωθούν είναι τα παρακάτω.

3.17 Phillips Pavilion 1958

(φωτογραφία 3.16)



Το 1958 στη διεθνή έκθεση World's Fair Expo η Philips (όπως φαίνεται στην αριστερή φωτογραφία) με τον αρχιτέκτονα και συνθέτη Ιάννη Ξενάκη σε συνεργασία με τον σκηνοθέτη Philippe Agostini, δημιούργησε μια καινοτομία που άφησε ιστορία. Σχεδίασαν και εγκατέστησαν ένα σύστημα ήχου, το οποίο εκμεταλλευόταν 425 ηχεία για να αποδώσει, με την συνοδεία φωτισμού και εικόνας, την σύνθεση του Edgar Varese "Poeme Electronique".

Η μουσική σύνθεση ήταν τρικάναλη σε 35mm μαγνητοταινία. Τα τρία αυτά κανάλια τα διαχειριζόταν ένας ελεγκτής 11 καναλιών όπου απευθυνόταν σε 20 ενισχυτές 120-watt όπου αυτοί αντίστοιχα έδιναν σήμα στα ομαδοποιημένα 425 ηχεία. Την κίνηση της μουσικής σύνθεσης την έλεγχε άλλο ένα προγραμματισμένο μηχάνημα 15 καναλιών sprocketed μαγνητοταινίας. Είχε προγραμματισμένους 9 συνδυασμούς κίνησης για το οκτάλεπτο μουσικό κομμάτι.

Μετά την επανάσταση που προκάλεσε η Phillips με την παρουσίαση του "Poeme Electronique" ξεκίνησε μια σειρά αντιστοιχών οπτικοακουστικών επιδείξεων με την χρήση των τελευταίων τεχνολογιών ήχου και εικόνας. Η επόμενη μεγάλη καινοτομία που αναμφισβήτητα πρέπει να αναφερθεί στην παρούσα πτυχιακή, πραγματοποιήθηκε το 1970 από τον Stockhausen.

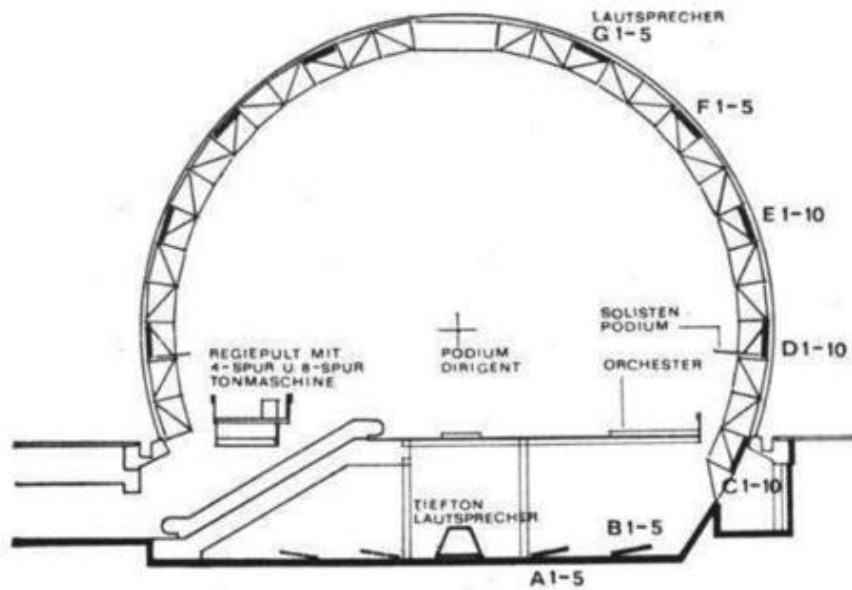
OSAKA 1970



(φωτογραφία 3.17)

3.18 **1970** World's Fair Expo (OSAKA-Japan)

Το 1970 στην διεθνή έκθεση World Fair Expo στην Ιαπωνία, στο Γερμανικό περίπτερο, ο Stockhausen πραγματοποίησε ένα πολύ θεαματικό επίτευγμα. Έφτιαξε μια σφαίρα 28 μέτρα διαμέτρου όπου 20 σολίστες έπαιζαν δύο κονσέρτα την μέρα για 183 μέρες σε κοινό 600 ατόμων. Οι σολίστες ήταν τοποθετημένοι παίζοντας μουσική σε 7 μικρά μπαλκόνια και ο Stockhausen πίσω από το κέντρο της σφαίρας έλεγχε τον ήχο μετακινώντας τον σε 55 ηχεία, που είχαν τοποθετηθεί σε 7 επίπεδα από τον βυθό της σφαίρας μέχρι και την κορυφή της. Το δάπεδο ήταν ηχοδιαπερατό και έτσι οι ακροατές μπορούσαν να δεχτούν τον ήχο από όλες τις διαστάσεις ανεπηρέαστα.



(φωτογραφία 3.18)

Στην παραπάνω φωτογραφία, φαίνονται τα σχέδια της γιγαντιαίας σφαίρας του Stockhausen. Διακρίνεται, ότι η σφαίρα ξεκινάει από το επίπεδο της γης και πάνω και οι ακροατές εισέρχονται σε υπερυψωμένο ηχοδιαπερατό δάπεδο με ηλεκτρικές κυλιόμενες σκάλες όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία. Επίσης, διακρίνεται ότι μεταξύ του δαπέδου των ακροατών και του κελύφους της σφαίρας, υπάρχει ένα κενό τουλάχιστον 2,5 με 3 μέτρα. Με αυτό το κενό διασφαλίζεται η σωστή θέση ακρόασης η οποία είναι εγγύς του κέντρου της σφαίρας, για την σωστή κατανομή και κατανόηση του ήχου στις τρεις διαστάσεις.



(φωτογραφία 3.19)

Απάνω φαίνεται ο Stockhausen στην κονσόλα της σφαίρας

Την ίδια στιγμή στην ίδια έκθεση, ο Ιάnnης Ξενάκης στο Ιαπωνικό Περίπτερο παρουσίασε την 12κάναλη σύνθεσή του με το όνομα «Hibiki Hana Ma». Χρησιμοποίησε 800 ηχεία τοποθετώντας τα γύρω από τους ακροατές, από πάνω τους, και κάτω από τις καρέκλες τους.

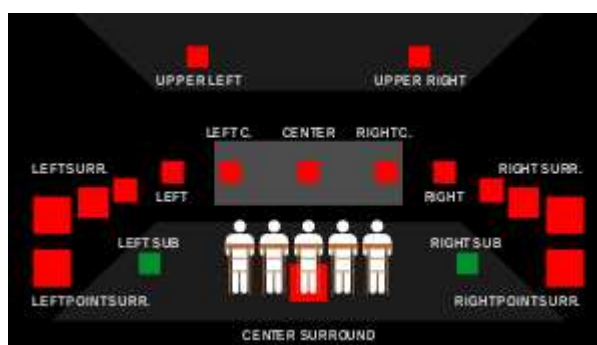
Από την περίοδο του 1960 και μετά, οι πολυκάναλη σύνθεση είχε αρχίσει να διαδίδεται ευρέως. Η δημοφιλής μουσική άρχισε να αναπτύσσεται τετρακάναλα και να αναμεταδίδεται σε νέες φόρμες παραγωγής όπως τετρακάναλες κασέτες και βινύλια. Παράλληλα, κυρίως οι ηλεκτροακουστικοί συνθέτες και παραγωγοί, συνέχιζαν πολλαπλούς πειραματισμούς και επιδείξεις σε πολλά περισσότερα κανάλια από τα τέσσερα που ήταν εμπορικά διαδεδομένα.

Σήμερα, η πολυκάναλη ηχητική μετάδοση συνεχίζεται και είναι διαρκώς εξελισσόμενη. Συναντιέται κυρίως στα ηλεκτροακουστικά festival αλλά και σε πανεπιστήμια.

3.19 Τρισδιάστατες Ηχητικές Διατάξεις στον Κινηματογράφο

Η χρήση πολυκάναλων ηχητικών συστημάτων στον κινηματογράφο, πέραν των επίσημων διεθνών διατάξεων, δηλαδή άνω του 5.1 ή του 7.1, συναντιέται μόνο σε ανεξάρτητους κινηματογράφους. Αυτή την στιγμή οι πιο γνωστές κινηματογραφικές αίθουσες που εφαρμόζουν πολλαπλά κανάλια ήχου είναι οι Imax. Οι κινηματογράφοι Imax στηρίζονται στην φιλοσοφία των πλανηταρίων. Τα formats που χρησιμοποιούν διαφέρουν όχι μόνο στον ήχο αλλά και στην εικόνα. Προκειμένου να καλύψουν με την εικόνα ολόκληρο τον θόλο εκπομπής, χρησιμοποιούν πολύ μεγαλύτερων διαστάσεων φιλμ από ότι οι υπόλοιποι κινηματογράφοι.

Τα συστήματα που χρησιμοποιεί η Imax είναι: 10,2 και 12,2 παρακάτω φαίνεται ένα διάγραμμα τοποθέτησης 12,2.

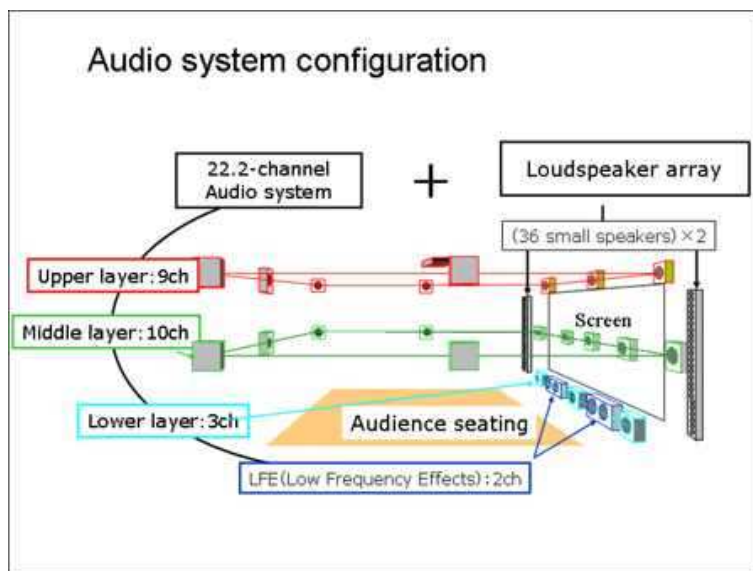


(φωτογραφία 3.20)

Στην παραπάνω φωτογραφία, τα κανάλια που δίνουν την 3^η διάσταση ήχου παρατηρούνται 2 στο ταβάνι και ένα στο μπροστά κάτω επίπεδο των ακροατών.

Παρακάτω, φαίνεται στην φωτογραφία μια πολυκάναλη διάταξη σινεμά που βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο και κατασκευάστηκε από 3εις Ιάπωνες ερευνητές με ηχητικό σύστημα 22.2.

Interactive 3D Audio Video Reproduction System



(φωτογραφία 3.21)

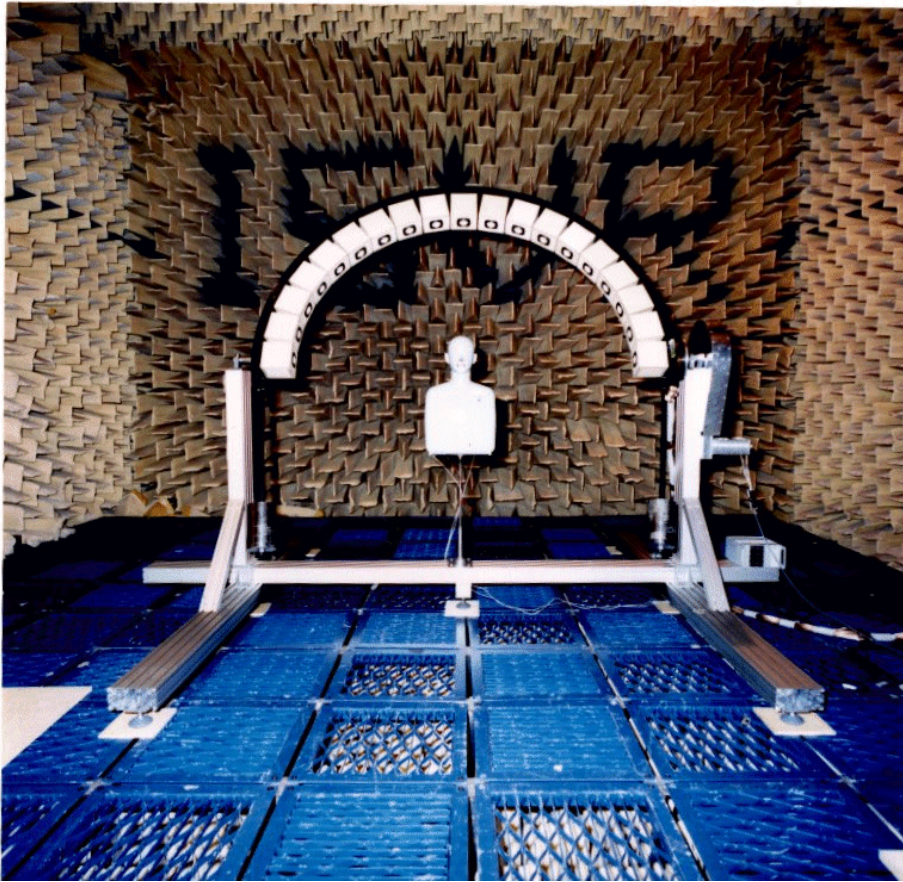
Οι τρεις Ιάπωνες, έχουν χωρίσει την αίθουσα σε τρία επίπεδα, το χαμηλό, το μέσο και το πάνω. Το χαμηλό επίπεδο έχει 3 κανάλια ήχου, το μέσο έχει 10 και το πάνω 9. Το οπτικό πεδίο περιγράφεται ηχητικά από 5 κανάλια ήχου στο μέσο επίπεδο, ενώ ταυτόχρονα συνοδεύεται και με 3 κανάλια του πάνω και 3 κανάλια του χαμηλού επιπέδου. Στο πάνω επίπεδο φαίνεται και το κανάλι του ταβανιού που περιγράφει τον κάθετο άξονα. Παράλληλα, στην φωτογραφία φαίνεται και ένα σύστημα line array αριστερά και δεξιά της οθόνης όμως δεν βρέθηκε κάποια περιγραφή για τον τρόπο λειτουργίας του.

3.20 Σφαιρικά πολυκάναλα συστήματα

Μετά την γιγαντιαία σφαίρα του Stockhausen το 1970, δεν μεσολάβησαν άλλα παρόμοια επιτεύγματα που αποσκοπούσαν σε σφαιρική παντοκατευθυντική πολυκάναλη μετάδοση.

Η ολοκληρωμένη σφαιρική πολυκάναλη μετάδοση αποσκοπεί στην τέλεια συμμετρική ηχητική μετάδοση απευθυνόμενη ολοκληρωμένα στο ακουστικό σύστημα του ανθρώπου. Δεν υπάρχουν επίσημες πληροφορίες για τις μέχρι τώρα εφαρμογές. Κάποιες πληροφορίες βρέθηκαν από το πανεπιστήμιο της Αγγλίας University of Southampton όπου φαίνεται να εφαρμόζουν σε ερευνητικό και πειραματικό στάδιο αυτές τις διατάξεις.

Παρακάτω (φωτογραφία 3.22) φαίνεται ένα ερευνητικό τμήμα του πανεπιστημίου που αφορά την μελέτη ανταπόκρισης και ευαισθησίας του ανθρώπινου αυτιού στον ήχο που προσπίπτει από όλες τις κατευθύνσεις.



Παρακάτω (φωτογραφία 3.23) φαίνεται ένα σφαιρικό πολυκάναλο σύστημα ηχείων το οποίο κατασκευάστηκε από φοιτητές του ίδιου πανεπιστημίου με σκοπό την τρισδιάστατη αναπαραγωγή ηχητικού υλικού προς την ηχογράφησή του με σύνθετες τεχνικές όπως αυτή της *binaural* ηχογράφησης.



Μια άλλη σφαιρική ηχειακή διάταξη που βρέθηκε στο internet φαίνεται παρακάτω

(φωτογραφία 3.24)



Παρουσιάστηκε από τρεις φοιτητές σε καλλιτεχνικές επιδείξεις το 2008 αναπαράγοντας ηλεκτροακουστική μουσική. Δυστυχώς δεν υπάρχουν αναλυτικές πληροφορίες για το πολυκάναλο σύστημα που συνοδεύεται.

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Η ΗΧΗΤΙΚΗ ΣΦΑΙΡΑ

4.1 Εισαγωγή και Ιδέα

Η σφαίρα, αποτελεί το πιο συμμετρικό γεωμετρικό σώμα στο σύστημά μας. Σφαίρα ονομάζεται ο τρισδιάστατος γεωμετρικός τόπος των σημείων που απέχουν σταθερή απόσταση (r) από ένα σημείο (O). Το σημείο (O) ονομάζεται και κέντρο της σφαίρας και η απόσταση (r) ακτίνα. Στο κεντρικό σημείο, μιας σφαίρας με ομοιόμορφη κατανομή πυκνότητας, ασκείται η μεγαλύτερη βαρυτική έλξη και ταυτόχρονα, βρίσκεται στο σταθερό σημείο που περιβάλλεται από τέλεια συμμετρία.

Το ότι η σημερινή τεχνολογία ηχητικής αποθήκευσης και αναπαραγωγής, δεν έχει πλέον κάποιο περιορισμό σε σχέση με την ποιότητα και την ποσότητα πολλών καναλιών ταυτόχρονης διαχείρισης, μας επιτρέπει να πειραματιστούμε εύκολα και οικονομικότερα σε σχέση με παλιά, με εναλλακτικές γεωμετρικές ηχητικές διατάξεις.

Η αξία και η δύναμη του κέντρου μιας σφαίρας μου προκάλεσε ιδιαίτερο ενδιαφέρον, προκειμένου να χρησιμοποιήσω την σημερινή τεχνολογία ηχητικής αναπαραγωγής σε σφαιρική διάταξη τέτοια, που στο κέντρο της να βρίσκεται το ακουστικό όργανο του ανθρώπου. Με αυτό τον τρόπο θα περιβάλλεται από μια τέλεια συμμετρία. Η ιδέα αυτή με ενθουσίασε και ταυτόχρονα μου δημιούργησε ένα ερώτημα που ήθελα απεγνωσμένα να λύσω. «Πως θα ακουγόταν άραγε;».

Έτσι, και η ανερχόμενη κατασκευή πήρε το όνομα: «ΗΧΗΤΙΚΗ ΣΦΑΙΡΑ»

4.2 Τρόπος και Κατασκευή

Η ηχητική σφαίρα έπρεπε να σχεδιαστεί έτσι ώστε να υποστηρίζει πολλαπλά ηχεία σε σφαιρική διάταξη απευθυνόμενα σε πάνω από έναν ακροατή και ταυτόχρονα να ελέγχεται από σύγχρονες εφαρμογές πολυκάναλης διαχείρισης ήχου, με σκοπό την σφαιρική και τρισδιάστατη μετάδοσή του.

Ο σχεδιασμός της Ηχητικής Σφαίρας είχε ως γνώμονα την απλοϊκότερη και λιτή κατασκευή προς την εξασφάλιση της εύκολης συναρμολόγησης και μεταφοράς καθώς και της εύκολης τρισδιάστατης τοποθέτησης των ηχείων γύρω από την θέση ακρόασης.

Δυσκολία στον σχεδιασμό ήταν η στήριξη του δαπέδου έτσι ώστε να μπορεί να έρχεται ανεπηρέαστα ο ήχος από κάτω. Η μέθοδος τοξωτής γέφυρας τεσσάρων ποδιών με κέντρο στήριξης έναν δακτύλιο προκειμένου να μπορεί να διέλθει ανεπηρέαστα ο κάθετος ήχος, ήταν η λύση. Η γέφυρα αυτή ήταν και η κατασκευαστική επιτυχία διότι ενώ είναι υπεύθυνη για την στήριξη του δαπέδου των ακροατών, ταυτόχρονα αποτελούσε και τα πόδια της ηχητικής σφαίρας.

Εν συνεχεία, έγινε ο ψηφιακός σχεδιασμός με την βοήθεια του αρχιτέκτονα Άρη Μουρσινού και οι στατικές μελέτες από τον Άρη Μπαλλή.

Τον Ιούνιο του 2010 αφού βρέθηκε λύση για την οικονομική αποκατάσταση που απαιτούνταν για την κατασκευή των σχεδίων της Ηχητικής Σφαίρας, πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με το εργοστάσιο εμπορίας και επεξεργασίας σιδήρου VETA AEBE και το εργοστάσιο σχαρών ASCO, με επιβλέποντα τον τεχνικό σιδήρου Γιάννη Μάνο.

(Όλες οι ανερχόμενες φωτογραφίες, αφορούν μόνο την Ηχητική Σφαίρα που φωτογραφήθηκε κατά το στάδιο της ολοκλήρωσής της.)



Στην παραπάνω φωτογραφία φαίνεται η ολοκλήρωση του βασικού σκελετού της Ηχητικής Σφαίρας.

4.3 Περιγραφή και Σχέδια

Το δάπεδο της θέσης ακρόασης είναι μία σχάρα υπερυψωμένη περίπου 1,2 μέτρα από τη γη. Η στήριξη της κατασκευής γίνεται από μια τοξωτή γέφυρα τεσσάρων ποδιών. Τα τέσσερα πόδια της τοξωτής γέφυρας στηρίζουν τους δύο βασικούς δακτυλίους και ταυτόχρονα το δάπεδο των ακροατών. Επίσης, η διασταύρωση-ένωση των δύο βασικών δακτυλίων που βρίσκεται ακριβώς κάτω από το κέντρο της τοξωτής γέφυρας αυξάνει την στατική δομή της κατασκευής, επιτυγχάνοντας έτσι μια συμπαγή κατασκευή με εντυπωσιακό σχεδιασμό.



