

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

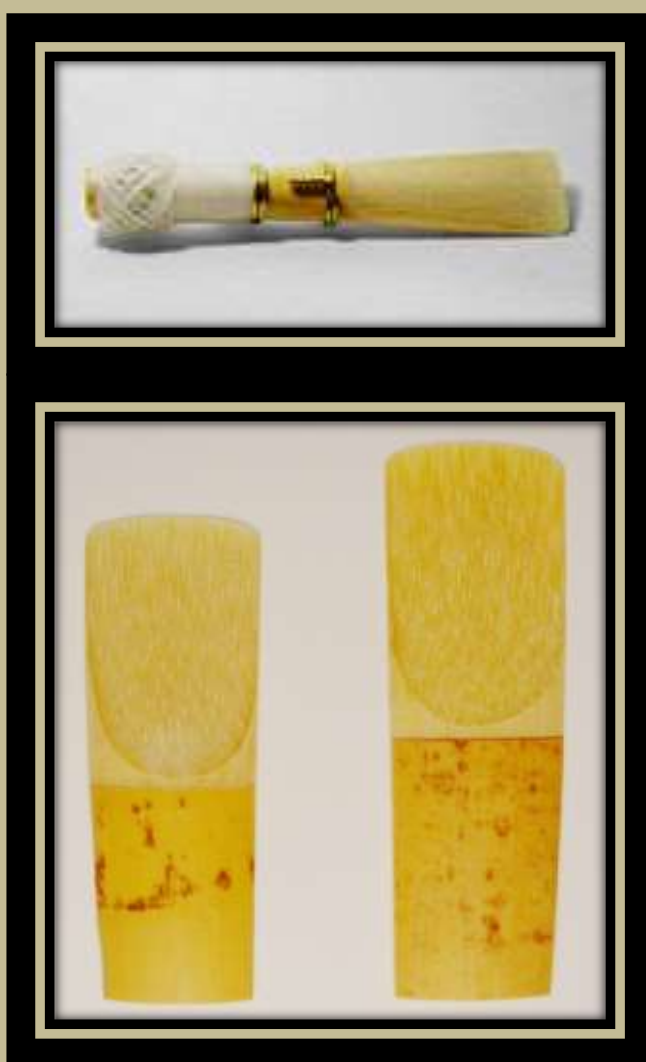
ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΣΕΜΙΝΑΡΙΟ

Η ΦΥΣΙΚΗ ΤΩΝ ΜΟΥΣΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ:

Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΙΔΑΣ(ΑΠΛΗΣ-ΔΙΠΛΗΣ)

ΣΤΑ ΜΟΥΣΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ



ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ Χ. ΣΠΥΡΙΔΗΣ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

ΞΥΔΕΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

A.M.:

1569200424042

Αθήνα 2009

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΣΕΜΙΝΑΡΙΟ

Η ΦΥΣΙΚΗ ΤΩΝ ΜΟΥΣΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ:

Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΙΔΑΣ(ΑΠΛΗΣ-ΔΙΠΛΗΣ)

ΣΤΑ ΜΟΥΣΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ Χ. ΣΠΥΡΙΔΗΣ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

ΞΥΔΕΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Α.Μ.:

1569200424042

Αθήνα 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	3
Κεφάλαιο 1^ο Η καλαμίδα και ο μηχανισμός της.....	4
1.1 Οι νόμοι των ρευστών.....	4
1.1.1 Ο νόμος της συνέχειας.....	4
1.1.2 Ο νόμος του Bernoulli.....	5
1.2 Η μονή ή απλή καλαμίδα.....	6
1.3 Η διπλή καλαμίδα.....	9
Κεφάλαιο 2^ο Γραφική παράσταση και ανάλυση ηχητικών σημάτων	12
2.1 Γραφήματα επιστόμιου κλαρινέτου με καλαμίδα Νο 2.5.....	13
2.2 Γραφήματα επιστόμιου κλαρινέτου με καλαμίδα Νο 3.....	15
2.3 Γραφήματα καλαμίδας σαξόφωνου τενόρου.....	17
2.4 Γραφήματα καλαμίδας φαγκότου.....	19
2.5 Ανάλυση ηχητικών σημάτων.....	21
Επίλογος.....	23
Βιβλιογραφία.....	24

