

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΚΚΛΗΣΙΑΣΤΙΚΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ



Εκκλησιαστικό όργανο - Παρεκκλήσι των Βερσαλλιών

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΚΑΤΣΑΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΣΙΝΟΠΟΥΛΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο τμήμα μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και μελετά τον τρόπο λειτουργίας και κατασκευής του μουσικού οργάνου γνωστού ως εκκλησιαστικό όργανο ή ως επίσης αποκαλούμενου “βασιλιά” των μουσικών οργάνων, λόγω του επιβλητικού μεγέθους του, της έντασης των ήχων που είναι ικανό να παράγει και της δυνατότητάς του να καλύπτει τεράστιο φάσμα συχνοτήτων. Το εκκλησιαστικό όργανο ακολούθησε εξελικτική πορεία πολλών αιώνων στην διάρκεια των οποίων έλαβαν χώρα προσθήκες τμημάτων και το όργανο υπέστη αρκετές τροποποιήσεις όσον αφορά τον τρόπο λειτουργίας των μηχανισμών του.

Η παρούσα εργασία εξετάζει αποκλειστικά τα εκκλησιαστικά όργανα όπου τα τμήματα τους λειτουργούν με μηχανικές διατάξεις και χωρίς την χρήση ηλεκτρικών ή πνευματικών συστημάτων, με μοναδική εξαίρεση τον μηχανισμό παροχής αέρα, ο οποίος είναι ηλεκτρικός φυσητήρας.

Εκτός από την εξαιρετική συνδρομή και αξία αυτού του μουσικού οργάνου στην τέχνη της μουσικής, αποτελεί πολύ καλό παράδειγμα εφευρετικότητας αλλά και λειτουργικής ιδιαιτερότητας.

Μελετώνται οι εσωτερικοί μηχανισμοί και διατάξεις του οργάνου και ο τρόπος παραγωγής των μουσικών ήχων.

Ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Στέφανο Τσινόπουλο, Επίκουρο καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας, για την συνεχή βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε για την πραγματοποίηση της εργασίας.

Παναγιώτης Κατσάνος
Φεβρουάριος 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία εξετάζει τον τρόπο λειτουργίας του εκκλησιαστικού οργάνου και προσπαθεί να ερμηνεύσει την λειτουργία των μηχανισμών που το αποτελούν και οι οποίοι συνεργαζόμενοι χαρακτηρίζουν το όργανο ως μηχανικής λειτουργίας. Επίσης γίνεται επεξήγηση του συστήματος παροχής του συμπιεσμένου αέρα στους αυλούς του οργάνου. Η εργασία σκοπεύει να δείξει τον τρόπο με τον οποίο συνεργάζονται οι μηχανισμοί στα διάφορα τμήματα του οργάνου ώστε να παράγονται επιθυμητές μουσικές συχνότητες από τους αυλούς με το πάτημα πλήκτρων τα οποία ελέγχει ο μουσικός. Πέρα από την ανάλυση του τρόπου συνεργασίας των μηχανισμών του, η εργασία αναδεικνύει λεπτομέρειες του τρόπου κατασκευής σημαντικών μερών του οργάνου. Με βάση όλα αυτά, επιτεύχθηκε η κατασκευή απλοποιημένου εκκλησιαστικού οργάνου υπό κλίμακα, με σκοπό να παρουσιαστεί στην πράξη ο τρόπος λειτουργίας ενός οργάνου μηχανικής λειτουργίας.

Η εργασία χωρίζεται σε τέσσερα κεφάλαια, τα οποία είναι τα εξής:

Στο πρώτο αναφέρονται χαρακτηριστικά στοιχεία των μουσικών ήχων και αναλύεται επίσης η μέθοδος επιλογής συγκεκριμένων συχνοτήτων για τη χρήση τους από τους αυλούς του οργάνου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται οι μηχανισμοί του εκκλησιαστικού οργάνου οι οποίοι συνεργάζονται με μηχανικό τρόπο ώστε να παραχθούν μουσικοί ήχοι. Εξετάζονται τα τμήματα τα οποία αποτελούν το σύστημα παροχής και μεταφοράς του αέρα, τα τμήματα της αεροδόχου και οι τύποι των αυλών οι οποίοι υπάρχουν. Αναλύεται η κονσόλα και το μηχανικό σύστημα μετάδοσης κίνησης το οποίο χρησιμοποιεί ο μουσικός για τον χειρισμό του οργάνου.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται το υπό κλίμακα εκκλησιαστικό όργανο το οποίο κατασκευάστηκε. Αναφέρονται οι δυνατότητές του, οι μαθηματικοί τύποι στους οποίους βασίστηκε η κατασκευή των αυλών του και η ομοιότητα των μερών του σε σχέση με τα μεγαλύτερα εκκλησιαστικά όργανα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ
ΠΕΡΙΛΗΨΗ
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

A. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ	1
B. ΣΥΝΘΕΤΕΣ	2
Γ. ΓΕΝΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	4

1. ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΟΥΣΙΚΟΥ ΗΧΟΥ

1.1 Χαρακτηριστικά του ήχου	7
1.2 Συστήματα κουρδίσματος	7

2. ΤΜΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΤΟΥ ΕΚΚΛΗΣΙΑΣΤΙΚΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ

2.1 Κονσόλα (Console)	13
2.1.1 Χειροκίνητο πληκτρολόγιο (Manual keyboard)	14
2.1.2 Ποδοκίνητο πληκτρολόγιο (Pedalboard)	18
2.1.3 Πεντάλ ελέγχου της έντασης του ήχου (Swell pedal)	22
2.1.3.1 Τρόπος λειτουργίας	23
2.2 Αεροδόχος (Wind-chest)	25
2.2.1 Μέθοδος κατασκευής	28
2.2.2 Κύριο τμήμα (Wind-chest proper)	28
2.2.3 Το κουτί με τις παλέτες (Pallet box)	30
2.2.4 Τρόπος λειτουργίας	31
2.2.5 Μέθοδος διάταξης των αυλών	35
2.3 Αυλοί (Pipes)	39
2.3.1 Γενικά	39

2.3.2 Χειλεόφωννοι αυλοί (Flue pipes)	40
2.3.2.1 Τρόπος λειτουργίας	42
2.3.2.2 Κούρδισμα αυλού (Pipe tuning)	48
2.3.2.3 Υλικά κατασκευής	51
2.3.3 Γλωπτιδόφωννοι αυλοί (Reed pipes)	55
2.3.3.1 Τρόπος λειτουργίας	57
2.4 Σύστημα παροχής και διανομής αέρα (Wind supply)	60
2.5 Σύστημα μηχανικής λειτουργίας (Tracker action)	61
2.5.1 Τμήματα του μηχανικού συστήματος	62

3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ ΥΠΟ ΚΛΙΜΑΚΑ

3.1 Εισαγωγή	63
3.2 Χαρακτηριστικά	63
3.3 Τρόπος λειτουργίας	63
3.4 Υπολογισμοί	64
3.4.1 Μήκος στήλης αέρα αυλών	64
3.4.2 Διάμετρος αυλών	65
3.4.3 Διάκενο μεταξύ κάτω χείλους και γλώσσας του αυλού (Flue ή Windsheet thickness)	66
3.4.4 Ύψος στομίου αυλού	66

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

A. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ

Το εκκλησιαστικό όργανο ανήκει στα πληκτροφόρα πολυφωνικά όργανα και προέρχεται από την εξέλιξη ενός αρχαιοελληνικού πνευστού οργάνου που είχε κατασκευαστεί στην Αλεξάνδρεια τον 3ο αιώνα π.Χ από τον Κτησίβιο τον Αλεξανδρέα και ονομαζόταν ύδραυλις [10]. Η Ύδραυλις λειτουργούσε παρέχοντας πεπιεσμένο αέρα σε αυλούς χρησιμοποιώντας υδραυλικό σύστημα και τη βοήθεια νερού. Το όργανο αυτό είχε βασικές ομοιότητες στα μέσα παραγωγής των ήχων, τα οποία ήταν *αυλοί* (*ripes*), οι οποίοι βρίσκονταν σε διάταξη και παρήγαγαν συγκεκριμένες συχνότητες. Η ύδραυλις με την σειρά της είχε ομοιότητες με τον αυλό του πανός, το οποίο είχε αρχαιότερες ρίζες και στο οποίο τα μήκη των αυλών ήταν διατεταγμένα σύμφωνα με το τονικό ύψος του κάθε αυλού [10].

Αργότερα η ύδραυλις έγινε ευρύτερα γνωστή και κατασκευάζονταν σε πολλές περιοχές. Το όργανο αυτό έφτασε μέχρι τους Ρωμαίους και αργότερα τους Βυζαντινούς. Η ύδραυλις κατά τον 7ο και 8ο αιώνα πήρε την ονομασία *όργανο* (*organ*).

Το όργανο, σύμφωνα με τον Junianus (450 π.Χ), χρησιμοποιούνταν για αρκετούς αιώνες στις Ισπανικές εκκλησίες [4, σελ 2], ενώ τον 7ο αιώνα ο Πάπας Vitalian το εισήγαγε στην Ρώμη ως συνοδευτικό όργανο στην Θεία λειτουργία.

Η πορεία του ύστερα συνεχίστηκε στην Αγγλία και τη Γαλλία [4, σελ 3]. Στην Αγγλία κατά τον 9ο αιώνα κατασκευάστηκαν πολλά εκκλησιαστικά όργανα στις εκκλησίες, στα οποία χρησιμοποιήθηκε χαλκός ή ορείχαλκος για την κατασκευή των αυλών τους, ενώ τον 10ο αιώνα πραγματοποιήθηκε κατασκευαστική υπέρβαση και κατασκευάστηκε στην Αγγλία το εκκλησιαστικό όργανο του Γουίντσεστερ. Το όργανο αυτό είχε ασυνήθιστα μεγάλες διαστάσεις για τα δεδομένα της εποχής, ενώ για την παροχή του αέρα στους *αυλούς* (*ripes*), οι οποίοι αριθμούσαν τους 400, απαιτούνταν 26 *αντλίες αέρα* (*bellows*), τα οποία δούλευαν 70 άτομα [9], [4, σελ 3].

Κατά την διάρκεια της εξέλιξής του, κατασκευάστηκαν επίσης μικρού μεγέθους όργανα, τα οποία βασίζονταν στις αρχές λειτουργίας του οργάνου. Διέθεταν αυλούς, αντλία αέρα και πλήκτρα και ξεκίνησαν να εμφανίζονται τον 13ο αιώνα. Τα όργανα αυτά ήταν το *πορτατίφ* (*portatif*), το *ποζιτίφ* (*positif*) και το *ρεγκάλ* (*regal*). Ένας ακόμη σημαντικός τύπος οργάνου ήταν και το *αρμόνιο* (*harmonium*), το οποίο χρησιμοποιούνταν σε μικρότερους χώρους (όπως μικρές εκκλησίες) και ήταν συνάμα και οικονομικότερο του γνωστού εκκλησιαστικού οργάνου [9].

Στο όργανο σημειώθηκαν ακόμα μεγάλες αλλαγές, όπου προστέθηκαν επιπλέον σειρές από *χειροκίνητα πληκτρολόγια* (*manual keyboards*), περισσότερα *ποδόπληκτρα* (*pedal keys*) και επίσης περισσότερες *σειρές αυλών* ή *ρέγκιστρα* (*ranks*) τον 14ο και 15 αιώνα.

Η πορεία του στους επόμενους αιώνες ήταν ιδιαίτερα επιτυχής και αυτό οδήγησε στην καθιέρωσή του σε εκκλησίες τον 17ο – 18ο αιώνα [9].

Τα όργανα αυτά ακολουθούσαν αρχές λειτουργίας μηχανικών και πνευματικών συστημάτων σε ορισμένες περιπτώσεις. Μοτέρ που λειτουργούσαν με την κίνηση που τους έδινε η ορμή του νερού ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται σαν μια νέα μέθοδος για την παροχή αέρα για το όργανο και τον 19ο αιώνα στο σύστημα παροχή αέρα απέκτησε ηλεκτροκινητήρα [25].

Αν και οι μηχανισμοί των οργάνων εξελίχθηκαν ώστε σήμερα να ακολουθούν τις αρχές πνευματικής, ηλεκτρικής λειτουργίας κυρίως, όργανα μηχανικής λειτουργίας εξακολουθούν να κατασκευάζονται [15].

Το όργανο έγινε τόσο δημοφιλές, ώστε τον 20ο αιώνα τοποθετήθηκε ακόμη και σε αίθουσες συναυλιών [9].

B. ΣΥΝΘΕΤΕΣ

Οι συνθέτες οι οποίοι ασχολήθηκαν με το όργανο είναι πάρα πολλοί. Ενδεικτικά θα αναφέρουμε κάποιους από τους σημαντικότερους [24].

Η σειρά των συνθετών δίνεται σύμφωνα με την σειρά των εποχών στην οποία έζησαν:

Εποχή Μπαρόκ (Baroque)

François d'Agincourt, Jacques Boyvin, Louis-Nicolas Clérambault, Gaspard Corrette, François Couperin, Louis Couperin Jean-François Dandrieu, Louis-Claude Daquin, Nicolas Gigault, Nicolas de Grigny, Gilles Jullien, Nicolas Lebègue Louis Marchand, Guillaume-Gabriel Nivers, André Raison, François Roberday, Jean Titelouze

Εποχή Κλασικισμού (Classicism)

Claude-Bénigne Balbastre, Jean-Jacques Beauvarlet Charpentier, Alexandre Pierre François Boëly, Antoine Calvière Michel Corrette, Guillaume Lasceux, Nicolas Sejan

Ρομαντική εποχή (Romantic)

Léon Boëllmann, Marcel Dupré, César Franck, Eugène Gigout, Alexandre Guilmant, Joseph Jongen, Louis James Alfred Lefébure-Wely, Henri Mulet, Camille Saint-Saëns, Louis Vierne, Charles-Marie Widor

Μοντέρνα εποχή (Modern)

Jehan Alain, Jean-Pierre Leguay, Gaston Litaize, Olivier Messiaen, Jean Langlais, Maurice Duruflé

Γ. ΓΕΝΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Το μουσικό όργανο που εξετάζουμε ονομάζεται εκκλησιαστικό όργανο (*pipe organ*) ή πιο απλά όργανο (*organ*) [9]. Το όργανο αυτό ανήκει στα πληκτροφόρα όργανα [9], καθώς ο τρόπος χειρισμού του γίνεται δια μέσου μιας ή περισσότερων σειρών από πλήκτρα, τα οποία συνιστούν τα διάφορα πληκτρολόγια του και τα οποία είναι τα μέσα χειρισμού των αυλών του οργάνου από το μουσικό. Ανήκει στην κατηγορία των πολυφωνικών οργάνων, καθώς μπορεί να αναπαράγει διαφορετικά ηχοχρώματα [9]. Το εκκλησιαστικό όργανο είναι ικανό να καλύψει πολύ μεγάλο φάσμα μουσικών συχνοτήτων και ξεπερνά σε δυνατότητα όλα τα υπόλοιπα όργανα μουσικής [23]. Δεν έχει χρησιμοποιηθεί ιδιαίτερα στην Ελλάδα και έτσι στον Ελλαδικό χώρο υπάρχουν λίγα όργανα. Αν και το όργανο αυτό είναι μεταγενέστερος απόγονος του αρχαίου Ελληνικού οργάνου με την ονομασία ύδραυλις, ιδιαίτερο ενδιαφέρον έδειξαν χώρες του εξωτερικού, οι οποίες ασχολήθηκαν και βοήθησαν στην εξέλιξη του και έδειξαν ιδιαίτερη προτίμηση στον ήχο του.

Το όργανο αυτό από την περίοδο εισαγωγής του στους μουσικούς κύκλους και στους ιερούς ναούς έχει υποστεί πολλές αλλαγές και μία από τις κύριες αλλαγές είναι η προσπάθεια μεγιστοποίησης του μεγέθους του, με σκοπό να γίνει πιο εντυπωσιακό οπτικά, ακουστικά αλλά και να μπορεί να είναι πιο ευέλικτο όσον αφορά την επιλογή των ηχοχρωμάτων (χροιά του ήχου). Τα μουσικά αυτά όργανα συχνά κατασκευάζονται με ύψος πολλών μέτρων [1]. Τα εκκλησιαστικά όργανα όπως είναι φυσικό, πριν την εισαγωγή του ηλεκτρισμού για την λειτουργία των μηχανών, λειτουργούσαν με μηχανικό τρόπο. Σήμερα λειτουργούν με συνδυασμό μηχανικών, ηλεκτρικών και πνευματικών συστημάτων. Αυτού του είδους τα συστήματα εισήχθησαν στο όργανο για μεγαλύτερη άνεση και ακρίβεια στον χειρισμό του και για να ξεπεραστούν κάποια προβλήματα των οργάνων με μηχανικό τρόπο, όπως η απόκριση των αυλών (και αντίστοιχα η αναπαραγωγή των ήχων), επιτυγχάνοντας με αυτόν τον τρόπο την εκτέλεση μουσικών έργων τα οποία απαιτούσαν υψηλές ταχύτητες στην εναλλαγή των πλήκτρων, κυρίως στα χειροκίνητα *πληκτρολόγια* (*manual keyboards*). Παρά τις εξελίξεις όμως, το μηχανικό σύστημα εξακολουθεί να παρουσιάζει πλεονεκτήματα έναντι των άλλων συστημάτων και ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι η καλύτερη αίσθηση ελέγχου των αυλών κατά το πάτημα των πλήκτρων στα πληκτρολόγια, λόγω της καλύτερης αίσθησης ανοίγματος των *παλετών* (*pallets*), οι οποίες λειτουργούν σαν βαλβίδες για την παροχή αέρα στους αυλούς.

Το εκκλησιαστικό όργανο αποτελείται από πολλά επιμέρους τμήματα. Μπορεί και αναπαράγει τους ήχους του με την βοήθεια αυλών, οι οποίοι βρίσκονται σε διάφορα τμήματα της κατασκευής του οργάνου. Οι ήχοι αναπαράγονται από τους αυλούς με την τροφοδότηση τους με αέρα υπό πίεση, ο οποίος παρέχεται από το σύστημα τροφοδοσίας αέρα του οργάνου. Ο αριθμός των αυλών οι οποίοι υπάρχουν σε κάθε όργανο δεν είναι καθορισμένος, καθώς υπάρχουν όργανα τα οποία κατασκευάζονται για διαφορετικές περιπτώσεις, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι όργανα τα οποία κατασκευάζονται για ίδιες ή παρόμοιες συνθήκες θα παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες. Το κάθε όργανο είναι αρκετά ξεχωριστό και το χαρακτηρίζουν οι επιλογές του κατασκευαστή και του αγοραστή του. Συνήθως όμως, οι αυλοί σε όργανα τα οποία βρίσκονται σε δημόσιους χώρους, όπως ναούς ή αίθουσες συναυλιών, διαθέτουν αρκετές εκατοντάδες ή ακόμη και χιλιάδες αυλούς [11]. Οι αυλοί χωρίζονται σε 2 κύριες κατηγορίες και είναι οι εξής [9]:

- *Χειλέφωναυλοί (Flue pipes)*
- *Γλωπτιδόφωναυλοί (Reed pipes)*

Η δύο αυτές κατηγορίες αυλών διαφοροποιούνται καθώς ο τρόπος που παράγουν τους ήχους διαφέρει αρκετά κατασκευαστικά και εκτός από τη διαφοροποίηση της μορφής τους, παράγουν αρκετά διαφορετικά ηχοχρώματα, τα οποία χαρακτηρίζουν την κάθε κατηγορία. Οι δύο αυτές κατηγορίες αυλών ομαδοποιούνται περαιτέρω, ανάλογα με το ηχοχρώμα τους το οποίο στην κάθε κατηγορία εξαρτάται από το υλικό κατασκευής και τη μορφή των αυλών. Τα υλικά κατασκευής ποικίλουν αρκετά και μπορούν να είναι: ξύλο, μέταλλο, χαρτί, μπαμπού, πλαστικό [9], [11]. Τα υλικά όμως που έχουν κυριαρχήσει στην κατασκευή τους είναι το μέταλλο και το ξύλο. Οι αυλοί βρίσκονται διατεταγμένοι σε σειρές πάνω σε ένα κουτί στο οποίο καταλήγει ο αέρας ώστε να διοχετευθεί τελικά στους αυλούς. Το κουτί αυτό ονομάζεται *αεροδόχος (wind-chest)* [11] και συνήθως υπάρχουν περισσότερα από ένα τέτοια δοχεία. Οι σειρές των αυλών με τη σειρά τους ονομάζονται *συστοιχίες αυλών (ranks)* και ακολουθούν συνήθως σειρά από τον αυλό με τον πιο υψηλό ήχο (συχνότητα) προς τον αυλό με τον χαμηλότερο ήχο. Αν και υπάρχουν κάποιες κατασκευαστικές ή ακουστικές ιδιομορφίες που αναγκάζουν τους αυλούς να ακολουθούν μια διαφορετική διάταξη.

Ο μουσικός ελέγχει τους αυλούς αυτούς με την χρήση της κονσόλας [11], στην οποία υπάρχουν αρκετά κουμπιά και πεντάλ ελέγχου με τα οποία μπορούν να επιλεγούν ποιοί αυλοί θα ηχήσουν, ποιές συχνότητες θα αναπαραχθούν και η ένταση του ήχου. Ιδιαίτερα στις κονσόλες των μεγάλων οργάνων υπάρχουν αρκετά κουμπιά, τα οποία προϋποθέτουν έναν έμπειρο μουσικό για τον έλεγχό τους, ώστε το αντίστοιχο όργανο να αναδείξει το μέγιστο των δυνατοτήτων του.

Ο μηχανικός τρόπος χειρισμού του οργάνου πραγματοποιείται με μοχλούς, παλέτες, ελατήρια και άλλα μηχανικά μέσα. Όλα αυτά συνεργάζονται με διάφορους συνδέσμους ώστε να μεταδώσουν την κίνηση κατά το τράβηγμα των μοχλών και το πάτημα των πλήκτρων του πληκτρολογίου από το μουσικό, αρκετά μέτρα μακριά από την κονσόλα ελέγχου του οργάνου, με απώτερο στόχο την λειτουργία των αυλών.

1. ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΜΟΥΣΙΚΩΝ ΗΧΩΝ

1.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Οι μουσικοί ήχοι (συχνότητες) έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά. Έτσι, όλοι οι ήχοι χαρακτηρίζονται από:

- *Τονικό ύψος (συχνότητα)*
- *Διάρκεια*
- *Ένταση ήχου*
- *Χροιά*

1.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΟΥΡΔΙΣΜΑΤΟΣ

Τα μουσικά όργανα ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής των ήχων τους, χρησιμοποιούν συγκεκριμένες επιλεγμένες συχνότητες για την εκτέλεση των μουσικών έργων. Τα όργανα κουρδίζονται (δηλαδή τα μέσα παραγωγής των ήχων τους ρυθμίζονται) ώστε να παράγουν συγκεκριμένες συχνότητες) επιλέγοντας συστήματα κουρδίσματος τα οποία είναι τυποποιημένα και καθορίζουν τα διαστήματα μεταξύ των συχνοτήτων.

Παγκόσμια, ακόμη και σήμερα δεν έχει συμφωνηθεί να χρησιμοποιείται ένα συγκεκριμένο σύστημα μουσικής, διότι κάθε χώρα και ανάλογα με την αίσθηση που ήθελε να δίνει η αλληλουχία των μουσικών ήχων (των συχνοτήτων) καθόριζε σύμφωνα με την δική της λογική και αισθητική το δικό της σύστημα κουρδίσματος. Έτσι, έχουν δημιουργηθεί πολλά συστήματα κουρδίσματος από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα και καθένα από τα οποία είναι κατάλληλο για να χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση των μουσικών έργων, των οποίων οι μουσικοί ήχοι (νότες), βασίστηκαν στο συγκεκριμένο σύστημα.

Για τα μουσικά έργα που δημιουργήθηκαν στην Δύση, δεν χρησιμοποιήθηκαν πολλά διαφορετικά συστήματα κουρδίσματος, ενώ για τα έργα της κλασσικής μουσικής χρησιμοποιήθηκε το συγκεκριμένο σύστημα των 12 τόνων [17]. Το σύστημα αυτό έχει πλέον καθιερωθεί για την δυτική μουσική και το διάστημα από μια συχνότητα μέχρι την διπλάσια της αυτής συχνότητας, χωρίζεται σε 12 μέρη. Στη μουσική ορολογία το διάστημα από μια συχνότητα μέχρι τη διπλάσια τιμή της συχνότητας αυτής ονομάζεται οκτάβα.