Η περιγραφή της κατασκευής χωρίζεται σε τρία μέρη: Α) την κατασκευή του σφαιρικού ικριώματος (σκελετού), όπου εξηγείται αναλυτικά ο τρόπος και τα διαδοχικά βήματα προς την υλοποίηση του κατασκευαστικού κομματιού, Β) η ηλεκτροακουστική κατασκευή, όπου αναφέρεται αναλυτικά ο εξοπλισμός και παρουσιάζονται τα βήματα προς την ηχητική εγκατάσταση και τον τρόπο δοκιμής της και Γ) τις εξωτερικές ενισχύσεις, όπου περιγράφονται αφ' ενός τα μέσα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την άνετη πρόσβαση και έδραση των ακροατών καθώς και αφ' ετέρου οι τρόποι εξάλειψης προβληματικών ανακλάσεων.

A. Κατασκευή του ικριώματος

Η κατασκευή αποτελείται από (α) δάπεδο-σχάρα, (β) πόδια τοξωτής γέφυρας και (γ) αρθρωτήρες, όπως φαίνεται στο σχέδιο 1. Ειδικότερα:

Δάπεδο-Σχάρα

Η επιφάνεια στήριξης των ακροατών θα είναι διάτρητο δάπεδο ώστε ο ήχος που προέρχεται από τα ηχεία που βρίσκονται κάτω από αυτό να μπορεί να διέλθει εύκολα στο σημείο ακρόασης. Στην πρωτότυπη κατασκευή θα χρησιμοποιηθεί ως διάτρητο δάπεδο σιδερένια σχάρα προσαρμοσμένη έτσι ώστε να καλύπτει όλο το εμβαδόν του οριζόντιου εξωτερικού δακτυλίου στήριξης δαπέδου.

Η σχάρα αποτελεί το πάτωμα της κατασκευής, δηλαδή είναι το σημείο εκείνο που θα στηρίζονται οι ακροατές. Στην συγκεκριμένη πρωτότυπη κατασκευή η σχάρα με την βάση της είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να μπορούν να αντέξουν φορτίο ενός τόνου.

Η σχάρα σε αυτήν την κατασκευή στηρίζεται σε τρία μέρη.

α) Στον κεντρικό δακτύλιο που είναι κοιλοδοκός SHS 60*5 λυγισμένη κυκλικά με διάμετρο 84 εκ. και στηριζόμενος οριζόντια από τα πόδια της κατασκευής.

β) Στον εξωτερικό δακτύλιο που είναι κοιλοδοκός CHS 60,3*5 λυγισμένη κυκλικά με διάμετρο 3,33 μ. στηριζόμενος οριζόντια από τους εξωτερικούς δακτυλίους στήριξης ηχείων.

γ) Στις τέσσερις ευθείες κοιλοδοκούς SHS 60*5 που ενώνουν τον εξωτερικό οριζόντιο δακτύλιο με τον κεντρικό οριζόντιο δακτύλιο.

Η κάτοψη της βάσης της σχάρας με τα κομμάτια που περιγράφηκαν παραπάνω φαίνεται στο σχέδιο 2.

Τα χαρακτηριστικά της σχάρας, που φαίνεται στο σχέδιο 3, είναι τα ακόλουθα: Σχάρα ΗΚΠΑ με βροχίδα αξονική 34*38 χιλ., φέρουσα λάμα 40*3 χιλ. και εγκάρσια ελικοειδή ράβδο 5,5 χιλ. Τα υλικά είναι γαλβανισμένα εν θερμώ κατά ISO 1461. Το μήκος κάθε πλευράς (α, β) είναι 1,665 μέτρα. Χρησιμοποιούνται τέσσερα τέτοια κομμάτια.

Η σχάρα αποτελείται από τέσσερα ξεχωριστά κομμάτια, που ενώνονται μεταξύ τους (σχέδιο 4). Το μήκος κάθε πλευράς μετά την ένωση(α, β), είναι όσο η εξωτερική διάμετρος του εξωτερικού οριζόντιου δακτυλίου δηλαδή 3,33 μέτρα, όπως φαίνεται στο σχέδιο 4. Στη συνέχεια, η σχάρα κόβεται περιφερειακά όπως φαίνεται στο σχέδιο 5, έτσι ώστε να γίνει κύκλος με διάμετρο (α) 3,33 μέτρα.

Τα παραπάνω τέσσερα κομμάτια απλά στέκονται με το βάρος τους στην βάση της σχάρας χωρίς να είναι απαραίτητο έτσι το βίδωμα τους.

Τοξωτή Γέφυρα Τεσσάρων Ποδιών

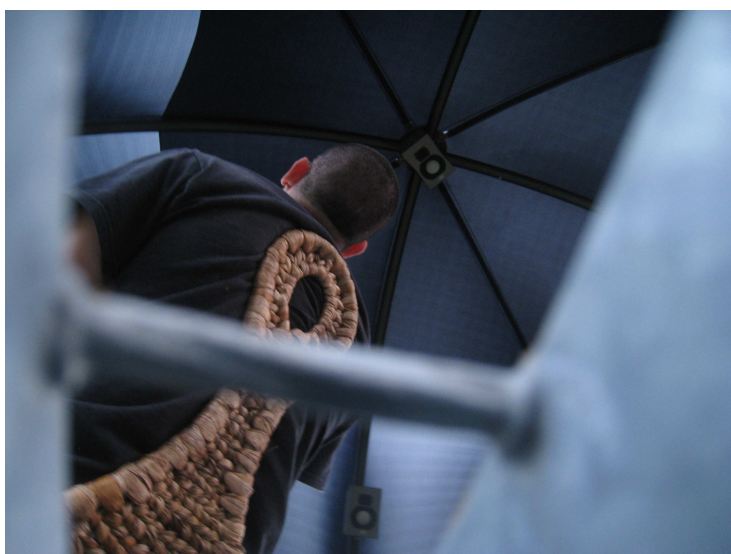
Η τοξωτή γέφυρα τεσσάρων ποδιών στην συγκεκριμένη κατασκευή (σχέδιο 6) εφαρμόζεται με τρόπο τέτοιο ώστε, ενώ στηρίζει τον κεντρικό δακτύλιο, ταυτόχρονα στηρίζει τον εξωτερικό οριζόντιο δακτύλιο και δένεται σταυρωτά από την ένωση των τεσσάρων τόξων που προέρχονται από τους δύο βασικούς δακτυλίους· έτσι επιτυγχάνει πολύ ικανοποιητική στατική δομή.

Οι κοιλοδοκοί στήριξης πρέπει να έχουν τοξωτό σχέδιο και όχι ευθεία γραμμή προκειμένου να διαμοιράζονται οι δυνάμεις που δέχεται σε όλα του τα σημεία και έτσι να παρουσιάζει ακαμψία, ενώ αν ήταν ευθείες οι δυνάμεις θα διοχετεύονταν περισσότερο στα άκρα με αποτέλεσμα να κάμπτονται. Όπως φαίνεται στο σχέδιο 7, η στήριξη του κεντρικού οριζόντιου δακτυλίου (α) γίνεται με τέσσερις κοιλοδοκούς CHS 60,3*5 (β), το κάθε άκρο των οποίων βιδώνεται κάθετα με το ένα τεταρτοκύκλιο του κεντρικού δακτυλίου, ακριβώς εκεί που εφάπτονται και οι ίσιες κοιλοδοκοί ένωσης των δύο οριζόντιων δακτυλίων της βάσης της σχάρας.

Τα τόξα που δημιουργούν τα πόδια της τοξωτής γέφυρας έχουν ως σημεία αναφοράς τα εξής:

α) το σημείο που βρίσκεται στο έδαφος ακριβώς κάτω από τον εξωτερικό δακτύλιο, από όπου η κοιλοδοκός (το πόδι) εφάπτεται κάθετα με το έδαφος

β) το σημείο που βρίσκεται στο ένα τεταρτοκύκλιο του κεντρικού οριζόντιου δακτυλίου όπου η πορεία του τόξου συναντά κάθετα το εν λόγω σημείο. Έτσι, ενώνοντας κυκλικά τα δύο αυτά σημεία προκύπτει η κλίση, δηλαδή το λύγισμα που πρέπει να έχει η κοιλοδοκός της βάσης προκειμένου να εξασφαλίσει την μέγιστη απόδοση αντοχής φορτίου. Θα μπορούσαν τα τόξα των ποδιών της γέφυρας να ήταν θλιπτικά αλλά για κατασκευαστική ευκολία τα τέσσερα πόδια είναι τεταρτοκύκλια από κύκλο εξωτερικής διαμέτρου 2,48 μ.



Αρθρωτήρες

Η πρωτότυπη κατασκευή είναι συναρμολογούμενη και αποσυναρμολογούμενη έτσι ώστε να κατασκευάζεται γρήγορα και να μεταφέρεται εύκολα. Έτσι στις αρθρώσεις της, δηλαδή στα σημεία όπου τέμνονται οι κοιλοδοκοί (τα σίδερα) θα πρέπει η ένωση να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε αφ' ενός να καθίσταται συναρμολογήσιμη η κατασκευή αυτή με μέθοδο διάφορη της οξυγονοκόλλησης και αφ' ετέρου να είναι η κατασκευή ασφαλής, σταθερή και χωρίς τριγμούς. Ο τρόπος που χρησιμοποιείται εν προκειμένω είναι με την χρήση αρθρωτήρων.

Οι αρθρωτήρες αποτελούνται από σιδερένιες πέντε τετράγωνες σιδερένιες επιφάνειες (πλάκες) πάχους 10 χιλ. και μήκος πλευράς 8 εκ. και στο κέντρο κάθε επιφάνειας υπάρχει τρύπα με διάμετρο 20,5 χιλ. Οι επιφάνειες κολλούνται με ηλεκτροκόλληση κάθετα μεταξύ τους ώστε να σχηματίζουν έναν κύβο με μια ανοικτή πλευρά. Στο κέντρο της επιφάνειας κάθε πλάκας μπορεί να εφάπτεται κάθετα η περίμετρος της διατομής της κοιλοδοκού που πρόκειται να ενωθεί. Ο αριθμός και οι διαστάσεις των πλακών του αρθρωτήρα ποικίλλουν αναλόγως προς τον αριθμό και τις διαστάσεις των κοιλοδοκών που πρόκειται να ενώσουν. Επίσης το σχέδιο τους εξαρτάται από τη θέση που θα καταλάβουν στην κατασκευή. Η βίδα που θα χρησιμοποιηθεί σε όλους τους αρθρωτήρες της κατασκευής είναι διαμέτρου 20 χιλ. και μήκους 5 εκ.

Η ένωση μεταξύ κοιλοδοκού και αρθρωτήρα γίνεται με βίδες. Η κάθε πλευρά του αρθρωτήρα έχει στο κέντρο τομή τέτοια ώστε να μπορεί να διέρχεται η βίδα που θα χρησιμοποιηθεί για την ένωση με την κοιλοδοκό. Σε κάθε εξωτερική επιφάνεια του αρθρωτήρα προστίθεται δακτύλιος από ειδικό πλαστικό (τεφλόν) που η βίδα θα διαπερνά και θα στηρίζει. Το ειδικό πλαστικό (τεφλόν) χρησιμοποιείται προς αποφυγή τριγμών και κραδασμών. Οι αρθρωτήρες έχουν σχέδιο σιδερένιου κύβου με ανοικτή την μία πλευρά προκειμένου να δίνεται πρόσβαση στο εργαλείο βιδώματος, όπως φαίνεται στο σχέδιο 8, όπου εικονίζεται αρθρωτήρας ενωμένος με κοιλοδοκούς.

Ο τρόπος προσαρμογής των αρθρωτήρων έχει ως εξής: οι άκρες των κοιλοδοκών που πρόκειται να ενωθούν με αρθρωτήρα σφραγίζονται με οξυγονοκόλληση με σίδερο ιδίων διαστάσεων της περιμέτρου της διατομής του κοιλοδοκού, πάχους 5 χιλ. Το σίδερο αυτό, έχει στο κέντρο του τρύπα 21 χιλ. και από την εσωτερική του πλευρά, δηλαδή από την πλευρά που «βλέπει» το εσωτερικό της κοιλοδοκού-σωλήνα, βρίσκεται ηλεκτροκολλημένο παξιμάδι διαμέτρου 20 χιλ. Έτσι, καθίσταται δυνατή η ένωση με βίδα μεταξύ κοιλοδοκού και αρθρωτήρα. Στο σχέδιο 9 φαίνεται ένα παράδειγμα ένωσης μίας σφραγισμένης κοιλοδοκού μ' έναν αρθρωτήρα. Ο αρθρωτήρας μπορεί να ενώσει τέσσερις ή πέντε κοιλοδοκούς ταυτόχρονα.)

Στο σχέδιο 10 φαίνεται ένας αρθρωτήρας βιδωμένος με τέσσερις κοιλοδοκούς, και στο σχέδιο 11 η τομή στο σημείο όπου ενώνεται ένας κοιλοδοκός με τον αρθρωτήρα.

Στο σχέδιο 12^α και 12 β απεικονίζεται η αποτελούμενη από τα παρακάτω στοιχεία κατασκευή:

1. Κεντρικοί δακτύλιοι κελύφους και στήριξης ηχείων
2. Οριζόντιος εσωτερικός δακτύλιος
3. Εξωτερικός οριζόντιος δακτύλιος
4. Πόδια τοξωτής γέφυρας
5. Δάπεδο-Σχάρα
6. Κοιλοδοκός ένωσης εξωτερικού με εσωτερικού δακτυλίου
7. Αρθρωτήρες

Ειδικότερα, η κατασκευή αποτελείται από:

- Δύο βασικούς δακτυλίους, που τέμνονται σταυρωτά μεταξύ τους στον κάθετο άξονα και αποτελούν τόσο το κέλυφος της σφαίρας, όσο και την βάση στήριξης των ηχείων. Οι δύο βασικοί δακτύλιοι είναι κοιλοδοκοί CHS 60,3*5 γυρισμένες στρογγυλά με εξωτερικές διαμέτρους $a=4$ μ. (σχέδιο 13).

- Δύο δακτυλίους προς την στήριξη δαπέδου ακροατών (σχέδιο 14), τον εξωτερικό, που στέκεται οριζόντια στους βασικούς δακτυλίους κελύφους και τον εσωτερικό, που στέκεται γεφυρωμένος από τα κυρτά πόδια της κατασκευής. Ο εξωτερικός δακτύλιος είναι κοιλοδοκός CHS 60,3*5 λυγισμένος κυκλικά, με διάμετρο $a=3,33$ μ. Ο εσωτερικός δακτύλιος είναι κοιλοδοκός SHS 60*5 λυγισμένος κυκλικά, με διάμετρο $\beta=0,84$ μ.

- Τέσσερις ευθείες κοιλοδοκούς SHS 60*5 μήκους 1,245 μέτρου, που ενώνουν τον εξωτερικό οριζόντιο με τον εσωτερικό οριζόντιο δακτύλιο (σχέδιο 15).

- Τέσσερα «πόδια» τοξωτής γέφυρας προς την στατική στήριξη του κέντρου βάρους της κατασκευής και την επίτευξη της σταθερότητάς της. Τα τέσσερα πόδια τοξωτής γέφυρας είναι τεταρτοκύκλια κύκλου εξωτερικής διαμέτρου 2,48 μ. και είναι κοιλοδοκοί CHS 60,3*5 (σχέδιο 16).

- Εξι αρθρωτήρες (σχέδιο 17), για την ένωση διακλαδώσεων κοιλοδοκών. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι κύβοι με μία ανοικτή πλευρά και μήκος κάθε πλευράς 8 εκ. και πάχος σιδερένιας επιφάνειας 10 χιλ. Το άνοιγμα των οπών των αρθρωτήρων είναι 21 χιλ.

- Σχάρα, για την στήριξη των ακροατών. Η δημιουργία της σχάρας περιγράφηκε αναλυτικά παραπάνω.

- Εικοσιτέσσερις βίδες, περικόχλια (παξιμάδια) και grower (σχέδιο 18) και ειδικότερα είκοσι βίδες διαμέτρου 20 χιλ. και μήκος 5 εκ. και τέσσερις βίδες διαμέτρου 24 χιλ. (γ) και μήκος 5 εκ. Τα περικόχλια (β) και τα grower (α) έχουν διάμετρο 20 χιλ. και 24 χιλ. αντίστοιχα. Επιπρόσθετα χρησιμοποιούνται πλαστικές ροδέλες από teflon προς την αποφυγή τριξιμάτων όπου θα τοποθετούνται ενδιάμεσα από την βίδα και το grower. Οι πλαστικές ροδέλες teflon θα έχουν εξωτερική διάμετρο 40 χιλ., πάχος 10 χιλ. και εσωτερική διάμετρο 20 χιλ. ή 24 χιλ., ανάλογα με την βίδα που χρησιμοποιείται εκάστοτε.

Τα βήματα υλοποίησης της Κατασκευής έχουν ως ακολούθως:

Κατασκευάζονται οι αρθρωτήρες σύμφωνα με τις διαστάσεις που ειπώθηκαν παραπάνω.

Οι δύο βασικοί δακτύλιοι κελύφους CHS 60,3*5 με εξωτερικές διαμέτρους 4 μ., κόβονται στον κάθετο άξονα στην μέση και στην συνέχεια στον οριζόντιο άξονα κόβονται στα σημεία που φτιάχεται τόξο με 1 μέτρο ακτίνα και στις πάνω άκρες κόβονται 8 εκ., ενώ στις κάτω 4 εκ., ώστε να μπορέσουν να τοποθετηθούν οι αρθρωτήρες (που έχουν μήκος κάθε πλευράς 8 εκ.) χωρίς να επηρεάζουν την γεωμετρία της κατασκευής.

Τα άκρα των κοιλοδοκών που πρόκειται να βιδωθούν με κάποιον αρθρωτήρα σφραγίζονται με σιδερένια επιφάνεια εμβαδού ίσου προς το εμβαδόν της περιμέτρου των ακρών, δηλαδή σφραγίζονται με μια κυκλική σιδερένια επιφάνεια πάχους 5 χιλ. και διαμέτρου 6 εκ. Αυτή η σιδερένια επιφάνεια περιλαμβάνει στο κέντρο της οπή διαμέτρου 21 χιλ. και ηλεκτροκολλημένο περικόχλιο (παξιμάδι) διαμέτρου 21 χιλ. στην περιφέρεια της οπής, προκειμένου να μπορεί να διέλθει βίδα. Η πλευρά με το ηλεκτροκολλημένο περικόχλιο θα είναι με μέτωπο προς το εσωτερικό της κοιλοδοκού που πρόκειται να σφραγιστεί (σχέδιο 19).

Όπως απεικονίζεται στο σχέδιο 20, στα σημεία α, β, γ, θα σφραγιστεί η σιδερένια επιφάνεια που περιγράφηκε παραπάνω. Ο αριθμός 1 αντιστοιχεί σε μήκος 8 εκ., ο αριθμός 2 σε μήκος 4 εκ. και ο αριθμός 3 επισημαίνει τα σημεία τομής προς την τοποθέτηση αρθρωτήρων.

Στη συνέχεια, όπως απεικονίζεται στο σχέδιο 21, τα κάτω τόξα που δημιουργούνται από το προηγούμενο βήμα, πρέπει να κοπούν στο σημείο που επισημαίνεται με το γράμμα Α προκειμένου να κολληθούν ανάμεσά τους τα πόδια της κατασκευής και στη συνέχεια (σχέδιο 22) τα δύο νέα αυτά άκρα να κοπούν έτσι ώστε να δημιουργηθεί κύρτωση (σχέδιο 23) τέτοια που να καθιστά εύκολη την ηλεκτροκόλληση που θα γίνει αργότερα με τα πόδια της τοξωτής γέφυρας.

Στη συνέχεια κόβεται σταυρωτά ο οριζόντιος εξωτερικός δακτύλιος στήριξης δαπέδου, φτιάχνοντας τέσσερα τόξα (σχέδιο 24, όπου το γράμμα Α συμβολίζει τα τέσσερα σημεία τομής του εξωτερικού δακτυλίου στήριξης της σχάρας). Σε κάθε άκρη των τόξων (που σημαίνεται με Α κόβονται από 4 εκ.).

Οι οκτώ νέες άκρες που προκύπτουν από τα τέσσερα σημεία τομής που φαίνονται στο παραπάνω σχέδιο σφραγίζονται με τον ίδιο τρόπο ίδιο που περιγράφηκε παραπάνω. Στον εσωτερικό δακτύλιο γίνονται τέσσερις τρύπες διαμέτρου 50 χιλ. από την εσωτερική του πλευρά στα σημεία που χωρίζονται τα τεταρτοκύκλια έτσι ώστε να βιδωθεί αργότερα με τα τέσσερα ίσια σίδερα, όπως εικονίζεται στο σχέδιο 25, στα σημεία που σημαίνονται με το στοιχείο Β.



Τα τέσσερα πόδια της τοξωτής γέφυρας φτιάχνονται, όπως φαίνεται στο σχέδιο 26 με την τομή, στα σημεία που σημαίνονται με άνυσμα, τεταρτοκυκλίων από κύκλο εξωτερικής διαμέτρου $A = 2,48 \mu$. Τα τέσσερα ανύσματα επισημαίνουν τα τέσσερα σημεία κοπής το δακτυλίου.

Η συναρμολόγηση γίνεται ως ακολούθως: Αρχικά ενώνονται, τα πόδια τοξωτής γέφυρας με τα κάτω τόξα που προέρχονται από τους βασικούς δακτυλίους με ηλεκτροκόλληση στα σημεία που σημαίνονται με το στοιχείο ζ, όπως φαίνεται στο σχέδιο 27.

Ηλεκτροκολλούνται, όπως φαίνεται στο σχέδιο 28, τέσσερις αρθρωτήρες στις τέσσερις άνω άκρες των τόξων των βασικών δακτυλίων με την κλίση του τόξου, στο σημείο ζ.1.

Τα άνω άκρα των ποδιών της τοξωτής γέφυρας κόβονται έτσι ώστε να ηλεκτροκολληθούν επίπεδα οι ίσιες κοιλοδοκοί ένωσης εσωτερικού-εξωτερικού οριζόντιου δακτυλίου (σχέδιο 29, όπου η ένδειξη «ζ2» αντιστοιχεί σε τέσσερις ευθείες κοιλοδοκούς SHS 60*5 μήκους 1,245 μ., που ενώνουν τον εξωτερικό οριζόντιο με τον εσωτερικό οριζόντιο δακτύλιο.