Εισαγωγή

Τα μουσικά όργανα σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης των Sachs-Hornbostel ,που έχουν ως κριτήριο το υλικό από την παλμική κίνηση του οποίου παράγεται ο ήχος, κατατάσσονται σε τέσσερες κατηγορίες α) μεμβρανόφωνα, β) χορδόφωνα γ) ιδιόφωνα και δ) αερόφωνα .Τα αερόφωνα τα οποία θα μας απασχολήσουν στη παρούσα εργασία χωρίζονται σε ελεύθερα αερόφωνα (πχ φύλλο, που παίζουν ακόμα ορισμένοι ‘παλιοί’ ανά την Ελλάδα) και σωληνωτά αερόφωνα. Τα σωληνωτά αερόφωνα τα διαχωρίζουμε σε α) όργανα στα οποία ο αέρας τίθεται σε παλμική κίνηση με την πρόσκρουσή του πάνω σε μία σταθερή κόγχη του οργάνου(φλογέρες- τζαμάρες) ,β) αυτά στα οποία η παλμική κίνηση δημιουργείται από την παλινδρομική κίνηση μιας λεπτής φλούδας καλαμιού πάνω στο τοίχωμα του σωλήνα ή από αυτή των δύο φλουδών μεταξύ τους(κλαρίνο, ζουρνάς φαγκότο όμποε) γ) αυτά στα οποία η παλμική κίνηση δημιουργείται από τα ίδια σφιγμένα χείλη του οργανοπαίχτη, που λειτουργούν στην ουσία σαν διπλή καλαμίδα(σάλπιγγες).

Αυτό που θα μας απασχολήσει στην εργασία μας θα είναι η συμπεριφορά αυτής της φλούδας καλαμιού , που αναφέρεται παραπάνω, ή καλύτερα καλαμίδα, απλή ή διπλή και πώς αυτή επηρεάζει τον ήχο του οργάνου.

Αν και οι καλαμίδες, μονές ή διπλές, χρησιμοποιούνται από την αρχαιότητα, έχει σημειωθεί ελάχιστη επιστημονική μελέτη , είτε από την επιστήμη των υλικών είτε από την προοπτική της μηχανικής. Οι επιστήμονες που έχουν τις γνώσεις της φυσικής και της ακουστικής πρέπει να δώσουν λίγο χρόνο και οι επιστήμες τους λίγο χώρο για τα μουσικά όργανα, γιατί έτσι θα έχουμε καλύτερα όργανα ,άρα καλύτερο ήχο , από τεχνικής πλευράς , στους μουσικούς, πράγμα που ίσως τους κάνει καλύτερους.

Κεφάλαιο 1^ο

Η καλαμίδα και ο μηχανισμός της

1.1 Οι νόμοι της ροής των ρευστών

Αρχή-αρχή πρέπει να αναφερθούν δύο νόμοι της ροής των ρευστών για να διευκολυνθεί στη συνέχεια η εξήγηση της λειτουργίας της καλαμίδος.

1.1.1. Ο νόμος της συνέχειας

Ο **Νόμος της συνεχείας της ροής** είναι από τους σημαντικότερους νόμους για τα ρευστά (υγρά και αέρια). Ο Νόμος αυτός ορίζει ότι:

"Η παροχή (ρευστού) μιας φλέβας ή ενός αγωγού είναι σταθερά σε οποιαδήποτε διατομή αυτών".

Λαμβάνοντας υπόψη ότι το ρευστό είναι ασυμπίεστο και η ροή μόνιμη, θα πρέπει σε ορισμένο χρόνο, σύμφωνα με την "Αρχή της συνεχείας της ροής", να διέρχεται από κάθε διατομή ίσος όγκος ρευστού.

Επειδή η παροχή $Q = S u$ θα έχουμε $S_1 u_1 = S_2 u_2 = S_3 u_3 \dots \dots \dots C$ σταθερό, ή γενικά, $S u = \text{σταθερό}$.

Η προκύπτουσα αυτή σχέση ονομάζεται **εξίσωση της συνεχείας της ροής** και καθορίζει ότι:

"Όταν η διατομή αυξάνει η ταχύτητα ελαττούται και το αντίστροφο, ούτως, ώστε το γινόμενο διατομής επί ταχύτητα ροής να παραμένει πάντα το ίδιο και ίσο προς τη σταθερά "παροχή" του αγωγού.

1.1.2. Ο νόμος του Bernoulli

Ο **Νόμος του Μπερνούλι** ταυτίζεται με την αρχή διατήρησης της ενέργειας και αφορά την περίπτωση των ρευστών. Στην απλή του μορφή ο νόμος αυτός καθορίζει την πίεση που επικρατεί μέσα στα ρευστά, όταν αυτά κινούνται.