Συνήθως στα συστήματα κουρδίσματος η διαίρεση των διαστημάτων πραγματοποιείται σε διάστημα μίας οκτάβας με την έννοια που προαναφέρθηκε [17].

Στα ηλεκτροφόρα όργανα, όπως είναι το εκκλησιαστικό όργανο ή το πιάνο, κάθε πλήκτρο του ηλεκτρολογίου αντιστοιχεί σε μια σταθερή συχνότητα και είναι απαραίτητο ιδιαίτερα στα όργανα αυτά να έχει προεπιλεγεί το σύστημα κουρδίσματος που θα χρησιμοποιήσουν, ώστε οι χορδές στο πιάνο και οι αυλοί στο εκκλησιαστικό όργανο να αναπαράγουν αυτές τις συχνότητες. Στο ηλεκτρολόγιο κάθε πλήκτρο έχει συγκεκριμένο όνομα και στο σύστημα κουρδίσματος των 12 τόνων υπάρχουν 12 αντίστοιχα ονόματα για τις συχνότητες αυτές.

Τα συστήματα κουρδίσματος που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι τα εξής [16]:

- Σύστημα κουρδίσματος 12 διαστημάτων

-	>>	15	>>
-	>>	17	>>
-	>>	19	>>
-	>>	22	>>
-	>>	24	>>
-	>>	31	>>
-	>>	34	>>
-	>>	41	>>
-	>>	53	>>
-	>>	72	>>

Το κάθε σύστημα, καθώς αναπαράγεται η κάθε συχνότητα του με αλληλουχία ή καθώς αναπαράγονται οι συχνότητες του ταυτόχρονα, έχει την δική του ακουστική ιδιαιτερότητα και έτσι κάθε σύστημα είναι λιγότερο ή περισσότερο εύηχο σε σύγκριση με κάποιο άλλο σύστημα κουρδίσματος.

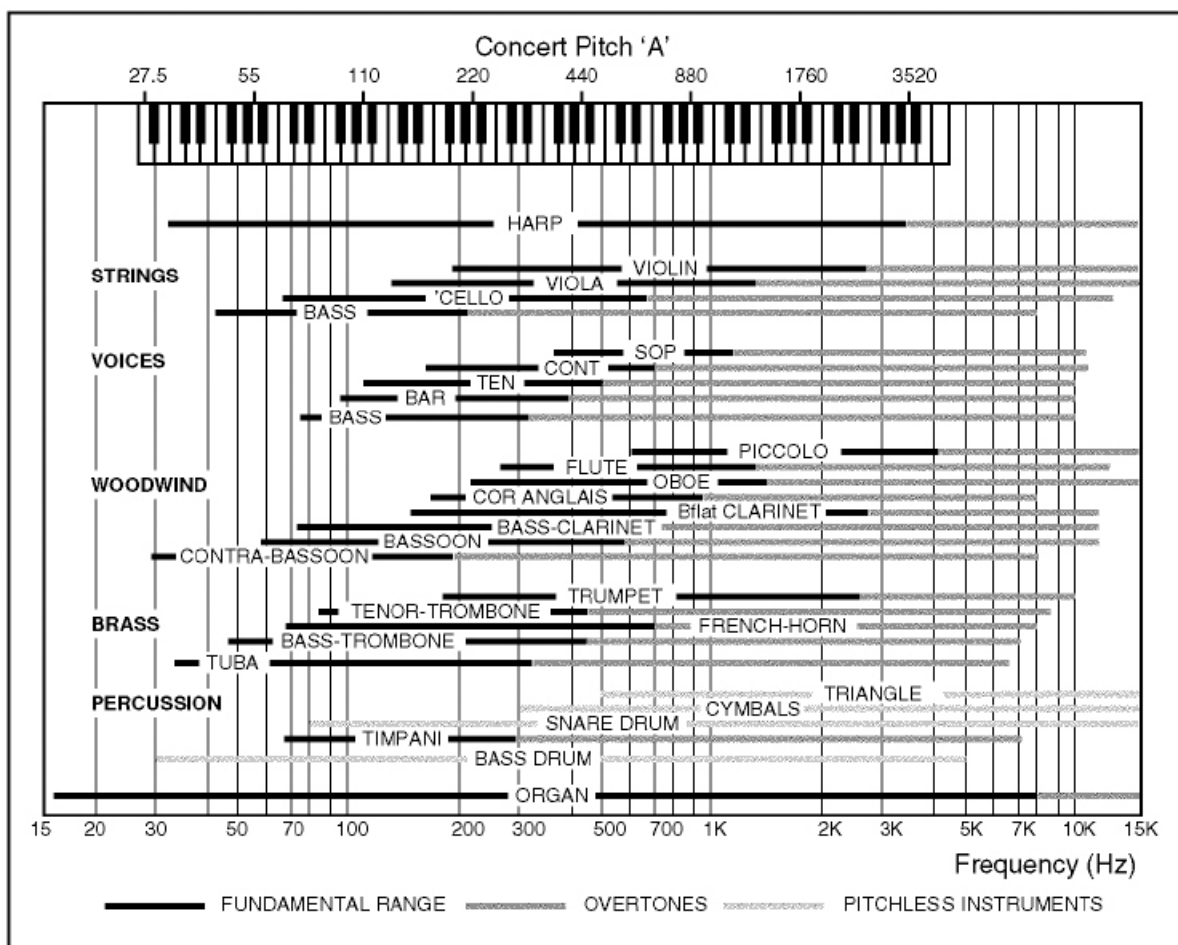
Το σύστημα κουρδίσματος των 12 τόνων, το οποίο μας απασχολεί, καθώς είναι το σύστημα που χρησιμοποιείται στο κούρδισμα του εκκλησιαστικού οργάνου, χαρακτηρίζεται ως αρκετά εύηχο και αν και επιλέγει μόνο 12 κύριες συχνότητες, χαρακτηρίζεται ως ένα καλά χωρισμένο σύστημα, με άψογες δυνατότητες δημιουργίας από την πλευρά των συνθετών. Τα μουσικά έργα που γράφτηκαν και γράφονται με βάση αυτό το σύστημα, δε δίνουν την αίσθηση της έλλειψης συχνοτήτων και είναι αρκετά ευχάριστα στο άκουσμα.

Στο συγκεκριμένο σύστημα των 12 τόνων οι συχνότητες χωρίζονται με τη χρήση λογαριθμικής κλίμακας και χαρακτηριστικό του είναι ότι διαίρεση των μερών του βασίζεται στον μουσικό τόνο ΛΑ, ο οποίος έχει συμφωνηθεί και αντιστοιχεί στα 440 Hz [17], η οποία είναι και η πιο συνηθισμένη συχνότητα για το ΛΑ. Παρεκκλίσεις από αυτήν την

συχνότητα την νότας ΛΑ υπάρχουν και είναι πολύ μικρής τάξεως, χωρίς όμως να αλλάζει το σύστημα κουρδίσματος [19].

Το εκκλησιαστικό όργανο καλύπτει το μεγαλύτερο φάσμα συχνοτήτων σε σχέση με το φάσμα συχνοτήτων που είναι ικανά να καλύψουν όλα τα υπάρχοντα μουσικά όργανα, ανεξαρτήτως τύπου (έγχορδα, πληκτροφόρα, νυκτά, κρουστά, πνευστά). Το φάσμα συχνοτήτων που μπορεί να καλύψει το όργανο είναι μεταξύ των 16Hz και 16000Hz [29], το οποίο είναι ένα αρκετά ευρύ πεδίο συχνοτήτων.

Σύγκριση του φάσματος συχνοτήτων που καλύπτουν τα μουσικά όργανα σε σύγκριση με το εκκλησιαστικό όργανο φαίνεται στην Εικόνα 1.1 [23]:



Εικόνα 1.1: Σύγκριση του εύρους συχνοτήτων μουσικών οργάνων της κλασσικής ορχήστρας και του εκκλησιαστικού οργάνου (organ)

Για να παραχθούν οι τιμές των συχνοτήτων του συγκεκριμένου συστήματος κουρδίσματος των 12 τόνων, όπου το ΛΑ έχει την τιμή 440Hz χρησιμοποιούνται οι Σχέσεις 1.1 και 1.2 [20]:

$$f(n) = (\sqrt[12]{2})^{n-49} \times 440\text{Hz} \quad (1.1)$$

ή

$$f(n) = 2^{\left(\frac{n-49}{12}\right)} \times 440\text{Hz} \quad (1.2)$$

Όπου n η αριθμητική ονομασία της νότας που εξετάζουμε, ενώ στην θέση του 49 μπορούμε να βάλουμε την αριθμητική ονομασία της νότας ΛΑ (440 Hz), η οποία μπορεί να είναι διαφορετικός αριθμός από τον αριθμό που έχει ο Πίνακας 1.1.

Σύμφωνα με αυτό το σύστημα κουρδίσματος και εφαρμόζοντας τις προηγούμενες σχέσεις προκύπτει ο ενδεικτικός Πίνακας 1.1, ο οποίος περιλαμβάνει ένα μέρος των συνολικών συχνοτήτων και τις αριθμητικές ονομασίες που δίνονται για τα πλήκτρα ενός πιάνου:

Πίνακας 1.1: Συχνότητες του συγκεκριμένου συστήματος 12 τόνων και οι συμβολισμοί τους

Αριθμητική ονομασία	Επιστημονική ονομασία	Συχνότητα (Hz)
40	C4 (μεσαία νότα Ντο)	261,63
41	C#4 / Db4	277.183
42	D4	293.665
43	D#4 / Eb4	311.127
44	E4	329.628
45	F4	349.228
46	F#4 / Gb4	369.994
47	G4	391.995
48	G#4 / Ab4	415.305
49	A4 / A440	440
50	A#4 / Bb4	466.164

51	B4	493.883
52	C5 (Ντο τενόρου)	523.251
53	C#5 / Db5	554.365
54	D5	587.330
55	D#5 / Eb5	622.254
56	E5	659.255
57	F5	698.456
58	F#5 / Gb5	739.989
59	G5	783.991

2. ΤΜΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ

2.1 ΚΟΝΣΟΛΑ (Console)

Η κονσόλα του οργάνου είναι το τμήμα όπου βρίσκονται όλα τα μέσα ελέγχου των δυνατοτήτων του. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν οι *συρόμενοι σωληνοειδείς διακόπτες* (stop knobs), οι *συζευκτήρες* (couplers), ένα ή περισσότερα *χειροκίνητα πληκτρολόγια* (manual keyboards), το *ποδοκίνητο πληκτρολόγιο* (pedal board) και διάφορα πεντάλ, όπως το *πεντάλ ελέγχου έντασης του ήχου* (swell pedal). Με το χειρισμό όλων αυτών των μέσων, ο μουσικός μπορεί να ελέγξει τους εσωτερικούς μηχανισμούς του οργάνου και να επιλέξει να ηχήσουν οι αυλοί της συχνότητας και του ηχοχρώματος που επιθυμεί με την ένταση που καθορίζει ο ίδιος [11].

Η κονσόλα στα όργανα με *μηχανικό σύστημα λειτουργίας* (tracker organs), δεν είναι δυνατόν να βρίσκεται πολύ μακριά από τα τμήματα των *αεροδόχων* (wind-chests), διότι τα πληκτρολόγια της κονσόλας χειρίζονται τις *παλέτες* (pallets) της αεροδόχου με *μηχανικούς συνδέσμους* (mechanical action) και για αυτόν τον λόγο δεν θα πρέπει να υπάρχει μεγάλη απόσταση μεταξύ τους. Συνεπώς η κονσόλα θα βρίσκεται είτε κοντά στα υπόλοιπα τμήματα του οργάνου είτε ενσωματωμένη στο *περίβλημα του οργάνου* (case) [33].

Στην Εικόνα 2.1, φαίνεται η κονσόλα από ένα όργανο με μηχανικό σύστημα λειτουργίας [26]:



Εικόνα 2.1: Κονσόλα οργάνου αποτελούμενη από 2 χειροκίνητα πληκτρολόγια και 10 σωληνοειδής διακόπτες

2.1.1 ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΟ ΠΛΗΚΤΡΟΛΟΓΙΟ (Manual Keyboard)

Η περιοχή που αποτελείται από τα πλήκτρα ονομάζεται πληκτρολόγιο και τα πρώτο πληκτρολόγιο εμφανίστηκε στο όργανο κατά τα τέλη του 11ου αιώνα [4, σελ 4].

Για να μπορεί ο μουσικός να ελέγξει ποιοι αυλοί θα ηχήσουν και για πόση διάρκεια, υπάρχουν στην διάθεσή του ένα ή περισσότερα *χειροκίνητα πληκτρολόγια* (manual keyboards), δηλαδή σειρές από *πλήκτρα* (keys) άσπρου και μαύρου χρώματος. Το κάθε ένα από αυτά τα πλήκτρα έχουν τη δυνατότητα να ελέγξουν έναν ή περισσότερους αυλούς οι οποίοι παράγουν διαφορετικά ηχοχρώματα. Ο μουσικός αφού επιλέξει με τη χρήση των *συρόμενων σωληνοειδών διακοπών* (stop knobs) τις *συστοιχίες των αυλών* ή *αλλιώς ρέγκιστρων* (ranks) [9] που επιθυμεί να ηχήσουν (δηλαδή να δεχτούν αέρα), τότε με το πάτημα *πλήκτρων* ανοίγει τις *παλέτες* (pallets) κάτω από το *κανάλια* (channels) των αυλών και επιτρέπει να διέλθει συμπιεσμένος αέρας στο *κανάλια* και έπειτα στους αυλούς [27, 11].

Τα όργανα σήμερα διαθέτουν στην πλειοψηφία τους, περισσότερα από ένα πληκτρολόγια και υπάρχει συνήθως ένας καθορισμένος αριθμός πλήκτρων για το κάθε

πληκτρολόγιο. Ο αριθμός αντιστοιχεί σε 61 πλήκτρα, το οποίο άμεσα σημαίνει ότι αυτά τα πλήκτρα μπορούν να ελέγξουν το λιγότερο 61 αυλούς. Έχουν τη δυνατότητα να ελέγξουν περισσότερους αυλούς, εάν έχουν επιλεγεί περισσότερες από μία *συστοιχίες αυλών* (ranks) [11, 30]. Επίσης, υπάρχουν όργανα τα οποία διαθέτουν γύρω στους 20.000 αυλούς, ενώ η κονσόλα τους διαθέτει επτά χειροκίνητα πληκτρολόγια [11]. Ο λόγος για τον οποίο υπάρχουν περισσότερα από ένα πληκτρολόγια είναι διότι το κάθε ένα από αυτά αρχικά ορίζεται ώστε να ελέγχει μια συγκεκριμένη *ομάδα από συστοιχίες αυλών* (division) [11]. Σε όλα τα όργανα δεν υπάρχουν εξ ορισμού οι ίδιες ομάδες από συστοιχίες αυλών. Οι ομάδες για τις συστοιχίες αυλών είναι [31]:

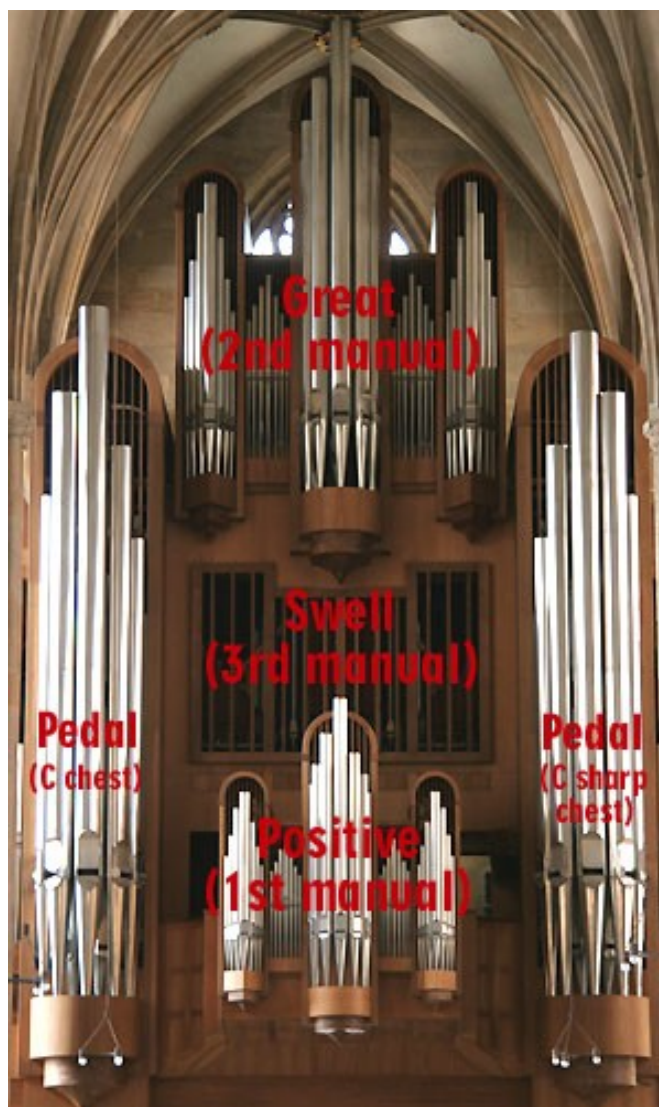
- *Great division*
- *Choir division* ή *Positif division*
- *Echo division*
- *Swell division*

Ενώ πιο σπάνιες ομάδες από συστοιχίες αυλών είναι οι [31]:

- *Clavier de Bombarde*
- *Antiphonal* ή *Fernwerk*

Η κάθε κατηγορία ελέγχεται από το δικό της πληκτρολόγιο, αλλά μπορεί μέσω διακοπών να ελεγχθεί και από πληκτρολόγιο το οποίο δεν ανήκει στην κατηγορία [11].

Στην Εικόνα 2.2 φαίνεται η θέση των ομάδων των σειρών αυλών [27]:



Εικόνα 2.2: Πρόσψη οργάνου με σημειωμένα τα τμήματα αυλών που ελέγχει κάθε πληκτρολόγιο

Οι συχνότητες οι οποίες αντιστοιχούν σε κάθε πλήκτρο ακολουθούν αύξουσα σειρά καθώς κινούμαστε από τα αριστερά προς τα δεξιά του πληκτρολογίου. Οι συχνότητες που έχουν οριστεί για κάθε πλήκτρο έχουν οριστεί σύμφωνα με το συγκεκριμένο σύστημα των 12 διαστημάτων.

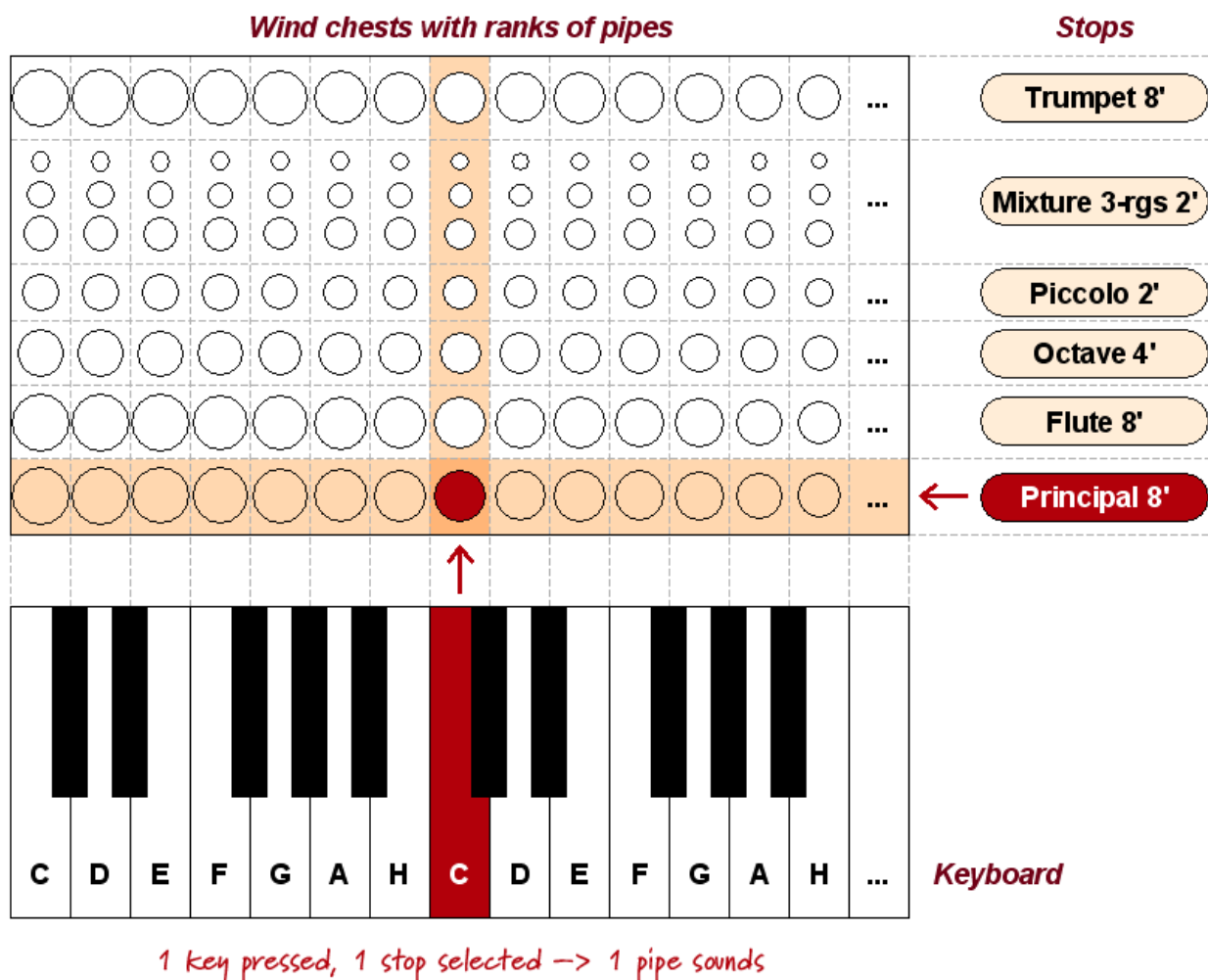
Πιο συγκεκριμένα, ο μουσικός για να μπορεί να επιλέξει ποιός αυλός θα ηχήσει, καθώς έχει στην διάθεσή του πλήκτρα, τα οποία έχουν αύξουσα σειρά συχνοτήτων και το καθένα μπορεί να ενεργοποιήσει έναν ή περισσότερους αυλούς (της ίδιας ή παρεμφερούς

συχνότητας). Στην Εικόνα 2.3, φαίνεται κονσόλα οργάνου με 2 πληκτρολόγια [26].



Εικόνα 2.3: Παράδειγμα κονσόλας με ενεργοποιημένους (τραβηγμένους) πολλούς συρόμενους σωληνοειδείς διακόπτες

Δεξιά και αριστερά των πληκτρολογίων του οργάνου της Εικόνας 2.3 φαίνονται οι *συρόμενοι σωληνοειδείς διακόπτες* (stops ή draw-knobs) με τους οποίους επιλέγονται τα *ρέγκιστρα* (συστοιχίες) των αυλών. Οι διακόπτες αυτοί έχουν διάφορες ονομασίες, ανάλογα με τον ήχο που παράγουν οι αυλοί της *σειράς αυλών* (rank) την οποία αντιπροσωπεύουν. Στην Εικόνα 2.4 [28], φαίνεται παράδειγμα, όπου πατώντας το πλήκτρο C (Do), θα ακουστεί η νότα Do της σειράς αυλών *Principal 8'*. Στην περίπτωση που έχουν επιλεγεί (τραβηχτεί) και άλλοι *συρόμενοι σωληνοειδείς διακόπτες*, τότε θα ακουστούν νότες Do και με διαφορετικά ηχοχρώματα. Στην ουσία οι συστοιχίες των αυλών και των πλήκτρων του πληκτρολογίου έχουν την διάταξη γραμμών και στηλών ενός πίνακα. Έτσι, με την χρήση των διακοπών και των πλήκτρων ο μουσικός έχει απόλυτο έλεγχο πάνω στους αυλούς τους οποίους θέλει να ηχήσουν [11].