Το άκρο το οποίο πρόκειται να ενωθεί με τον κεκλιμένο αρθρωτήρα κόβεται παράλληλα με την κλίση του έτσι ώστε να είναι δυνατή η ηλεκτροκόλλησή του. Το άκρο που πρόκειται να ενωθεί με τον εσωτερικό οριζόντιο δακτύλιο σφραγίζεται με σίδερο πάχους 10 χιλ. που στο κέντρο του περιλαμβάνει οπή διαμέτρου 25 χιλ. και στην εσωτερική του πλευρά περιλαμβάνει ηλεκτροκολλημένο παξιμάδι διαμέτρου 24 χιλ. περιφερειακά της οπής του.

Ηλεκτροκολλούνται οι άκρες των ίσιων κοιλοδοκών, με τα κυρτωμένα πόδια ώστε να είναι εφικτή η ένωσή τους με τον εσωτερικό οριζόντιο δακτύλιο. (σχέδιο 30).

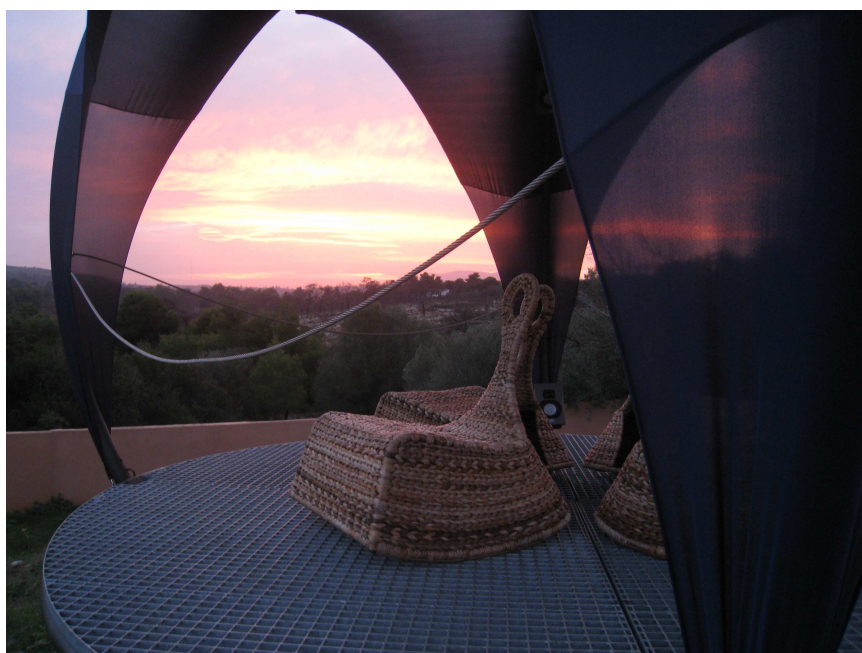
Ακολουθώς βιδώνονται τα τέσσερα ηλεκτροκολλημένα κομμάτια της κατασκευής με τις κάτω άκρες των τόξων που προέρχονται από τους βασικούς δακτυλίους πάνω σε έναν αρθρωτήρα (η ανοικτή πλευρά του αρθρωτήρα έχει μέτωπο προς τα κάτω.)

Μετά, βιδώνεται ο κεντρικός δακτύλιος με τα τέσσερα ίσια σίδερα στήριξης της σχάρας (σχέδιο 31).

Βιδώνονται τα τέσσερα τόξα του εξωτερικού οριζόντιου δακτυλίου πάνω στους οξυγονοκολλημένους αρθρωτήρες (σχέδιο 32).

Τοποθετείται η σχάρα (σχέδιο 33).

Βιδώνονται οι άνω άκρες των τεσσάρων τόξων που προέρχονται από τους βασικούς δακτυλίους με έναν αρθρωτήρα (σχέδιο 34).



Βιδώνονται οι κάτω άκρες των τεσσάρων τόξων με τους οξυγονοκολλημένους αρθρωτήρες (σχέδιο 35).

B) Ηλεκτροακουστική εγκατάσταση

Στην προκείμενη κατασκευή ως πηγές ήχου θα χρησιμοποιηθούν 10 ενεργά ηχεία τύπου Genelec 8030 και ένα Subwoofer Genelec 7050B Active. Για την λειτουργία των παραπάνω ηχείων είναι απαραίτητα 11 καλώδια Klotz GmbH δύο αγωγών εκ των οποίων τα πέντε θα έχουν μήκος 7 μέτρα και τα υπόλοιπα έξι θα έχουν μήκος 2 μέτρα.

Θα χρειαστούν ακόμα δύο κάρτες ήχου έξι καναλιών που να υποστηρίζουν τουλάχιστον 11 διακριτά κανάλια ήχου, ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής, λογισμικό πρόγραμμα ήχου max msp και καλώδια firewire για την ένωση των δύο καρτών ήχου μεταξύ τους και με τον υπολογιστή.

Ο τρόπος κατανομής των ηχείων όσον αφορά την θέση που θα βρίσκεται το κάθε ηχείο στην κατασκευή ποικίλει ανάλογα με τον αριθμό των ηχείων και την γεωμετρία τους στον χώρο. Πρέπει να υπάρχει συμμετρία και ισορροπία όσον αφορά τις αποστάσεις μεταξύ των ηχείων.

Στην παρούσα υλοποίηση της κατασκευής χρησιμοποιούνται 10 ηχεία και ένα ηχείο χαμηλών συχνοτήτων (subwoofer). Η κατανομή των δέκα ηχείων στο χώρο μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους. Σε κάθε περίπτωση τα ηχεία έχουν προσανατολισμένο τον άξονα της ηχητικής τους εκπομπής προς το κέντρο της σφαίρας. Στα παρακάτω σχήματα, τα σχέδια 36 και 37 παρουσιάζονται ως δύο παραδείγματα από τους διάφορους τρόπους κατανομής των 10 ηχείων στην κατασκευή (τα ηχεία στα σχήματα απεικονίζονται ως ορθογώνια παραλληλόγραμμα). Οι τρεις άξονες σημαίνονται με χ , ψ , ζ και το κέντρο της σφαίρας με K . Σημειώνεται ότι στα σχέδια 36 και 37), τα γράμματα (χ , ψ , ζ) συμβολίζουν τους τρεις άξονες διαστάσεων. Ως προς τις θέσεις των ηχείων, τα άνω και κάτω ηχεία δηλ. τα ηχεία στον άξονα (ψ) μένουν σταθερά και στα δύο σχήματα και τα υπόλοιπα οκτώ ηχεία, στο πρώτο σχέδιο (36) τοποθετούνται 45 μοίρες πάνω και κάτω από τους οριζόντιους άξονες (χ , ζ), στο δε σχέδιο (37) 30 μοίρες πάνω και κάτω από τους οριζόντιους άξονες (χ , ζ).

Ειδικότερα, στο σχέδιο 35 φαίνεται η τοποθέτηση των ηχείων σε σχέση με τους άξονες χ , ψ , ζ : τα ηχεία τοποθετούνται με γωνία 45 μοιρών πάνω και κάτω από το κέντρο των αξόνων. Η ευθεία από τα ηχεία μέχρι το κέντρο είναι η «on axis» δηλαδή η ευθεία που χαρακτηρίζει την μέγιστη απόδοση του ηχείου.

Στο σχέδιο 36 φαίνεται η τοποθέτηση των ηχείων με 30 μοίρες γωνία πάνω και κάτω από το κέντρο των αξόνων (χ , ψ , ζ). Η ευθεία από τα ηχεία μέχρι το κέντρο είναι η «on axis», δηλαδή η ευθεία που χαρακτηρίζει την μέγιστη απόδοση του ηχείου.

Η στήριξη των ηχείων γίνεται ως εξής: ηλεκτροκολλούνται σιδερένιες επιφάνειες με σφικτήρες για κοιλοδοκούς. Οι σιδερένιες επιφάνειες είναι τετράγωνες με μήκος πλευράς 111 χιλ. και πάχος 3 χιλ. Περιλαμβάνουν τέσσερις οπές διαμέτρου 12 χιλ. προς διέλευση βιδών για την στήριξη των ηχείων.

Τα υλικά που χρειάζονται προς την στήριξη των ηχείων είναι:

20 βίδες ηχείων M.6*14 (6,4 χιλ. διάμετρος βίδας)

8 σφικτήρες διαμέτρου 7 εκ.

8 τετράγωνες σιδερένιες επιφάνειες 10*4 εκ.

2 βίδες διαμέτρου 12 χιλ.

2 βάσεις τοίχου Genelec προς μοντέλο 8020

10 λαστιχένια αντικραδασμικά δακτυλίδια διαμέτρου 12 χιλ.

Τετράγωνες σιδερένιες επιφάνειες

Για την κατανόηση των σχεδίων 38 και 39 διευκρινίζεται ότι οι παραλληλόγραμμες σιδερένιες επιφάνειες αποτελούν το βασικό κομμάτι στηρίξεως του ηχείου στην κατασκευή. Οι διαστάσεις αυτών των επιφανειών είναι συνάρτηση του τύπου αλλά και του μέγεθος των ηχείων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Στο συγκεκριμένο κατασκευαστικό παράδειγμα επιλέχτηκαν ηχεία τύπου Genelec διαστάσεων 226 x 151 x 142 χιλ. Στο πίσω μέρος των ηχείων, όπως και στις περισσότερες εταιρίες ηχείων, υπάρχουν έτοιμες υποδοχές βιδών, για τον οποιοδήποτε τρόπο στήριξής των. Όμως, τα σημεία και οι διάμετροι των οπών προς την διέλευση βιδών αλλάζουν από εταιρεία σε εταιρεία. Έτσι οι παρακάτω διαστάσεις που θα ειπωθούν αφοράνε αποκλειστικά τα συγκεκριμένα ηχεία (Genelec 8020), όμως ο

τρόπος που θα τοποθετηθούν μπορεί να είναι ίδιος για οποιοδήποτε άλλη εταιρεία ηχείων. Οι παρακάτω συντεταγμένες ελήφθησαν από την αναλυτική περιγραφή των ηχείων 8020 της εταιρείας Genelec.

Οι σφικτήρες για κοιλοδοκούς πρέπει να έχουν κύρτωση προς κοιλοδοκό διαμέτρου 7c μ.

Στο σχέδιο 40 εικονίζεται ο τρόπος με τον οποίο στηρίζεται το ηχείο στην κοιλοδοκό με τις βίδες (υπό στοιχείο γ). Υπό στοιχείο (β) συμβολίζεται ο ελαστικός αντικραδασμικός δακτύλιος που μπορεί να προστεθεί ανάμεσα στον σφικτήρα και στην κοιλοδοκό. Υπό στοιχείο (α) συμβολίζεται η κοιλοδοκός.

Στα σημεία που διασταυρώνονται οι κοιλοδοκοί, δηλαδή εκεί που τέμνονται τα τέσσερα τόξα των βασικών δακτυλίων πάνω και κάτω από την θέση ακρόασης, οι βάσεις των ηχείων θα βιδώνονται πάνω στους αρθρωτήρες, όπως φαίνεται στο σχέδιο 41.

Οι βάσεις που θα βιδώνουν στους αρθρωτήρες είναι έτοιμες βάσεις τοίχου της εταιρείας Genelec για τα ηχεία 8020 και έχουν σχέδιο όπως το εικονιζόμενο στο σχέδιο 42. Τα στοιχεία α, β, γ, δ τίθενται προς συσχέτισμό, (επί του σχεδίου 43) των οικείων θέσεων της βάσης απ' ενός προς το ικρίωμα της κατασκευής και απ' ετέρου προς το ηχείο.

Στο σχέδιο 43 φαίνεται με λεπτομέρεια πως τοποθετείται η βάση αυτή στην κατασκευή.

Αφού τοποθετηθούν τα ηχεία, καλωδιώνονται. Η μία άκρη των καλωδίων κουμπώνεται στο ηχείο και η άλλη στις κάρτες ήχου. Με την βοήθεια κολλητικής ταινίας ή «grover» στηρίζονται τα καλώδια πλευρικά στις κοιλοδοκούς.

Οι κάρτες ήχου πρέπει να εγκαθίστανται έξω από την κατασκευή, κατά την κρίση του τεχνικού. Όπως ειπώθηκε προηγουμένως, οι δύο κάρτες ήχου ενώνονται μεταξύ τους με καλώδιο firewire.

Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής μπορεί να βρίσκεται πάνω ή έξω από την κατασκευή ανάλογα με την κρίση του τεχνικού. Π.χ. για να γίνει σύνθεση ενός κομματιού για μια τέτοια κατασκευή τότε ο υπολογιστής θα πρέπει να είναι μέσα στην κατασκευή, κοντά στη θέση ακρόασης με τον καλλιτέχνη. Αν όμως πρόκειται για κάτι εκ προοιμίου επεξεργασμένο και έτοιμο για αναπαραγωγή στην κατασκευή, τότε ο ηλεκτρονικός υπολογιστής μπορεί να βρίσκεται κάπου έξω από την κατασκευή.



Γ) Εξωτερικές Ενισχύσεις
Οι Εξωτερικές Ενισχύσεις αναφέροντας σε ενέργειες που μπορούν να γίνουν προκειμένου η κατασκευή να γίνει πιο φιλόξενη και ευχάριστη προς τους ακροατές. Στο σχέδιο 44 φαίνονται οι βασικές διευθετήσεις για την άνετη πρόσβαση και έδραση των ακροατών καθώς και η λύση προς αποφυγή ανεπιθύμητων πρώτων ανακλάσεων από το έδαφος. Οι καρέκλες (εικονίζονται υπ' αριθμό 1 στο σχέδιο) μπορούν να είναι οποιουδήποτε τύπου,

με μόνη απαραίτητη προϋπόθεση την ευρεία οριζόντια έδραση των ποδιών τους, λόγω της σχάρας. Οι βαθμίδες πρόσβασης στο εσωτερικό της κατασκευής (εικονίζονται υπ' αριθμό 2 στο σχέδιο) μπορούν να είναι από οποιοδήποτε υλικό, αρκεί να είναι ανοικτές (όχι συμπαγείς) προκειμένου να ελαχιστοποιούνται οι ηχητικές ανακλάσεις από αυτές. Τα απορροφητικά υλικά που φαίνονται κάτω από την κατασκευή (εικονίζονται υπ' αριθμό 3 στο σχέδιο), μπορούν να είναι οποιουδήποτε τύπου υλικού χρησιμοποιούμενου για την υπ' όψη λειτουργία και πρέπει να πληρούν όλον τον χώρο μεταξύ εδάφους και διασταύρωσης κοιλοδοκών ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη ηχητική απορρόφηση.

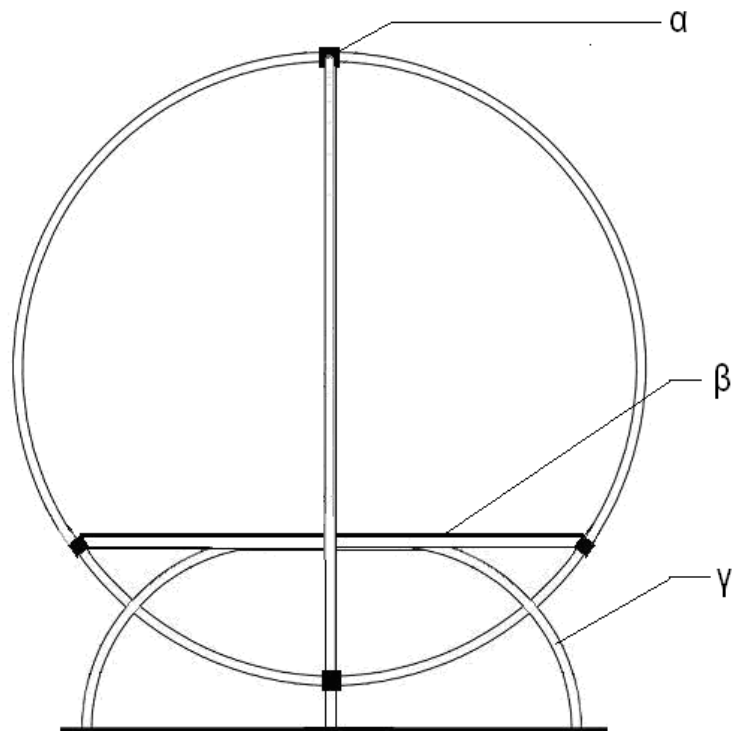
Οι ελαστικές βάσεις, που εικονίζονται υπ' αριθμό 4 στο σχέδιο, είναι κυλινδρικές βάσεις δομικών μηχανημάτων αυτοκινήτων με διαστάσεις 10*10 εκ. και βίδα 16*3 χιλ. Ο τρόπος προσαρμογής τους στην κατασκευή είναι ο εξής: σφραγίζονται τα κάτω άκρα των ποδιών της κατασκευής με στρογγυλές σιδερένιες επιφάνειες διαμέτρου 6 εκ. και πάχους 1 εκ. Οι επιφάνειες αυτές περιέχουν ηλεκτροκολλημένο παξιμάδι 16 χιλ. Οι επιφάνειες ηλεκτροκολλούνται σφραγίζοντας τα άκρα των ποδιών της τοξωτής γέφυρας με τα ηλεκτροκολλημένα παξιμάδια προς το εσωτερικό των κοιλοδοκών.

Αφού πραγματοποιηθούν όλα τα παραπάνω, «η ηχητική σφαίρα» είναι έτοιμη προς λειτουργία. Παρακάτω φαίνεται η Ηχητική Σφαίρα στο τελικό της στάδιο με το σκέπαστρό της. Το σκέπαστρο σχεδιάστηκε από τον Παύλο Τριποδάκη για εικαστικούς σκοπούς και κατασκευάστηκε από την μοδίστρα κ. Βαία Εξάρχου.