Στην πραγματικότητα πρόκειται για ένα άθροισμα τριών ενεργειών: της "ενέργειας θέσεως", της "δυναμικής πίεσης", που αποτελεί το μέτρο της "κινητικής ενέργειας" του υγρού, και της "υδροστατικής πίεσης", που είναι και το μέτρο της "δυναμικής ενέργειας" λόγω ύψους ή λόγω του πεδίου βαρύτητας.

Αν για παράδειγμα ονομασθεί p_e η πίεση ενός υγρού, γ το ειδικό βάρος του, u η ταχύτητα αυτού και h το στατικό του ύψος ενός θεωρουμένου σημείου, τότε ο *Νόμος του Μπερνούλι* παρίσταται με την ακόλουθη μαθηματική διατύπωση:

$$p_e + \frac{\gamma u^2}{2g} + \gamma h = C$$

σταθερό

Στον μαθηματικό αυτόν τύπο, το p_e εκφράζει τη στατική πίεση. Η δε παράσταση $(\gamma u^2) / 2g$ εκφράζει την δυναμική πίεση. Τέλος η παράσταση (γh) είναι αυτή που εκφράζει την *υδροστατική πίεση*. Το δε άθροισμα αυτών C είναι σταθερό.

Κατόπιν όλων των παραπάνω, ως κατάληξη, ο *Νόμος του Μπερνούλι* καθορίζει ότι:

"Κατά μήκος μιας φλέβας ή ενός αγωγού που διέρχεται υγρό το άθροισμα της εξωτερικής πίεσης, της δυναμικής πίεσης και της υδροστατικής πίεσης είναι σταθερό."

- Στη περίπτωση οριζόντιου αγωγού οπότε το ύψος h παραμένει σταθερό εξυπακούεται ότι ο παραπάνω μαθηματικός τύπος περιορίζεται στις δύο

πρώτες παραστάσεις: $\rho_e + \frac{\gamma u^2}{2g} = C$ σταθερό ή πιο απλά για τη παρούσα εργασία(μιας και ασχολούμαστε με αέρια):

$$P + \frac{1}{2} \rho u^2 = c ,$$

όπου P η στατική πίεση, ρ η πυκνότητα, u η ταχύτητα.

Εξ αυτού του τελευταίου συνάγεται ότι:

Κατά τη ροή του ρευστού, η πίεση είναι μικρή στα σημεία όπου η ταχύτητα είναι μεγάλη, και αντίστροφα είναι μεγάλη σε σημεία όπου η ταχύτητα είναι μικρή.

1.2 Η μονή ή απλή καλαμίδα



Η απλή καλαμίδα (σχήμα 1.2.1.) είναι φτιαγμένη, τις περισσότερες φορές, από ζαχαροκάλαμο - *Arundo donax*. Είναι ελαστική και αυτή η ιδιότητα της επιτρέπει να προσκολλάται και να απομακρύνεται από το κυρίως μέρος του επιστομίου (μπουκίνο) χωρίς να ραγίζει ή να σπάει. Ποία είναι όμως αυτή η αιτία που την κάνει να ανοιγο-κλείνει με τη ροή του αέρα ανάμεσα σε αυτήν και το επιστόμιο;