Εικόνα 2.4: Απεικονίζεται ο αυλός ο οποίος θα ηχήσει (κόκκινος κύκλος) ενεργοποιώντας την αντίστοιχη συστοιχία αυλών και πατώντας το πλήκτρο C

2.1.2 ΠΟΔΟΚΙΝΗΤΟ ΠΛΗΚΤΡΟΛΟΓΙΟ (Pedalboard)

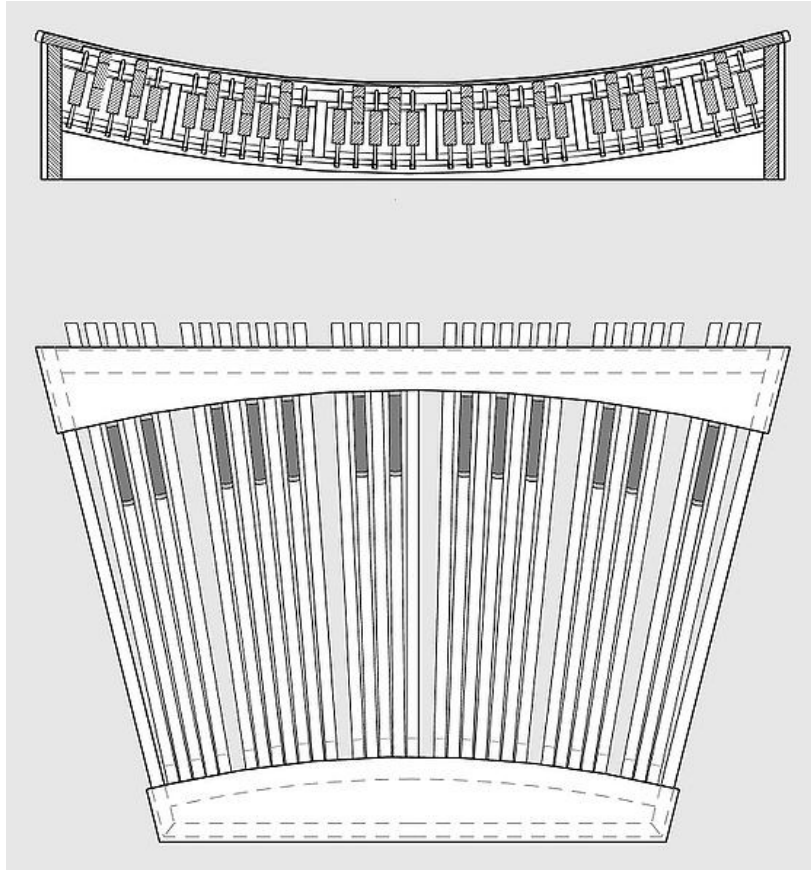
Το ποδοκίνητο πληκτρολόγιο (pedalboard ή pedal keyboard), Εικόνα 2.5 [12] είναι ένα πληκτρολόγιο το οποίο βρίσκεται στο κάτω μέρος του οργάνου και ελέγχεται από το μουσικό με τα πόδια. Αποτελείται συνήθως από 30 έως 32 πλήκτρα [11], τα οποία αντιστοιχούν σε αυλούς οι οποίοι παράγουν πολύ χαμηλές συχνότητες (μπάσους ήχους). Αν και δεν συναντάται σε όλα τα όργανα, συνήθως υπάρχει [11]. Τα πλήκτρα του, αντιπροσωπεύουν τις συχνότητες των αυλών με αύξουσα σειρά, όπως συμβαίνει και με τα πλήκτρα του χειροκίνητου πληκτρολογίου (manual keyboard) και είναι συνδεδεμένα με ράβδους ώστε να επικοινωνούν με τις παλέτες της αεροδόχου τους. Στην αεροδόχο τους υπάρχουν αυλοί μεγάλου μήκους, ώστε να παραχθούν οι κατάλληλες χαμηλές συχνότητες.

Η διάταξη των πλήκτρων μοιάζει με αυτήν του χειροκίνητου πληκτρολογίου και οι συχνότητες οι οποίες έχουν οριστεί, είναι βασισμένες στο συγκεκριμένο σύστημα των 12 διαστημάτων.

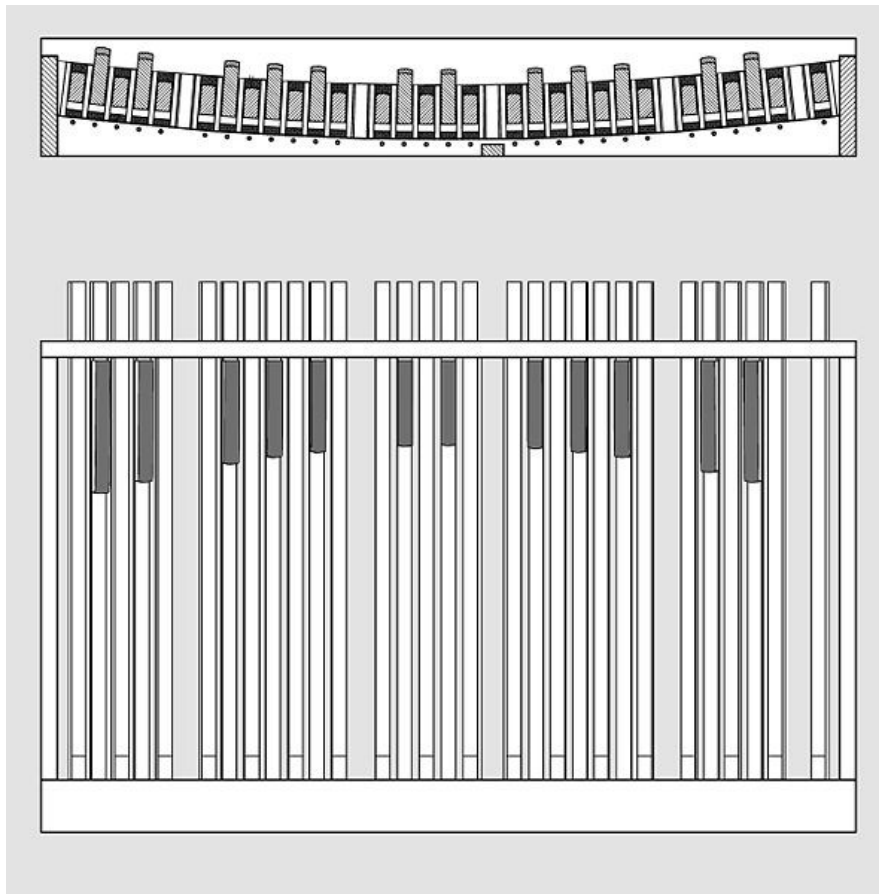
Υπάρχουν διάφορες διατάξεις των πλήκτρων, όπως φαίνεται στις Εικόνες 2.6, 2.7 και 2.8 [12].



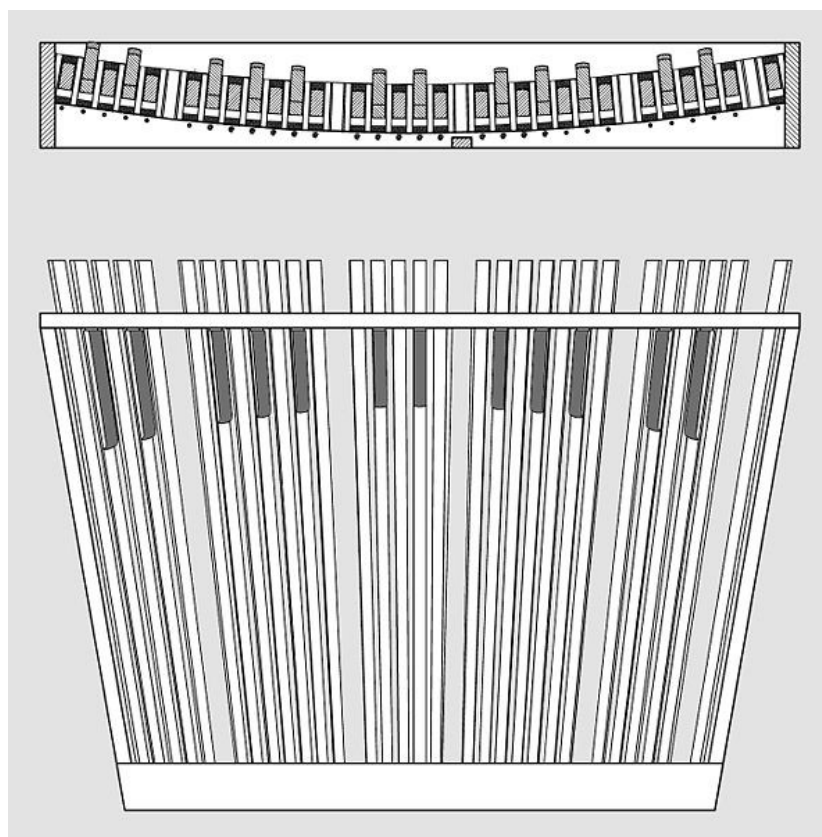
Εικόνα 2.5: Ποδοκίνητο πληκτρολόγιο με παράλληλη διάταξη πλήκτρων



Εικόνα 2.6: Ποδοκίνητο πληκτρολόγιο σε κοίλη / ακτινική διάταξη σύμφωνα με την τυποποίηση AGO



Σχήμα 2.7: Ποδοκίνητο πληκτρολόγιο σε κοίλη / παράλληλη διάταξη σύμφωνα με την τυποποίηση BDO



Εικόνα 2.8: Ποδοκίνητο πληκτρολόγιο σε κοίλη / ακτινική διάταξη σύμφωνα με την τυποποίηση BDO

2.1.3 ΠΕΝΤΑΛ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ (Swell pedal)

Μέσω των πεντάλ ρύθμισης της έντασης του ήχου (Swell pedal), τα οποία μοιάζουν στην μορφή και στον τρόπο χειρισμού τους με τα πεντάλ χειρισμού τα οποία διαθέτει ένα αυτοκίνητο, μπορεί να ελέγξει ο μουσικός την ένταση του ήχου την οποία θα παράγουν οι αυλοί. Σε αντίθεση με άλλα μουσικά όργανα, όπου η ένταση του ήχου είναι πιο εύκολο να καθορισθεί, όπως με το δυνατότερο πάτημα των πλήκτρων στο πιάνο, στο εκκλησιαστικό όργανο, η ένταση του ήχου μπορεί να ελεγχθεί μόνο με την χρήση αυτού του πεντάλ [22].

Η δυνατότητα ελέγχου της έντασης του ήχου που παράγουν οι αυλοί, είναι κάτι βασικό, καθώς στην πλειοψηφία τους τα μουσικά έργα για το εκκλησιαστικό όργανο, απαιτούν την αυξομείωση της έντασης του ήχου στα διάφορα τμήματα τους. Στην Εικόνα 2.9 φαίνεται το πεντάλ πάνω από το τμήμα του ποδοκίνητου πληκτρολογίου.



Εικόνα 2.9: Το πεντάλ ρύθμισης της έντασης του ήχου στην αρχική θέση

2.1.3.1 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Στο όργανο υπάρχουν διάφορες ομάδες από συστοιχίες αυλών (divisions) [11]. Οι αυλοί των ομάδων αυτών ελέγχονται από τα αντίστοιχα πληκτρολόγια. Το πεντάλ ρύθμισης της έντασης του ήχου έχει καθιερωθεί να ελέγχει την ένταση του ήχου στην ομάδα αυλών με την ονομασία *Swell division*. Η ομάδα αυτή των αυλών περικλείεται σε ξύλινο κουτί, το οποίο στην εμπρόσθια όψη του διαθέτει γρίλιες, οι οποίες, το κατά πόσο θα ανοίξουν, ρυθμίζεται από το πεντάλ ρύθμισης της έντασης του ήχου. Με τον τρόπο αυτόν ρυθμίζεται η ένταση του ήχου την οποία θα παράγει το *Swell division* [22]. Στις Εικόνες 2.10 και 2.11 [22] φαίνεται το *Swell division* και οι γρίλιες του.

Σε μερικά όργανα υπάρχουν περισσότερα από ένα πεντάλ ρύθμισης της έντασης του ήχου ώστε να ελέγχουν και άλλες ομάδες από συστοιχίες αυλών εκτός της ομάδας αυλών του *Swell division*.



Εικόνα 2.10: Οι γρίλιες του *swell division* σε ανοιχτή θέση



Εικόνα 2.11: Οι γρίλιες του swell division σε κλειστή θέση

2.2 ΑΕΡΟΔΟΧΟΣ (Wind-chest)

Η αεροδόχος (wind-chest) και λαθεμένα αποκαλούμενη με την ονομασία soundboard [2, σελ 200] αποτελεί ένα πολύ σημαντικό τμήμα του οργάνου. Είναι ένα αεροστεγές ορθογωνικό κουτί κατασκευασμένο από ξύλο, με εγκατεστημένους μηχανισμούς και το οποίο δέχεται τον συμπιεσμένο αέρα παροχετεύοντάς τον με την απαιτούμενη πίεση στους αυλούς [11]. Πάνω του τοποθετούνται *χειλεόφωνοι αυλοί* (flue pipes) ή *γλωττιδόφωνοι αυλοί* (reed pipes) ή και οι δύο τύποι αυλών ταυτόχρονα και παρέχει εκτός από την στήριξη τους [47, σελ 1], την απαιτούμενη πίεση αέρα την οποία χρειάζονται ώστε να λειτουργήσουν [2, σελ 1].

Οι πρώτες αεροδόχοι σύμφωνα με τις περιγραφές που βρίσκουμε από τον Έρωνα τον Αλεξανδρινό και από άλλους συγγραφείς [2, σελ 198-199], είχαν απλό σχεδιασμό, καθώς δεν τοποθετούνταν πολλοί αυλοί πάνω τους και ο τρόπος λειτουργίας για την εισαγωγή του αέρα στους αυλούς ήταν αρκετά διαφορετικός από τον σημερινό.

Η αεροδόχος στις πρώτες μορφές του εκκλησιαστικού οργάνου λειτουργούσε με διαφορετικό τρόπο απ' ότι λειτουργεί σήμερα. Οι αυλοί ήταν τοποθετημένοι σε *σειρές αυλών* ή *ρέγκιστρα* (ranks) [9] και αντιστοιχούσαν σε συγκεκριμένη συχνότητα όπως συμβαίνει και με την σημερινή τους διάταξη. Η βασική όμως διαφοροποίηση τους ήταν ότι ηχούσαν ταυτόχρονα όταν ο μουσικός πατούσε τα πλήκτρα των αντίστοιχων αυλών σε κάποιο από τα πληκτρολόγια [30]. Αργότερα ο τρόπος λειτουργίας άλλαξε, έτσι ώστε οι διαφορετικές σειρές των αυλών να λειτουργούν μεμονωμένα ή σε συνδυασμό. Έτσι, έγινε η μετάβαση σιγά-σιγά στον μηχανισμό με την μορφή που εξακολουθεί να κατασκευάζεται μέχρι και σήμερα [15] και ονομάζεται *αεροδόχος με παλέτες και συρόμενες λωρίδες ξύλου* (slider and pallet wind-chest), όπου οι σειρές των αυλών ενεργοποιούνται (επιλέγονται) με την χρήση μιας *συρόμενης λωρίδας ξύλου* (slider) με οπές, οι οποίες αντιστοιχούν στην διάταξη των οπών της σειράς των αυλών που ελέγχουν και επίσης με την χρήση *παλετών* (pallets), οι οποίες λειτουργούν ως βαλβίδες για τη διοχέτευση του αέρα στους αυλούς [47, σελ 1]. Οι παλέτες ελέγχονται από τον μουσικό στην κονσόλα του οργάνου και είναι συνδεδεμένες με την αεροδόχο με μηχανική διάταξη, όσον αφορά τα *εκκλησιαστικά όργανα μηχανικής λειτουργίας* (tracker organs) τα οποία μελετούμε [33].

Ωστόσο, δεν υπάρχει η ακριβής ημερομηνία κατά την οποία έγινε η μετάβαση στην τοποθέτηση των παλετών [2, σελ 199].

Άλλη μορφή αεροδόχου που κατασκευάστηκε, ήταν και η *αεροδόχος με οπές διοχέτευσης του αέρα* (ventil wind-chest), στην οποία ο τρόπος λειτουργίας της είναι επίσης μηχανικός [2, σελ 263]. Η παρούσα εργασία θα αναλύσει αποκλειστικά την αεροδόχο με *παλέτες και συρόμενες λωρίδες ξύλου*.

Γενικά και καθ' όλη την περίοδο που διανύθηκε κατά την δημιουργία του οργάνου, ειδικά όταν οι κατασκευαστές είχαν την πρόθεση να κατασκευάζουν αρκετά αξιόπιστα όργανα, υπήρχαν κάποιες κοινές πρακτικές (οδηγίες) για την κατασκευή του.

Οι κοινές αυτές πρακτικές είναι ότι η αεροδόχος θα πρέπει να είναι αρκετά στιβαρή, ώστε να αντέχει το βάρος των αυλών που θα τοποθετούνταν επάνω της. Θα πρέπει να είναι αεροστεγής, ώστε να μην χάνει σχεδόν καθόλου από τον αέρα που θα διατηρούνταν μέσα της. Να παρέχει μεγάλη επιφάνεια και χώρο στο τμήμα όπου θα τοποθετούνταν οι αυλοί πάνω της, ώστε να διευκολύνεται η ρύθμιση των αυλών. Να παρέχει μια ξεχωριστή πηγή για την τροφοδοσία αέρα στους αυλούς, ώστε να μην προκύψει έλλειψη αέρα όταν χρειαστεί να χρησιμοποιηθούν από τον μουσικό πολλοί αυλοί ταυτόχρονα. Αυτό χαρακτηρίζει την δυνατότητα μιας αεροδόχου να μπορεί να παρέχει σταθερή πίεση στους αυλούς του, ανεξάρτητα από το ποιοι αυλοί χρησιμοποιούνται κάθε χρονική στιγμή [25]. Τα τμήματα της αεροδόχου να είναι κατασκευασμένα με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην τα επηρεάζουν οι θερμοκρασιακές συνθήκες του χώρου στον οποίο τοποθετείται το όργανο.

Όλοι οι μηχανισμοί του θα πρέπει να έχουν επάρκεια χώρου για την λειτουργία τους (όπως οι *παλέτες*), να κατασκευάζονται οι μηχανισμοί με τέτοιο τρόπο ώστε να παρουσιάζουν αθόρυβη λειτουργία και γενικά η αεροδόχος και ότι την αποτελεί να είναι κατασκευασμένο με απλουστευμένο τρόπο, έτσι ώστε να είναι εύκολη η συντήρησή της και να μην χρειάζεται να μετακινηθούν άλλα τμήματα του οργάνου, ώστε να μπορούν οι τεχνικοί να προσεγγίσουν και να συντηρήσουν την αεροδόχο [2, σελ 196].

Οι αεροδόχοι συνεργάζονται με τα πλήκτρα του *χειροκίνητου πληκτρολογίου* (manual keyboard) και με τα πλήκτρα του *ποδοκίνητου πληκτρολογίου* (bass pedal). Επειδή οι ήχοι που παράγονται από το κάθε πληκτρολόγιο έχουν μεγάλη διαφορά στη

συχνότητα τους, καθώς στο χειροκίνητο πληκτρολόγιο οι ήχοι είναι αρκετά πιο υψηλοί σε σχέση με το ποδοκίνητο πληκτρολόγιο, χρησιμοποιούνται ξεχωριστοί αεροδόχοι για το κάθε πληκτρολόγιο. Αυτό συμβαίνει, διότι κάθε αεροδόχος ρυθμίζεται από τον κατασκευαστή ώστε να δέχεται συγκεκριμένη πίεση αέρα, η οποία εξαρτάται από την πίεση αέρα την οποία χρειάζονται οι αυλοί οι οποίοι τοποθετούνται επάνω της για να λειτουργήσουν και να παράγουν τον ήχο (συχνότητα) για την οποία κατασκευάστηκαν. Οπότε η κάθε αεροδόχος λειτουργεί με διαφορετική πίεση αέρα.

Στην κατηγορία των αεροδόχων οι οποίες λειτουργούν με μηχανικό τρόπο, υπάρχουν οι εξής τύποι [25]:

- *Αεροδόχος με παλέτες και συρόμενες λωρίδες ξύλου (Slider and pallet wind-chest ή Slider chest)*
- *Αεροδόχος με ελατήρια (Spring chest) (παρόμοιο με το slider chest)*
- *Αεροδόχος με οπές διοχέτευσης του αέρα (Ventil wind-chest ή Ventil chest)*

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΕΡΟΔΟΧΟΥ ΜΕ ΠΑΛΕΤΕΣ ΚΑΙ ΣΥΡΟΜΕΝΕΣ ΛΩΡΙΔΕΣ ΞΥΛΟΥ (Slider and pallet wind-chest)

Αυτός το τύπος αεροδόχου χρησιμοποιείται και σήμερα και πρωτοεμφανίστηκε (με μικρές διαφορές σε σχέση με την σημερινή του μορφή) τον 18ο αιώνα. Η αεροδόχος εκείνης της εποχής κατασκευαζόταν συνήθως από ξύλο βελανιδιάς [2, σελ 200].

Η αεροδόχος η οποία χρησιμοποιεί *παλέτες* (pallets) και *κινητά ξύλα* (slider and pallet wind-chest) αποτελείται από 2 κύρια τμήματα [2, σελ 200]:

- *Το κύριο τμήμα της αεροδόχου (Wind-chest proper) (είναι και το μεγαλύτερο τμήμα)*
- *Το κουτί με τις παλέτες (Pallet-box)*

Τα 2 αυτά τμήματα χωρίζονται σε επιμέρους τμήματα. Έτσι, το κύριο τμήμα της αεροδόχου (wind-chest proper) αποτελείται από [2, σελ 200]:

- Το πλαίσιο (*Frame*)
- Το τραπέζι (*Table* [2, σελ 200] ή *Veneer* [7, σελ 24])
- Τις συρόμενες λωρίδες ξύλου (*Sliders*)
- Τους φορείς (*Bearers*)
- Τα άνω τμήματα (*Upper boards*)
- Οι βάσεις για την στήριξη των αυλών (*Rack boards*)

Ενώ, το κουτί με τις παλέτες (*Pallet-box*) αποτελείται από [2, σελ 200]:

- Το κουτί (*Box*)
- Τις παλέτες (*Pallets*)
- Τα ελατήρια για τις παλέτες (*Pallet springs*)
- Τους ράβδους κίνησης (*Pull downs*)

2.2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

2.2.2 ΚΥΡΙΟ ΤΜΗΜΑ (*Wind-chest proper*)

Οι διαστάσεις των αεροδόχων δεν είναι συγκεκριμένες και εξαρτώνται από παράγοντες όπως το πλήθος των αυλών οι οποίοι θα τοποθετηθούν πάνω της. Πριν την κατασκευή των τμημάτων της αεροδόχου, θα πρέπει να σχεδιαστούν οι θέσεις των τμημάτων της, όπως είναι η θέση των αυλών (αναλόγως της διαμέτρου τους), η θέση στην οποία θα τοποθετηθούν οι παλέτες, κλπ.

Οι αυλοί θα πρέπει να τοποθετούνται με επάρκεια χώρου και ένας εμπειρικός κανόνας είναι, ότι μπροστά από τα στόμια των αυλών θα πρέπει να υπάρχει κενό χώρου, ίσο με την διάμετρό τους και όχι λιγότερο. Επίσης, αυλοί διαφορετικού ηχοχρώματος, της ίδιας όμως συχνότητας, θα πρέπει να τοποθετούνται σε απόσταση μεταξύ τους και γενικά τα στόματα των αυλών να μην αντικρίζουν το ένα το άλλο. Ο λόγος είναι ότι αυλοί της ίδιας συχνότητας συντονίζονται μεταξύ τους όταν έστω και ένας από αυτούς λειτουργήσει και έτσι δεν παράγεται το επιθυμητό ηχητικό αποτέλεσμα [2, σελ 201].

Ειδικά αυλοί μικρού ή μεσαίου μεγέθους θα πρέπει να έχουν επάρκεια χώρου μπροστά από το στόμιο τους γιατί οι αυλοί αυτού του μεγέθους παράγουν αρκετές αρμονικές συχνότητες κατά την λειτουργία τους [2, σελ 201].