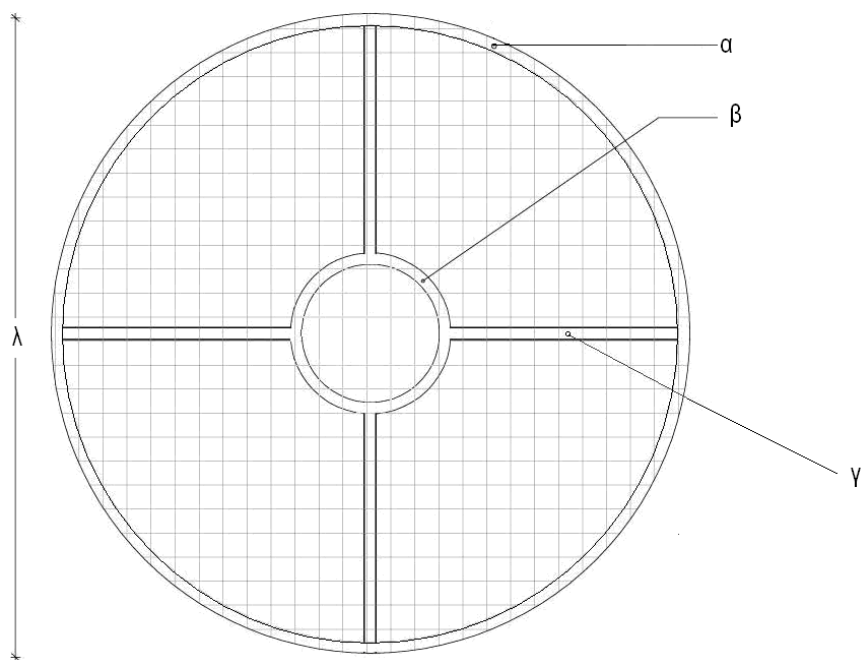


4.4 ΣΧΕΔΙΑ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΣΦΑΙΡΑΣ

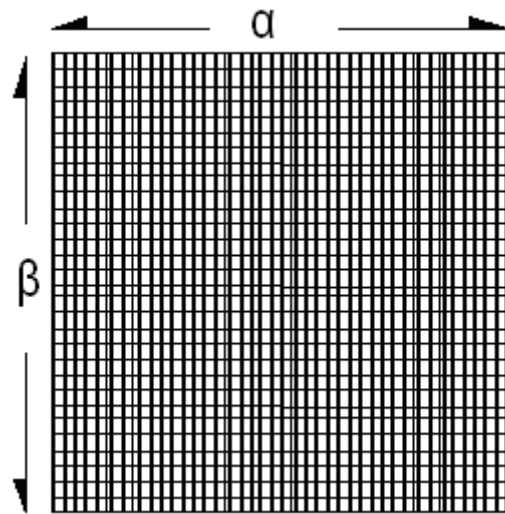
ΣΧΕΔΙΟ 1



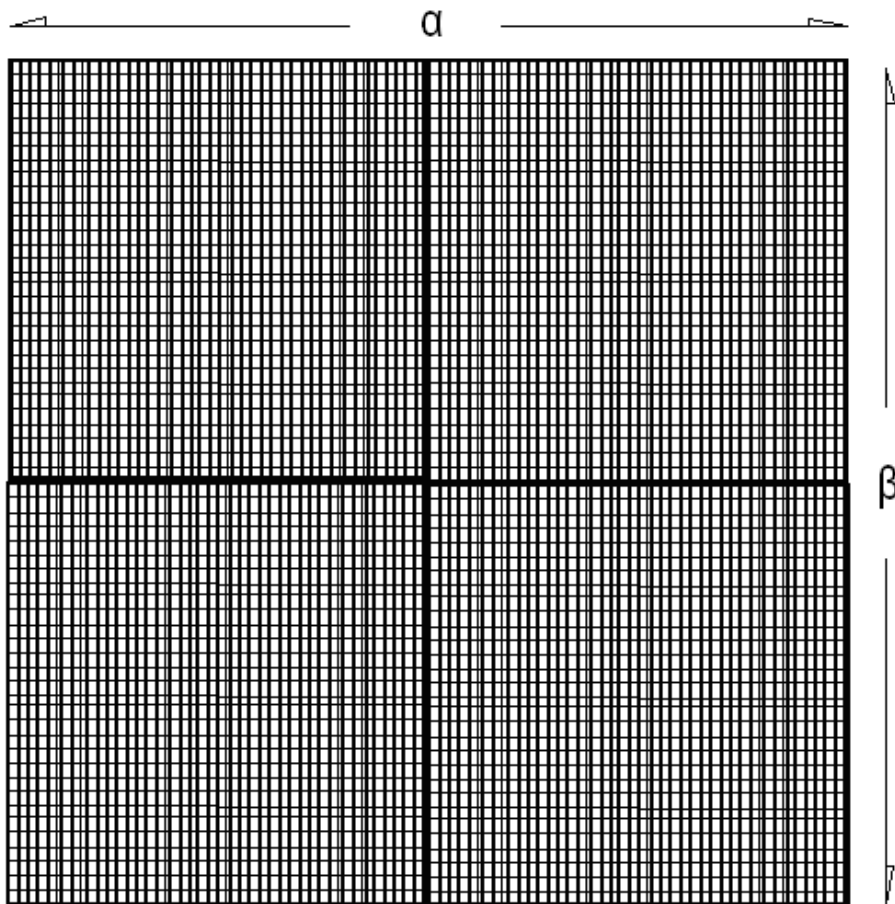
ΣΧΕΔΙΟ 2



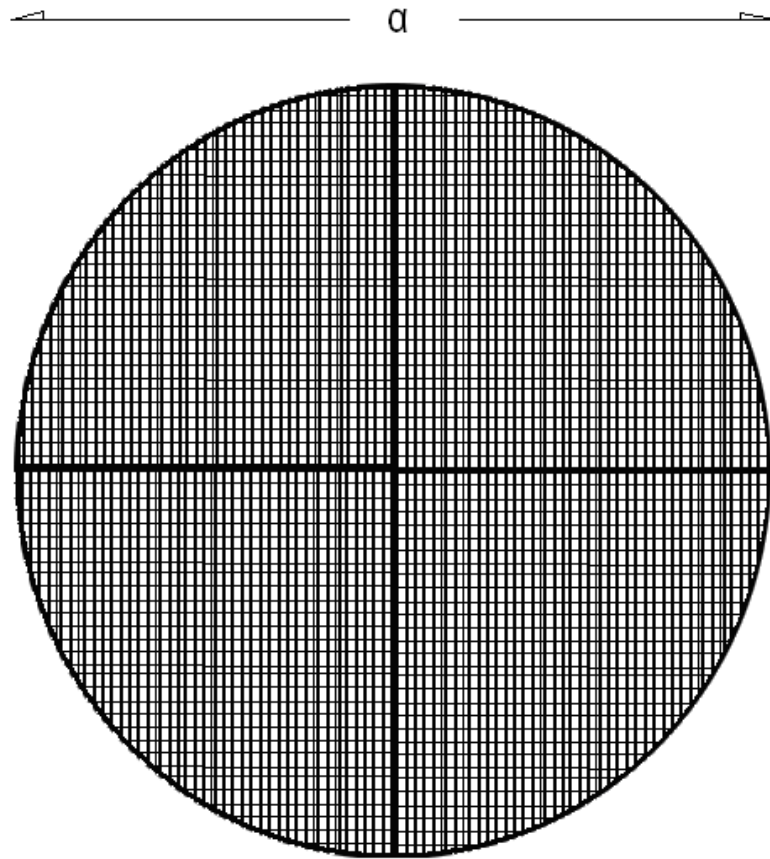
ΣΧΕΔΙΟ 3



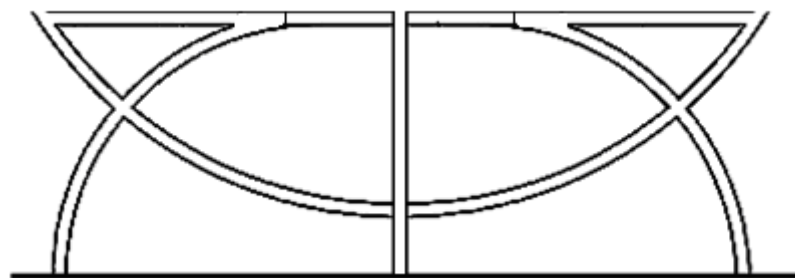
ΣΧΕΔΙΟ 4



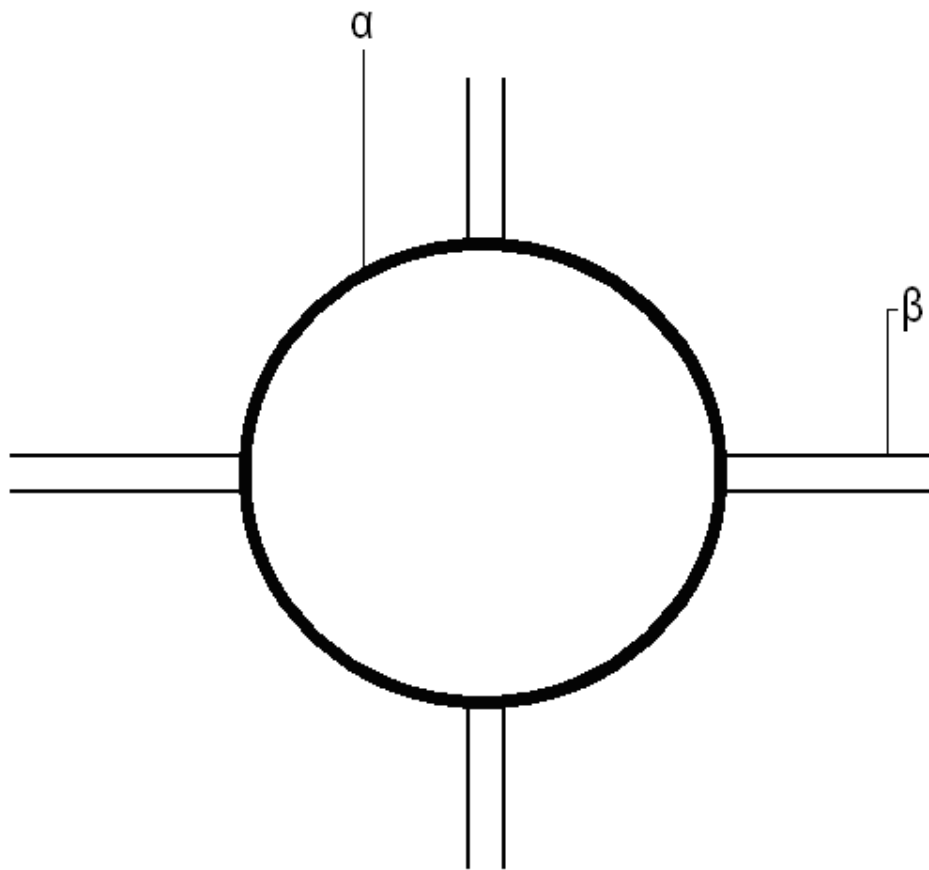
ΣΧΕΔΙΟ 5



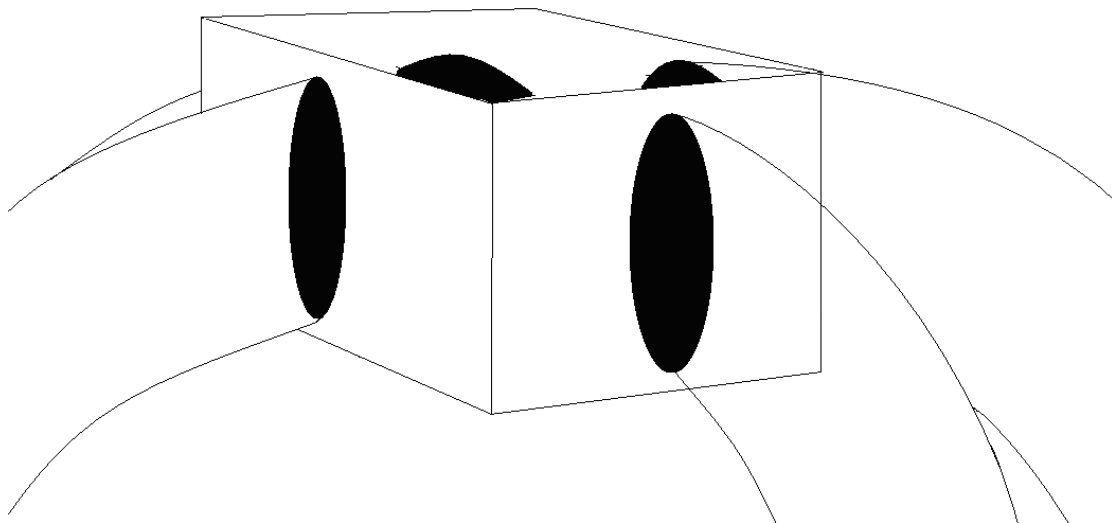
ΣΧΕΔΙΟ 6



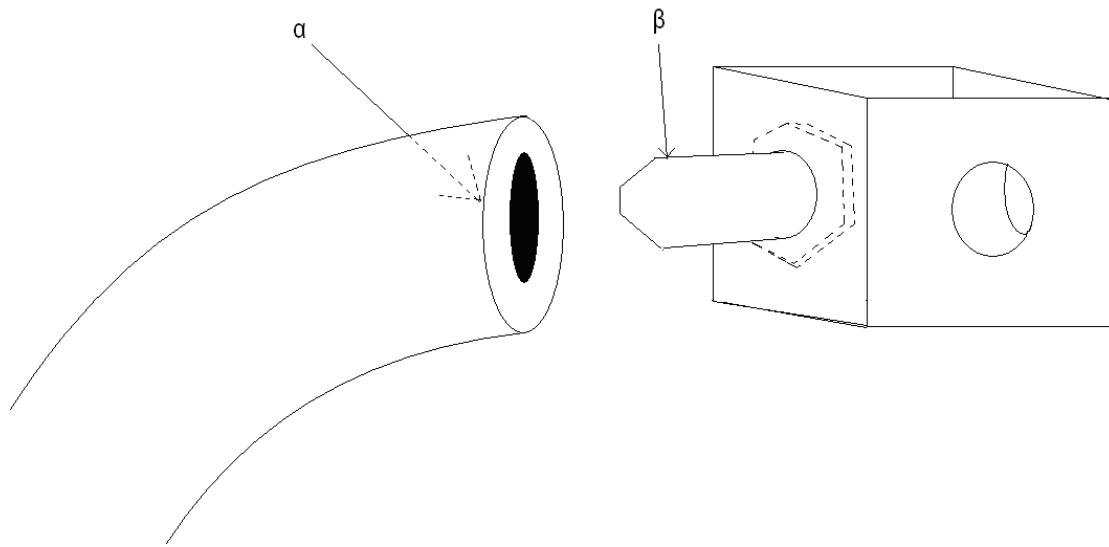
ΣΧΕΔΙΟ 7



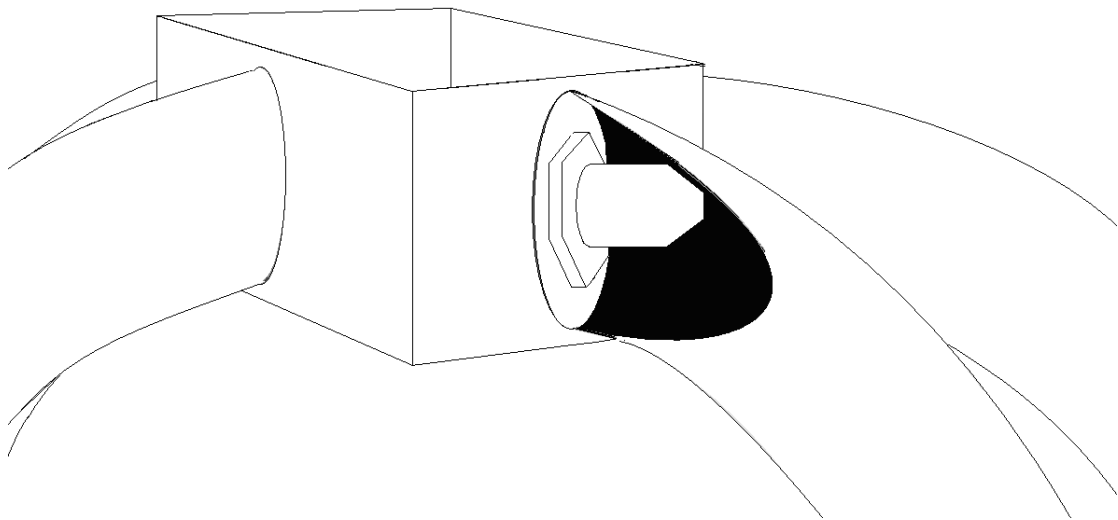
ΣΧΕΔΙΟ 8



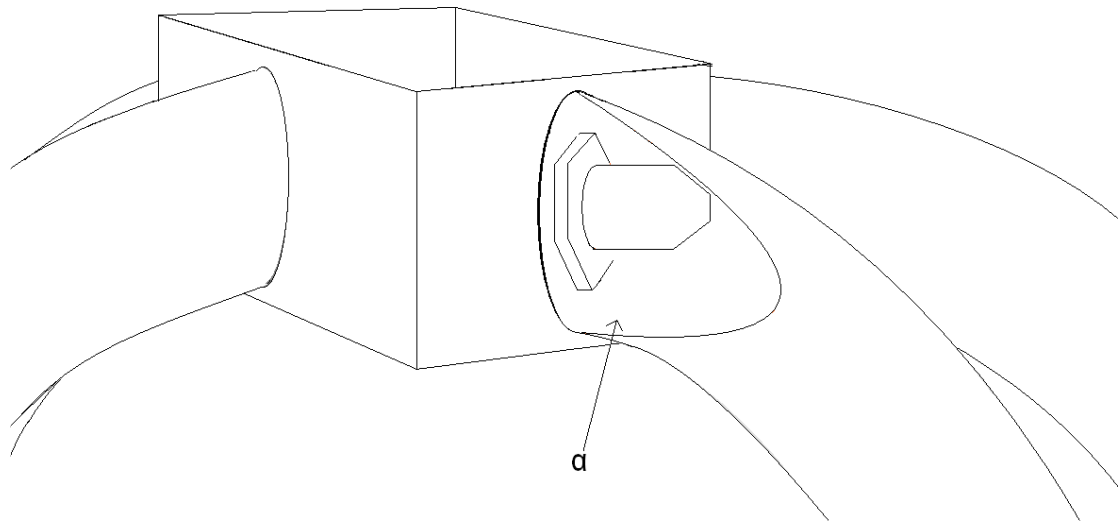
ΣΧΕΔΙΟ 9



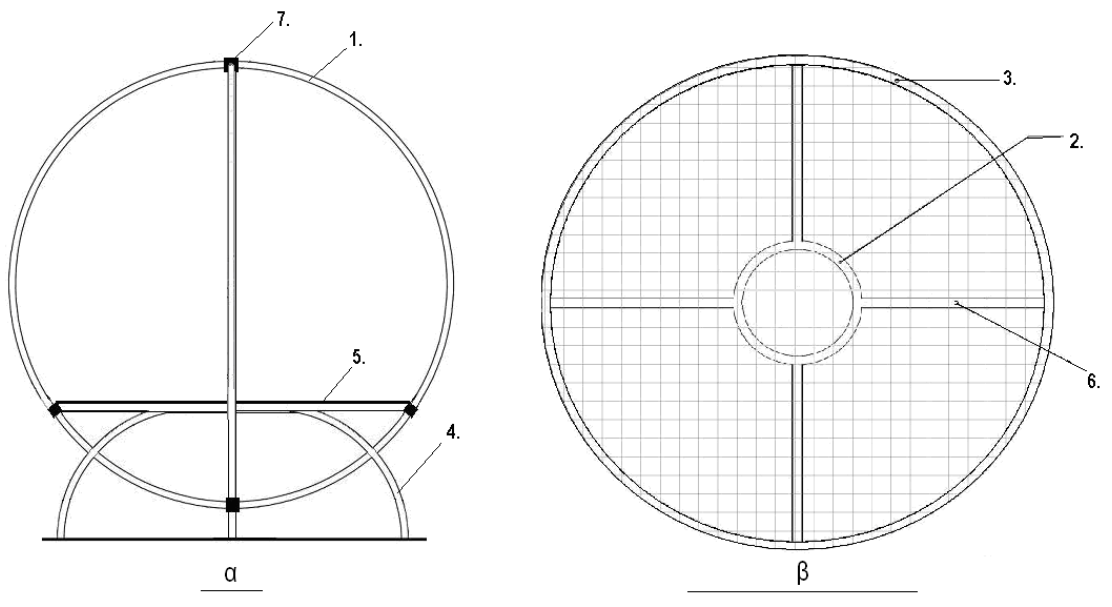
ΣΧΕΔΙΟ 10



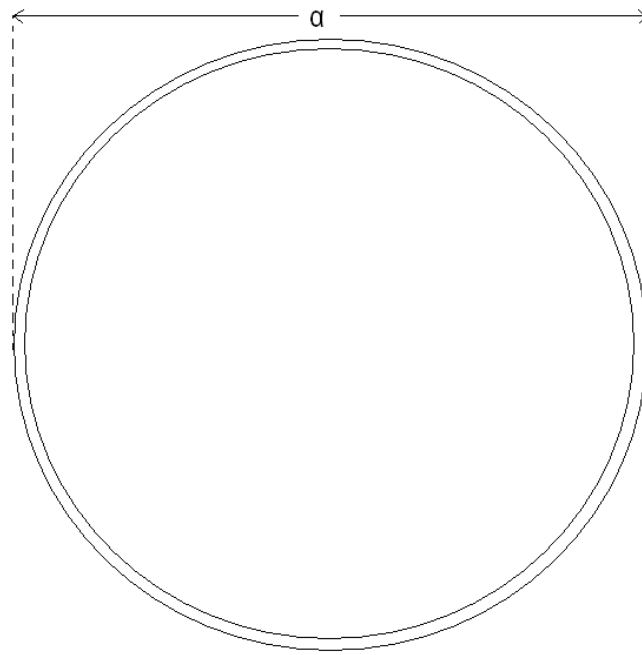
ΣΧΕΔΙΟ 11



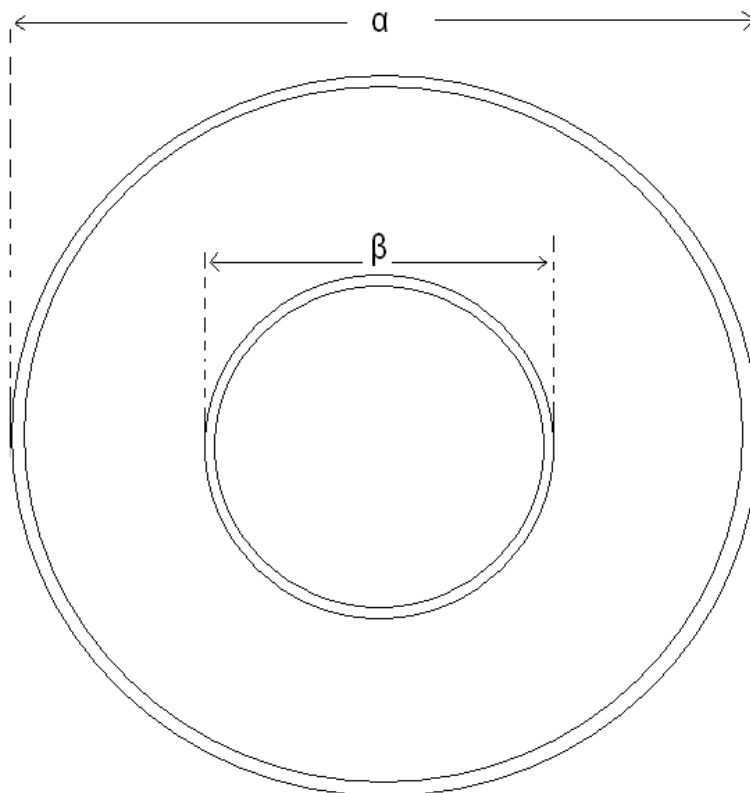
ΣΧΕΔΙΟ 12



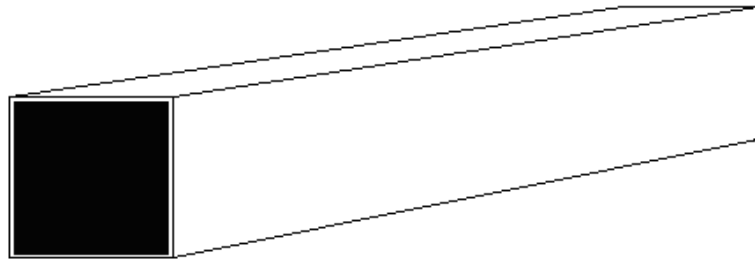
ΣΧΕΔΙΟ 13



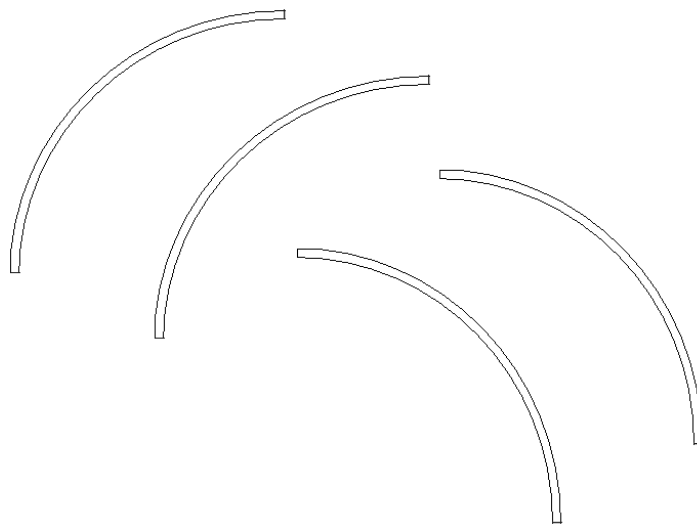
ΣΧΕΔΙΟ 14



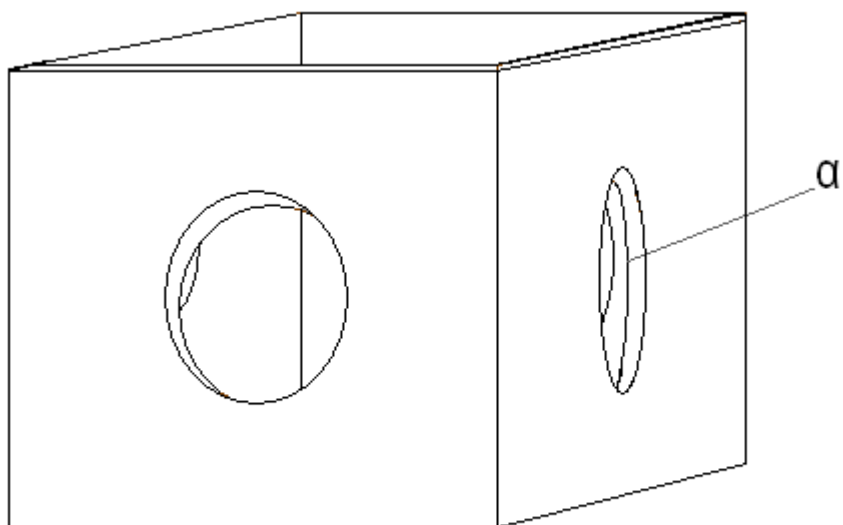
ΣΧΕΔΙΟ 15



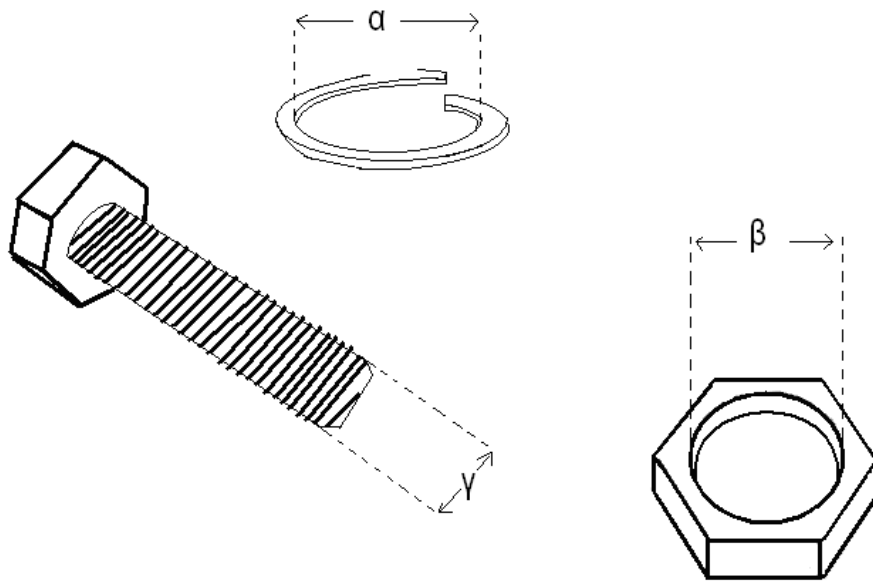
ΣΧΕΔΙΟ 16