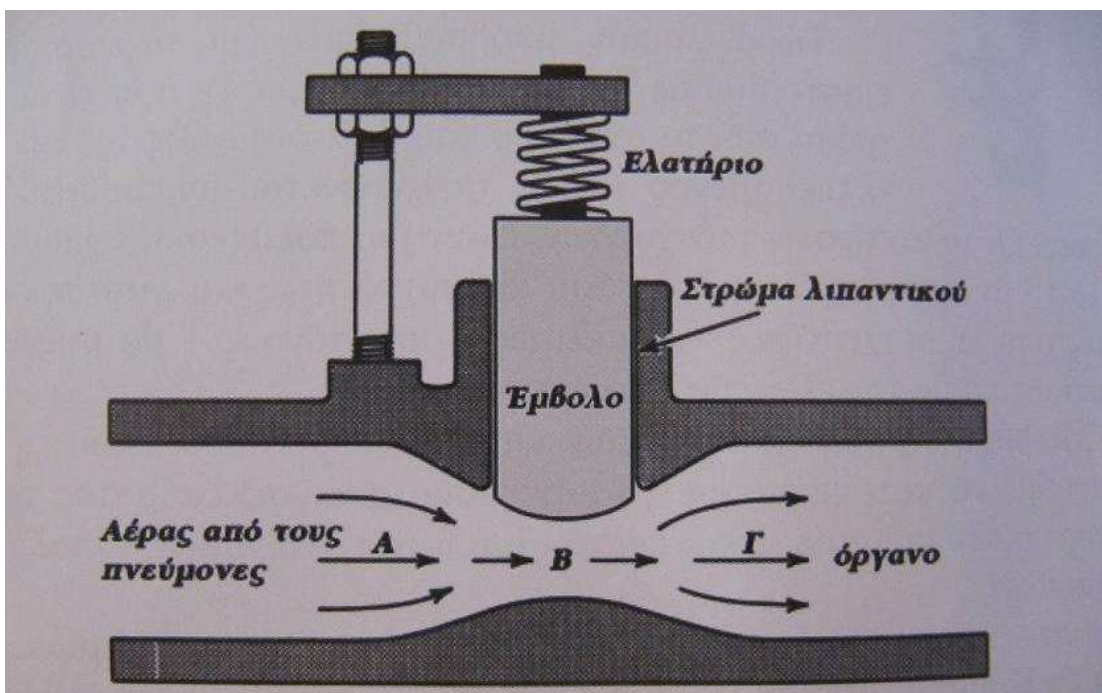
Εδώ βρίσκουν την εφαρμογή τους οι νόμοι που προαναφέρθηκαν.

Σχήμα 1.2.1: Απλή καλαμίδα

Στο σχήμα 1.2.1. παρουσιάζεται το μηχανικό ανάλογο του επιστομίου με την καλαμίδα. Εδώ το ρόλο της καλαμίδας αναλαμβάνει το έμβολο το οποίο

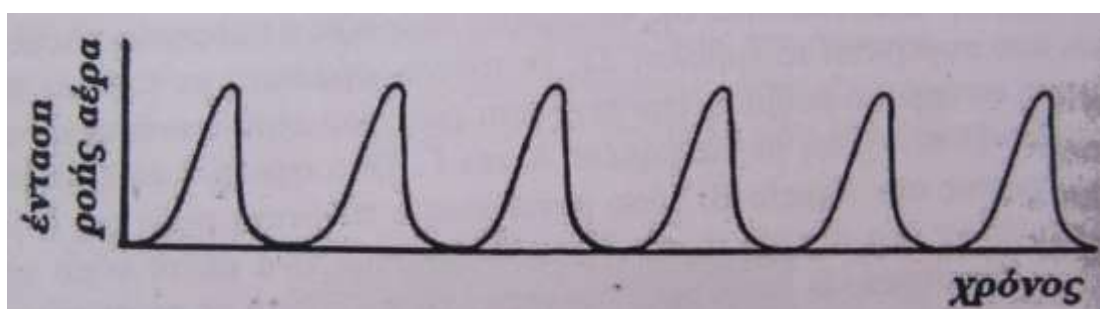
ανεβοκατεβαίνοντας ρυθμίζει το άνοιγμα μεταξύ καλαμίδας και επιστομίου (σημείο B), ενώ το ελατήριο εκφράζει την ελαστικότητα της καλαμίδας.

Ο οργανοπαίχτης σφίγγει τα χείλια και φυσά. Όλος ο όγκος του αέρα που φύσηξε θα διέλθει πρώτα από το σημείο A , μετά από το B και ύστερα από το Γ. Στο σημείο B ,λόγω της στένωσης που υπάρχει εκεί ,ο αέρας θα περάσει με μεγαλύτερη ταχύτητα από ότι στο στα σημεία A και Γ(νόμος της συνέχειας) . Όμως από το νόμο του Μπερνούλι, στο σημείο B, δημιουργείται υποπίεση σε σχέση με τα σημεία A και Γ, οπότε το έμβολο κατέρχεται και το ελατήριο τεντώνεται. Το φαινόμενο αυτό θα συνεχίσει να συμβαίνει μέχρι το ελατήριο να επανέλθει σε θέση ηρεμίας και η διαδικασία να ξεκινήσει από την αρχή. Έτσι έχουμε μια παλινδρομική κίνηση του εμβόλου (γλωττίδας) και μία παλμική κίνηση του αέρα ακριβώς στο σημείο Γ.Από το σημείο Γ και μετά είναι η στήλη αέρα που πάλλεται και διαμορφώνει τον παραγμένο, από το επιστόμιο, ήχο.