Στον τραπέζι της αεροδόχου δημιουργούνται οπές, σύμφωνα με τα σημεία που έχουν καθοριστεί κατά τον σχεδιασμό. Γενικά δεν υπάρχουν προβλήματα στην τοποθέτηση των μικρού και μεσαίου μεγέθους αυλών στην αεροδόχο, όμως οι αυλοί που παράγουν πολύ χαμηλής συχνότητας ήχους (μπάσους), χρειάζεται να τοποθετούνται σε ανεξάρτητη θέση από αυτήν την επάνω επιφάνεια της αεροδόχου, λόγω των μεγάλων διαστάσεών τους. Οι αυλοί αυτοί συνδέονται με σωλήνα (conveyance tube) ο οποίος προσαρμόζεται μεταξύ της οπής εξόδου του *τραπεζιού της αεροδόχου* (table), στην οποία θα έπρεπε να προσαρμοστεί φυσιολογικά ο αυλός και της οπής του ποδιού του αυλού, από την οποία εισάγεται ο αέρας στον αυλό (toe hole). Οι αυλοί αυτοί τοποθετούνται σε ξεχωριστές βάσεις σε κάποιο σημείο του οργάνου [2, σελ 201-202].

Η σειρά των βημάτων για κατασκευή της αεροδόχου έχει ως εξής [2, σελ 203]:

Πρώτα κατασκευάζεται το *πλαίσιο* (frame) της αεροδόχου, στο οποίο πρέπει να δημιουργηθούν *κανάλια* (channels ή grooves) [2, σελ 203], τα οποία χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν τον αέρα στους αυλούς, ο οποίος αρχικά διοχετεύεται στα κανάλια από το *κουτί με τις παλέτες* (pallet box) το οποίο βρίσκεται κάτω από το πλαίσιο της αεροδόχου. Τα κανάλια αυτά βρίσκονται κάτω από το *τραπέζι* (table) της αεροδόχου, το οποίο έχει οπές οι οποίες ευθυγραμμίζονται με τις οπές της *συρόμενης λωρίδας ξύλου* (slider) και τις οπές του *άνω τμήματος ξύλου* (upper board), τα οποία βρίσκονται ακριβώς από πάνω του. Η ευθυγράμμιση των οπών αποσκοπεί στην δημιουργία διόδου για τον αέρα στις συστοιχίες των αυλών, όπου ο κάθε αυλός αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο πλήκτρο του χειροκίνητου πληκτρολογίου ή του πεντάλ του μπάσου.

Ο αριθμός των *καναλιών* είναι ίσος με τον αριθμό των πλήκτρων τα οποία έχει το κάθε πληκτρολόγιο, το οποίο ελέγχει την συγκεκριμένη αεροδόχο [5, σελ 21].

Για να δημιουργηθούν τα κανάλια, χρησιμοποιούνται *λωρίδες ξύλου* (bars) [2, σελ 203], οι οποίες τοποθετούνται παράλληλα μεταξύ τους και δημιουργούν τα απαραίτητα κενά για την δημιουργία των καναλιών αέρα. Οι λωρίδες ξύλου πριν την τοποθέτησή τους θα πρέπει να πλανηθούν ώστε να αποκτήσουν τις διαστάσεις που χρειάζεται να έχουν ώστε να τοποθετηθούν με ακρίβεια στο *πλαίσιο* [2, σελ 203]. Το πλαίσιο μαζί με τα κανάλια θα πρέπει να ενωθούν με την επιφάνεια του *τραπεζιού της αεροδόχου*.

Τα πλάτη των *καναλιών* (για τη διανομή του αέρα στους αυλούς) τα οποία σχηματίζονται, δεν είναι όμοια μεταξύ τους. Επίσης, τα πάχη των *λωρίδων ξύλου* διαφέρουν μεταξύ τους. Τα πλάτη τους εξαρτώνται από τις διαστάσεις των αυλών οι οποίοι θα τοποθετηθούν πάνω από κάθε *κανάλι*. Τα πλάτη των *καναλιών* και των *λωρίδων ξύλου* είναι μικρότερα όταν χρησιμοποιούνται από αυλούς οι οποίοι παράγουν ήχους που καλύπτουν το φάσμα των ήχων της *σοπράνου* (treble), ενώ για τους αυλούς του *μπάσου* είναι μεγαλύτερα, καθώς οι αυλοί του μπάσου έχουν μεγαλύτερες διαστάσεις [7, σελ 23].

Αφού κατασκευαστεί το πλαίσιο μαζί με τα κανάλια και το τραπέζι της αεροδόχου, τότε θα πρέπει να αφαιρεθούν οποιαδήποτε κομμάτια ξύλου προεξέχουν κατά την συναρμολόγηση, ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν μεταξύ τους χωρίς κενά (τα οποία θα προκαλούσαν διαφυγή του αέρα) [2, σελ 204].

Επάνω στο τραπέζι της αεροδόχου θα τοποθετηθούν τα υπόλοιπα τμήματα, τα οποία συνεργαζόμενα θα παροχετεύσουν τελικώς τους αυλούς με αέρα μέσω της οπής (toe hole) η οποία βρίσκεται στην βάση του ποδιού του αυλού [13].

Τα επόμενα τμήματα που πρέπει να τοποθετηθούν για την κατασκευή του κυρίου τμήματος της αεροδόχου είναι οι *συρόμενες λωρίδες ξύλου* [30], οι οποίες ελέγχονται από τον μουσικό στην *κονσόλα του οργάνου* (console), με σκοπό να επιτρέπεται η διοχέτευση αέρα ή όχι στην σειρά αυλών, την οποία εξυπηρετούν. Οι λωρίδες αυτές, μετακινούνται μόνο σε ευθύγραμμη κίνηση εμπρός και πίσω σε δύο μόνο δυνατές θέσεις. Για την ακρίβεια της κίνησης τους βοηθούνται από κομμάτια ξύλου, τους *φορείς* (bearers), οι οποίοι βρίσκονται δεξιά και αριστερά κατά μήκος της συρόμενης λωρίδας ξύλου και λειτουργούν σαν οδηγόι κατά την κίνηση του ξύλου.

Επίσης, τοποθετούνται τα *άνω τμήματα* (upper boards) και αργότερα οι *βάσεις στήριξης των αυλών* (rack boards), τα οποία είναι φτιαγμένα και τα δύο από ξύλο. Στα δύο αυτά τμήματα δημιουργούνται οπές, οι οποίες βρίσκονται σε ευθυγραμμία με τις οπές του τραπεζιού. Οι μόνες οπές οι οποίες μετακινούνται, είναι οι οπές της κάθε συρόμενης λωρίδας ξύλου. Οι λωρίδες ξύλου βρίσκονται τοποθετημένες ανάμεσα στα άνω τμήματα και το τραπέζι της αεροδόχου [2, σελ 214, 225].

2.2.3 ΤΟ ΚΟΥΤΙ ΜΕ ΤΙΣ ΠΑΛΕΤΕΣ (Pallet box)

Το κουτί αυτό τοποθετείται στο *πλαίσιο* (frame) της αεροδόχου και κάτω από το *κύριο τμήμα* (wind-chest proper). Είναι επίσης στεγανό και μέσα του διοχετεύεται ο πεπιεσμένος αέρας που παράγει ο φυσητήρας μέσω ενός μεγάλου *σωλήνα μεταφοράς αέρα* (wind-trunk). Βέβαια, ο αέρας από το φυσητήρα περνάει πρώτα από ένα *ντεπόζιτο* (reservoir) για την προσωρινή αποθήκευση του αέρα και την εξομάλυνση της ροής του.

Ο σωλήνας μεταφοράς αέρα μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε σημείο του *κουτιού με τις παλέτες*, όμως συνιστάται να τοποθετείται στο κάτω μέρος, ώστε ο αέρας να διοχετεύεται ομοιόμορφα.

Στο *κουτί με τις παλέτες*, βρίσκονται στο πάνω μέρος του *παλέτες* (pallets), οι οποίες επιτρέπουν ή όχι να περάσει αέρας στα *κανάλια* (channels) τα οποία βρίσκονται στο κύριο τμήμα της αεροδόχου. Οι παλέτες είναι μακρόστενες λωρίδες ξύλου, οι οποίες κλείνουν τις οπές οι οποίες βρίσκονται κάτω από τα κανάλια. Για στεγανότητα, συγκολλείται επάνω τους συνήθως ένα κομμάτι δέρματος [2, σελ 218, 219]. Στηρίζονται με ελατήρια [2, σελ 216], τα οποία τους ασκούν πίεση, ώστε να καλύπτουν την οπές κάτω από τα *κανάλια*. Για να μετακινηθούν και να επιτρέψουν την εισροή αέρα στα κανάλια, θα πρέπει να πατηθεί το αντίστοιχο πλήκτρο σε κάποιο πληκτρολόγιο του οργάνου, το οποίο θέτει σε κίνηση έναν μηχανισμό με ράβδους και άλλα στοιχεία, ο οποίος καταλήγει στην άκρη της αντίστοιχης παλέτας και η παλέτα λειτουργώντας ως μοχλός, μετακινείται από την αρχική θέση του και επιτρέπει να περάσει αέρας στα κανάλια και τελικώς σε όσες *σειρές αυλών* (ranks) έχει τεθεί η συρόμενη λωρίδα ξύλου σε θέση η οποία να επιτρέπει την διέλευση του αέρα [30]. Στην Εικόνα 2.12 φαίνεται εικόνα αεροδόχου με τοποθετημένους τους φορείς και χωρίς τοποθετημένους τους αυλούς και τα επιπλέον τμήματα.

2.2.4 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Καθώς ο *φουσητήρας* (blower) διοχετεύει αέρα υπό πίεση στο *ντεπόζιτο* (reservoir) και έπειτα φτάνει στο *κουτί με τις παλέτες* (pallet-box) μέσω των *σωλήνων μεταφοράς αέρα* (wind-trunks), ο αέρας παραμένει εκεί μέχρι την στιγμή που ο μουσικός θα πατήσει κάποιο πλήκτρο στο χειροκίνητο πληκτρολόγιο (manual keyboard) ή στο ποδοκίνητο πληκτρολόγιο (pedal keyboard). Την στιγμή που θα πατηθεί κάποιο πλήκτρο, ο μηχανισμός που συνδέει μέσω *ράβδων* και διαφόρων άλλων στοιχείων το πλήκτρο με την αντίστοιχη *παλέτα* (pallet), προκαλεί την μερική κάθετη μετακίνηση της παλέτας από την μια πλευρά της και επιτρέπει στον αέρα να μετακινηθεί διαμέσου της αντίστοιχης οπής την οποία αποκαλύπτει και τροφοδοτεί με αέρα το δικό της *κανάλι* (channel), το οποίο ανήκει στα κανάλια του κύριου τμήματος της *αεροδόχου* (wind-chest proper). Αφού περάσει ο αέρας στα κανάλια, θα προσπαθήσει να κατευθυνθεί προς τις οπές οι οποίες βρίσκονται πάνω από τα *κανάλια* και οι οποίες θα οδηγήσουν τον αέρα στους αυλούς. Όποιες δίοδοι δεν εμποδίζονται από τις συρόμενες *λωρίδες ξύλου* (sliders), θα επιτρέψουν στον αέρα να μετακινηθεί στους αυλούς οι οποίοι φιλοξενούνται εκεί. Δηλαδή, θα πρέπει οι οπές του *τραπεζιού* (table), των συρόμενων λωρίδων ξύλου και του *άνω τμήματος* (upper board) τα οποία βρίσκονται επάνω από κάθε κανάλι, να έχουν ευθυγραμμιστεί.

Παράδειγμα αεροδόχου φαίνεται στην Εικόνα 2.12 [43, σελ 7]. Επίσης, στην Εικόνα 2.13 φαίνεται *αεροδόχος* σε τομή [11]. Το κάτω τμήμα είναι το κουτιού με τις παλέτες, οι οποίες στηρίζονται με ελατήρια. Το πάνω τμήμα είναι το τμήμα που περιλαμβάνει τα *κανάλια* για την διανομή του αέρα στους αυλούς. Στις Εικόνες 2.14 και 2.15 [45] φαίνονται τα *κανάλια* της *αεροδόχου*.



Εικόνα 2.12: Αεροδόχος, χωρίς την τοποθέτηση όλων των τμημάτων, στην οποία φαίνονται οι οπές τοποθέτησης των ποδιών των αυλών



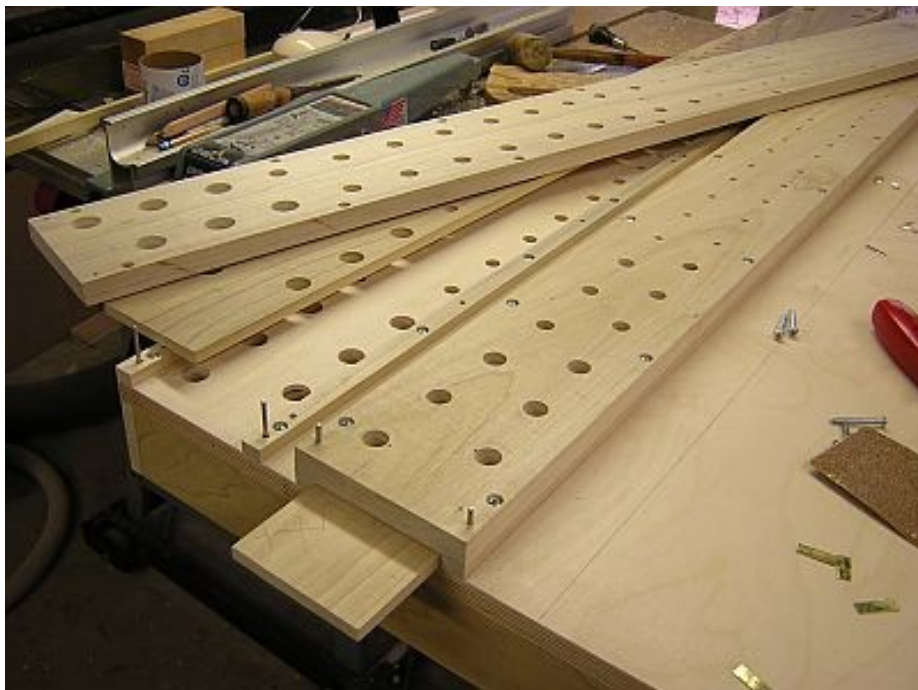
Εικόνα 2.13: Πλάγια όψη αεροδόχου σε τομή



Εικόνα 2.14: πλαίσιο αεροδόχου με κανάλια



Εικόνα 2.15: Τα κανάλια της αεροδόχου σε κάτοψη



Εικόνα 2.16: Τοποθέτηση των συρόμενων λωρίδων ξύλου στο επάνω τμήμα της αεροδόχου

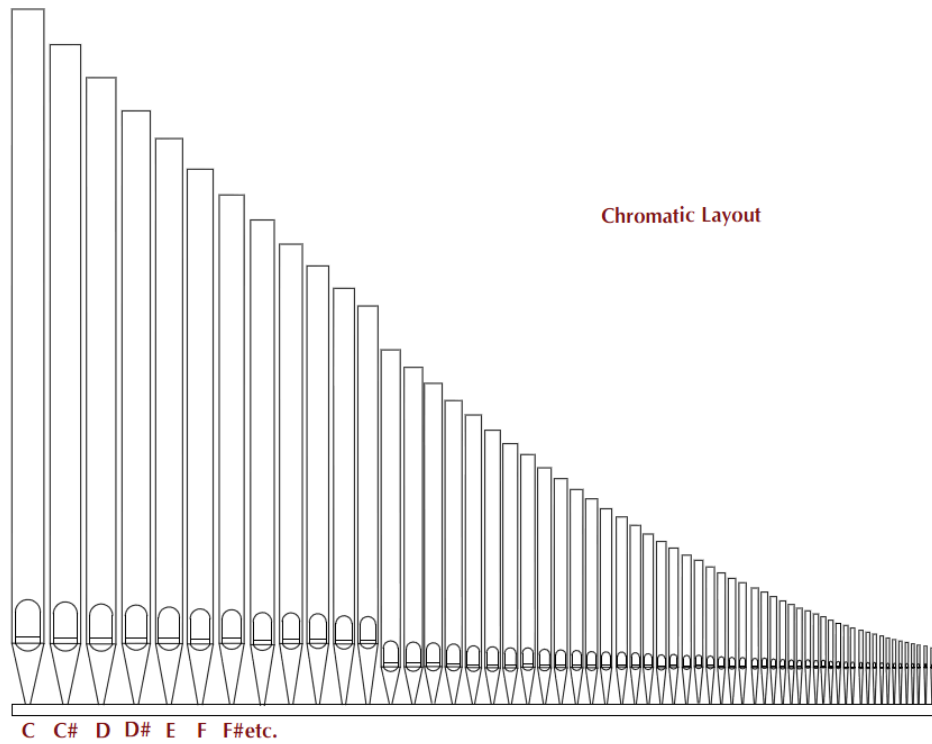
2.2.5 ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΩΝ ΑΥΛΩΝ

Ο τρόπος διάταξης των αυλών επάνω στην αεροδόχο καθορίζεται από το μέγεθος του οργάνου, το οποίο άμεσα καθορίζει και το μέγεθος της αεροδόχου του ή των αεροδόχων του.

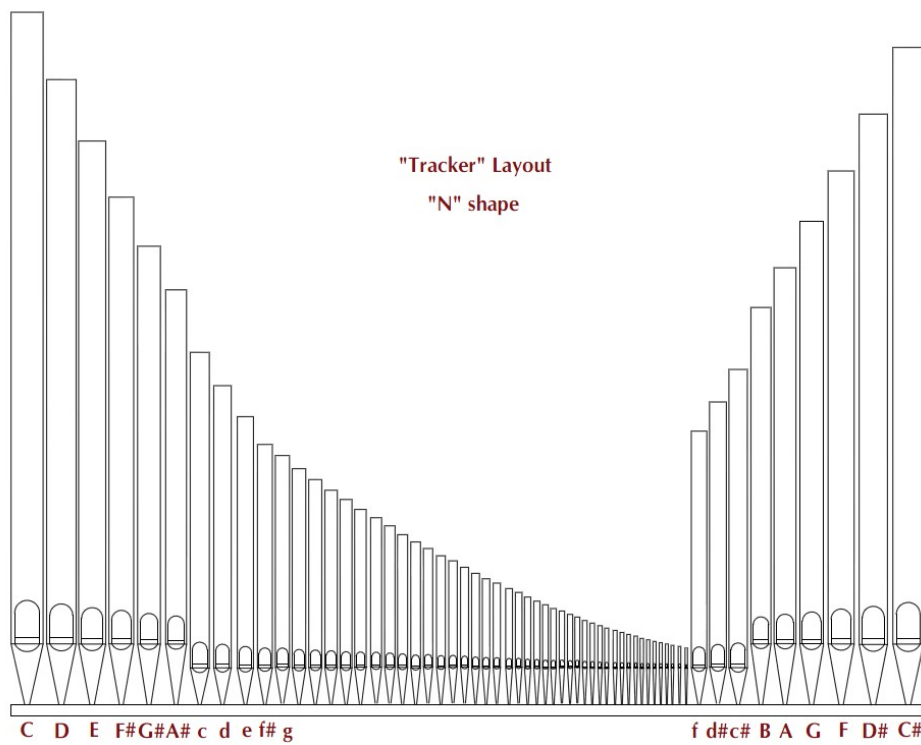
Υπάρχουν 4 διαφορετικές μορφές διάταξης των αυλών [2, σελ 202]:

- I. Η πρώτη διάταξη χρησιμοποιείται για μικρά όργανα και ορίζει την τοποθέτηση των αυλών με τέτοιο τρόπο, ώστε το βάρος των μεγάλων σε διαστάσεις αυλών κάθε σειράς αυλών (ranks), να τοποθετείται στα άκρα της αεροδόχου (η οποία βρίσκεται τοποθετημένη σε οριζόντια θέση) και με αυτόν τον τρόπο να κατανέμεται σχεδόν ίσα το βάρος των μεγάλων σε διαστάσεις αυλών. Συγκεκριμένα, οι αυλοί των χαμηλών συχνοτήτων (μπάσου), τοποθετούνται στο αριστερό και δεξιό άκρο της αεροδόχου, ενώ όλοι οι υπόλοιποι αυλοί, μετά την νότα Σολ τενόρου, να τοποθετούνται με ημιτονοειδή διάταξη στην καθορισμένη θέση τους, δηλαδή με την σειρά που ακολουθούν οι ήχοι στο χειροκίνητο πληκτρολόγιο του οργάνου.
- II. Η δεύτερη μέθοδος διάταξης ορίζει την τοποθέτηση των αυλών σε ημιτονοειδή διάταξη στις μονές αεροδόχους, ξεκινώντας από τον αυλό με την χαμηλότερη συχνότητα και συνεχίζοντας προς αυτόν με την υψηλότερη συχνότητα. Η διάταξη αυτή εφαρμόζεται στην περίπτωση που η αεροδόχος βρίσκεται τοποθετημένη σε κάθετη μόνο θέση. Η διάταξη αυτή ανήκει σε σύστημα αποκαλούμενο ως απλοποιημένο σύστημα.
- III. Το τρίτο σύστημα ορίζει την τοποθέτηση των αυλών χαμηλών συχνοτήτων (μπάσου) στο κέντρο της αεροδόχου και την τοποθέτηση των υπόλοιπων αυλών στα άκρα δεξιά και αριστερά, με τοποθετώντας τους αυλούς με τις υψηλότερες συχνότητες ως τους τελευταίους τοποθετημένους στα άκρα. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται για μονές ή διαιρούμενες αεροδόχους και έχει χρησιμοποιηθεί για όργανα μεσαίων διαστάσεων τοποθετημένα στο τμήμα του Swell.
- IV. Το τέταρτο σύστημα είναι ένα σύστημα το οποίο προτιμάται για το ακουστικό του αποτέλεσμα και τοποθετεί τους αυλούς σε δύο διαφορετικές αεροδόχους, καθώς χρησιμοποιείται για μεγάλα όργανα στα οποία υπάρχουν αεροδόχοι μεγάλων διαστάσεων, οι οποίες είναι διαιρούμενες, ανεξάρτητα αν είναι κλειστού ή ανοικτού τύπου. Οι αεροδόχοι αυτοί έχουν επίσης ένα διαχωριστικό μεταξύ τους, το οποίο είναι χρήσιμο ώστε να μπορούν να κουρδίζονται οι αυλοί ευκολότερα. Έτσι, οι αυλοί CC τοποθετούνται στο άκρο της αριστερής αεροδόχου και οι αυλοί CC# τοποθετούνται στο άκρο της αριστερής αεροδόχου. Στο κενό διάστημα που σχηματίζεται τοποθετούνται οι υπόλοιποι αυλοί σε σειρά τονικού ύψους.