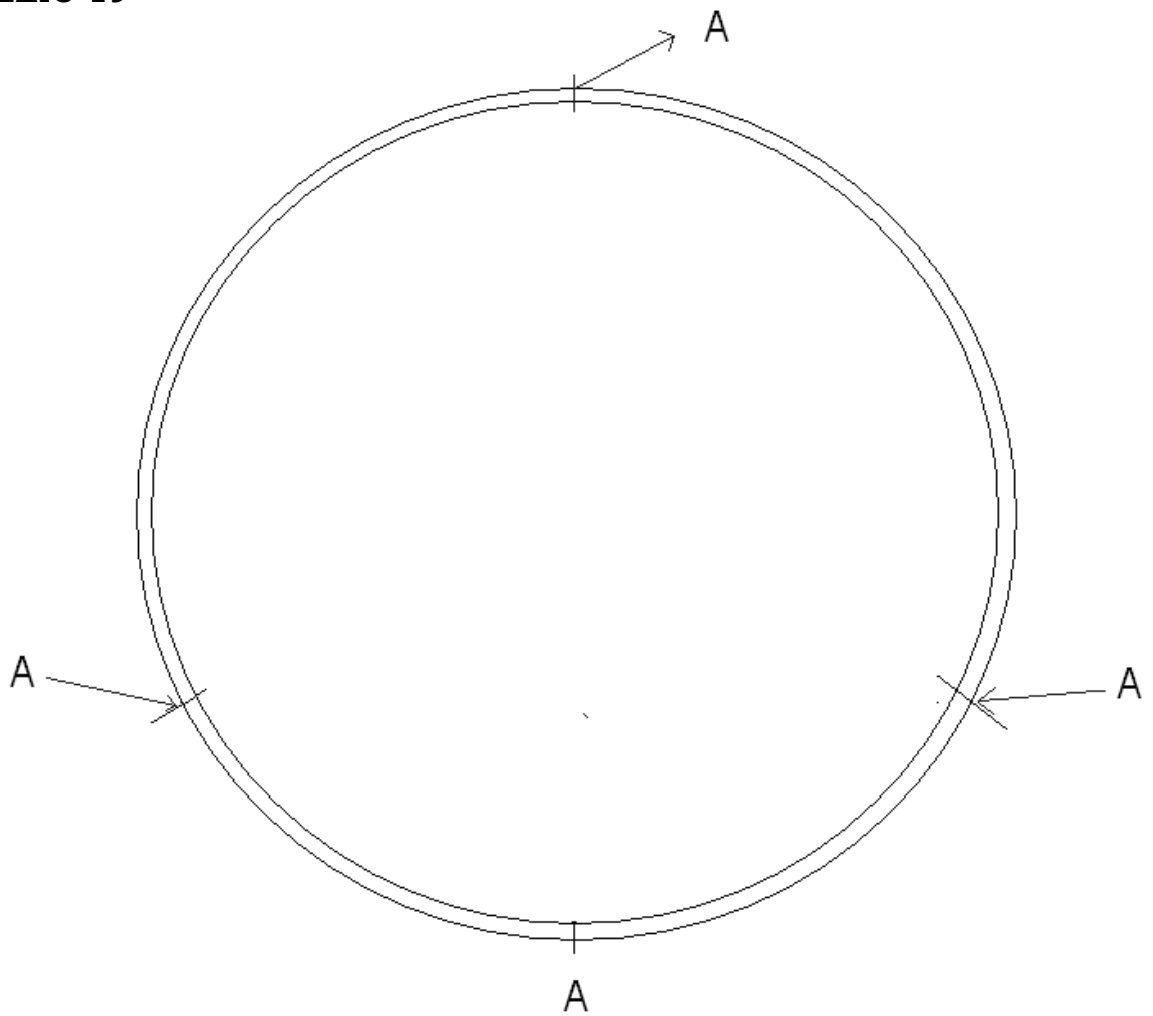
ΣΧΕΔΙΟ 17



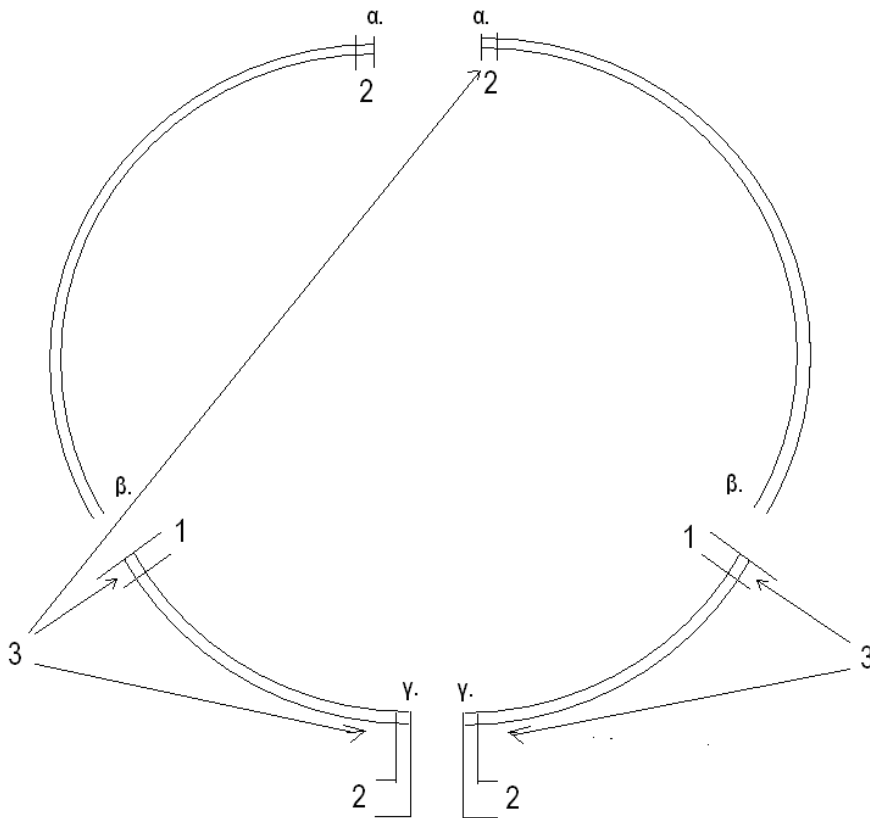
ΣΧΕΔΙΟ 18



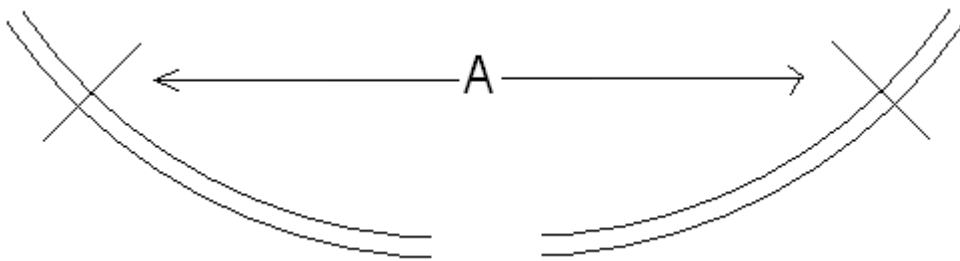
ΣΧΕΔΙΟ 19



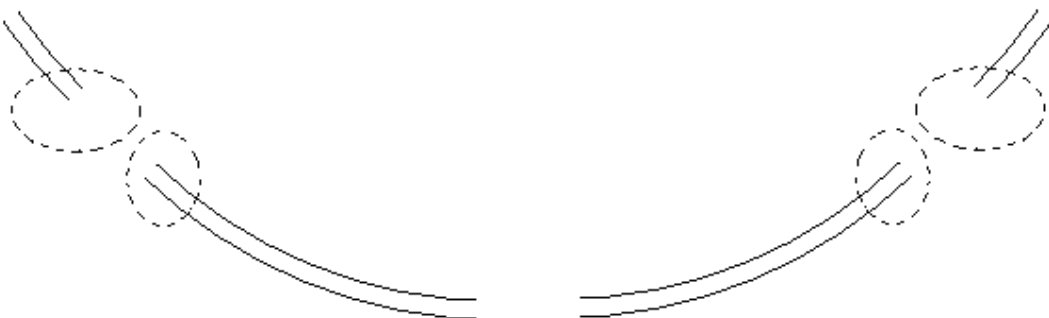
ΣΧΕΔΙΟ 20



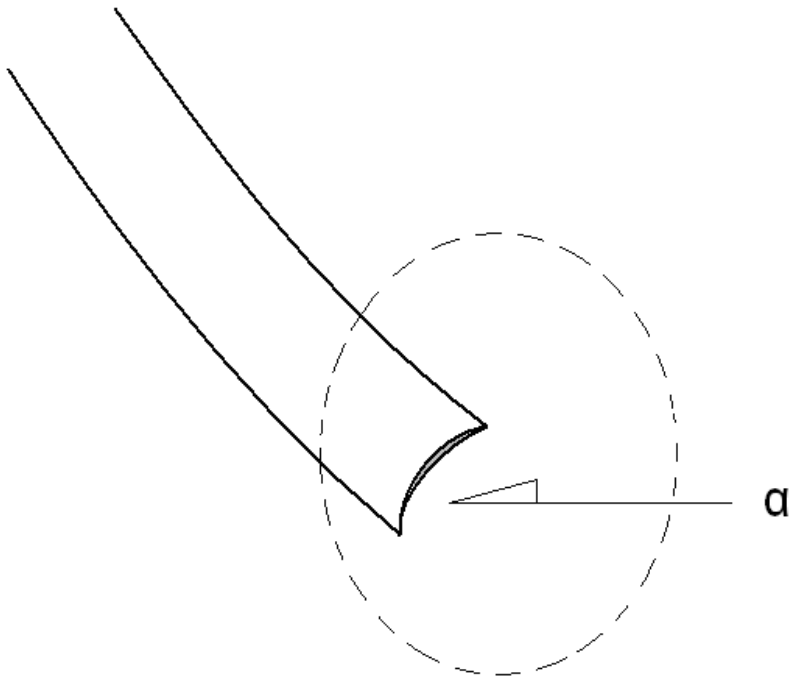
ΣΧΕΔΙΟ 21



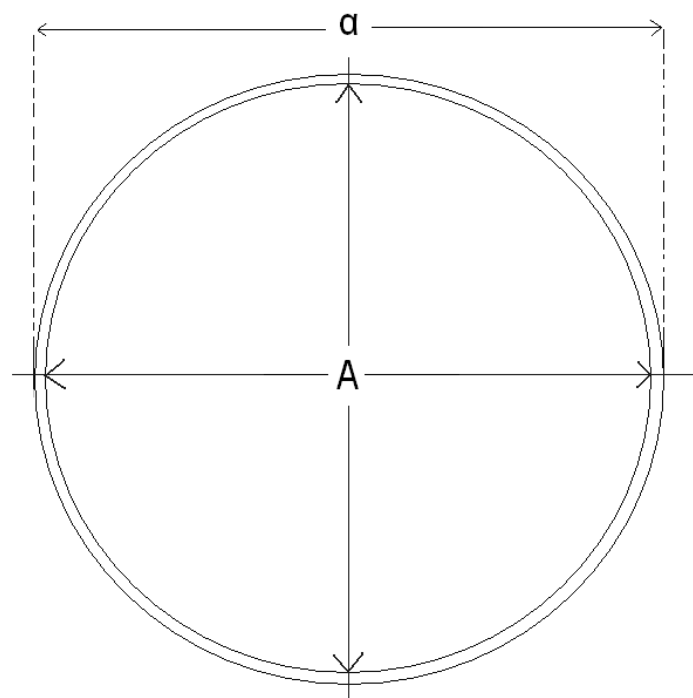
ΣΧΕΔΙΟ 22



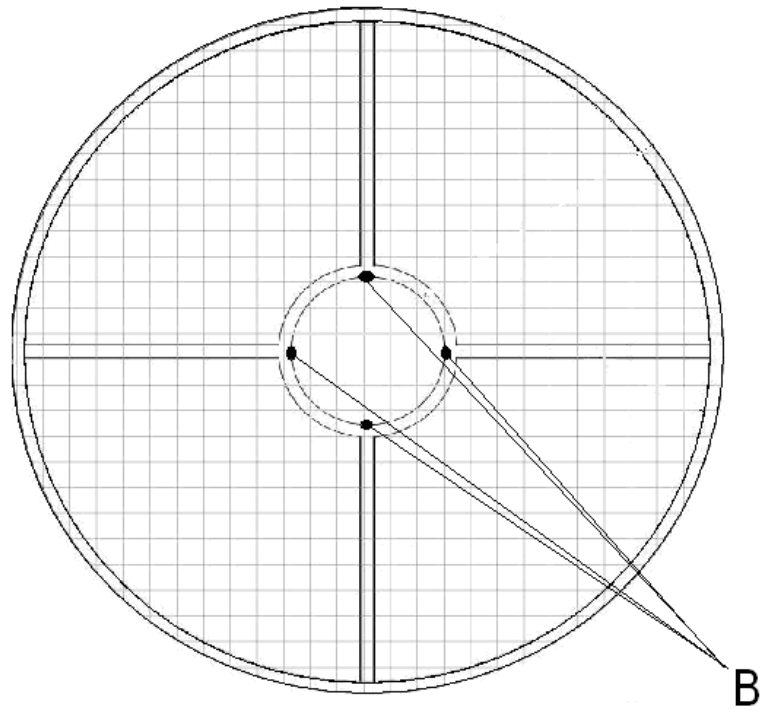
ΣΧΕΔΙΟ 23



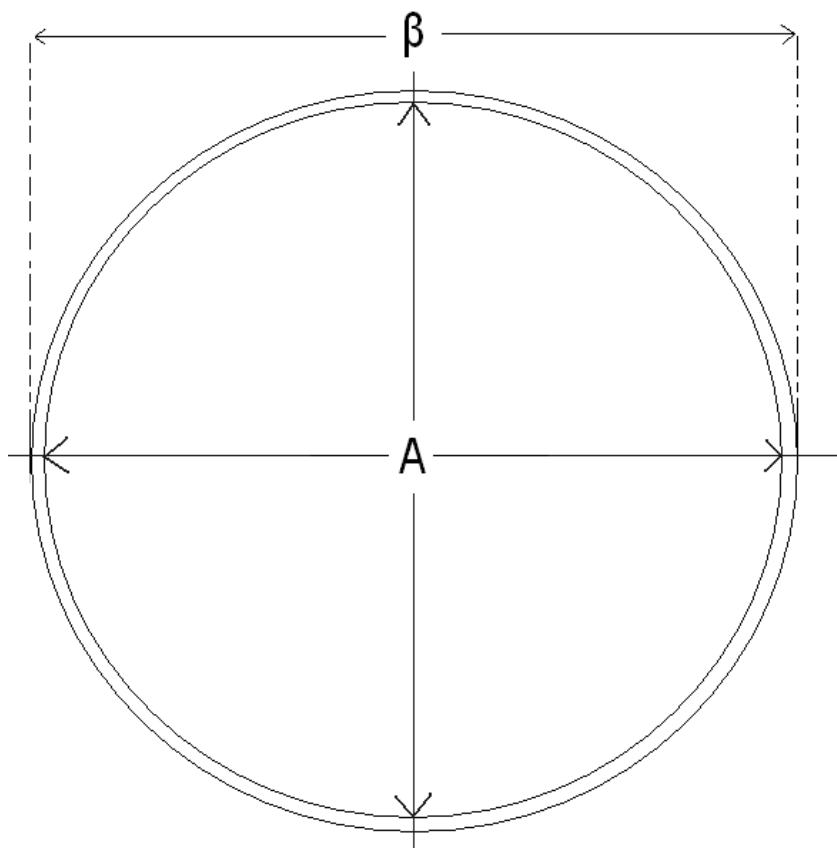
ΣΧΕΔΙΟ 24



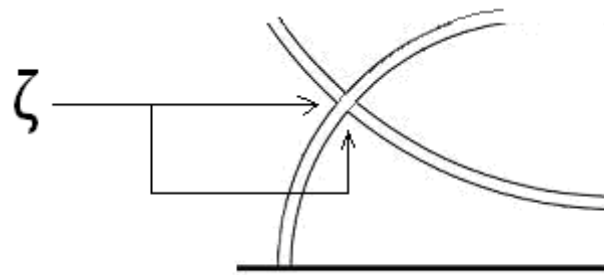
ΣΧΕΔΙΟ 25



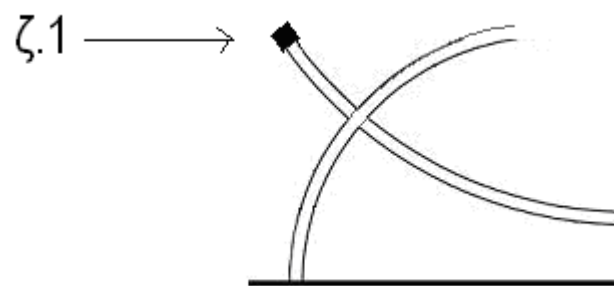
ΣΧΕΔΙΟ 26



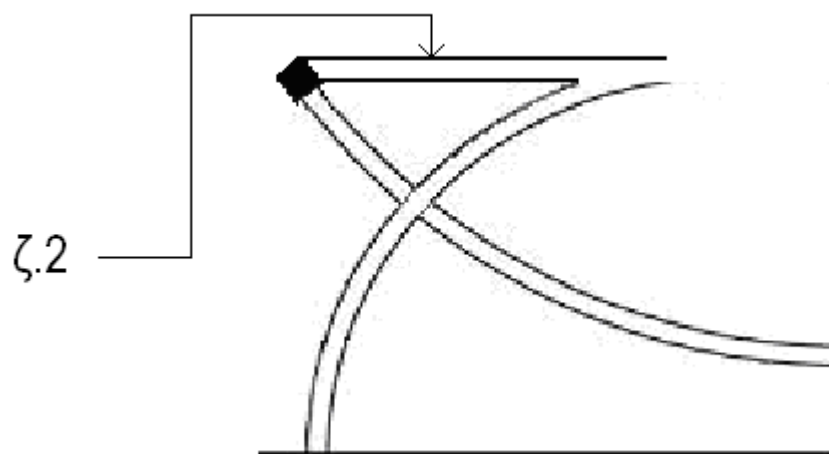
ΣΧΕΔΙΟ 27



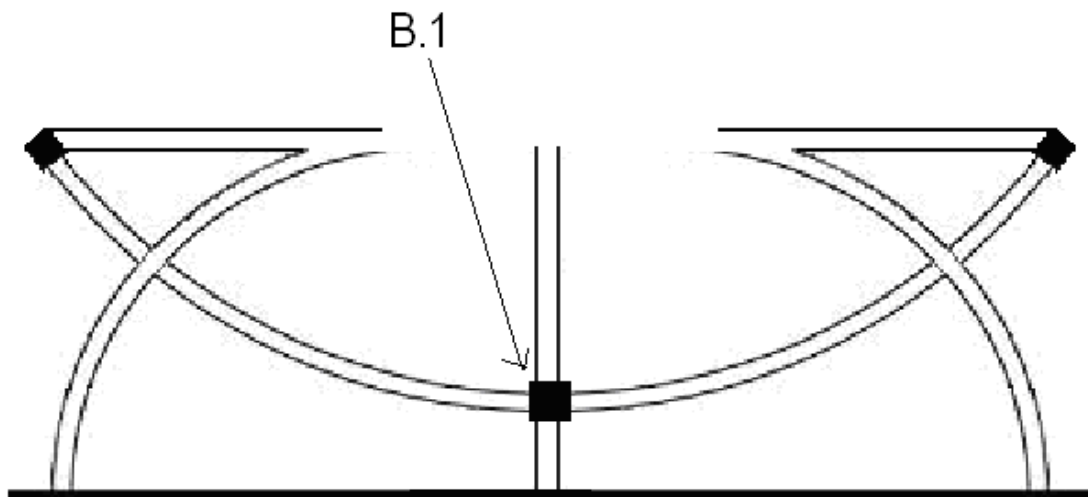
ΣΧΕΔΙΟ 28



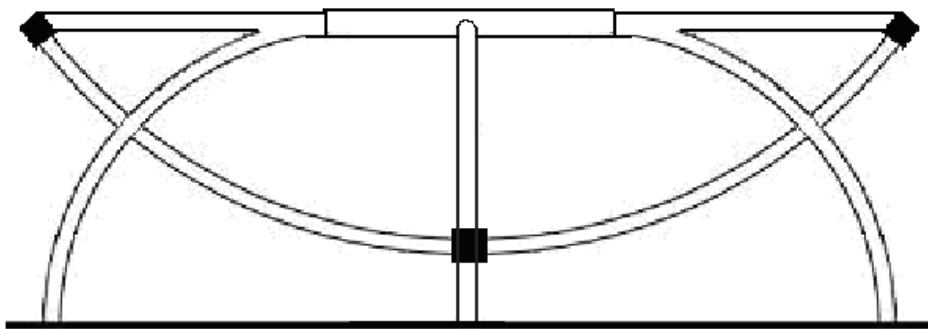
ΣΧΕΔΙΟ 29



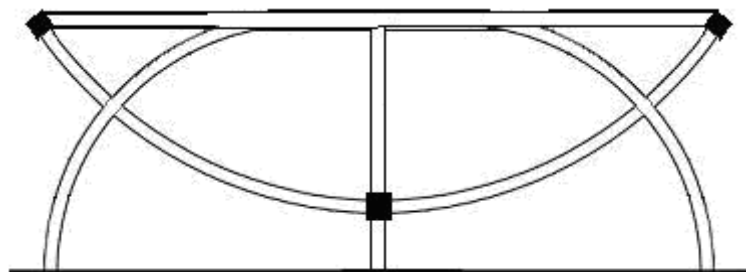
ΣΧΕΔΙΟ 30



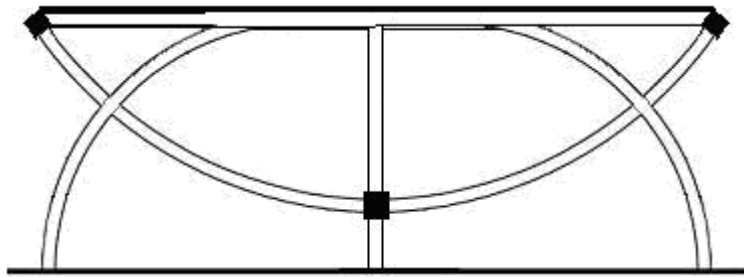
ΣΧΕΔΙΟ 31



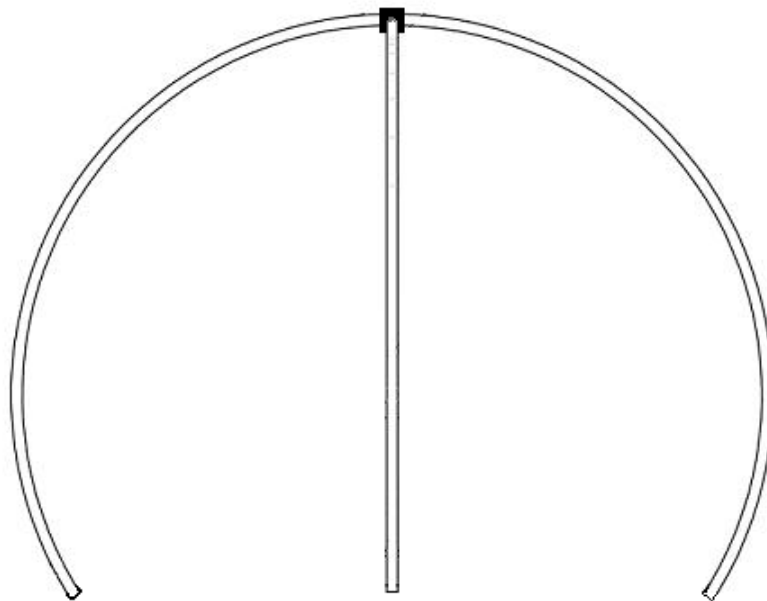
ΣΧΕΔΙΟ 32



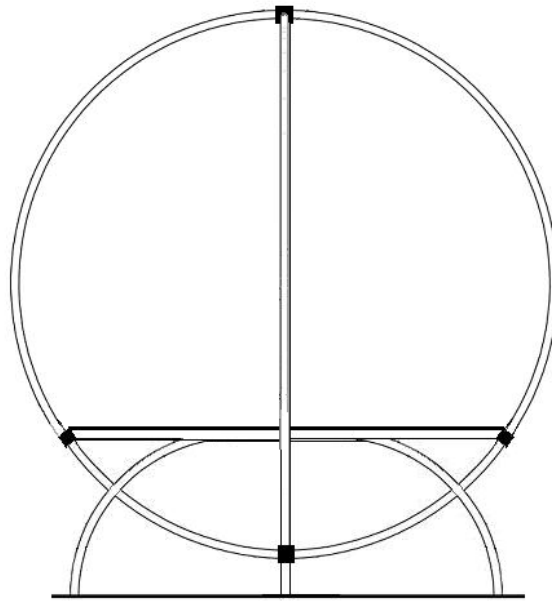
ΣΧΕΔΙΟ 33



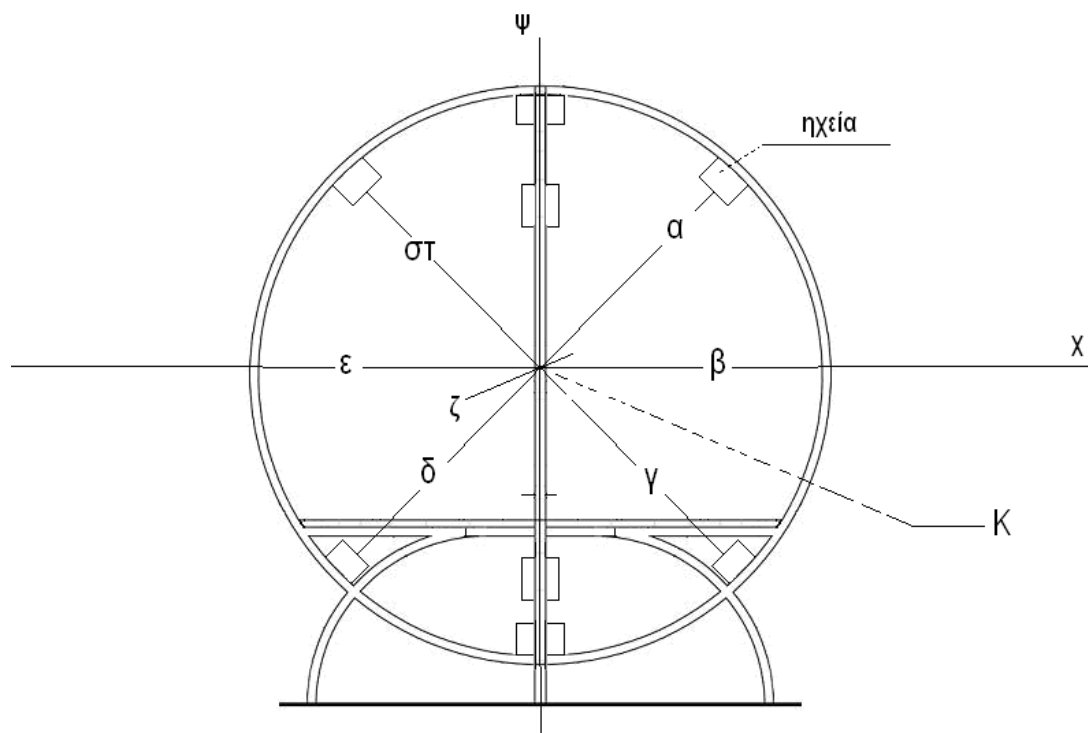
ΣΧΕΔΙΟ 34



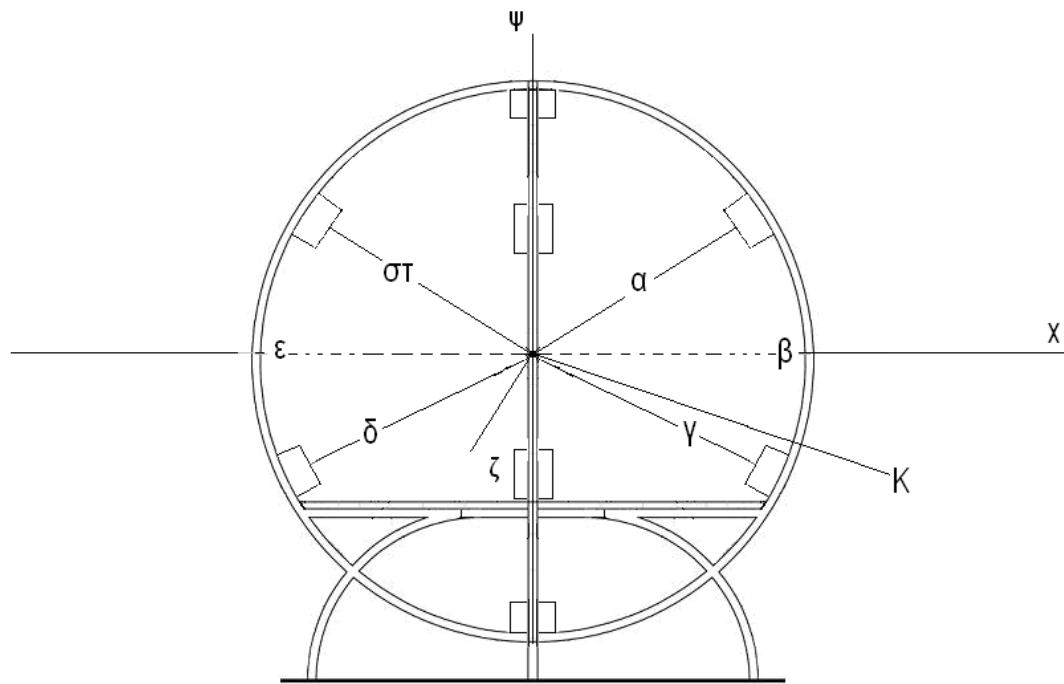