Σχήμα 1.2.2: Μηχανικό ανάλογο της ταλάντωσης της απλής καλαμίδας.

Καθώς η κίνηση αυτή επαναλαμβάνεται διαρκώς (δηλαδή το έμβολο τίθεται σε ταλάντωση), δημιουργείται μια αυξομείωση της ροής του αέρα, άρα και ηχητικό κύμα. Όσο το άνοιγμα μεταξύ επιστομίου και καλαμίδας αυξομειώνεται, αφήνεται να περάσει μια αέρινη παλμοσειρά, της οποίας ο ρυθμός ροής μεταβάλλεται περίπου ανάλογα με το εμβαδό ανοίγματος μεταξύ επιστομίου και καλαμίδας, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 1.2.3.



Σχήμα 1.2.3: Η αυξομείωση της ροής του αέρα δημιουργεί ηχητικό κύμα.

Όσες από τις συχνότητες που θα παραχθούν από το επιστόμιο συντονιστούν με τις ιδιοσυχνότητες του ξύλινου σωλήνα (κυρίως οργάνου) θα ακουστούν ενισχυμένες ενώ όσες δε συντονιστούν θα ακουστούν μεν ,εξασθετισμένες δε. Ανάλογα με το μήκος της στήλης του αέρα που πάλλεται μέσα στο όργανο ,από την δακτυλοθεσία του οργανοπαίχτη, ακούγεται και η αντίστοιχη συχνότητα(νότα).

Εδώ πρέπει να αναφερθεί ένα φαινόμενο που συμβαίνει και στους πιο καλούς οργανοπαίχτες. Πολλές φορές το σφίξιμο των χειλιών ή η παροχή αέρα στο επιστόμιο δεν είναι αυτή που θα έπρεπε να είναι για να ακουστούν οι πολύ ψηλές ή οι πολύ χαμηλές νότες σε ένα όργανο με αποτέλεσμα η παλινδρομική κίνηση της καλαμίδας να διακόπτεται ή να μην είναι κανονική. Τότε έχουμε το αποκαλούμενο από τους οργανοπαίχτες 'τσιρ' ή έτσι όπως το αποκαλούν οι έλληνες λαϊκοί οργανοπαίχτες 'κοκοράκι'.

Ένα από τα κύρια μελήματα των οργανοπαιχτών είναι η επιλογή της σκληρότητας-πάχους της καλαμίδας. Η σκληρότητα- πάχος της καλαμίδας κάνει διαφορές στον ήχο του οργάνου. Τα νούμερα που κυκλοφορούν στο εμπόριο είναι 1, 2, 3, 4, 5 από το λεπτότερο στο παχύτερο.

Ενδιαφέρον αποτελεί το γεγονός ότι οι έλληνες λαϊκοί οργανοπαίχτες τις περισσότερες φορές φτιάχνουν μόνοι τους τις καλαμίδες και αν όχι, αγοράζουν τις πιο λεπτές Νο1 και τις λεπταίνουν ακόμα. Αυτό τους βοηθά να κάνουν τα μικροκόμματα που χρησιμοποιούν στις κλίμακές τους . Τέλος να σημειωθεί ότι η καλαμίδα και στη γκάιντα και στη τσαμπούνα λειτουργεί κατά τον ίδιο τρόπο. Το ρόλο των πνευμόνων παίζει εδώ ο ασκός ενώ η γλωττίδα δεν είναι ένα ανεξάρτητο κομμάτι του επιστομίου αλλά μια κομμένη φλούδα στο πάνω μέρος του, το λεγόμενο πισκούνι ή μπιμπίκι(σχήμα1.2.4).

Όργανα που χρησιμοποιούν τη μονή καλαμίδα :
Η οικογένεια των οργάνων του κλαρινέτου και του σαξόφωνου.

Επίσης η τσαμπούνα και η γκάιντα.



Σχήμα 1.2.4 Πισκούνι γκάιντας.