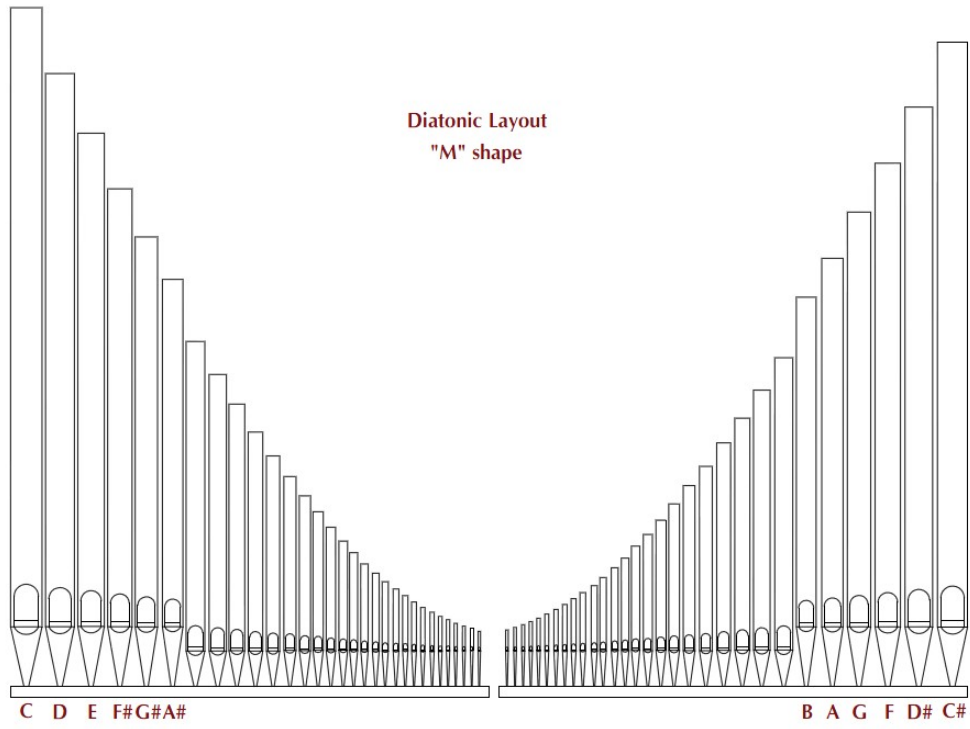
Παρακάτω φαίνονται διάφορες παλαιότερες αλλά και σύγχρονες διατάξεις αυλών στην αεροδόχο (Εικόνες 2.17, 2.18, 2.19, 2.20, 2.21, 2.22) [34]:



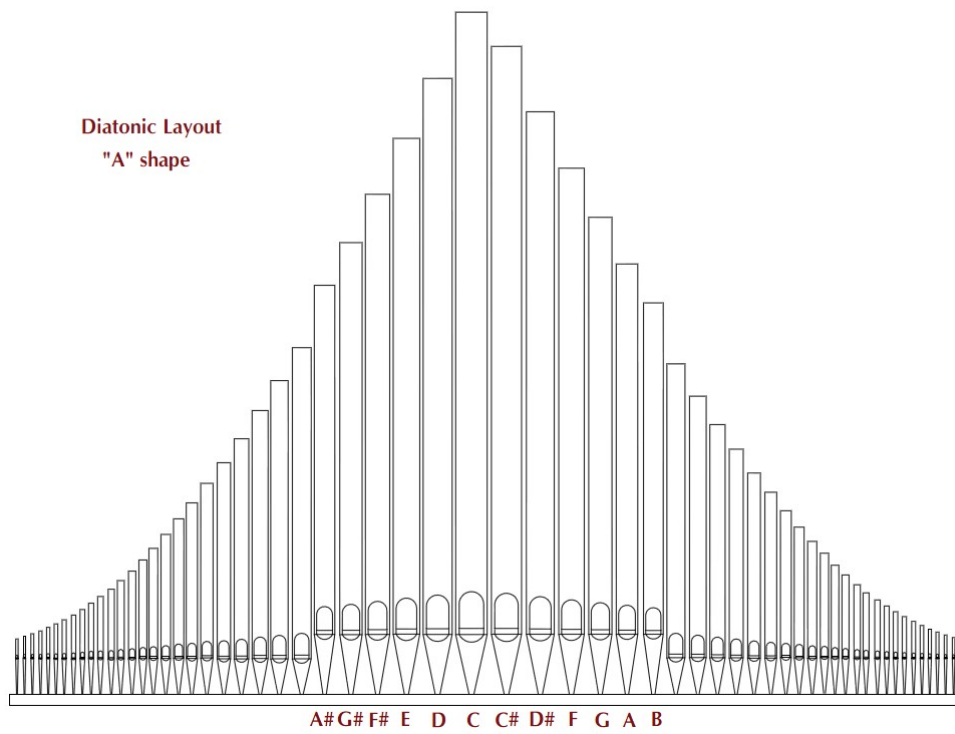
Εικόνα 2.17: Αυλοί τοποθετημένοι με αύξουσα σειρά συχνοτήτων (χρωματική διάταξη)



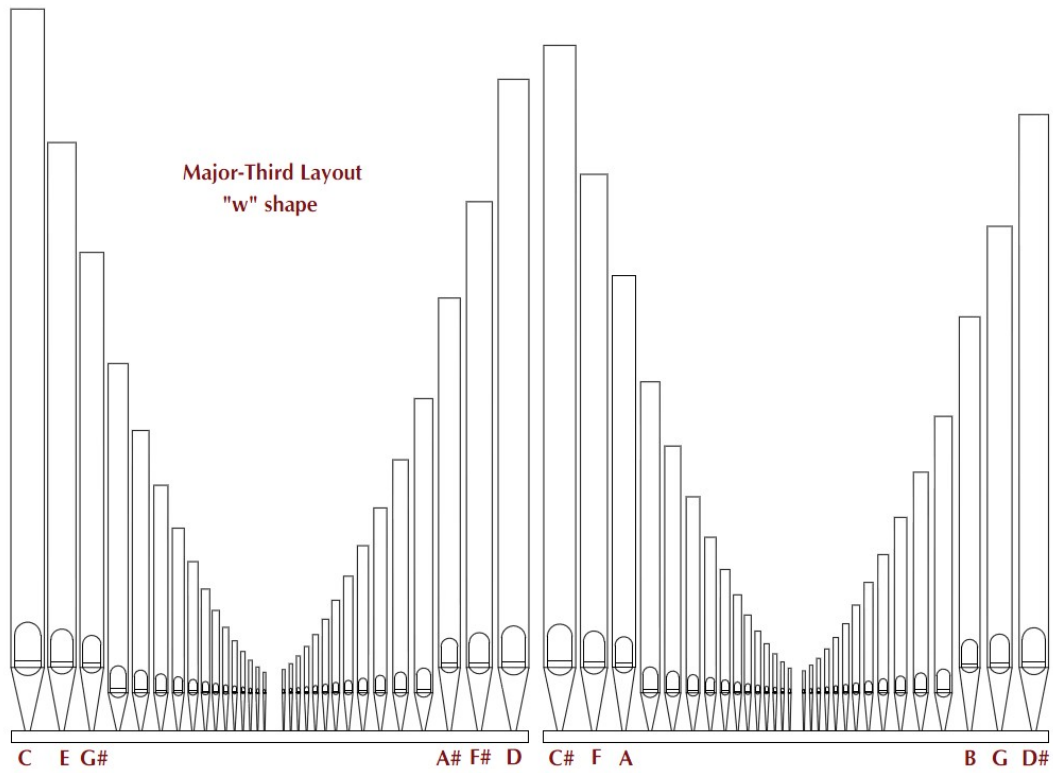
Εικόνα 2.18: Αυλοί τοποθετημένοι σε σχήμα N



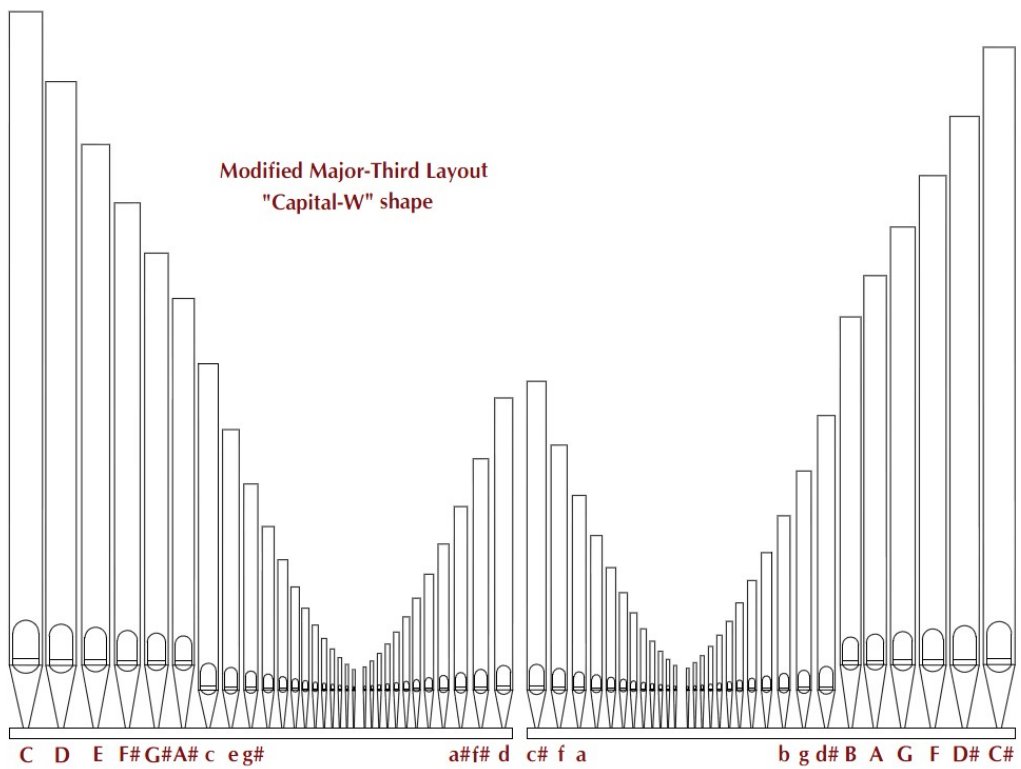
Εικόνα 2.19: Αυλοί τοποθετημένοι σε σχήμα M



Εικόνα 2.20: Αυλοί τοποθετημένοι σε σχήμα A



Εικόνα 2.21: Αυλοί τοποθετημένοι σε σχήμα w μικρό



Εικόνα 2.22: Αυλοί τοποθετημένοι σε σχήμα W κεφαλαίο

2.3 ΑΥΛΟΙ (Pipes)

2.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι αυλοί είναι το τμήμα του οργάνου, οι οποίοι αποτελούν το λόγο ύπαρξης όλων των τμημάτων του οργάνου. Είναι δηλαδή το τμήμα του οργάνου το οποίο θέλουμε με κάποιον τρόπο να ενεργοποιήσουμε (να ηχήσει) και αυτό γίνεται με τη συνεργασία όλων των άλλων μηχανισμών που απαρτίζουν το όργανο. Έτσι, υπό αυτήν την έννοια, οι υπόλοιποι μηχανισμοί θα μπορούσαν να θεωρηθούν δευτερεύουσας σημασίας, καθώς είναι απλά απαραίτητοι για την ενεργοποίηση και την σωστή λειτουργία των αυλών.

Το εκκλησιαστικό όργανο χρησιμοποιεί 2 κύριες κατηγορίες αυλών για να παράγει ήχους. Οι 2 τύποι αυλών είναι οι χειλεόφωνοι αυλοί (flue pipes) και οι γλωτιδόφωνοι αυλοί (reed pipes). Η κάθε κατηγορία χρησιμοποιεί διαφορετική τεχνική (μηχανισμό) για να παράγει ήχο και ο κάθε αυλός μπορεί αποκλειστικά να παράγει μόνο μια μουσική συχνότητα (νότα ή μουσικό ήχο), η οποία συχνότητα, καθορίζεται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του [11], ενώ η ρύθμιση του αυλού, ώστε να παράγει τη βασική συχνότητα (fundamental pitch ή fundamental frequency) [13, 14] για την οποία είναι σχεδιασμένος ο αυλός, ανατίθεται σε εξειδικευμένο άτομο που ονομάζεται χορδιστής (Voicer).

Για την κάθε κατηγορία έχουν κατασκευαστεί πολλοί τύποι αυλών, οι οποίοι με την αλλαγή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών τους ή με την προσθήκη μικρών τμημάτων πάνω τους, μπορούν και παράγουν διαφορετικά ηχοχρώματα (timbre) [11]. Έτσι, το εκκλησιαστικό όργανο μπορεί να προσομοιώσει το ηχοχρώμα άλλων μουσικών οργάνων ή να παράγει ηχοχρώματα μοναδικά και έτσι ο μουσικός να έχει μεγάλη ευχέρεια επιλογής ηχοχρωμάτων για την εκτέλεση των μουσικών έργων, στα οποία ο εκάστοτε μουσικοσυνθέτης έχει επιλέξει τα ηχοχρώματα (τους τύπους αυλών), τα οποία είναι καταλληλότερα για την μουσική του σύνθεση.

Ο μουσικός, ο οποίος χειρίζεται το όργανο, έχει την δυνατότητα μέσω μικρών μοχλών (draw knobs ή stop knobs), οι οποίοι βρίσκονται στην κονσόλα του οργάνου, να επιλέγει μια ή περισσότερες συστοιχίες αυλών (ranks) να ηχούν ταυτόχρονα και έτσι να παράγει συνδυασμό ηχοχρωμάτων [11].

Υπάρχουν αυλοί πολύ μικρού μεγέθους, οι οποίοι έχουν μήκος μερικά εκατοστά του μέτρου και επίσης αυλοί οι οποίοι έχουν αρκετά μέτρα μήκος. Το κατασκευαστικό μήκος, ορίζει την συχνότητα την οποία θα παράγει ο αυλός, όσον αφορά τους χειλεόφωνους αυλούς, καθώς ταυτόχρονα μεγαλώνει το τμήμα της ταλάντωσης του αέρα στο σώμα του αυλού. Έτσι, όσο μεγαλώνει το μήκος του αυλού, τόσο χαμηλότερη είναι και η συχνότητα την οποία παράγει [11].

Το μήκος των αυλών μετράται σε πόδια (feet) του Αγγλοσαξωνικού συστήματος μέτρησης και δίπλα στο όνομα ενός αυλού γράφεται αριθμός ο οποίος αντιπροσωπεύει το μήκος του αντηχείου του αυλού του ίδιου ηχοχρώματος, ο οποίος παράγει την συχνότητα της πρώτης νότας Ντο (Do) σε ένα πληκτρολόγιο. Για παράδειγμα ένα τέτοιο όνομα έχει η συστοιχία αυλών *Open Diapason 8'* [11].

Οι αυλοί τοποθετούνται συνήθως εσωτερικά της κατασκευής του οργάνου και στην *πρόσοψη* (facade) του οργάνου. Κάποιες φορές αυλοί της *πρόσοψης* του οργάνου δεν λειτουργούν και τοποθετούνται εκεί για λόγους καλαισθησίας και για να μην δημιουργηθούν

σχεδιαστικές ατέλειες [53].

2.3.2 ΧΕΙΛΕΟΦΩΝΟΙ ΑΥΛΟΙ (Flue pipes)

Οι *χειλέοφωνοι αυλοί* (flue pipes ή labial pipes) είναι η μια κύρια κατηγορία αυλών που συναντάμε στα εκκλησιαστικά όργανα. Όπως συμβαίνει και με όλους τους αυλούς του οργάνου, έτσι και η συγκεκριμένη κατηγορία αυλών, τοποθετείται στο επάνω μέρος της αεροδόχου και σε κάθετη θέση με το επίπεδο αυτό της *αεροδόχου* (windchest) ή βρίσκεται σε απόσταση από αυτήν σε συνδεδεμένη με σωλήνα, λαμβάνοντας και σε αυτήν την περίπτωση την παροχή *αέρα* (wind) από την αεροδόχο [13]. Ακόμη και οι κύριες κατηγορίες αυλών χωρίζονται σε επιμέρους κατηγορίες αυλών σύμφωνα με το ηχόχρωμα που παράγουν, έτσι οι *χειλέοφωνοι αυλοί* τοποθετούνται στην αεροδόχο σε σειρές οι οποίες ονομάζονται συστοιχίες ή *ρέγκιστρα* [9] με μόνη διαφορά το τονικό τους ύψος (συχνότητα την οποία παράγουν).

Οι *χειλέοφωνοι αυλοί* μπορούν να κατασκευαστούν από διάφορα υλικά όπως: ξύλο, μέταλλο, πλαστικό, χαρτί. Τα υλικά όμως τα οποία κυριαρχούσαν και εξακολουθούν να κυριαρχούν στην κατασκευή τους είναι το ξύλο και το μέταλλο. Οι κατασκευαστές μουσικών οργάνων υποστηρίζουν ότι η επιλογή του υλικού καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το ηχόχρωμα που θα παράγει ο αυλός, ενώ επιστημονικές δοκιμές που έχουν πραγματοποιηθεί, δείχνουν ότι αυλοί του ίδιου τύπου (ιδίων γεωμετρικών χαρακτηριστικών) αλλά με διαφορετικό μέταλλο, δεν παρουσιάζουν ή παρουσιάζουν πολύ μικρή διαφορά στο ηχόχρωμα που παράγεται από τους αυλούς αυτούς. Το υλικό σε πολλές περιπτώσεις επιλέγεται και για λόγους πρακτικούς ή οικονομικούς. Οι κατασκευαστές επιλέγουν κατάλληλα υλικά (ξύλο ή μέταλλο κυρίως), ώστε οι συστοιχίες των αυλών να μην καταπονούν σε μεγάλο βαθμό το όργανο. Οι πελάτες από την άλλη μεριά, προσπαθούν να μειώσουν το κόστος αγοράς του οργάνου. Έτσι, κάνουν αρκετούς συμβιβασμούς όσον αφορά το μέγεθος του οργάνου και το υλικό κατασκευής των αυλών.

Υπάρχουν οι αυλοί οι οποίοι δίνουν ηχόχρωμα το οποίο είναι χαρακτηριστικό για το εκκλησιαστικό όργανο και δεν μπορεί να παρομοιαστεί με το ηχόχρωμα κάποιου άλλου μουσικού οργάνου. Οι αυλοί αυτοί έχουν την ονομασία *Diapasons* ή *Principals* και είναι η κατηγορία αυλών που συναντάται σχεδόν πάντα σε ένα όργανο και ιδιαίτερα στα μεγάλα όργανα. Επίσης, υπάρχουν οι αυλοί που προσομοιώνουν σε ικανοποιητικό βαθμό το ηχόχρωμα πνευστών οργάνων (όπως φλάουτο ή τρομπέτα) και εγχόρδων που ανήκουν στην οικογένεια του βιολιού.

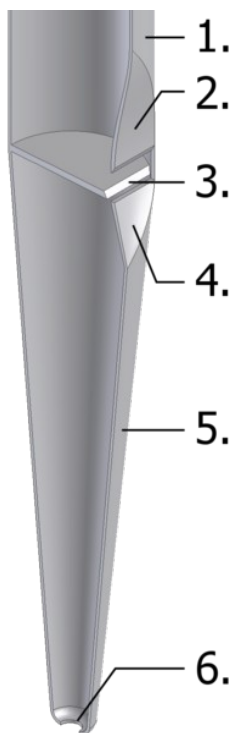
Αναλυτικά, οι κατηγορίες των *χειλέοφωνων αυλών* είναι οι εξής [13]:

- *Diapasons* ή *Principals* (είναι οι κύριοι αυλοί και αποδίδουν τον χαρακτηριστικό ήχο του οργάνου)
- *Flutes* (αποδίδουν ήχο πνευστών οργάνων)
- *Strings* (αποδίδουν ήχο έγχορδων οργάνων της οικογένειας του βιολιού)

Επίσης, υπάρχουν και οι αυλοί οι οποίοι προσπαθούν να εξομοιώσουν το ηχόχρωμα πνευστών οργάνων, τα οποία εξομοιώνονται κυρίως από τους γλωττιδόφωνους αυλούς. Μερικά ονόματα τέτοιων αυλών είναι: Muted horn, Echo oboe Saxophone, Clarinet flute.

Οι χειερόφωνοι αυλοί δεν περιλαμβάνουν κινούμενα μέρη για την λειτουργία τους και παράγουν ήχο με την ταλάντωση της στήλης αέρα που βρίσκεται στο σώμα του αυλού [13].

Στην Εικόνα 2.23 φαίνονται τα μέρη από τα οποία αποτελούνται [13]:



Εικόνα 2.23: Μεταλλικός αυλός κυλινδρικής διατομής σε τομή

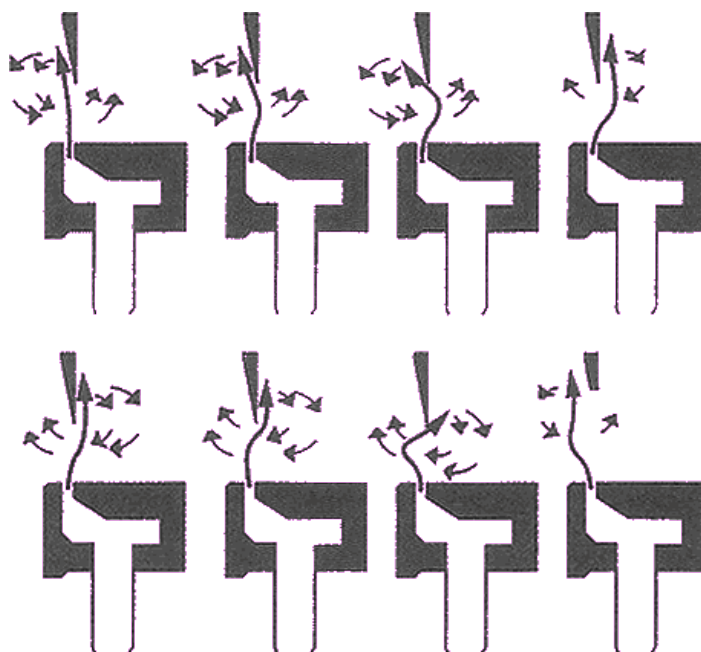
Τα σημεία του αυλού όπως παρουσιάζονται στην εικόνα είναι τα εξής:

- Οπή του ποδιού (για την εισαγωγή του αέρα) (*Toe hole*) - σημείο 6
- Πόδι του αυλού (*Foot*) - σημείο 5
- Κάτω χείλος (*Lower lip*) - σημείο 4
- Γλώσσα (*Languid*) - σημείο 3
- Άνω χείλος (*Upper lip*) - σημείο 2
- Σώμα του αυλού ή αντηχείο (*Pipe body* ή *Resonator*) - σημείο 1

Επίσης, το διάστημα (σχισμή) μεταξύ του κάτω χείλους και της γλώσσας, ονομάζεται *flue* και παίζει σημαντικό ρόλο στην λειτουργία του αυλού.

2.3.2.1 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Οι αυλοί για να παράγουν ήχο θα πρέπει να λάβουν αέρα υπό πίεση. Το μέρος από το οποίο εισάγεται ο αέρας στον αυλό είναι το *πόδι του αυλού* (*pipe foot*) [13, 30]. Στην συνέχεια ο αέρας κατευθύνεται προς την πολύ λεπτή σχισμή (*flue*) που σχηματίζεται μεταξύ της *γλώσσας* (*languid*) και του *κάτω χείλους του αυλού* (*lower lip*), εξέρχεται διανύοντας το *στόμιο του αυλού* και προσκρούει σε τμήμα του αυλού που σχηματίζει ακμή και το οποίο βρίσκεται στο πάνω μέρος του στόματος. Η ακμή αυτή ονομάζεται *labium*. Σε αυτό το σημείο της κίνησης του αέρα, αυτή η μάζα του αέρα δέχεται ένα είδος τμήσης που προκαλεί στροβιλισμό του αέρα και έτσι ένα μέρος της κατευθύνεται στο εσωτερικό του αυλού και ένα μέρος στο εξωτερικό του. Το μέρος που κατευθύνθηκε στο εσωτερικό του, ενεργοποιεί τις δονήσεις και τον ήχο. Ο ήχος με την σειρά του εκτρέπεται τον πίδακα που δημιουργεί η σχισμή της γλώσσας του αυλού. Η δόνηση που έχει δημιουργηθεί στο εσωτερικό του αυλού επίσης βοηθιείται από την ανάδραση της ακμής του αυλού [38]. Στο Σχήμα 2.24 [39] φαίνονται οι φάσεις κατά την κίνηση του αέρα που λαμβάνει ο αυλός από το πόδι.



Σχήμα 2.24: Ο μηχανισμός κίνησης του αέρα μέσα σε έναν χειλεόφωνο αυλό

Η συχνότητα την οποία παράγει αυτός ο τύπος αυλού εξαρτάται από το μήκος του σώματος του αυλού ή αλλιώς αντηχείου. Η αρχή του μήκους βρίσκεται στην γλώσσα του αυλού μέχρι το σημείο όπου τελειώνει ολοκληρώνεται το σώμα του αυλού. Το μήκος του ποδιού του αυλού (toe foot) δεν προσμετρείται στο μήκος, διότι δεν επηρεάζει την συχνότητα [13].

Το ηχόχρωμα που παράγεται από τον αυλό εξαρτάται από άλλους παράγοντες όπως είναι το υλικό και η μορφή του στομίου του αυλού. Αυλοί εμφανίζονται επίσης και με τμήματα τα οποία τοποθετούνται μπροστά από το στόμα του αυλού, τα οποία χρησιμεύουν για την ρύθμιση του τόνου που παράγει ο αυλός και είναι γνωστά σαν αυτιά (ears). Στα επόμενα Σχήματα φαίνονται τα μέρη που περιγράφηκαν.