ΣΧΕΔΙΟ 35



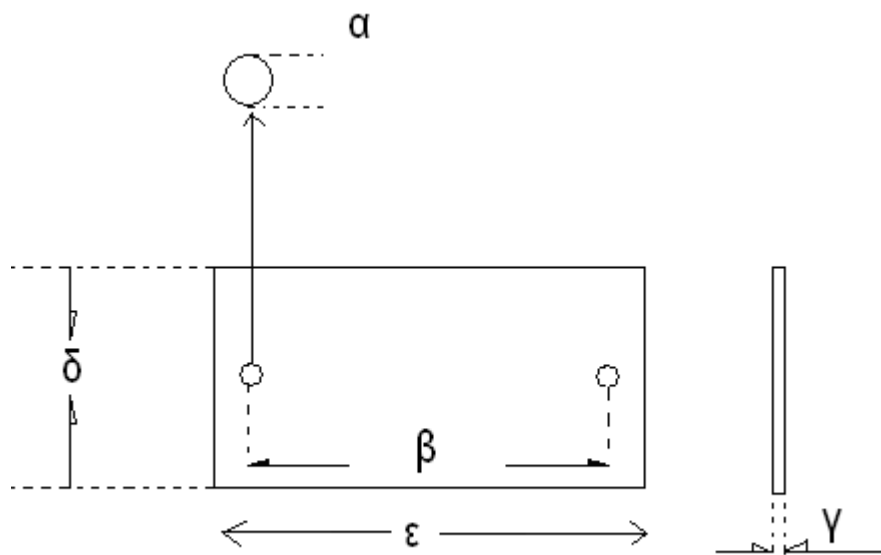
ΣΧΕΔΙΟ 36



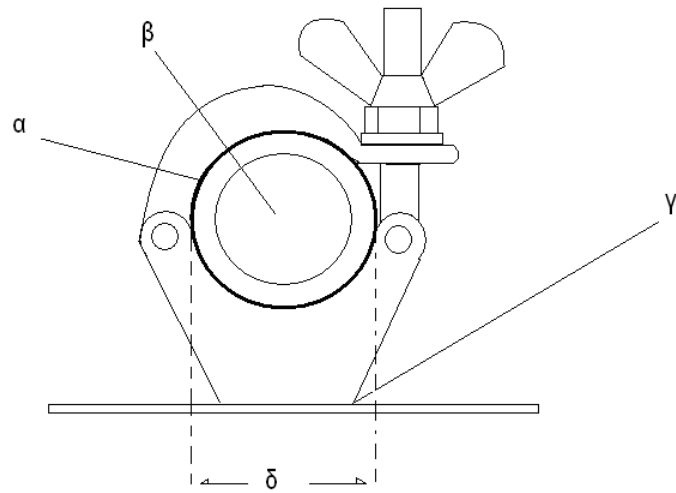
ΣΧΕΔΙΟ 37



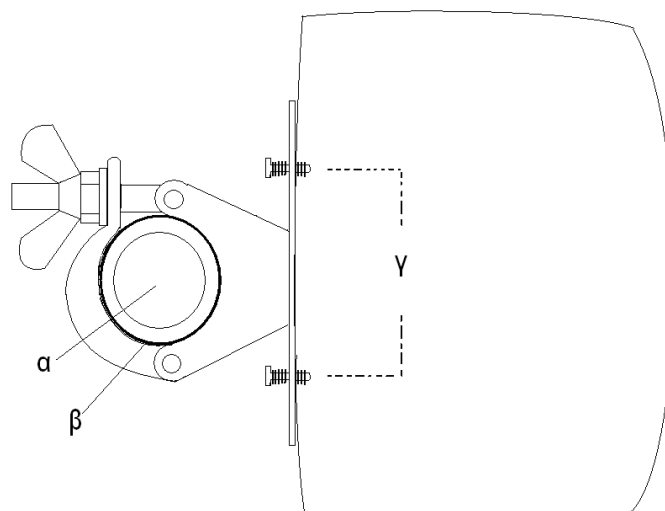
ΣΧΕΔΙΟ 38



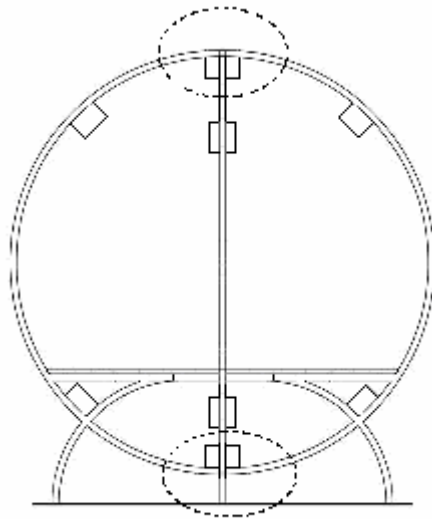
ΣΧΕΔΙΟ 39



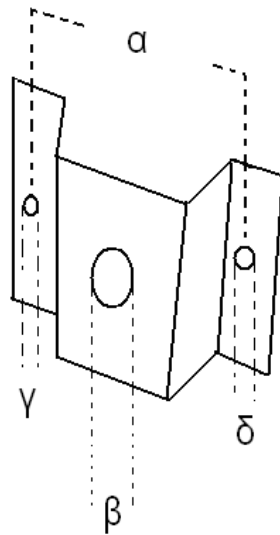
ΣΧΕΔΙΟ 40



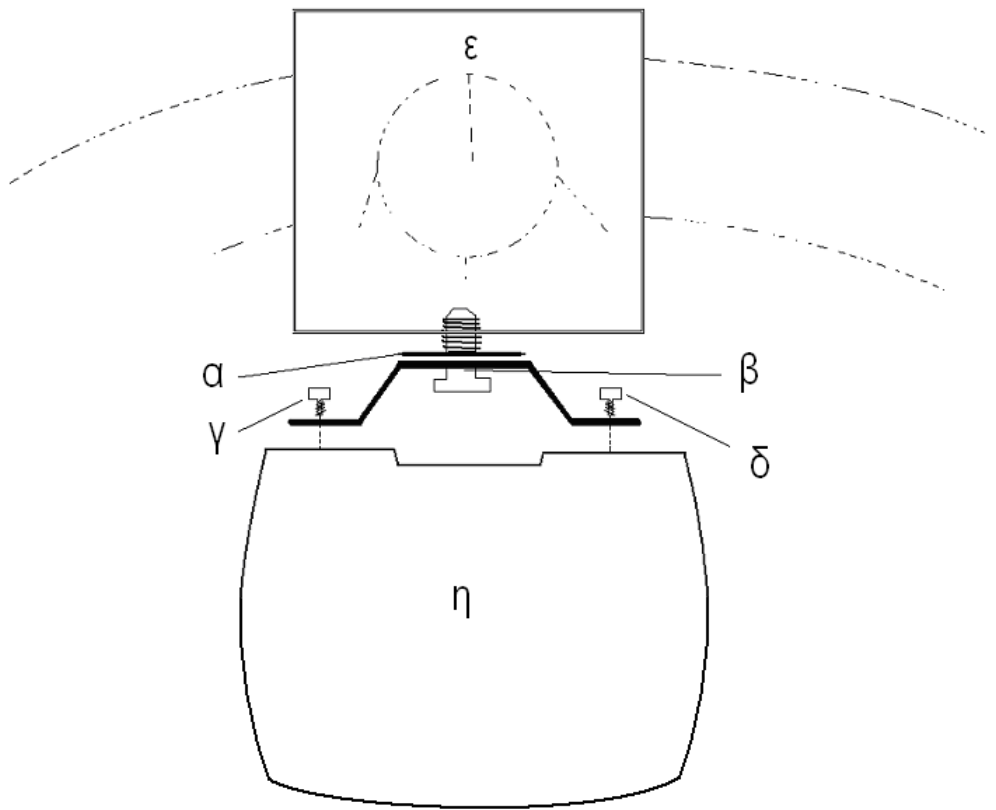
ΣΧΕΔΙΟ 41



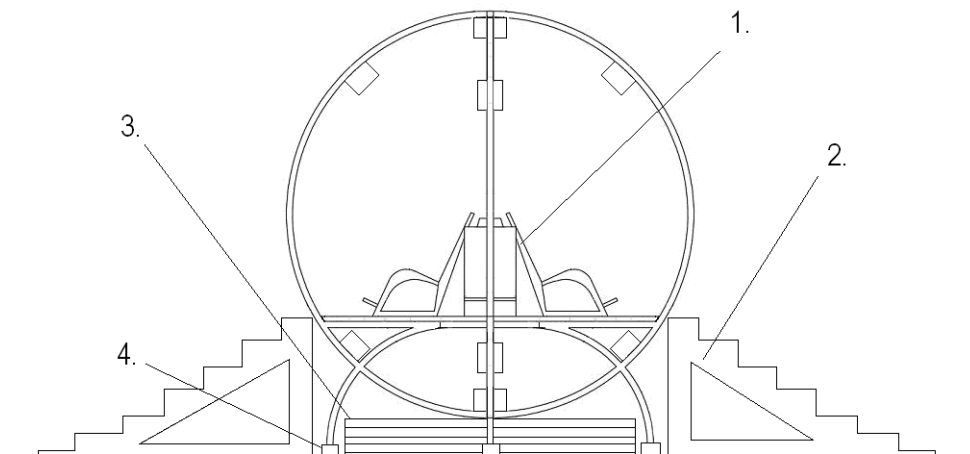
ΣΧΕΔΙΟ 42



ΣΧΕΔΙΟ 43



ΣΧΕΔΙΟ 44



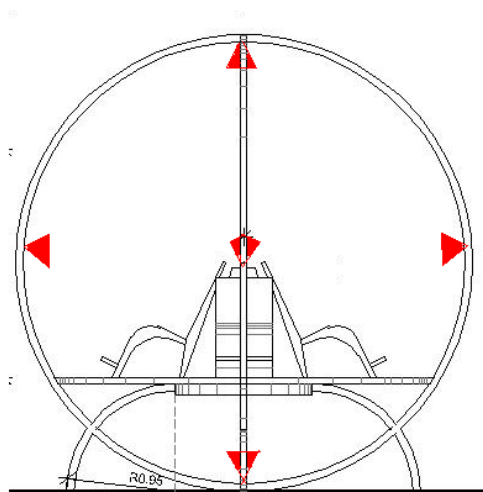
4.5 Τεχνολογία Ηχητικής Σφαίρας

Σε αυτόν τον κλάδο αναφέρονται τα ηχητικά τεχνολογικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν για την Ηχητική Σφαίρα, καθώς και ο αριθμός και ο τρόπος διάταξης των ηχείων.

4.6 Ταξινόμηση και τοποθέτηση των ηχείων

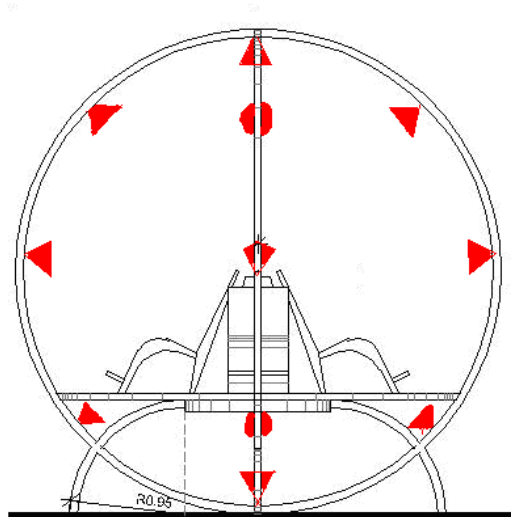
Ο ελάχιστος αριθμός ηχείων για την δημιουργία τρισδιάστατου ηχητικού περιβάλλοντος είναι έξι.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο απλούστερος τρόπος τοποθέτησης 6 ηχείων στην Ηχητική Σφαίρα.