1.3 Η διπλή καλαμίδα

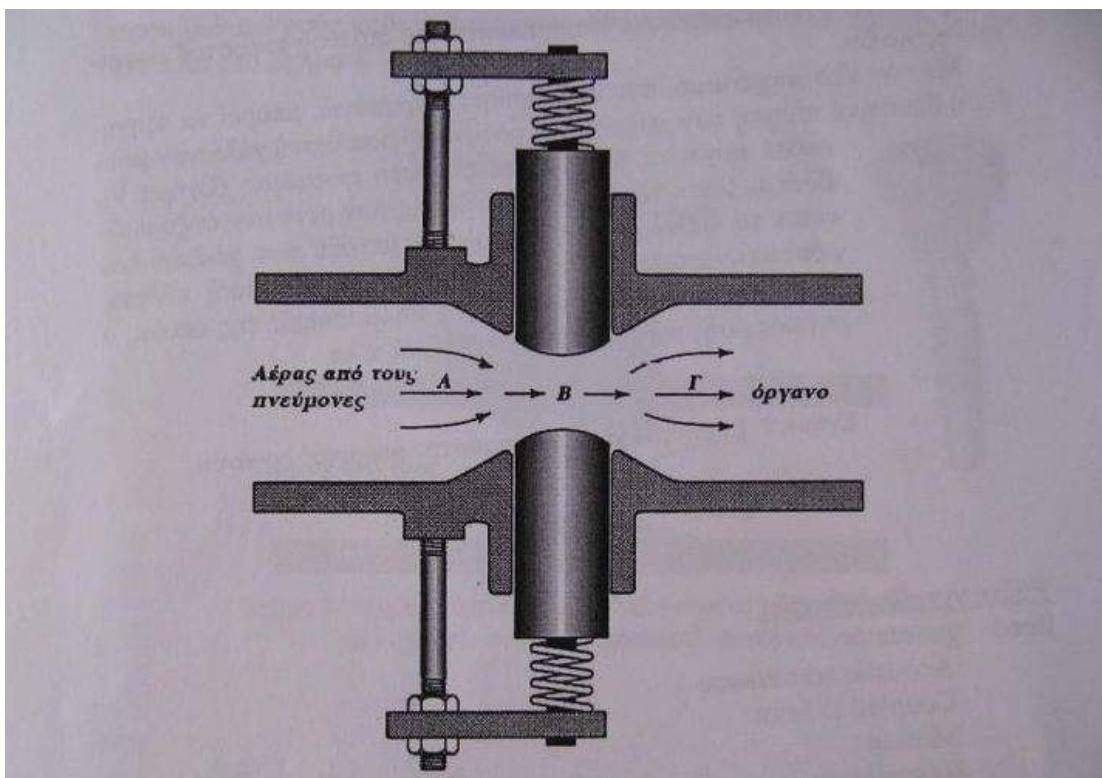


Σχήμα 1.3.1 Η διπλή καλαμίδα.

Όπως και οι μονές καλαμίδες έτσι και οι διπλές κατασκευάζονται από ζαχαροκάλαμο της ποικιλίας *Arundo donax*. Φτιάχνονται ή από δύο κομμάτια ή πιο συχνά, από ένα κομμάτι διπλωμένο στη μέση και μετά ανοίγεται η σχισμή για να περνά ο αέρας , όπως φαίνεται και στο σχήμα(1.3.1).

Και εδώ ισχύουν οι νόμοι που αναφέρθηκαν και η διπλή καλαμίδα τίθεται σε παλινδρομική κίνηση ,από τη μεριά της φυσικής, με τον αντίστοιχο τρόπο.

Τα δύο έμβολα παίζουν το ρόλο των δύο τμημάτων του καλαμιού τα οποία ανοιγοκλείνουν στο σημείο B (Σχήμα 1.3.2), με τα ελατήρια να είναι και εδώ οι εκφραστές της ελαστικότητας των καλαμιών. Στο σημείο B παρατηρείται στένωση, έτσι η ταχύτητα ροής του αέρα μεγαλώνει (νόμος της συνέχειας). Άρα, σύμφωνα με το νόμο του Bernoulli, στο σημείο B δημιουργείται υποπίεση σε σχέση με τα σημεία A και Γ με αποτέλεσμα τα έμβολα να κινούνται και τα ελατήρια να τεντώνουν. Όταν τα έμβολα συναντηθούν στο μέσο της μεταξύ τους απόστασης, τα διεγερμένα ελατήρια τα επαναφέρουν έτσι ώστε να επανέλθουν σε κατάσταση ηρεμίας, και το φαινόμενο γίνεται περιοδικό. Έτσι, και σε αυτήν την περίπτωση τα έμβολα τίθενται σε ταλάντωση, με αποτέλεσμα τη δημιουργία πυκνωμάτων και αραιωμάτων αέρα, δηλαδή τη δημιουργία ηχητικού κύματος.