Στις Εικόνες 2.25, 2.26, 2.27 φαίνονται διάφοροι χειλεόφωνοι αυλοί [35 σελ 1], [8 σελ 4]:

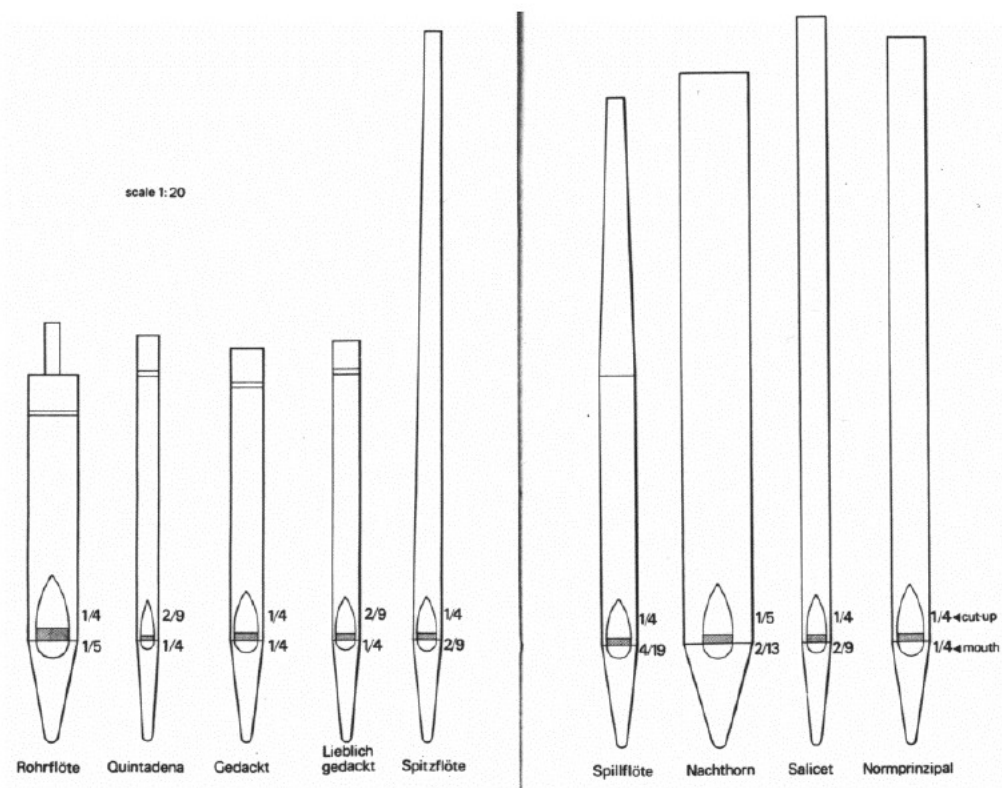


Εικόνα 2.25: Μεταλλικοί και ξύλινοι χειλεόφωνοι αυλοί



Εικόνα 2.26: Μεταλλικοί χειλόφωνοι αυλοί διαφόρων μορφών

Μερικοί από τους πιο συνηθισμένους τύπους χειλέοφωνων αυλών φαίνονται παρακάτω:



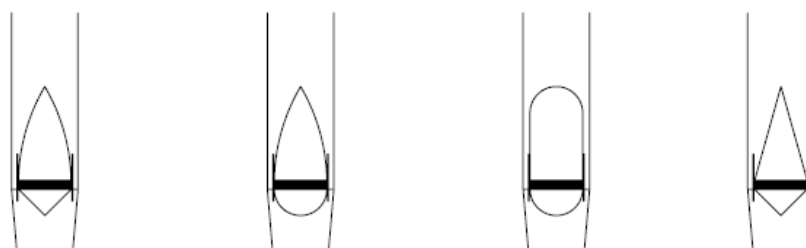
Εικόνα 2.27: Μερικοί από τους σημαντικότερους χειλέοφωνους αυλούς

Παρατίθεται ο Πίνακας 2.1 [41] με τις ονομασίες τους σε γλώσσες χωρών οι οποίες ασχολήθηκαν με την ανάπτυξη του εκκλησιαστικού οργάνου. Αντίστοιχες επίσημες ονομασίες στην Ελληνική γλώσσα για την συντριπτική πλειοψηφία των αυλών δεν υπάρχει, παρά μόνο για ελάχιστες περιπτώσεις.

Πίνακας 2.1: Ονομασίες για τους γνωστότερους χειλεόφωνους αυλούς

α/α	Γερμανικά	Αγγλικά	Γαλλικά	Ιταλικά - Λατινικά
1	<i>Rohrflöte</i>	<i>Chimney Flute</i>	<i>Flûte à Cheminée</i>	<i>Flauto a Camino</i>
2	<i>Quintadena</i>	<i>Quintaden</i>	<i>Quintadiner</i>	-
3	<i>Gedackt</i>	-	-	<i>Pileata</i>
4	<i>Lieblich Gedackt</i>	-	-	-
5	<i>Spitzflöte</i>	<i>Spire Flute</i>	<i>Flûte Conique</i>	<i>Conus</i>
6	<i>Spillflöte</i>	-	-	-
7	<i>Nachthorn</i>	<i>Night Horn</i>	<i>Cor de Nuit</i>	<i>Pastorita</i>
8	<i>Salicet</i>			
9	<i>Normprincipal</i>	-	-	-

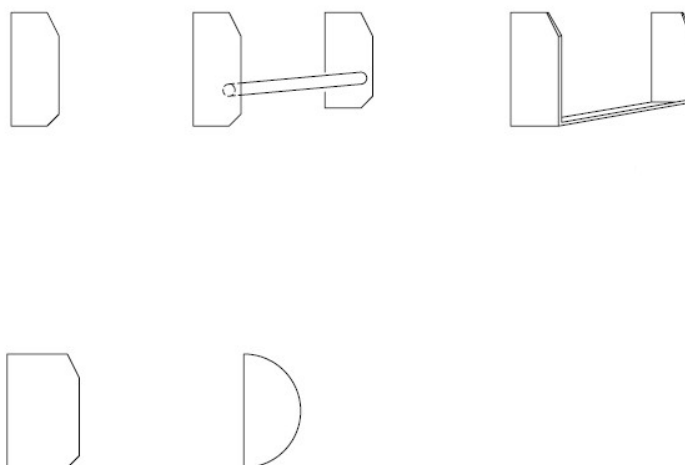
Στην Εικόνα 2.28 φαίνονται διάφορες μορφές στομίων κυλινδρικών μεταλλικών αυλών [35, σελ 4]:



Γοθικού τύπου Αγγλικού τύπου Ρωμαϊκού τύπου Τριγωνικού τύπου

Εικόνα 2.28: Μορφές στομίων μεταλλικών χειλεόφωνων αυλών

Στην Εικόνα 2.29 βλέπουμε διάφορους τύπους *αυτιών* (ears) αυλών [35, σελ 4]:



Εικόνα 2.29: Μορφές αυτιών για τοποθέτηση μπροστά από το στόμιο των χειλεόφωνων αυλών

Τα *αυτιά* στους αυλούς χρησιμοποιούνται ώστε να διευκολύνουν την εργασία της ρύθμισης του τόνου (voicing) του αυλού κατά την κατασκευή του, αλλά και για λόγους καλαισθησίας πολλές φορές.

Οι αυλοί μπορούν να είναι επίσης *κλειστοί* (stopped pipes) ή *ανοικτοί* (open pipes). Αυτό σημαίνει ότι το σώμα του αυλού είναι κλεισμένο με κάποιο καπάκι ή με κάποιο αντικείμενο το οποίο καλύπτει την οπή του σώματος του αυλού, ενώ οι ανοικτοί αυλοί χαρακτηρίζονται από την μη χρήση τέτοιων αντικειμένων. Οι ξύλινοι αυλοί συνηθίζεται να είναι κλειστοί [30]. Ο κύριος λόγος ύπαρξης αυτών των δύο διαφορετικών καταστάσεων στους αυλούς, είναι το γεγονός ότι ένας κλειστός αυλός, ο οποίος έχει το μισό μήκος σε σχέση με κάποιον ανοικτό αυλό, ηχεί σχεδόν ακριβώς στην μισή τιμή συχνότητας σε σχέση με τον ανοικτό αυλό.

Κλειστοί αυλοί επιλέγονται κάποιες φορές ώστε να μπορούν να δημιουργηθούν αυλοί με μικρότερη απαίτηση υλικού, μικρότερες διαστάσεις για εξοικονόμηση χώρου, αλλά και για να επιλέξουμε κάποια συχνότητα με διαφορετικό ηχόχρωμα, καθώς μεταξύ των δύο τύπων αυλών υπάρχει και μια λεπτή διαφορά στο ηχόχρωμα, αφού εκτός από την παραγωγή της κύριας συχνότητας (τόνου) από τον αυλό, παράγεται διαφορετικός αριθμός αρμονικών συχνοτήτων μεταξύ των κλειστών και ανοικτών αυλών [30].

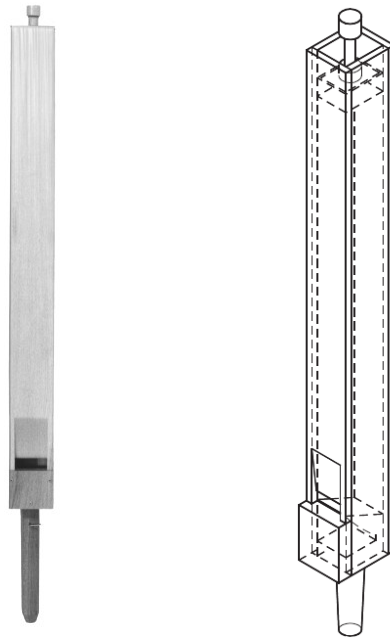
2.3.2.2 ΚΟΥΡΔΙΣΜΑ ΑΥΛΟΥ (Pipe tuning)

Κούρδισμα σημαίνει η ρύθμιση ενός αυλού ώστε να παράγει τη συχνότητα για την οποία κατασκευάστηκε. Για τη ρύθμιση της συχνότητας που παράγουν οι κλειστοί αυλοί, τοποθετείται συνήθως ένα μεταλλικό καπάκι (cylindrical tuner) [35, σελ 5] στην κορυφή του αυλού, με το οποίο ρυθμίζεται το μήκος του αυλού, όσον αφορά τους μεταλλικούς αυλούς, ενώ στους κλειστούς ξύλινους αυλούς τοποθετείται ένα κομμάτι ξύλου ίδιας διατομής με το εσωτερικό του αυλού στον οποίο θα χρησιμοποιηθεί και το οποίο συγκρατείται με μια ξύλινη μακρόστενη λαβή. Το ξύλινο αυτό κομμάτι είναι καλυμμένο συνήθως με τσόχα για να επιτευχθεί καλή εφαρμογή του στα εσωτερικά τοιχώματα του αυλού. Αυτό το κομμάτι ξύλου λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο που λειτουργεί και το καπάκι στους μεταλλικούς αυλούς. Δηλαδή, συγκρατώντας το από την ξύλινη λαβή του, μπορούμε να ρυθμίσουμε τη θέση του μέσα στον αυλό και συνεπώς να ρυθμίσουμε το μήκος της στήλης αέρα που επιθυμούμε να έχει ο αυλός. Σε κάποιες περιπτώσεις συναντούμε μεταλλικούς αυλούς στους οποίους η μέθοδος για τη ρύθμιση του μήκους του αυλού είναι όμοια με αυτήν που χρησιμοποιείται στους κλειστούς ξύλινους αυλούς.

Στους ανοικτούς μεταλλικούς αυλούς δεν τοποθετούνται αντικείμενα για τη ρύθμιση του μήκους τους και η συχνότητα τους ρυθμίζεται με την δημιουργία κάποιου μικρού παράλληλου με το μήκος του αυλού κοψίματος του μετάλλου (scroll tuner) [35, σελ 5], το οποίο γίνεται στο πλάι του επάνω άκρου του αυλού, περιστρέφοντας το υλικό του κοψίματος σε σπειροειδή μορφή. Παράδειγμα υπάρχει στην Εικόνα 2.34.

Στους ανοικτούς ξύλινους αυλούς αντίστοιχα, έχει αφαιρεθεί τμήμα του επάνω μέρους τους και υπάρχει ένα εξωτερικό συρόμενο κομμάτι (tuning slide) [43, σελ 19], [44] το οποίο καλύπτει το κενό αυτό. Το εξωτερικό αυτό κομμάτι το μετακινούμε σε κατάλληλη θέση για να επιτύχουμε μείωση του λειτουργικού μήκους του αυλού. Μια άλλη μέθοδος είναι να τοποθετήσουμε ένα μεταλλικό καπάκι στο κενό που σχηματίζει ο αυλός στο πάνω άκρο του, το οποίο ανοίγουμε όσο χρειάζεται.

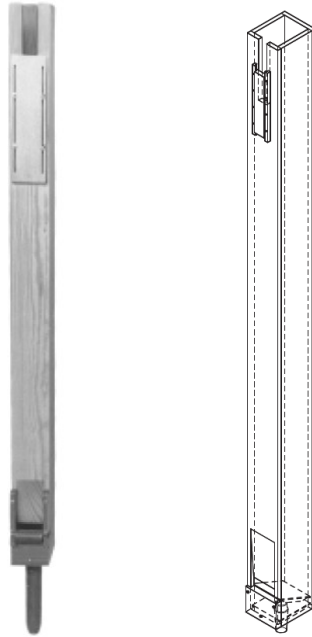
Εκτός από τις προαναφερθέντες τεχνικές, υπάρχουν και άλλες παρόμοιες. Οι μέθοδοι που περιγράφηκαν φαίνονται στις Εικόνες 2.30, 2.31, 2.32, 2.33, 2.34.



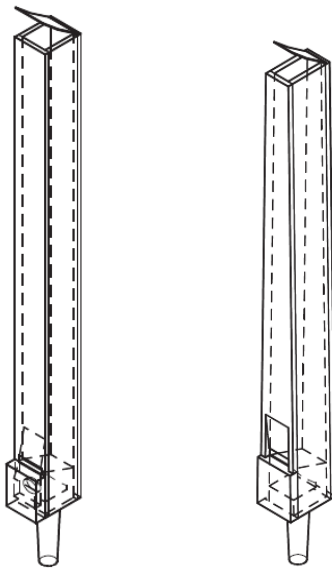
Εικόνα 2.30: Κλειστός αυλός με τοποθέτηση ξύλινου αντικειμένου με λαβή [43, σελ 18, 23]



Εικόνα 2.31: Κλειστός μεταλλικός αυλός με καπάκι (cylindrical tuner) [35 σελ 1, 5]



Εικόνα 2.32: Ανοικτός ξύλινος αυλός με τοποθέτηση εξωτερικού συρόμενου κομματιού (tuning slide) [43 σελ 18, 19]



Εικόνα 2.33: Ανοικτοί ξύλινοι αυλοί τετραγωνικής και ορθογωνικής διατομής με τοποθέτηση μεταλλικού ανοίγματος στην κορυφή τους [43]



Εικόνα 2.34: Ανοικτοί μεταλλικοί αυλοί, με κόψιμο στο πλάι του αυλού (*scroll tuner*). Οι συγκεκριμένοι αυλοί ανήκουν στον τύπο *Orchestral oboe* [42]

2.3.2.3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Τα υλικά που κυρίως χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των αυλών από τους κατασκευαστές είναι συνήθως ξύλο και κράματα μετάλλων. Γενικά, όπως και στο παρελθόν, έτσι και σήμερα, οι κατασκευαστές οργάνων επιλέγουν ξύλα και μέταλλα ή κράματα μετάλλων της δικής τους προτίμησης ή της προτίμησης του πελάτη μέσα από μια μεγάλη γκάμα.

Όσον αφορά το ξύλο, μερικά παραδείγματα ξύλων που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι [35 σελ 10], [36], [37]:

- Βελανιδιά
- Σφένδαμνος
- Κερασιά
- Μαόνι
- Έλατο
- Λεύκα

Το σύνολο των τμημάτων των αυλών από ξύλο συνήθως κατασκευάζονται από τμήματα με διαφορετικά ξύλα.

Η διατομή τους θα είναι συνήθως τετραγωνική, ελαφρώς ορθογωνική ή πιο σπάνια τριγωνική [13], ενώ οι αυλοί από μέταλλο κατασκευάζονται συνήθως με κυλινδρική μορφή [13], [30]. Επίσης τα ξύλα θα πρέπει να είναι πολύ καλής ποιότητας και να μην παρουσιάζουν ρόζους [6].

Οι μεταλλικοί αυλοί οι οποίοι κατασκευάζονται από διάφορα μέταλλα, συνήθως όμως από κράμα *κασσίτερου* (tin) και *μόλυβδου* (lead) έχουν την εξής αναλογία [30]:

- 30 %, 50%, 70% ή πιο σπάνια 90% κασσίτερο
- 50% - 50% κασσίτερο - μόλυβδο

Οι αυλοί στους οποίους υπάρχει μεγαλύτερη αναλογία κασσίτερου, παράγουν πιο εντυπωσιακό ήχο και όταν η ποσότητα του κασσίτερου στο κράμα φτάνει το 90%, τότε στην επιφάνεια των αυλών δημιουργείται ένα λαμπερό χρώμα και συνήθως τοποθετούνται στην *πρόσοψη του οργάνου* (facade) [30] για λόγους εντυπωσιασμού και καλαισθησίας καθώς το τμήμα αυτό είναι άμεσα ορατό από το κοινό. Η αναλογία 50% – 50% κασσίτερου και μόλυβδου δημιουργεί στο κράμα μια ιδιαίτερη εμφάνιση όπου εμφανίζονται κυκλικά στίγματα [30]. Στην Εικόνα 2.35 βρίσκονται τοποθετημένοι στην *πρόσοψη του οργάνου* (facade), με μεγαλύτερη αναλογία κασσίτερου, η οποία τους προσδίδει λάμψη [40], ενώ στην Εικόνα 2.36 φαίνονται αυλοί με αναλογία 50% - 50% κασσίτερου – μόλυβδου με εμφανή τα κυκλικά στίγματα [48].



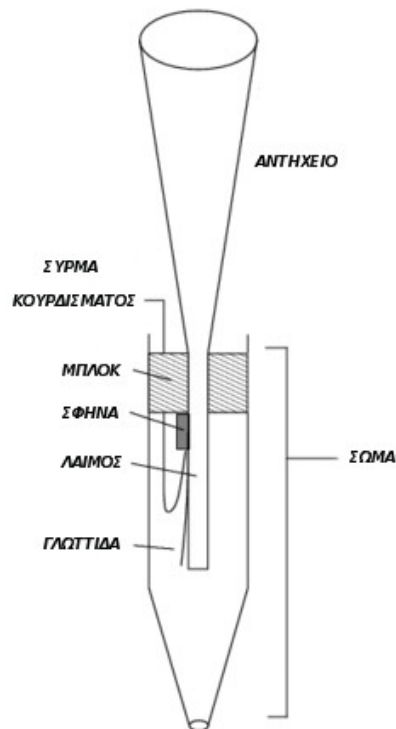
Εικόνα 2.35: Μεταλλικοί χειλεόφωνοι αυλοί στην πρόσοψη του οργάνου με μεγαλύτερη αναλογία κασσίτερου



Εικόνα 2.36: Αυλοί με εμφάνιση κυκλικών σιγμάτων λόγω της ίδιας αναλογίας κασσίτερου – μολύβδου

2.3.3 ΓΛΩΤΤΙΔΟΦΩΝΟΙ ΑΥΛΟΙ (Reed pipes)

Οι γλωττιδόφωνοι αυλοί (reed pipes) λειτουργούν με πολύ διαφορετικό τρόπο σε σχέση με τους χειλέοφωνους αυλούς (flute pipes). Αποτελούνται από κινούμενα μέρη, όμως όπως και στην περίπτωση των χειλέοφωνων αυλών τοποθετούνται κάθετα επάνω σε αεροδόχο του οργάνου. Αποτελούν πολύ συνηθισμένο τύπο αυλών στα εκκλησιαστικά όργανα και δίνουν το ηχόχρωμα πνευστών οργάνων, όπως το κλαρινέτο, η τρομπέτα κ.α. [18]. Στην Εικόνα 2.37, φαίνεται σχήμα της γενικής μορφής ενός γλωττιδόφωνου αυλού και των τμημάτων από τα οποία αποτελείται [18]:

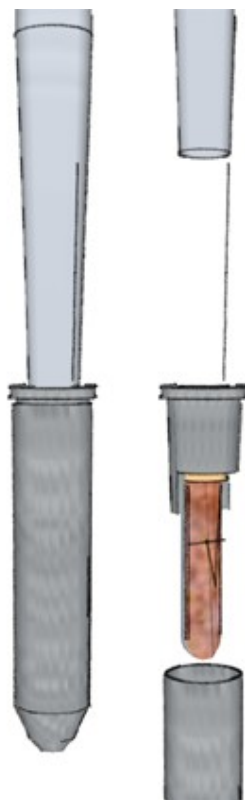


Εικόνα 2.37: Γλωττιδόφωνος αυλός σε τομή

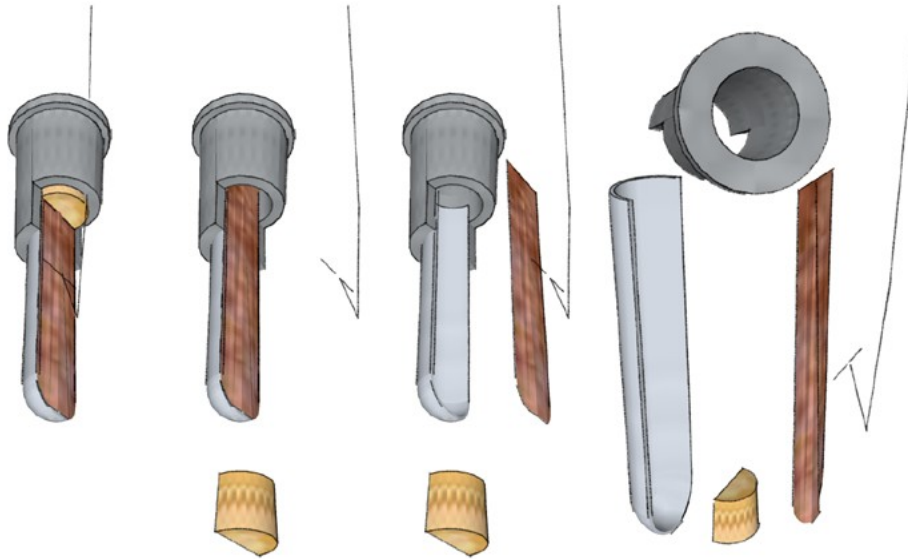
Ο αυλός, αναλυτικότερα, αποτελείται από τα εξής:

- Σώμα του αυλού (Boot)
- Γλωττίδα (Tongue)
- Λαιμός (Shallow)
- Σφήνα (Wedge)
- Μπλόκ (Block)
- Σύρμα κουρδίσματος (Tuning wire)
- Αντηχείο (Resonator)

Στην Εικόνα 2.38 και 2.39 φαίνονται τα μέρη ενός γλωπτιδόφωνου αυλού [32].



Εικόνα 2.38: Μερική αποσυναρμολόγηση γλωπτιδόφωνου αυλού



Εικόνα 2.39: Αποσυναρμολόγηση του κάτω μέρους ενός γλωττιδόφωνου αυλού

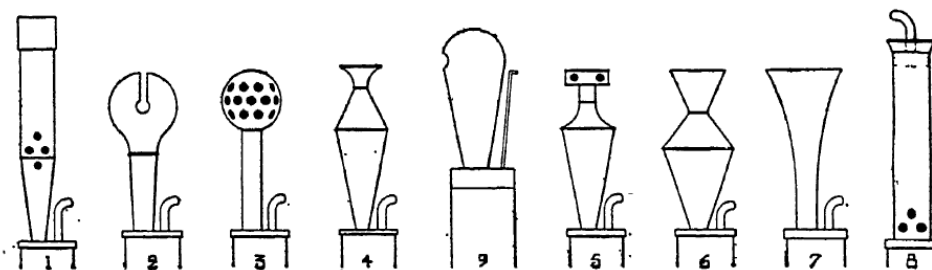
2.3.3.1 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Ο ήχος δημιουργείται καθώς ο αέρας, ο οποίος βρίσκεται υπό πίεση εισχωρεί από το κάτω μέρος του αυλού στο σώμα του αυλού (boot), φτάνει στην *γλωττίδα* (tongue) και την κάνει να πάλλεται πάνω στον *λαιμό* του αυλού (shallot). Έπειτα, ο αέρας κινείται προς το *αντηχείο* (resonator), το οποίο κάνει τον ήχο πιο συγκεντρωμένο [18]. Ο τρόπος αυτός λειτουργίας είναι όμοιος με τον τρόπο που παράγουν ήχο πνευστά γλωττιδόφωνα όργανα, όπως είναι το κλαρινέτο ή το σαξόφωνο [11].