Η παραπάνω ηχητική διάταξη είναι η ελάχιστη και οικονομικότερη όμως και η ακουστικά φτωχότερη. Με αυτήν την διάταξη υπάρχει σαφή τρισδιάστατη ηχητική απεικόνιση, όχι όμως σφαιρική. Ο κάθετος και ο οριζόντιος άξονας καλύπτετε πλήρως όμως υπάρχει ηχητική έλλειψη στις διαγώνιους από την θέση ακρόασης.

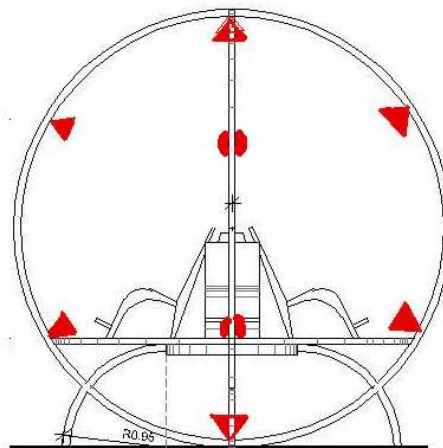
Μια διάταξη ιδανικότερη για την σφαιρική ηχητική ακρόαση είναι η παρακάτω:



Αυτή η διάταξη είναι με 14 ηχεία-κανάλια ήχου (θυμίζει δύο κάθετες οκταφωνίες), όμως έχει δύο βασικά προβλήματα. Το πρώτο είναι ότι αυξάνετε αρκετά το οικονομικό κόστος και το δεύτερο είναι ότι γίνεται πολυπλοκότερη η διαδικασία επεξεργασίας ήχου προς την πολυκάναλη μετάδοσή του.

Η ιδανικότερη λύση για τον αριθμό των ηχείων σε συνάρτηση με την ιδανική σφαιρική και πολυκάναλη απόδοση ήταν αυτή των 10 καναλιών-ηχείων ή (δύο κάθετες εξαφωνίες).

Τα σημεία που ορίστηκαν για να μπουν τα 10 ηχεία ήταν τα σημεία που χωρίζουν τους δυο βασικούς δακτυλίους σε ίσες αποστάσεις δηλαδή σε κάθε δακτύλιο οι θέσεις των ηχείων σχηματίζουν ένα εξάγωνο.



Στο παραπάνω σχήμα φαίνονται τα ηχεία στις θέσεις των 10 ηχείων που ορίστηκαν για την ηχητική σφαίρα, διατηρώντας περιφερειακά ίσες αποστάσεις μεταξύ τους στον κάθε δακτύλιο.

Παρατηρούμε ότι ο κάθετος άξονας y, y' είναι ο μοναδικός που τον ορίζουν 2 ηχεία, όμως, τους άξονες z, z' και x, x' μπορεί να μην τους ορίζουν αντίστοιχα 2 ηχεία όπως στο προηγούμενο σχήμα, αλλά η κάθε τους άκρη ορίζεται από την phantom πηγή που δημιουργείτε από τα 2 ηχεία που βρίσκονται σε κάθε άκρη των αξόνων σε ίσες αποστάσεις πάνω και κάτω από τους άξονες (x) και (z) αντίστοιχα. Επίσης, δεν υπάρχει το πρόβλημα δημιουργίας ηχητικών κενών (αδύναμα σήματα) μεταξύ των ηχείων γιατί κάθε δακτύλιος ξεχωριστά διαθέτει από μία εξαφωνία που όπως ειπώθηκε στην παράγραφο 3.5 είναι ο ελάχιστος ιδανικός αριθμός ηχείων για την κυκλική ακρόαση. Παράλληλα, οι ποιο αδύναμες φανταστικές πηγές δημιουργούνται ανάμεσα στους δύο δακτυλίους, δηλαδή στην μέση των οριζόντιων τεταρτημορίων που χωρίζουν την σφαίρα στο κέντρο της.

4.7 Τεχνικά Χαρακτηριστικά του Ηχητικού Συστήματος της Σφαίρας

Θα ήθελα σε αυτό το σημείο να ευχαριστήσω την εταιρία Elina SA και τον εκπρόσωπό της κύριο Γιάννη Παπανάνο, που πίστεψε στην Ηχητική Σφαίρα και χορήγησε όλον τον απαραίτητο ηχητικό εξοπλισμό για να τεθεί σε λειτουργία. Η Ηχητική Σφαίρα στην συγκεκριμένη πτυχιακή ενισχύθηκε με σύστημα 10,2 (10 δορυφόρους και 2 ηχεία χαμηλών συχνοτήτων). Την ηχητική της μετάδοση έλεγχε ένας υπολογιστής με τα προγράμματα Max Msp και Nuendo. Η μετατροπή των ψηφιακών δεδομένων έγινε μέσω της κάρτας ήχου M-audio profire 2626 όπου συνδεόταν με τον υπολογιστή με καλώδιο fire wire. Λόγο του ότι η συγκεκριμένη κάρτα είχε 8 αναλογικές και 16 ψηφιακές εξόδους, χρησιμοποιήθηκε και ένας μετατροπέας από ψηφιακού σε αναλογικού σήματος με σκοπό να μετατρέψει 2 ψηφιακά κανάλια σε 2 αναλογικά. Έτσι ήταν διαθέσιμα 10 αναλογικά κανάλια.

Το κάθε woofer διέθετε 5 εισόδους και 5 εξόδους για τα κανάλια που οδηγούνται στους δορυφόρους, καθώς και μια παραπάνω είσοδο για το κανάλι χαμηλών συχνοτήτων. Στο παράδειγμα που έγινε για την πτυχιακή δεν χρησιμοποιήθηκε το κανάλι εισόδου χαμηλών συχνοτήτων και τα woofer αναπαρήγαγαν τις χαμηλές συχνότητες με την διαδικασία crossover που γινότανε στα υπόλοιπα κανάλια των δορυφόρων. Από τις 5 εξόδους των woofer, τα αναλογικά σήματα οδηγούντουσαν στα ηχεία τους αντίστοιχα. Τα ηχεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν Blue Sky συστημάτων 5.1.

4.8 Διαδικασία πολυκάναλης μετάδοσης στην Ηχητική Σφαίρα

Η πολυκάναλη μετάδοση στην ηχητική σφαίρα μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Ή μέσω υπολογιστή και κάρτας ήχου, ή αναπαραγόμενη από ανεξάρτητα πολυκάναλα μηχανήματα με σκληρό δίσκο ή DAT.

Στην παρούσα πτυχιακή η πολυκάναλη μετάδοση γίνεται μέσω υπολογιστή. Τα λογισμικά που είναι ικανά να αναπαράγουν πολυκάναλο ήχο ποικίλουν. Στην Ηχητική Σφαίρα χρησιμοποιήθηκαν Nuendo (για το μοντάζ του ήχου) και η Max msp (για την πολυκάναλη διαχείρισή του).

4.9 Ηχητική Εφαρμογή

Η χρήση του προγράμματος max msp και ο προγραμματισμός του εξαρτώνται από το ζητούμενο του τελικού ηχητικού τρόπου που επιθυμείται να αναπαραχθεί.

Η ιδέα της ηχητικής παρουσίασης στην συγκεκριμένη πτυχιακή, ήταν η δημιουργία ενός τρισδιάστατου ηχοτοπίου από φυσικούς ήχους όπου θα συνδυάζονταν με ήχους σταθερούς, τυχαιότητας και με ήχους κίνησης.

Το πρώτο βήμα για την υλοποίηση του παραπάνω ηχητικού σεναρίου ήταν η ηχογράφηση. Σκοπός της, ήταν να γίνει η συλλογή διαφόρων ήχων που σχετίζονται με το τελικό σχέδιο, που στη συνέχεια θα μιξαριζόντουσαν για το τελικό τους στάδιο.

Η ηχογράφηση που πραγματοποιήθηκε έγινε με τον ψηφιακό εγγραφέα ήχου Tascam DR-100 με δειγματοληψία 44.100Hz και δυναμικό εύρος 16 bits.

Ηχογραφήθηκαν πουλερικά, ρυάκια, πρόβατα, τριζόνια, τζιτζικια, τρένα και μαχητικά αεροπλάνα στις περιοχές Καλαμπάκα και Τανάγρα.

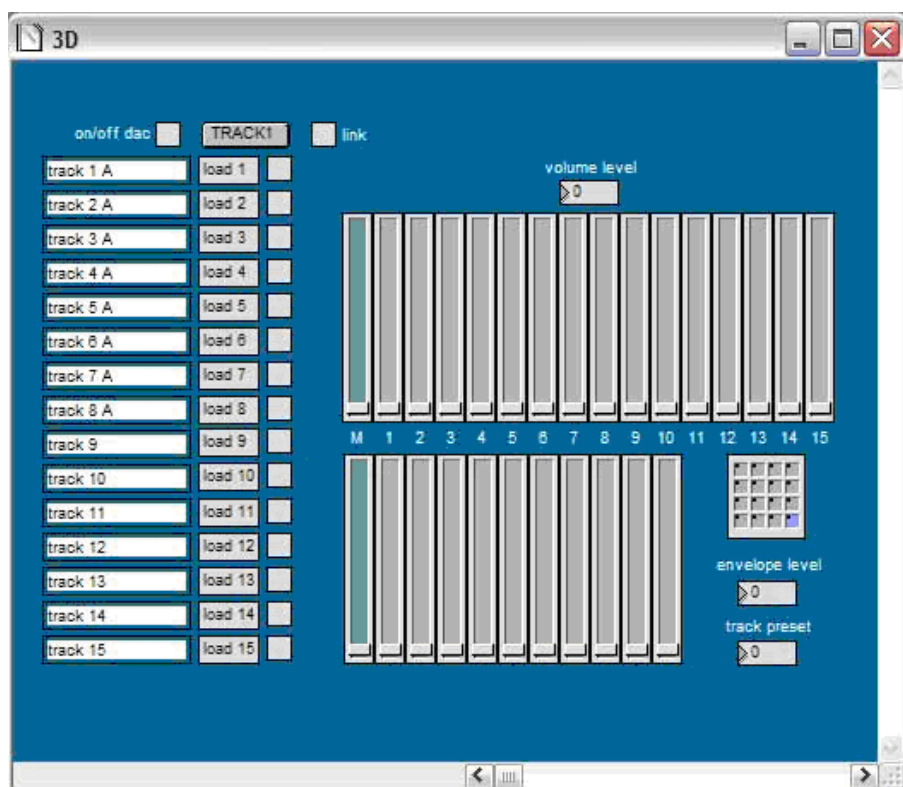
Το δεύτερο βήμα για την υλοποίηση του ζητούμενου ηχητικού σχεδιασμού ήταν η μίξη των ηχογραφημένων κομματιών.

Κατά την μίξη προστέθηκαν και κάποιοι προηχογραφημένοι ήχοι μουσικής αλλά και άλλοι ήχοι από την ηχητική βιβλιοθήκη «Hollywood Edge» όπως ήχοι πουλιών, σκύλων και πόλεως.

Ακολουθώντας το ηχητικό σενάριο που είχε καταγραφεί έγινε και η μίξη σε 10 ανεξάρτητα μονοφωνικά κανάλια ήχου με την χρήση του λογισμικού προγράμματος Nuendo που στην συνέχεια τοποθετήθηκαν στο λογισμικό πρόγραμμα max msp για το τελικό στάδιο διεκπεραίωσης του τελικού πολυκάναλου ηχητικού τοπίου.

Το τρίτο βήμα ήταν η δημιουργία απαραίτητου διαγράμματος ροής στην max msp τέτοιου ώστε να μπορεί να αποδώσει την απαιτούμενη αναπαραγωγή και διαχείριση του ήχου.

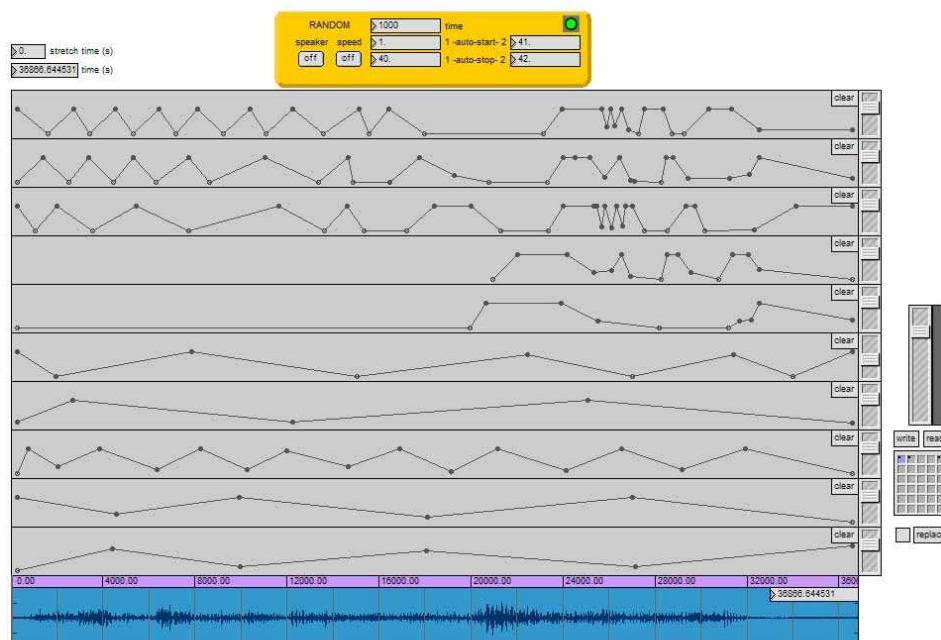
Στις παρακάτω φωτογραφίες φαίνονται τα τελικά διαγράμματα όπου διεκπεραιώθηκαν με την βοήθεια του Γιώργου Κωνσταντινίδη και ανταποκρίνονται πλήρως στις απαραίτητες προϋποθέσεις.



Στην παραπάνω φωτογραφία φαίνεται η κεντρική κονσόλα διαχείρισης του πολυκάναλου συστήματος ηχητικής αναπαραγωγής που πραγματοποιήθηκε στην max msp. Η κονσόλα που απεικονίζεται παρέχει 15 κανάλια ήχου στα οποία ο χρήστης μπορεί να εισάγει 15 διαφορετικά δείγματα ήχου με την δυνατότητα ελέγχου της έντασης και ταυτόχρονα, παρέχει και 10 ανεξάρτητες μονοφωνικές εξόδους ήχου με την δυνατότητα ελέγχου της ηχητικής έντασης για το κάθε κανάλι ξεχωριστά.

Για καθένα από τα 15 κανάλια υπάρχει η δυνατότητα παραπομπής σε ανεξάρτητο ελεγκτικό μηχανισμό που ο χρήστης έχει την δυνατότητα ελέγχου διαφόρων παραμέτρων. Σε αυτό τον μηχανισμό παρέχεται η δυνατότητα διαχείρισης, επεξεργασίας και ροής του ηχητικού δείγματος με σκοπό να επιτευχθεί η πολυκάναλη μετάδοσή του. Στον μηχανισμό αυτόν, το κάθε δείγμα ήχου είναι ικανό να οδηγηθεί στις 10 μονοφωνικές εξόδους. Έτσι, η πληροφορία του ηχητικού δείγματος μονοφωνικού καναλιού εξελίσσεται σε πληροφορία 10 μονοφωνικών καναλιών.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η μονάδα πολυκάναλης επεξεργασίας ενός ηχητικού δείγματος.



Στο κάτω μέρος της φωτογραφίας (στο μπλε φόντο) απεικονίζεται στον χρόνο ένα μονοφωνικό ψηφιακό σήμα. Από πάνω ακριβώς, απεικονίζονται 10 ελεγκτές της ηχητικής έντασης του δείγματος. Οι 10 ελεγκτές καθορίζουν το ποσοστό έντασης σε συνάρτηση με το χρόνο για κάθε μονοφωνική έξοδο ξεχωριστά.

Στο κίτρινο φόντο, απεικονίζεται ο μηχανισμός ψευδοτυχαίων τιμών. Είναι ένας μηχανισμός που οδηγεί τυχαία το μονοκάναλο ψηφιακό σήμα στις 10 εξόδους. Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα χρονικής τοποθέτησης της έναρξης και λήξης της λειτουργίας του μηχανισμού, καθώς και τον ρυθμό μεταβολής των ψευδοτυχαίων τιμών.

Το τέταρτο βήμα και τελευταίο για την λειτουργία της ηχητικής σφαίρας, ήταν η προσθήκη των ηχητικών δειγμάτων στα αντίστοιχα κανάλια και η πολυκάναλη διαχείρισή τους για την εκπομπή τους στις 10 εξόδους, ξεχωριστά.

4.10 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Τον Σεπτέμβριο του 2010 (4 χρόνια μετά την 1^η σύλληψη της ιδέας), πραγματοποιήθηκε η πρώτη τρισδιάστατη ακρόαση στην Ηχητική Σφαίρα.

Η πρώτη ακρόαση είχε θετικά και αρνητικά ηχητικά αποτελέσματα. Όμως, τα θετικά ήταν αρκετά ενθαρρυντικά για να συνεχιστεί βαθύτερη έρευνα προς την εξάλειψη των αρνητικών στοιχείων.

Διαπιστώθηκε πως η τρισδιάστατη ταξινόμηση και διαχείριση του ήχου χρειαζόταν ιδιαίτερη προσοχή προκειμένου να διατηρείτε η ηχητική και η φυσική ισορροπία.

Παρατηρήθηκε ότι η χρήση των φυσικών ήχων που ο άνθρωπος έχει συνηθίσει την χωρική τους τοποθεσία, δεν πρέπει να διαχειρίζεται με κατανομή θέσεων μη πραγματική.

Όταν δημιουργηθεί ένα φανταστικό ηχητικό πεδίο που απεικονίζει την φύση, μια μη φυσική διαχείριση του ήχου μπορεί να φέρει σύγχυση.

Για παράδειγμα, στην συγκεκριμένη πτυχιακή δημιουργείτε μια τρισδιάστατη ηχητική απεικόνιση της φύσης με τον ακροατή στο κέντρο της. Αν περάσει ένα μαχητικό αεροπλάνο από κάτω από τα πόδια του, θα φέρει κατά πάσα πιθανότητα σύγχυση διότι στην πραγματικότητα θα ήταν απίθανο να γίνει.

Το σημείο που θα πρέπει να ακούγεται ο κάθε ήχος, αλλά και η κίνηση που ενδεχομένως να έχει, εξαρτάτε πάρα πολύ από την ταυτότητα του ήχου, τον τρόπο ηχογράφησης του και τον τρόπο αναπαραγωγής του. Έτσι, όταν οι ήχοι κατανεμεθούν τρισδιάστατα από τον άνθρωπο όπως η φύση το επιτρέπει, τότε δημιουργείτε και η ηχητική ισορροπία.

4.11 Η 1^η Δημόσια Προβολή

Στις 24 με 28 Νοεμβρίου του 2010 παρουσιάστηκε η Ηχητική Σφαίρα σε δημόσιο χώρο.



Υπολογίζεται ότι επισκέφτηκαν την Ηχητική Σφαίρα πάνω από 2.500 ακροατές. 1115 ακροατές συμπλήρωσαν τα ερωτηματολόγια που τους δόθηκαν, προκειμένου να υπάρχει μια τυπική άποψη περί του ενδιαφέρον που είχε η Ηχητική Σφαίρα, με τις παρακάτω ερωτήσεις:

Ερωτήσεις:

- 1) Έχετε βιώσει ξανά στο παρελθόν αντίστοιχη εμπειρία;
- 2) Πώς σας φάνηκε;
- 3) Θα θέλατε να την επαναλάβετε στο άμεσο μέλλον;

Απαντήσεις:

- 1) 887 απάντησαν ΟΧΙ 228 απάντησαν ΝΑΙ
- 2) 710 απάντησαν ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ, 333 απάντησαν ΚΑΛΗ και 72 ΜΕΤΡΙΑ
- 3) 1030 ΝΑΙ 85 ΟΧΙ



ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ:

Καταγράφηκαν εκατοντάδες σχόλια όπως (πρωτοποριακό, θέλω να το ζήσω με εικόνα, μοιάζει με Dolby Surround στον κινηματογράφο, καινούρια εμπειρία, μας ταξιδέψατε, φοβερό, το θέλω σπίτι μου, κτλ.)

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΣΧΟΛΙΟ:

Φύλο: Άντρας, Ηλικία: 39 , Επάγγελμα: Ελ. Επαγγελματίας,
Σχόλιο:

«Τα αυτιά μου αποκτήσαν μάτια.»

ΔΥΟ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ ΣΧΟΛΙΑ ΑΠΟ ΣΧΟΛΕΙΟ ΜΕ ΜΑΘΗΤΕΣ ΠΟΥ ΠΑΣΧΟΥΝ ΑΠΟ ΚΩΦΩΣΗ ΚΑΙ ΒΑΡΗΚΟΪΑ:

Φύλο: Γυναίκα, Ηλικία: 13 Επάγγελμα: μαθήτρια
Σχόλιο:

«έχω πρόβλημα ακοής, μου άρεσε η αίσθηση του ήχου στα πόδια μου»

Φύλο: Γυναίκα, Ηλικία: 17 Επάγγελμα: μαθήτρια
Σχόλιο:

«Είναι καλό για τους κωφούς και τους βαρήκοους να ακούν και να νιώθουν την μουσική.»

Μετά από την αλληλεπίδραση τόσων ακροατών με την Ηχητική Σφαίρα, διαπιστώθηκαν συμπεράσματα που διακρίνουν έγκυρα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της, καθώς και τις μελλοντικές βελτιώσεις της για το άμεσο μέλλον.