Σχήμα 1.3.2: Μηχανικό ανάλογο της ταλάντωσης της διπλής καλαμίδας.

Να σημειωθεί ότι αυτού του είδους τα επιστόμια ονομάζονται τύπου όμποε . Διότι το όμποε είναι το πιο γνωστό όργανο που χρησιμοποιεί αυτού του είδους καλαμίδα.

Όργανα που χρησιμοποιούν τη διπλή καλαμίδα :

Η οικογένεια των οργάνων του όμποε ,του φαγκότου και του αγγλικού κόρνου.

Επίσης ο ζουρνάς και το ντουντούκ (σχήμα 1.3.3).



Σχήμα 1.3.3 Όργανα με διπλή γλωττίδα. Από δεξιά προς τα αριστερά :Τρία ντουντούκ (αρμένικα αερόφωνα όργανα) και δύο ζουρνάδες(Νάουσας και Πελοποννήσου).

Κεφάλαιο 2°

Γραφική παράσταση και ανάλυση ηχητικών σημάτων

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρατηρήσουμε ,θα αναλύσουμε και θα συγκρίνουμε τα στοιχεία που προκύπτουν από τις γραφικές παραστάσεις των ηχητικών σημάτων. Τα ηχητικά αυτά σήματα είναι ηχογραφήσεις που έγιναν στο εργαστήριο ήχου του τμήματός μουσικών σπουδών Αθηνών, στα πλαίσια του σεμιναρίου “η φυσική των μουσικών οργάνων”.

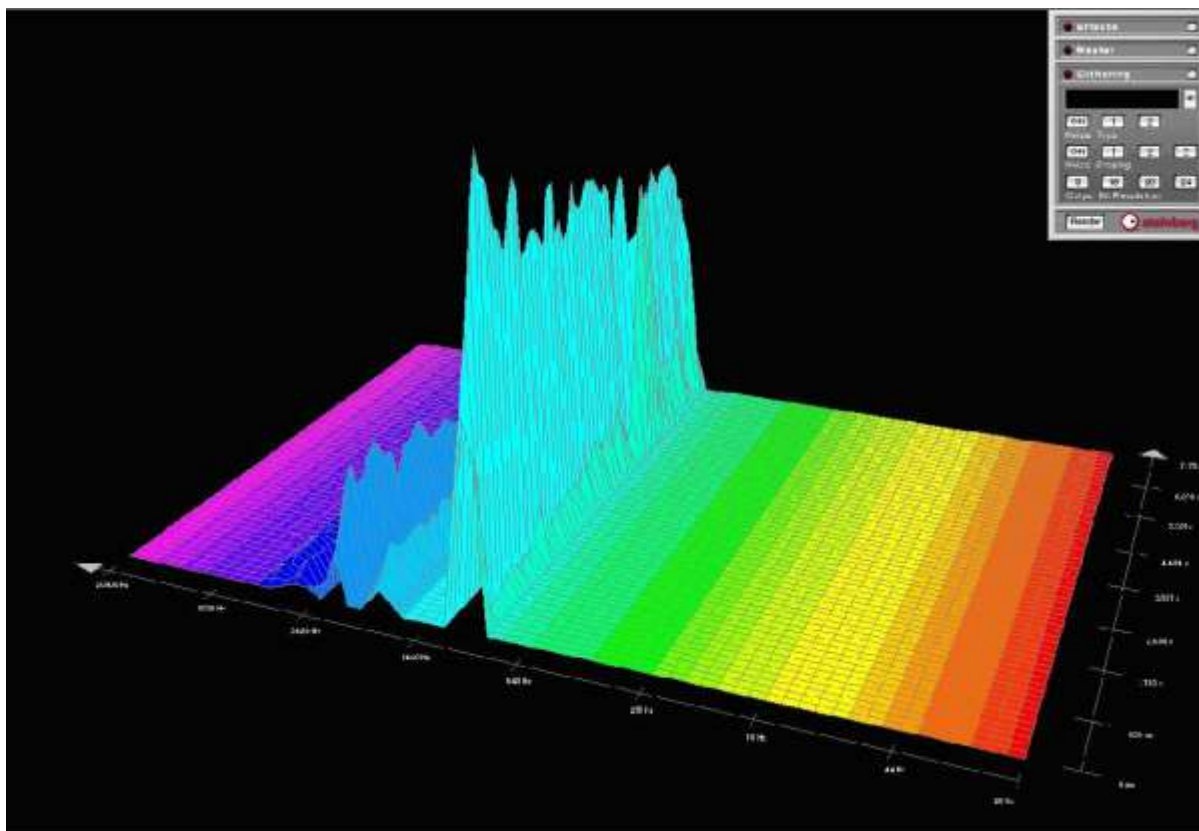
Οι ηχογραφήσεις αυτές περιλαμβάνουν ηχητικά σήματα από :

- Επιστόμιο κλαρινέτου με καλαμίδα Νο 2.5,
- Επιστόμιο κλαρινέτου με καλαμίδα Νο 3,
- Επιστόμιο σαξόφωνου,
- Επιστόμιο φαγκότου.