Μια άλλη κατηγορία γλωττιδόφωνων αυλών, είναι οι αυλοί στους οποίους η γλωττίδα κινείται ελεύθερα καθώς πάλλεται και δεν προσκρούει στον *λαιμό* του αυλού, όπως συμβαίνει με την προηγούμενη κατηγορία. Αυτό κάνει τους αυλούς αυτούς να παράγουν διαφορετικό ηχόχρωμα έναντι της συνηθισμένης κατηγορίας γλωττιδόφωνων αυλών [18].

Το *σύρμα κουρδίσματος* του αυλού είναι το μέσο με το οποίο το άτομο το οποίο ρυθμίζει τον αυλό (κουρδιστής του αυλού) μπορεί να ρυθμίσει την συχνότητα που θα παράγει ο αυλός.

Στην Εικόνα 2.40 βλέπουμε διάφορους τύπους γλωττιδόφωνων αυλών [3, σελ 224]:



Εικόνα 2.40: Σπάνιες και πιο κοινές μορφές αντηχείων γλωττιδόφωνων αυλών

Οι διάφορες μορφές των αντηχείων των αυλών που βλέπουμε στις Εικόνες 2.38 και 2.40 δίνουν την δυνατότητα στους αυλούς να παράγουν διαφορετικά ηχοχρώματα.

Μερικοί από τους κυριότερους γλωττιδόφωνους αυλούς παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2 [21, 41].

Πίνακας 2.2: Μερικοί από τους κυριότερους γλωττιδόφωνους αυλούς

α/α	Αγγλικά	Γερμανικά	Γαλλικά	Ιταλικά - Λατινικά	Ισπανικά	Ελληνικά
1	-	<i>Bomhard, Bommer, Pommer</i>	<i>Bombarde</i>	<i>Bombarda, Bombardone</i>	<i>Contras de Bombarda[s], Contras en Bombardas</i>	-
2	<i>Contra Bombarde</i>	-	<i>Contre Bombarde</i>	-	-	-
3	<i>Trumpet , French Trumpet</i>	<i>Trompete, Tarantantara, Trommet</i>	<i>Trompette</i>	<i>Tromba</i>	<i>Trompeta</i>	-
4	<i>Ophicleide</i>	<i>Ophicleïd</i>	<i>Ophicléide</i>	<i>Officleide</i>	-	-
5	<i>Bassoon</i>	<i>Fagott, Fagotte</i>	<i>Basson</i>	<i>Fagotto</i>	<i>Bajon, Bajoncillo, Baxoncillo</i>	-
6	<i>Hautboy</i>	<i>Hoboe</i>	<i>Hautbois</i>	<i>Oboe</i>	-	-
7	-	-	<i>Arpone</i>	-	-	-
8	-	<i>Krummhorn, Krumhorn,</i>	<i>Cromorne, Cormorne, Cromhorne, Crommehor,</i>	<i>Lituus</i>	-	-

			<i>Cornehorne</i>			
9	<i>Shawm</i>	<i>Schalmei, Schalmey, Shalomo</i>	<i>Chalumeau, Chalemie</i>	<i>Gingrina, Lituus, Piffaro, Piffero, Scialumò</i>	-	-
10	<i>Clarinet, Clarionet, Orchestral Clarinet</i>	<i>Clarinette, Klarinett[e]</i>	<i>Clarinette</i>	<i>Clarinetto</i>	-	-
11	-	<i>Sackpfeife</i>	<i>Musette</i>	-	-	-
	-	<i>Menschensti- mme</i>	<i>Voix Humaine</i>	<i>Vox Humana, Voce Umana</i>	<i>Voz Humane</i>	<i>Ανθρωπό- γλωσσα</i>
12	<i>Regal</i>	<i>Regal</i>	<i>Régale</i>	<i>Regale</i>	-	-
13	-	-	<i>Saqueboute</i>	-	-	-

Στην Εικόνα 2.41 φαίνεται αυλός με ηχόχρωμα τρομπέτας [3, σελ 265], ενώ η Εικόνα 2.42 δείχνει αυλούς τοποθετημένους στην αεροδόχο. Οι αυλοί αυτοί είναι του τύπου *Trumpet pipe* και *Bombarde* [21].



Εικόνα 2.41: Αυλός με ηχόχρωμα τρομπέτας(*trumpet pipe*)



Εικόνα 2.42: Γλωπτιδόφωνοι αυλοί τύπου *Trumpet pipe* και *Bombarde* τοποθετημένοι σε αεροδόχο

2.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΟΧΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΑΕΡΑ (Wind supply)

Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του οργάνου με αέρα, ώστε να λειτουργήσουν οι αυλοί. Παλαιότερα, πριν τη χρήση ηλεκτροκινητήρων, η τροφοδοσία του αέρα προέρχονταν από *φουσερά* (bellows) [11] τα οποία κινούσαν εργάτες [27]. Αργότερα χρησιμοποιήθηκαν *φουσητήρες* (blowers) για την τροφοδοσία του οργάνου.

Ο αέρας στα μεγάλα όργανα είναι της τάξης των 0,69 kPa [11] περίπου και η μέτρηση συνήθως γίνεται σε κάθε αεροδόχο του οργάνου.

Το σύστημα παροχής αέρα αποτελείται από [25]:

- *Φουσητήρα* (Blower)
- *Ντεπόζιτο* (Reservoir)
- *Μηχανισμό για την εξομάλυνση της πίεσης του αέρα* (Regulator)
- *Σωλήνες μεταφοράς του αέρα στην αεροδόχο* (Wind-trunks)

2.5 ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (Tracker action)

Το σύστημα μηχανικής λειτουργίας του οργάνου αποτελεί την εσωτερική συνδεσμολογία του οργάνου, η οποία αποσκοπεί κυρίως στο άνοιγμα των παλετών (pallets) κάτω από τους αυλούς με σκοπό να λειτουργήσουν (να ηχήσουν) [15]. Φωτογραφία του συστήματος βλέπουμε στην Εικόνα 2.43 [15].



Εικόνα 2.43: Η εσωτερική διάταξη ενός συστήματος μετάδοσης κίνησης μηχανικής λειτουργίας

2.5.1 ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Τα τμήματα του μηχανικού συστήματος είναι τα εξής [15]:

- *Trackers* (χρησιμοποιούνται με σκοπό την μετάδοση της κίνησης, τραβώντας)
- *Stickers* (χρησιμοποιούνται με σκοπό την μετάδοση της κίνησης, σπρώχνοντας)
- *Levers* (μοχλοί, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την μετάδοση της κίνησης μεταξύ *trackers* και *stickers*)
- *Backfalls* (ράβδοι οι χρησιμοποιούνται για την μετάδοση της κίνησης σε μικρές αποστάσεις)
- *Squares* (χρησιμοποιούνται σαν μικροί μοχλοί)
- *Rollers* (χρησιμοποιούνται για περιστροφή κατά την μετάδοση της κίνησης)
- *Roller board* (επιφάνεια, όπου τοποθετούνται τα *rollers*)
- *Stops* (συρόμενοι σωληνοειδείς διακόπτες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την ενεργοποίηση συστοιχιών αυλών)
- *Trundles* (χρησιμοποιούνται αντί των μοχλών)

3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ ΥΠΟ ΚΛΙΜΑΚΑ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με βάση τις πληροφορίες από τη μελέτη των πηγών στις οποίες γίνεται αναφορά στο κείμενο, πραγματοποιήθηκε κατασκευή μοντέλου οργάνου υπό κλίμακα, αποτελούμενο από τα βασικά στοιχεία ενός οργάνου. Το όργανο αυτό αποτελείται από τα απαραίτητα μηχανικά και υπόλοιπα τμήματα, ώστε να λειτουργεί με τον τρόπο που λειτουργεί ένα όργανο μηχανικής λειτουργίας και να είναι σε θέση να παράγει ήχους. Η επιλογή των συχνοτήτων τις οποίες παράγουν οι αυλοί έγινε με βάση το συγκεκριμένο σύστημα 12 τόνων.

3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Το μοντέλο οργάνου αποτελείται από:

- 1 Αεροδόχο (Wind-chest)
- 5 Χειλέδφωνους κλειστούς αυλούς (Stopped flue pipes)
- Πληκτρολόγιο 5 πλήκτρων (Manual keyboard)

Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζεται το όργανο με εγκατεστημένο το μηχανισμό μετάδοσης κίνησης και με τοποθετημένο μόνο τον έναν (1) από τους πέντε (5) αυλούς. Επίσης δεν είναι κλειστό με κάποιο κάλυμμα, με σκοπό να φαίνεται ο μηχανισμός του.

Στις Εικόνες 3.13 και 3.14 φαίνεται το όργανο στην τελική του μορφή με τοποθετημένους όλους τους αυλούς και με τοποθέτηση κομματιού πλεξιγκλάς στο εμπρόσθιο τμήμα της αεροδόχου (*wind-chest*) ώστε να είναι αεροστεγής. Επίσης κάτω από τα πλήκτρα του πληκτρολογίου έχει τοποθετηθεί πλαστικό στήριγμα ώστε τα πλήκτρα να μετακινούνται σε μικρή απόσταση προς τα κάτω κατά το πάτημά τους. Στο πλαστικό αυτό στήριγμα των πλήκτρων μπορούμε επίσης να προσθέσουμε τσόχα στο επάνω μέρος του, ώστε να επιτύχουμε αθόρυβη λειτουργία των πλήκτρων κατά την επαφή τους με το στήριγμα.

3.3 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Το πάνω τμήμα του αποτελεί την *αεροδόχο* (wind-chest), όπου αέρας διοχετεύεται από *φουσητήρα* (blower) ή *φουσερό* (bellows) και στη συνέχεια καταλήγει στους αυλούς, οι οποίοι βρίσκονται τοποθετημένοι στο πάνω τμήμα της αεροδόχου. Το συγκεκριμένο όργανο δεν χρησιμοποιεί κανάλια στην αεροδόχο, καθώς δεν είναι απαραίτητα, αφού υπάρχει μόνο μία (1) *συστοιχία αυλών* (rank). Στην Εικόνα 3.2 φαίνεται το *κουτί με τις παλέτες* (palet-box) του επάνω τμήματος του οργάνου.

Στο πάνω τμήμα της αεροδόχου, κάτω από το *πόδι* (foot) κάθε αυλού, υπάρχει οπή, η οποία καλύπτεται εσωτερικά με *παλέτα* (pallet). Η επιφάνεια της *παλέτας* καλύπτεται με συνδυασμό τρόχας και λάστιχου για επίτευξη στεγανότητας. Οι *παλέτες* συγκρατούνται στην θέση τους με την βοήθεια ελατηρίων στρέψεως (Εικόνα 3.4), όπου αντιστοιχεί ένα (1) ελατήριο για κάθε *παλέτα*. Επίσης, τα ελατήρια συγκρατούνται στο κάτω μέρος τους με τη βοήθεια ξύλινου οδηγού με οπές (Εικόνα 3.3). Οι *παλέτες* συγκρατούνται στην οριζόντια θέση τους με τη βοήθεια μικρών πλαστικών πύρων, οι οποίοι λειτουργούν ως οδηγοί (Εικόνα 3.3).

Οι *παλέτες* απομακρύνονται από την θέση όπου συγκρατούνται από τα ελατήρια με τη χρήση συρμάτων, τα οποία συγκρατούνται μεταξύ *παλέτας* και *οριζόντιων ράβδων* (backfalls), οι οποίες είναι τοποθετημένες κάτω από την *αεροδόχο* σε ακτινική διάταξη (fan arrangement) (Εικόνα 3.5, 3.6). Η διάταξη αυτή είναι απαραίτητη ώστε η κίνηση από τα *πλήκτρα του πληκτρολογίου* (Εικόνα 3.7) να μεταδοθεί στην θέση που βρίσκονται οι *παλέτες*, καθώς τα *πλήκτρα* καταλαμβάνουν μικρότερο πλάτος σε σχέση με τις *παλέτες* και η φορά κίνησης των *πλήκτρων* δεν θα ήταν δυνατόν να έλξει το εμπρόσθιο τμήμα των *παλετών* χωρίς τη βοήθεια των οριζόντιων ράβδων, οι οποίες αντιστρέφουν την αρχική φορά της κίνησης των *πλήκτρων*.

Τα *πλήκτρα του πληκτρολογίου* (manual keys) στηρίζονται με μεταλλική οριζόντια ράβδο, ενώ στο τέλος κάθε *πλήκτρου* υπάρχουν μικρές ράβδοι (stickers) (Εικόνα 3.8). Καθώς πιέζουμε ένα *πλήκτρο*, η κίνηση του μεταδίδεται μέσω των προαναφερθέντων μηχανισμών στο *κουτί με τις παλέτες* της αεροδόχου. Έπειτα, η αντίστοιχη *παλέτα* κατεβαίνει και ο αυλός τον οποίο αντιπροσωπεύει η συγκεκριμένη *παλέτα* λαμβάνει συμπιεσμένο αέρα και ηχεί.

3.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

3.4.1 ΜΗΚΟΣ ΣΤΗΛΗΣ ΑΕΡΑ ΑΥΛΩΝ

Η συχνότητα (νότα) την οποία παράγει ένας *χειλέοφωνος αυλός* εξαρτάται από το μήκος της στήλης αέρα η οποία σχηματίζεται εσωτερικά του αυλού και ξεκινάει από το σημείο όπου βρίσκεται η γλώσσα και τελειώνει στην επιφάνεια του αντικειμένου που έχει τοποθετηθεί για την αυξομοίωση της στήλης αέρα. Οι αυλοί οι οποίοι κατασκευάστηκαν είναι *κλειστοί αυλοί* (stopped pipes) και το μήκος της στήλης αέρα ρυθμίζεται με ένα αντικείμενο της ίδιας διατομής τοποθετημένο στο εσωτερικό του αυλού (Εικόνα 3.9, 3.10). Αυτή η μέθοδος κουρδίσματος έχει αναφερθεί στην ενότητα 2.3.2.2.

Στην Εικόνα 3.11 φαίνεται ο χειλεόφωνος αυλός σε τομή, με εγκατεστημένο πόδι (foot) για την τοποθέτησή του στην οπή της αεροδόχου [32].

Παρακάτω δίνονται οι τύποι 3.1 και 3.2 για τον υπολογισμό του μήκους της στήλης αέρα για ανοιχτό (open) και κλειστό (stopped) αυλό με συντελεστή διόρθωσης [49]:

Μήκος στήλης αέρα (Internal length):

$$\text{Για ανοιχτό αυλό (open pipe): } IL = \frac{(v / 2)}{f} - 2 \times IW \quad (3.1)$$

$$\text{Για κλειστό αυλό (stopped pipe): } IL = \frac{(v / 4)}{f} - IW \quad (3.2)$$

Όπου:

IL: Μήκος στήλης αέρα (m)

v : Ταχύτητα του ήχου (m / sec)

f : Συχνότητα (Hz)

IW: Εσωτερικό πλάτος αυλού (m)

3.4.2 ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΥΛΩΝ

Οι αυλοί σε μία *συστοιχία* (rank) συνήθως κατασκευάζονται με διαφορετικές διαμέτρους (για αυλούς κυκλικής διατομής) ή διατομές (για αυλούς τετραγωνικής, τριγωνικής ή ορθογωνικής διατομής), όσο αλλάζει η συχνότητα την οποία παράγουν. Έτσι, όσο μεγαλώνει η συχνότητα τόσο μικραίνει η διάμετρος ή διατομή του αυλού και το αντίστροφο. Οι κατασκευαστές δημιουργούν πίνακες για να κατασκευάσουν τους αυλούς τους όπου οι διαστάσεις του κάθε αυλού καθορίζονται από κάποιον αριθμό, ο οποίος δείχνει την αναλογία διαμέτρου και μήκους ενός αυλού σε σχέση με τα αντίστοιχα γεωμετρικά στοιχεία κάποιου αυλού αναφοράς, ο οποίος επιλέγεται από τη *συστοιχία των αυλών* (halving ratio) [50]. Για παράδειγμα, ένας γνωστός αριθμός για δημιουργία *συστοιχίας χειλεόφωνων αυλών* είναι ο *Normalmensur*, ο οποίος ορίζει ότι η διάμετρος του 17ου αυλού στη συστοιχία θα είναι η μισή του πρώτου αυλού και αυτό επαναλαμβάνεται κάθε 17 αυλούς στην υπόλοιπη συστοιχία.

Η χρησιμότητα ενός αριθμού αναλογίας μεταξύ των διαστάσεων των αυλών έγκειται στο ότι με αυτόν τον τρόπο παραμένει σταθερή η χροιά των αυλών σε μια συστοιχία. Όπως για παράδειγμα, να διατηρείται ο ήχος φλάουτου (flute) ή εγχόρδων (strings).

Οι αυλοί που κατασκευάστηκαν για το μοντέλο έχουν όλοι την ίδια διατομή, το μήκος ή το πλάτος της οποίας είναι αντίστοιχο της διαμέτρου ενός αυλού κυλινδρικής διατομής [51]. Επειδή το πλήθος των αυλών που κατασκευάστηκαν είναι περιορισμένο (5 αυλοί), δεν παρατηρείται κάποια διαφοροποίηση στην χροιά τους. Έτσι, η εσωτερική διατομή που κατασκευάστηκε είναι ορθογωνική, διαστάσεων $10\text{ mm} \times 15\text{ mm}$.

3.4.3 ΔΙΑΚΕΝΟ ΜΕΤΑΞΥ ΚΑΤΩ ΧΕΙΛΟΥΣ ΚΑΙ ΓΛΩΣΣΑΣ ΤΟΥ ΑΥΛΟΥ (flue ή windsheet thickness)

Το διάκενο υπολογίζεται με την χρήση του παρακάτω τύπου (Σχέση 3.3). Η Σχέση 3.3 είναι μετατροπή του τύπου του Ising [54], [55], [56]. Για σταθερότητα στην ροή του αέρα ο αριθμός του Ising (I) θα πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα στο όριο τιμών 2 μέχρι 3. Στην Εικόνα 3.12 φαίνεται το διάκενο σε έναν από τους αυλούς του μοντέλου οργάνου.

$$WST = \frac{(I^2 \times f^2 \times \rho \times MH^3)}{(2 \times P)} \quad (3.3)$$

Όπου:

- WST : windsheet thickness (διάκενο) (m)
- I : Ising's number (ο αριθμός του Ising) (αδιάστατος)
- f : frequency (συχνότητα) (Hz)
- ρ : density of air (πυκνότητα του αέρα) (kg / m^3)
- MH : mouth height (ύψος στόματος) (m)
- P : air pressure (πίεση του αέρα) (Pascal)

Σε όλους τους αυλούς που κατασκευάστηκαν, για πρακτικούς κατασκευαστικούς λόγους, ο αριθμός Ising ορίστηκε στον αριθμό 2 και το διάκενο τους ορίστηκε στα 0.4 mm .

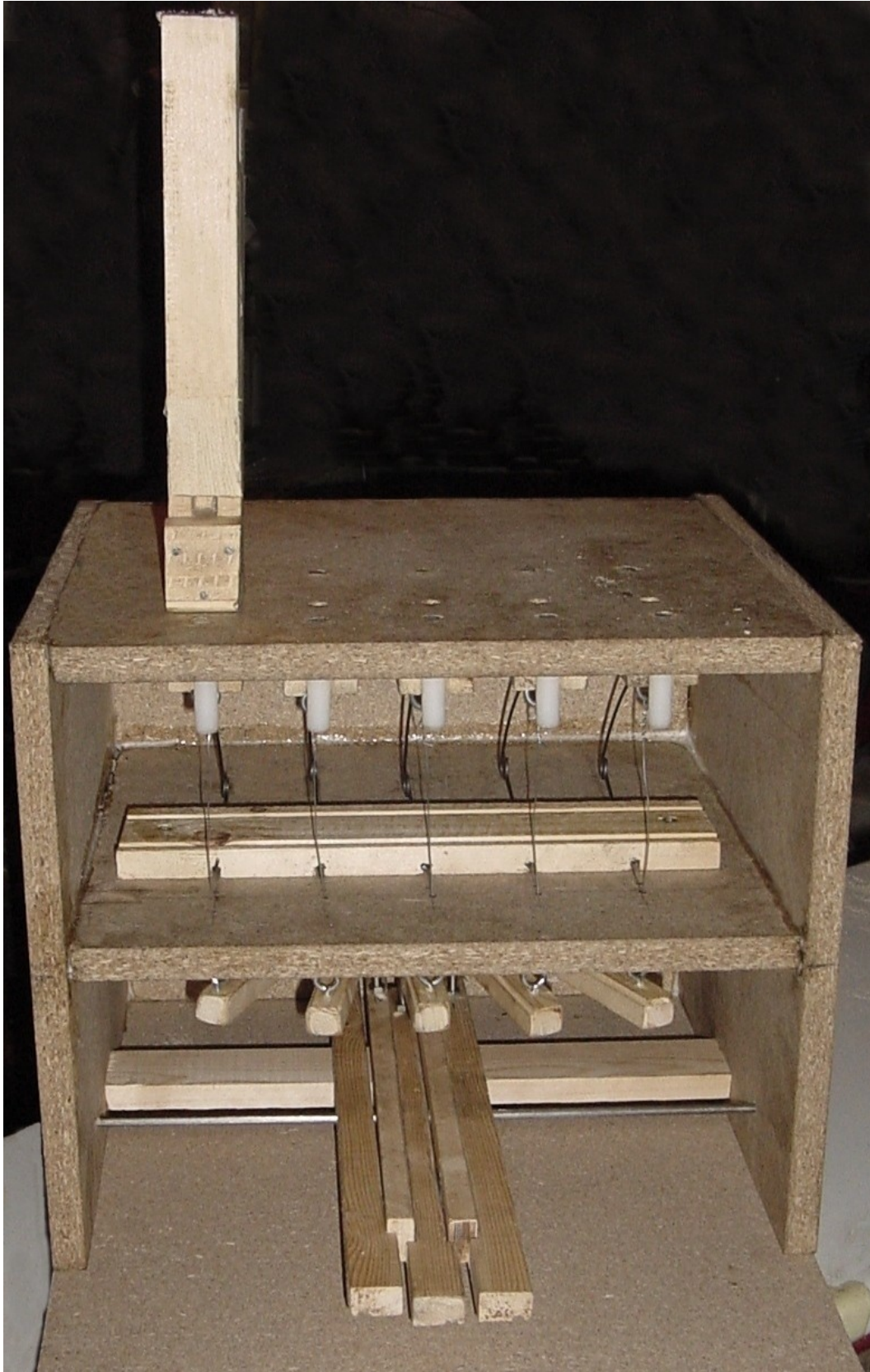
3.4.4 ΥΨΟΣ ΣΤΟΜΙΟΥ ΑΥΛΟΥ (mouth height)

Για να οριστεί το ύψος στομίου κάθε αυλού, θα πρέπει να ορίσουμε κάποιον αριθμό αναλογίας για τα στόμια. Ο αριθμός αναλογίας που επιλέχτηκε ήταν το 0.33, ο οποίος είναι ένας καλός αριθμός αναλογίας για αυλούς μικρής διατομής, όπως οι αυλοί οι οποίοι κατασκευάστηκαν [57]. Το εξωτερικό καπάκι που δημιουργεί το στόμιο έχει επιφάνεια κοντά στο στόμιο με κλίση 15 μοίρες . Επίσης, η κλινόμενη αυτή επιφάνεια θα πρέπει να δημιουργεί καλή ακμή, ώστε να λειτουργεί ο αυλός σωστά. Η επιφάνεια αυτή φαίνεται στις Εικόνες, 3.9, 3.10, 3.11.