Οι Παρατηρήσεις διακρίνονται σε:

- Ψυχαγωγικές
- Ακουστικές
- Κατασκευαστικές
- Μελλοντικές Εφαρμογές

4.12 Ψυχαγωγικές Παρατηρήσεις

Η τρισδιάστατη και σφαιρική μετάδοση του ήχου έγινε αντιληπτή από όλο των κόσμο κάθε ηλικίας χωρίς κάποια εξαίρεση. Όλοι διάκριναν τον προσανατολισμό του ήχου σε όλες τις διαστάσεις. Αυτή η παρατήρηση οδηγεί στο συμπέρασμα ότι την πολυκατευθυντική μετάδοση του ήχου την δέχεται εύκολα ο άνθρωπος χωρίς να απαιτείτε κάποια εξειδίκευση ή εξάσκηση του αυτιού. Αυτό είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα γιατί μπορεί εύκολα η Ηχητική Σφαίρα να αποτελέσει μέσο ψυχαγωγίας δημιουργώντας εικόνες και ιστορίες με ήχους.

4.13 Ακουστικές Παρατηρήσεις

Τα ποιο βασικά ακουστικά φαινόμενα που πρέπει να αναφερθούν στην παρούσα πτυχιακή είναι οι ακυρώσεις και οι εξάρσεις των ηχητικών κυμάτων που συνέβαιναν κατά την σύμπτυξή τους. Είναι έντονα ακουστό το φαινόμενο αυτό στην Ηχητική Σφαίρα όταν συγκρούονται δύο όμοια ηχητικά κύματα. Όταν δύο αντίθετες πηγές ήχου της κατασκευής αναπαράξουν το ίδιο σήμα με έντονη κεντρική συχνότητα οι ακυρώσεις του σήματος γίνονται πολύ έντονα αντιληπτές και ταυτόχρονα χάνεται και η αντίληψη της κατευθυντικότητάς τους.

Για να αποφευχθεί το παραπάνω πρόβλημα υπάρχουν δύο λύσεις.

- 1) Κατά την πολυκάναλη μίξη να μην μοιράζονται ίδιοι ήχοι με έντονη κεντρική συχνότητα και ίδιας χρονικής στιγμής στα αντίθετα ηχεία.
- 2) Να δημιουργούνται μικροκαθυστερήσεις μεταξύ των πηγών που εκπέμπουν το ίδιο σήμα προκειμένου να υπάρχει διαφορά φάσης.

Άλλο ένα σημαντικό ακουστικό φαινόμενο που συμβαίνει κατά την ηχητική αναπαραγωγή της κατασκευής είναι η έλλειψη αντίληψης του κάτω ηχείου δηλαδή εκείνου που είναι κοντά στο έδαφος με προσανατολισμό προς τον ουρανό.

Στην πραγματικότητα ακούγεται, δεν γίνεται όμως εύκολα αντιληπτό. Το σχήμα του πτερυγίου του ανθρώπινου αυτιού, που αποτελεί βασικό όργανο για τον μηχανισμό αντίληψης προσανατολισμού του ήχου, αποτελείται από έναν χονδρικό σκελετό. Στο κάτω μέρος του πτερυγίου, όπου προσπίπτουν και τα από κάτω ηχητικά κύματα, είναι και το ποιο ενισχυμένο σημείο του χονδρικού σκελετού. Έτσι, ο συνδυασμός του σημείου εκείνου με συνοδευόμενο το λοβό του, που έχει ηχοαπορροφητικότητα, δημιουργεί την μέγιστη ηχομείωση σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία του αυτιού.

Ένα άλλο ακουστικό μειονέκτημα που διαπιστώθηκε στην Ηχητική Σφαίρα και ίσως είναι υποκειμενικό, είναι η έλλειψη ηχητικού όγκου. Αυτό οφείλετε αφενός στα ηχεία, και αφετέρου στο γεγονός ότι τα ηχητικά κύματα δεν συναντάνε ανακλαστικές επιφάνειες και ο ήχος διαπερνάει τον ακροατή και συνεχίζει ανεπηρέαστα. Με την χρήση μεγαλύτερων ηχείων π.χ. Blue Sky Pro Desk ίσως να λυνόταν αυτό το πρόβλημα αλλά το κόστος θα ήταν πολύ μεγαλύτερο.

Τέλος, η αδυναμία των κεντρικών φανταστικών πηγών που ειπώθηκαν στην παράγραφο 4.6 μπορεί να εξαλειφθεί με την πρόσθεση 4^{ων} καναλιών στα σημεία αυτά. Όμως αυξάνεται το κόστος και απαιτείτε κατασκευαστική αναβάθμιση.

4.14 Κατασκευαστικές Παρατηρήσεις

Κατασκευαστικά, παρατηρήθηκαν κάποια μειονεκτήματα.

- 1) Η οπτική επαφή του ακροατή της Ηχητικής Σφαίρας με τον έξω χώρο δεν βοηθάει στην συγκέντρωσή του.
- 2) Οι εξωτερικοί ήχοι δεν βοηθάνε στην εύκολη κατανόηση του ηχητικού περιεχομένου.

3) Δεν είναι δυνατή η λειτουργία της Ηχητικής Σφαίρας εκτεθειμένη σε βροχή.

Υπάρχει μια λύση που φέρνει εις πέρας τα παραπάνω 3 προβλήματα καθώς και το προηγούμενο που είχε σχέση με τον ηχητικό όγκο.

Με την απαιτούμενη μελέτη και έρευνα, είναι δυνατή η πρόσθεση κάποιου υλικού στην περιφέρεια της σφαίρας που θα δίνει λύση σε όλα τα παραπάνω.

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

4.15 Εκπαίδευση

Η σφαιρική και πολυκάναλη ηχητική μετάδοση δίνει την ιδιαιτερότητα στην Ηχητική Σφαίρα να έχει έντονο εξομοιωτικό χαρακτήρα. Θα μπορούσε να βρει εφαρμογή άμεσα σε Πλανητάρια αναπαράγοντας τρισδιάστατα ηχοτοπία του πλανήτη γη ή του διαστήματος, ηχητικές εξομοιώσεις δραστηριοτήτων της NASA, ήχοι του ανθρώπινου σώματος και πολλά άλλα εκπαιδευτικά κομμάτια που περιλαμβάνουν όλη την ηχητική δραστηριοποίηση κάποιου γεγονότος.

4.16 Ψυχαγωγία

Στον τομέα της ψυχαγωγίας αποδείχτηκε ότι είναι δυνατόν να βρει εφαρμογή άμεσα αναπαράγοντας διάφορες διασκεδαστικές ηχητικές ιστορίες.

Καλλιτεχνικά, μπορεί επίσης άμεσα να βρει εφαρμογή σε μουσικά φεστιβάλ με ειδικές μουσικές παραγωγές από συνθέτες που επιθυμούν και εμπνέονται να ακούσουν ή να ακουστεί η σύνθεσή τους στην Ηχητική Σφαίρα.

Ο συνδυασμός αντίστοιχων διατάξεων με εικόνα θα αποτελέσει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στο χώρο του κινηματογράφου και των video games.

Έρευνα, Αναβαθμίσεις και Συμπέρασμα

Η δημιουργία και η λειτουργία της Ηχητικής Σφαίρας ως μια κατασκευή που φέρει πολυκάναλο ηχητικό σύστημα σε σφαιρική διάταξη, έλπισε το ερώτημα: «πως θα ακουγόταν άραγε, αν ήμασταν στο κέντρο μιας σφαιρικής πολυκάναλης ηχητικής διάταξης;».

Παράλληλα όμως, εκκρεμεί το εξής ερώτημα: «πως θα ακουγόταν άραγε αν ο άνθρωπος εκτός από το να βρίσκεται στο κέντρο μιας σφαιρικής πολυκάναλης διάταξης, να βρίσκεται ταυτόχρονα και στο κέντρο μιας πραγματικής φανταστικής ηχητικής σφαίρας.

Για να λυθεί το παραπάνω ερώτημα, πρέπει να προγραμματιστεί ειδική ηχητική κυκλική κίνηση, τέτοια ώστε, οι εντάσεις και οι συχνότητες των αντίστοιχων ήχων να παραμένουν πάντα σταθερές, καθώς και οι κυκλικές αυτές κινήσεις να γίνονται με γωνιακές μεταβολές που να ολοκληρώνουν κύκλο κάθετης μετατόπισης. Παράλληλα, για την ακριβέστερη σφαιρική ηχητική δημιουργία, είναι απαραίτητη η προσθήκη τεσσάρων ακόμη ηχείων στα σημεία που ειπώθηκαν στην παράγραφο 4.6, προκειμένου να καλύψουν τα αδύναμα φανταστικά ηχητικά σημεία. Εφόσον πραγματοποιηθούν όλα τα παραπάνω, τότε ο ακροατής, θα βρίσκεται στο κέντρο μιας Πραγματικής Φανταστικής Ηχητικής Σφαίρας.

Παράλληλα, δημιουργήθηκαν νέα ερωτήματα και ιδέες που αφορούν την εξέλιξη και την αναβάθμιση της Ηχητικής Σφαίρας, όπως φαίνονται παρακάτω.

4.17 ΕΡΕΥΝΑ

Η συμμετρική πολυκάναλη και παντοκατευθυντική ακρόαση που προσφέρει μια τέτοια διάταξη, προσφέρεται για ψυχοακουστικές έρευνες που σχετίζονται με τις ψυχοσωματικές επιδράσεις του ακροατή της.

Παράλληλα, μια τέτοια διάταξη αποτελεί πρόκληση για μια έρευνα που σχετίζεται με τις δυνατότητες ψυχαγωγίας και εκπαίδευσης, ανθρώπων που πάσχουν από τύφλωση.

ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ

4.18 Τεχνολογικές Εξελίξεις

Δημιουργία αλγορίθμων που να ελέγχουν την ταχύτητα και την ένταση του ήχου με σκοπό την κίνησή του στην Ηχητική Σφαίρα με συμμετρικούς ή ασύμμετρους γεωμετρικούς σπειροειδείς ή κυκλικούς σχηματισμούς. Μια τέτοια δημιουργία, θα ευνοούσε πολύ την έρευνα που ειπώθηκε παραπάνω όσον αφορά και την ψυχοακουστική, αλλά την αξιολόγηση του ενδιαφέροντος που θα έχει τελικά η κεντρική ακρόαση τρισδιάστατων φανταστικών γεωμετρικών σχημάτων.

Δημιουργία encoder-decoder για σφαιρικά συστήματα όπως το παρόν 10.2 της Ηχητικής Σφαίρας. Ένας τέτοιος μετατροπέας θα ευνοούσε πολύ την γρήγορη και εύκολη διαδικασία προκειμένου να αναπαράγει η κατασκευή άμεσα οποιαδήποτε formats, σε σφαιρική διάταξη.

Εξέλιξη και νέες μεθόδους σφαιρικών πολυκάναλων ηχογραφήσεων, σε σχέση με τις ήδη υπάρχουσες πολυκατευθυντικές ηχογραφήσεις, με σκοπό την αναπαραγωγή τους σε διάταξη σφαίρας.

4.19 Ακουστικές Εξελίξεις

Μελέτες για την χρήση ηχομονωτικών και ηχοαπορροφητικών υλικών προκειμένου να αποτελέσουν βασικό στοιχείο για την δημιουργία κελύφους της σφαίρας έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ικανοποιητική ηχομείωση τόσο από το εσωτερικό προς το εξωτερικό του κελύφους όσο και από το εξωτερικό προς το εσωτερικό του (για την εξάλειψη ανεπιθύμητων εξωτερικών ήχων), χωρίς την δημιουργία ανεπιθύμητων εσωτερικών ανακλάσεων.

4.20 Καλλιτεχνικές Εξελίξεις

Δημιουργία διαδραστικών εφαρμογών που να σχετίζονται με την τρισδιάστατη ηχητική ακρόαση.

Μελέτη για την εφαρμογή σφαιρικής προβολής με την χρήση πολλαπλών προβολέων εικόνας, με σκοπό την αναπαραγωγή οπτικοακουστικών εφαρμογών τύπου «Πλανητάριο».

4.21 Μηχανολογικές Εξελίξεις

Σχεδιασμός μηχανολογικών συστημάτων αυτόματης πρόσβασης, για άτομα με ειδικές ανάγκες.

Μελέτη και σχεδιασμός συστημάτων ψυχαγωγικής αναβάθμισης όπως σύστημα δόνησης συγχρονισμένο με την εκπομπή χαμηλών συχνοτήτων.

4.22 Κατασκευαστικές Εξελίξεις

Μελέτη εναλλακτικών λύσεων και υλικών προς την κατασκευή εξωτερικού σφαιρικού κελύφους της Ηχητικής Σφαίρας, δεδομένου την αδιαβροχοποίηση, την εύκολη συναρμολόγηση και την δυνατότητα εύκολης προσαρμογής ηχομονωτικών υλικών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η δύναμη της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος στον 21^ο αιώνα έχει αποτελέσει την πρωτογενή επιρροή όλων των κοινωνικών πολιτικών και ανθρωπιστικών παραγόντων. Η χρήση της όμως, είναι αυτή που θα αποτελέσει και θα προσδιορίσει την εξέλιξη.

Ο Stockhausen για την γιγαντιαία σφαίρα που κατασκεύασε το 1970 στην Ιαπωνία με σκοπό την εξ ολοκλήρου τρισδιάστατη σφαιρική ακρόαση, είπε:

«Το να κάθεται μέσα στον ήχο, το να περιβάλλεσαι από τον ήχο, το να μπορείς να ακολουθήσεις και να βιώσεις την κίνηση των ήχων, την ταχύτητα και την φόρμα κατά την οποία κινούνται, όλα αυτά δημιουργούν μια τελείως καινούρια κατάσταση για μουσική εμπειρία. «Μουσικό διαστημικό ταξίδι» επιτέλους έφτασε στην εμπειρία των τριών διαστάσεων με αυτό το μέγαρο μουσικής, σε αντίθεση με όλες τις προηγούμενες εφαρμογές που έκανα χρησιμοποιώντας ένα κυκλικό οριζόντιο δακτυλίδι ηχείων γύρω από τους ακροατές.»

Η Ηχητική Σφαίρα δεν είναι τίποτε άλλο παρά ένας διαφορετικός τρόπος χρήσης της σημερινής τεχνολογίας. Ψυχαγώγησε τον κόσμο και ίσως συνεχίσει να τον ψυχαγωγεί.

Αν η Ηχητική Σφαίρα αξίζει σε κάτι, τότε ας είναι η πράξη που βρίσκεται πίσω από αυτή, έτσι ώστε να εμπνεύσει πολλούς ή έστω έναν φοιτητή να πραγματοποιήσει και αυτός αυτό που φαντάζεται χωρίς κανέναν απολύτως δισταγμό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Tomilson, H., 2000. 5.1 Surround Sound Up and Running. Woburn, MA, USA: Focal Press.
2. Rumsey, F., 2001. Spatial Audio. Linacre House, Jordan Hill, Oxford, OX, UK: Focal Press.
3. Dow, R.J., 2004. Multi-Channel Sound In Spatially Rich Acousmatic Composition. Edinburgh, EH, UK: University of Edinburgh, School of Arts, Culture and Environment Press.
4. Kostelanetz, R., 1970. *John Cage*. New York: Praeger Publishers.
5. Klüver, B., 1972. *Pavilion by Experiments in Art and Technology*. New York: E.P. Dutton & Co., Inc.
6. Kurtz, M., 1992. *Stockhausen: A Biography*. London and Boston: Faber and Aber.
7. Leitner, B., 1978. *Sound:Space*. New York: New York University Press.
8. Maconie, R., 1976. *The Works of Stockhausen*. Marion Boyars.
9. Ouellette, F., 1968. *Edgard Varèse*. New York: The Orion Press.
10. Treib, M., 1996. *Space Calculated in Seconds: The Philips Pavilion, Le Corbusier, Edgard Varèse*. Princeton, NJ: Princeton Univeristy Press.
11. Fowler, C. B., 1967. The Museum of Music: A History of Mechanical Instruments. Reston, VA, USA: *Music Educators Journal* (MENC_ The National Association for Music Education).

12. Teun K., 2001. On The Prehistory Of Programmable Machines: Musical Automata, Looms, Calculators. *Mechanism and Machine theory* 36, pp. 590–591.

13. Museum Victoria. Australia's first computer. [on line] Available at: <<http://museumvictoria.com.au/csirac/>> [Acceded 17 March 2011].

14. Technik Museum Speyer, 2004. Punch card of a Decap Dancing Orgel. [on line] Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Lochkarte_Tanzorgel.jpg> [Acceded 17 March 2011].

15. Wikipedia, 2011. History of Computer Hardware. [on line] Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_computing_hardware> [Acceded 17 March 2011].

ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

- 1.1**.....http://www.allonrobots.com/images/Al-Jazari_portrait.jpg
- 1.2**.....http://1.bp.blogspot.com/_IoU3bEFUwWc/S79G-Akzm9I/AAAAAAAAIFs/rL5IyPPnaPY/s1600/%C3%89douard-L%C3%A9on+Scott+de+Martinville.jpg
- 1.3**.....<http://www.myspace.com/edouardleonscott>
- 1.4**.....http://1.bp.blogspot.com/_zPRPilcOBxY/Sc5jZgBSLgI/AAAAAAAAPUK/V2k1Eu7nrkI/s1600-h/mn_phonautogram.jpg
- 1.5**.....<http://www.old-picture.com/mathew-brady-studio/pictures/Thomas-Edison-001.jpg>
- 1.6**.....<http://www.jahsonic.com/Phonograph.html>
- 1.7**.....http://www.larevuedesressources.org/local/cache-vignettes/L566xH486/GRAHAM_BELL-7d069.jpg
- 1.8**<http://www.totango.net/Berliner.jpg>
- 1.9**.....http://www.knowledgerush.com/wiki_image/7/75/VictorTalkingLogo.jpg
- 1.10**.....<http://www.digicamhistory.com/DeForestLee.jpg>
- 1.11**.....<http://blog.modernmechanix.com/2007/03/13/phonograph-records-radio-program/>
- 1.12**..... <http://historyofscience2010.blogspot.com/>
- 1.13**.....[http://wapedia.mobi/en/Victor Talking Machine Company](http://wapedia.mobi/en/Victor_Talking_Machine_Company)
- 1.14**.....<http://allensarchiveofearlyoldcountrymusic.blogspot.com/>
- 1.15**.....http://www.soundfan.it/FOTO/STORIA/telegraphone_1915.GIF
- 1.16**.....<http://www.bentoncountymuseum.org/exhibitions/sound/recording.cfm>
- 1.17**.....<http://www.acoustilog.com/forsale/1416.jpg>
- 1.18**.....http://www.televisionbroadcast.com/uploadedImages/TVBroadcast/Industry_News/Blattnerphone.jpg

1.19.....<http://image.absoluteastronomy.com/images/encyclopediainages/f/fr/fr/ritz-pfleumer-old.jpg>

1.20.....<http://reel2reeltexas.com/vinAd91dbMagazine.jpg>

1.21.....<http://audiolabo.free.fr/revue1999/content/Crosby.jpg>

1.22.....<http://www.stokowski.org/images/Band-Record-with-13-record-.jpg>

1.23.....<http://www.phonozoic.net/ostm1.html>

1.24.....<http://beatpatrol.wordpress.com/2010/10/14/chet-flippo-les-paul-the-rolling-stone-interview-1975/>

1.25.....<http://www.flickr.com/photos/shannonpatrick17/3969961178/>

1.26.....<http://en.wikipedia.org/wiki/Ampex>

1.27.....http://home.comcast.net/~robert_crow/Main%20Ampex.htm

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1..... http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_computing_hardware

2.2..... http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_computing_hardware

2.3... http://fr.wikipedia.org/wiki/Mus%C3%A9e_de_Melbourne

2.4.....http://en.wikipedia.org/wiki/File:Dat_cartridge.jpg

2.5.... <http://en.wikipedia.org/wiki/File:ADAT-XT.jpg>

2.6.....<http://www.cda-proaudio.com/Sadie/multitrackrecording/PCM-H128/PCM-H128.html>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1.....<http://scottcolburn.com/blog/?p=402>

3.2.....http://cec.concordia.ca/econtact/8_3/otondo.html

3.3....http://www.pantherproducts.co.uk/Articles/Audio/surround_sound2.shtml

- 3.4.....** <http://en.wikipedia.org/wiki/10.2>
- 3.5.....** <http://merlepathett.wordpress.com/2010/08/03/becoming-crow-courtesy-of-janet-cardiff-and-george-bures-miller/>
- 3.6.....** <http://www.ee.surrey.ac.uk/CCSR/research/ilab/apac/spat>
- 3.7....** <http://www.soundonsound.com/forum/showflat.php?Cat=&Number=740286&Main=740021>
- 3.8...** <http://www.dv247.com/microphones/neumann-ku-100-dummy-head-binaural-stereo-microphone--21004>
- 3.9...** <https://bmorritt.wikispaces.com/Unit4>
- 3.10....** <http://www.imaico.co.jp/schps/stereo/irt-cross.htm>
- 3.11.....** <http://www.soundfield.com/soundfield/soundfield.php>
- 3.12...** <http://www.wendycarlos.com/surround/surround2.html>
- 3.13...** [Sound Travels FAQ By Darren Copeland & Chris Rolfe](#)
- 3.14....** [Sound Travels FAQ By Darren Copeland & Chris Rolfe](#)
- 3.15...** <http://www.sparkl.nu/>
- 3.16....** <http://www.mediaartnet.org/works/poeme-electronique/images/3/>
- 3.17....** <http://www.stockhausen.org/osaka.html>
- 3.18...** <http://www.medienkunstnetz.de/works/stockhausen-im-kugelauditorium/images/4/>
- 3.19....** <http://www.stockhausen.org/osaka.html>
- 3.20....** http://en.wikipedia.org/wiki/Surround_sound
- 3.21....** <http://surround.fm/surround-sound-22-2-hamasaki/>
- 3.22.....** <http://www.isvr.soton.ac.uk/FDAG/vap/>
- 3.23.....** http://www.audiopros.eu/features_ISVR.html
- 3.24.....** http://www.domizil.ch/marcus_maeder/news.html