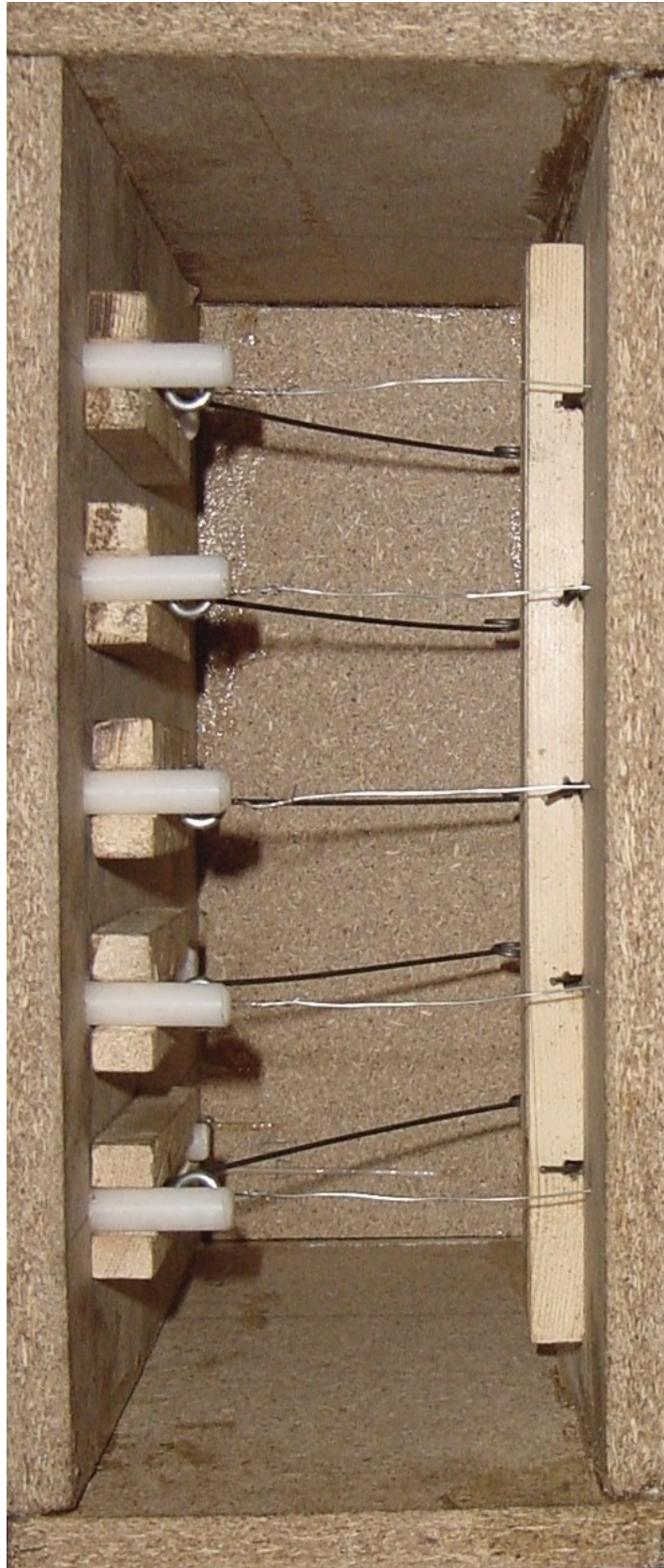
Παρακάτω δίνεται Πίνακας με τα στοιχεία που προέκυψαν από τους υπολογισμούς των αυλών (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1: Συχνότητες και διαστάσεις για τους 5 αυλούς

α/α	Συχνότητα (Hz)	Νότα	Μήκος στήλης αέρα (mm)	Εσωτερικό πλάτος αυλού (mm)	Εσωτερικό μήκος (mm)	Ύψος στομίου (mm)	Διάκενο (mm)
1	523,25	C (ντό)	153,97	10	15	3,3	0,4
2	554,37	C# (ντό δίεση)	144,77	10	15	3,3	0,4
3	587,33	D# (ρέ)	136,08	10	15	3,3	0,4
4	622,25	D# (ρέ δίεση)	127,89	10	15	3,3	0,4
5	659,26	E (μί)	120,15	10	15	3,3	0,4



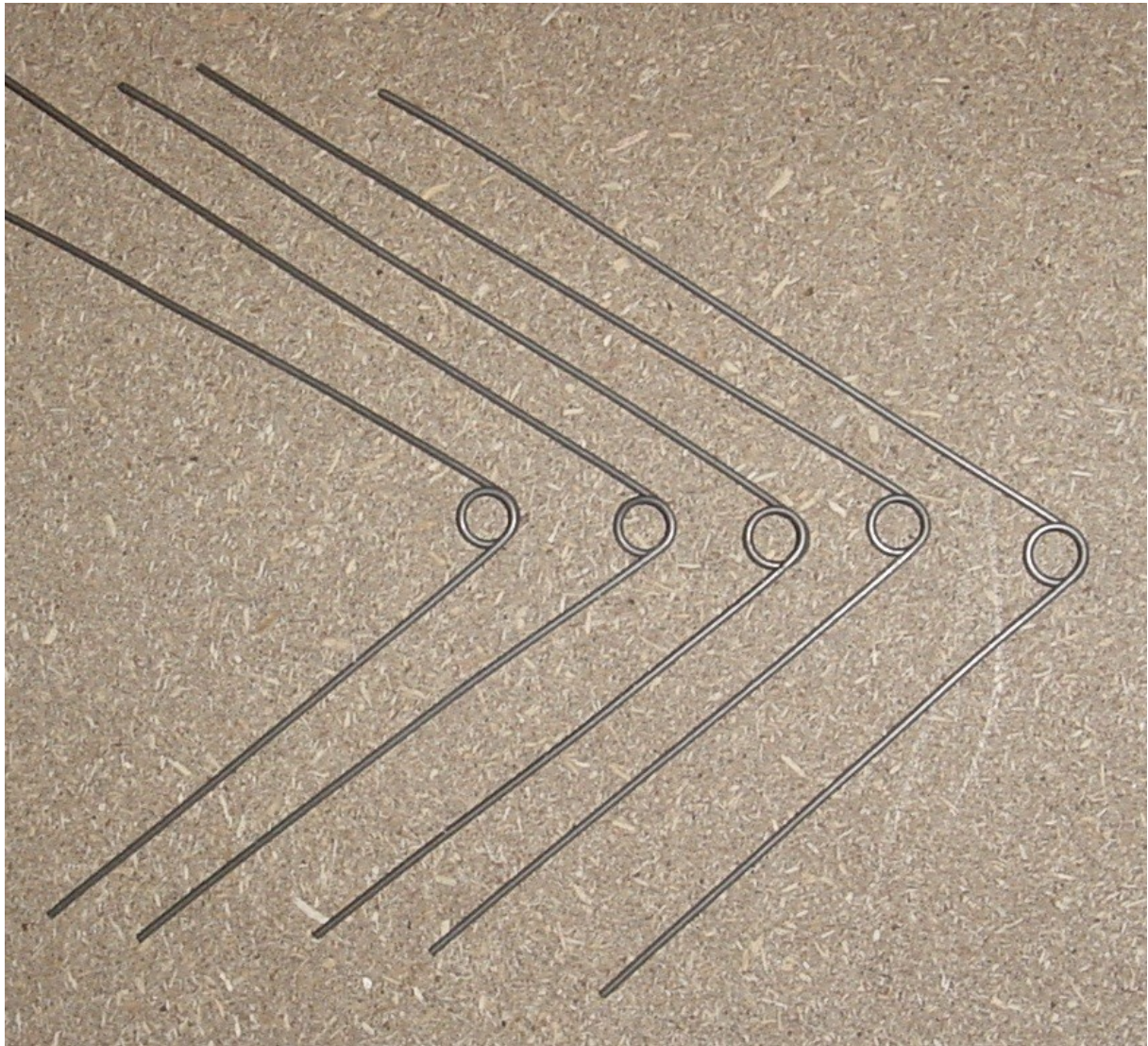
Εικόνα 3.1: Η πρόσοψη του οργάνου με τοποθετημένο έναν (1) αυλό



Εικόνα 3.2: Το κουτί με τις παλέτες σε πρόοψη



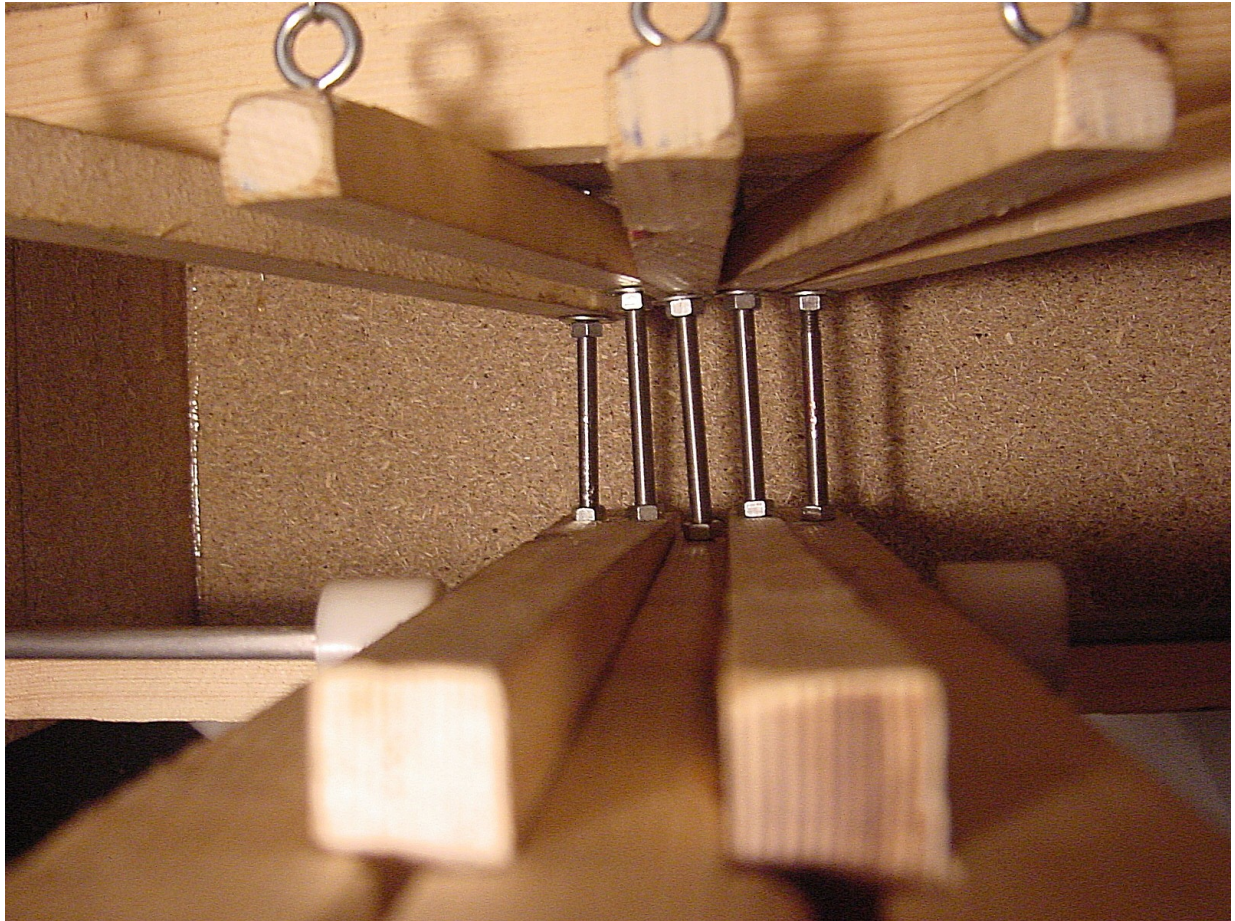
Εικόνα 3.3: Η συγκράτηση των παλετών στην θέση τους με ελατήρια στρέψεως και η ευθυγράμμισή τους με την βοήθεια πέρων ως οδηγών κατά την κίνησή τους



Εικόνα 3.4: Τα 5 ελατήρια στρέψεως για την συγκράτηση των παλετών



Εικόνα 3.5: Η σύνδεση με σύρμα κάθε οριζόντιας ράβδου (backfall) με την αντίστοιχη παλέτα (pallet) για την μετάδοση της κίνησης



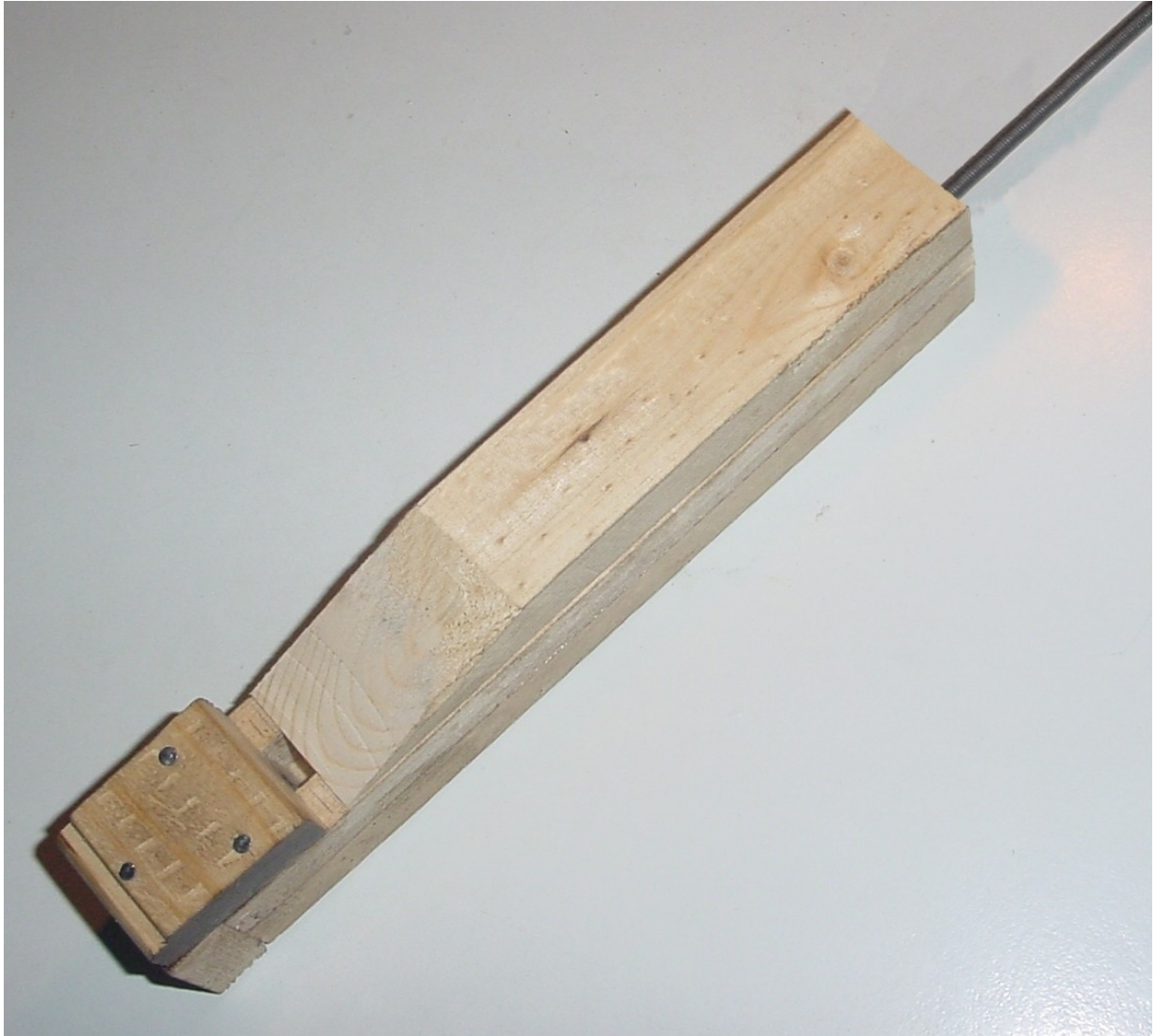
Εικόνα 3.6: Η σύνδεση των πλήκτρων του πληκτρολογίου (κάτω) και των οριζόντιων ράβδων (backfalls) οι οποίοι βρίσκονται σε ακτινική διάταξη (fan arrangement)



Εικόνα 3.7: Η σύνδεση των πλήκτρων του χειροκίνητου πληκτρολογίου (*manual keyboard*) με τις οριζόντιες ράβδους (*backfalls*)



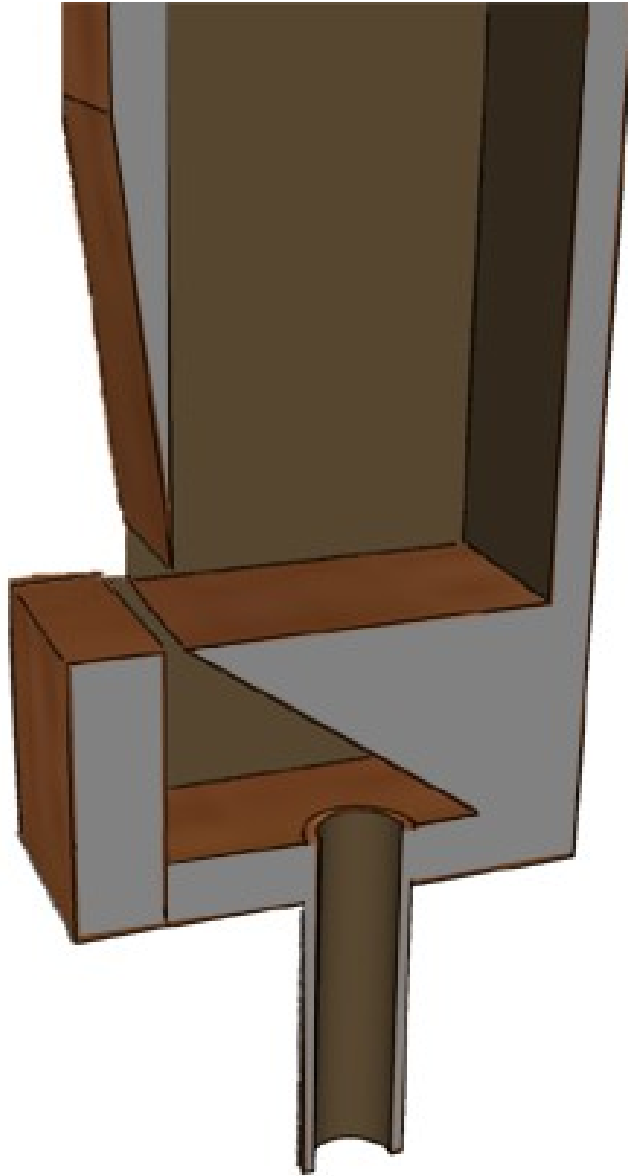
Εικόνα 3.8: Κάτοψη του οργάνου, με τα πλήκτρα του πληκτρολογίου να προεξέχουν



Εικόνα 3.9: Ολοκληρωμένος χειλεόφωνος αυλός με τοποθετημένο αντικείμενο για την ρύθμιση του μήκους της στήλης αέρα



Εικόνα 3.10: Χειροφόωνος αυλός χωρίς την εμπρόσθια λωρίδα ξύλου και με τοποθετημένο το αντικείμενο για την ρύθμιση του μήκους της στήλης αέρα



Εικόνα 3.11: Ο χειλέφωνος αυλός σε τομή με τοποθετημένο το πόδι του (foot)



Εικόνα 3.12: Το διάκενο (flue) μεταξύ κάτω χείλους και γλώσσας του αυλού



Εικόνα 3.13: Το μοντέλο οργάνου στην τελική του μορφή με τοποθετημένους όλους τους αυλούς του, με τοποθέτηση πλεξιγκλάς στο εμπρόσθιο τμήμα της αεροδόχου και με σπή στο πίσω μέρος της για την εισαγωγή του πεπιεσμένου αέρα



Εικόνα 3.14: Το πίσω μέρος του οργάνου, στην τελική του μορφή, όπου φαίνεται η σύνδεση του σωλήνα παροχής αέρα στην οπή του πίσω τμήματος της αεροδόχου

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Colin Pykett, Pipe organs: physics in an action, Physics world journal, December 2002
- [2] George Ashdown Audsley, The art of organ-building: Volume second, Dover publications, 1965
- [3] George Ashdown Audsley, Organ-stops and their artistic registration, The H. W. Gray Co, 1921
- [4] J.Matthews, A handbook of the organ, Seventh impression, Augener LTD London, 1897
- [5] John Broadhouse, The organ viewed from within, Second issue, William Reeves bookseller limited, 1923
- [6] Mark Wicks, Organ building for amateurs, Second edition, Ward, Lock & Bowden, Limited, 1887
- [7] Wm. H. Clarke, An outline of the structure of the pipe organ, Oliver Ditson Company, 1877
- [8] Vincent Rioux, Sound quality of flue organ pipes, Report F 01-02, Göteborg, Sweden 2001

ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΔΙΑΔΥΚΤΥΟΥ

[9] http://el.wikipedia.org/wiki/Εκκλησιαστικό_όργανο

[10] <http://el.wikipedia.org/wiki/Υδραυλις>

[11] http://en.wikipedia.org/wiki/Pipe_organ

[12] http://en.wikipedia.org/wiki/Pedal_keyboard

[13] http://en.wikipedia.org/wiki/Flue_pipe

[14] http://en.wikipedia.org/wiki/Fundamental_tone

[15] http://en.wikipedia.org/wiki/Tracker_action

[16] http://en.wikipedia.org/wiki/Musical_temperament

[17] http://en.wikipedia.org/wiki/Equal_temperament

[18] http://en.wikipedia.org/wiki/Reed_pipe

[19] [http://en.wikipedia.org/wiki/A440_\(pitch_standard\)](http://en.wikipedia.org/wiki/A440_(pitch_standard))

[20] http://en.wikipedia.org/wiki/Piano_key_frequencies

[21] http://fr.wikipedia.org/wiki/Jeux_d'anche

[22] http://en.wikipedia.org/wiki/Swell_pedal

[23] <http://acousticlab.org/psychoacoustics/PMFiles/Module05.htm>

[24] <http://www.pipe-organs-manufacturer.com/organs-composers.html>

- [25] <http://www.zianet.com/fpc/organnotes.htm>
- [26] <http://www.nhoa.hyperphp.com/radley.html>
- [27] http://www.die-orgelseite.de/funktionsweise_e.htm
- [28] http://www.die-orgelseite.de/orgel_gesamtmatrix1_e.gif
- [29] http://www.die-orgelseite.de/fusszahlen_e.htm
- [30] <http://www.lawrencehelps.com/Documents/Articles/Beginner/pipeorgans101.html>
- [31] http://decouverte.orgue.free.fr/e_architec.htm
- [32] <http://decouverte.orgue.free.fr/jeux.htm>
- [33] <http://www.savetheorgan.org/tracker.htm>
- [34] http://www.savetheorgan.org/kbase/windchest_layouts.pdf
- [35] http://www.organsupply.com/catalog_ordering/view_our_catalog/pdf/Section 9 - Pipes and Supplies.pdf
- [36] <http://www.martinottpipeorgan.com/OurPipeOrgans.htm>
- [37] <http://www.concertartist.info/organhistory/works/works21.htm>
- [38] http://www2.ibp.fraunhofer.de/akustik/ma/pipesound/index_e.html
- [39] http://www.feilding.net/sfuad/musi3012-01/html/lectures/015_instruments_II.htm
- [40] http://davidtannenber.com/Tannenberg_Moselem_Springs.htm
- [41] <http://organstops.org>

[42] <http://organstops.org/o/OrchOboe.html>

[43] <http://orgelbau.laukhuff-industries.de/images/stories/downloads/katalog/10.pdf>,

[44] <http://www.rwgiangiulio.com/construction/montre>

[45] <http://www.rwgiangiulio.com/construction/windchest>

[46]

http://physics.kenyon.edu/EarlyApparatus/Rudolf_Koenig_Apparatus/Organ_Pipes_Reed/Organ_Pipes_Reed.html

[47] [http://www.parkeyorgans.com/pipe-organ-tools/v key and windchest actions.pdf](http://www.parkeyorgans.com/pipe-organ-tools/v%20key%20and%20windchest%20actions.pdf)

[48] <http://www.organstops.org/r/Rohrflote2.jpg>

[49] <http://www.rwgiangiulio.com/math/pipelength.htm>

[50] http://en.wikipedia.org/wiki/Organ_flue_pipe_scaling

[51] <http://www.rwgiangiulio.com/math/pipescaling.htm>

[52] <http://www.rwgiangiulio.com/math/wst.htm>

[53] <http://www.leekpipeorgans.com/about/workshop.html>

[54] <http://www.mmdigest.com/Tech/isint.html>

[55] <http://www.mmdigest.com/Tech/isingform.html>

[56] <http://www.rwgiangiulio.com/math/wst.htm>

[57] <http://www.rwgiangiulio.com/math/mouthheight.htm>