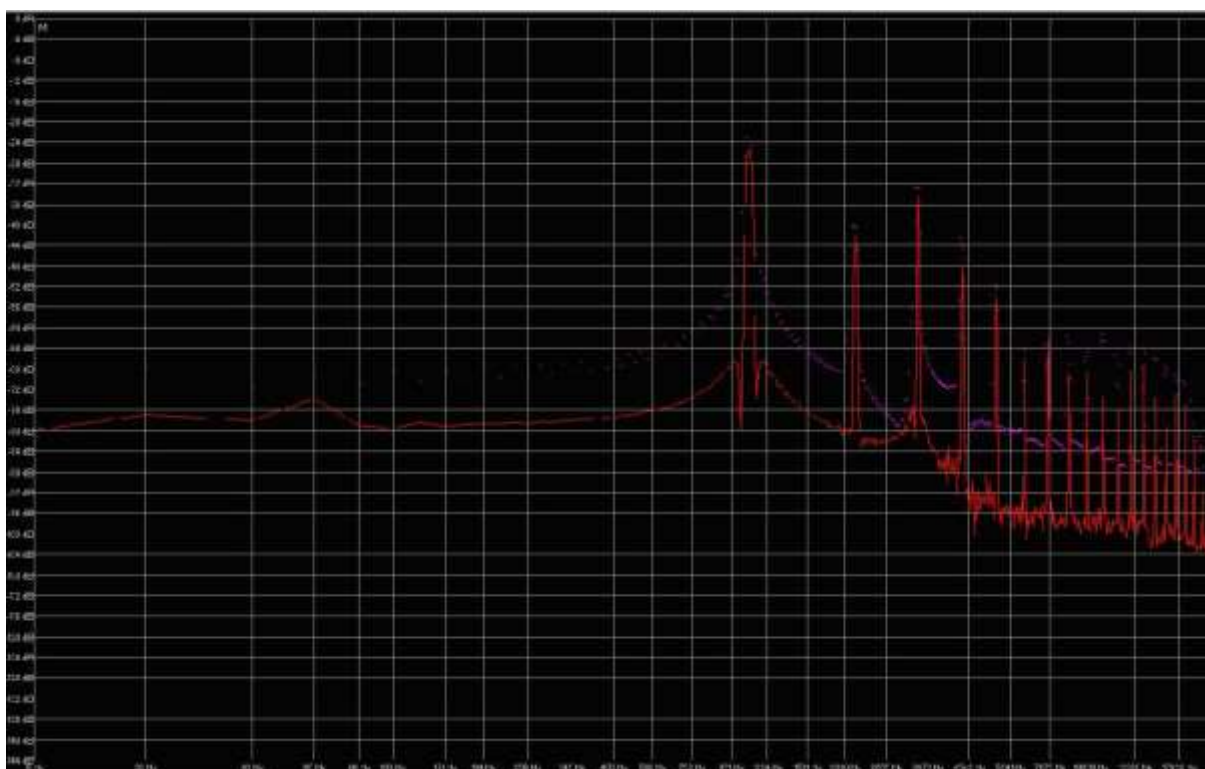
Από την ηχογράφηση που πραγματοποιήθηκε παρήχθησαν τα ακόλουθα γραφήματα για τις καλαμίδες των επιστομιών που προαναφέρθηκαν:

- Γράφημα που παριστάνει τις συχνότητες που ηχογραφήθηκαν σε συνάρτηση με το χρόνο .
- Γράφημα που παριστάνει τις συχνότητες που ηχογραφήθηκαν σε συνάρτηση με την ένταση.
- Γράφημα που παριστάνει την κυματομορφή του σήματος.
- Γράφημα που παριστάνει την κυματομορφή του σήματος και την περίοδό του.

2.1 Γραφήματα επιστόμιου κλαρινέτου με καλαμίδα Νο 2.5



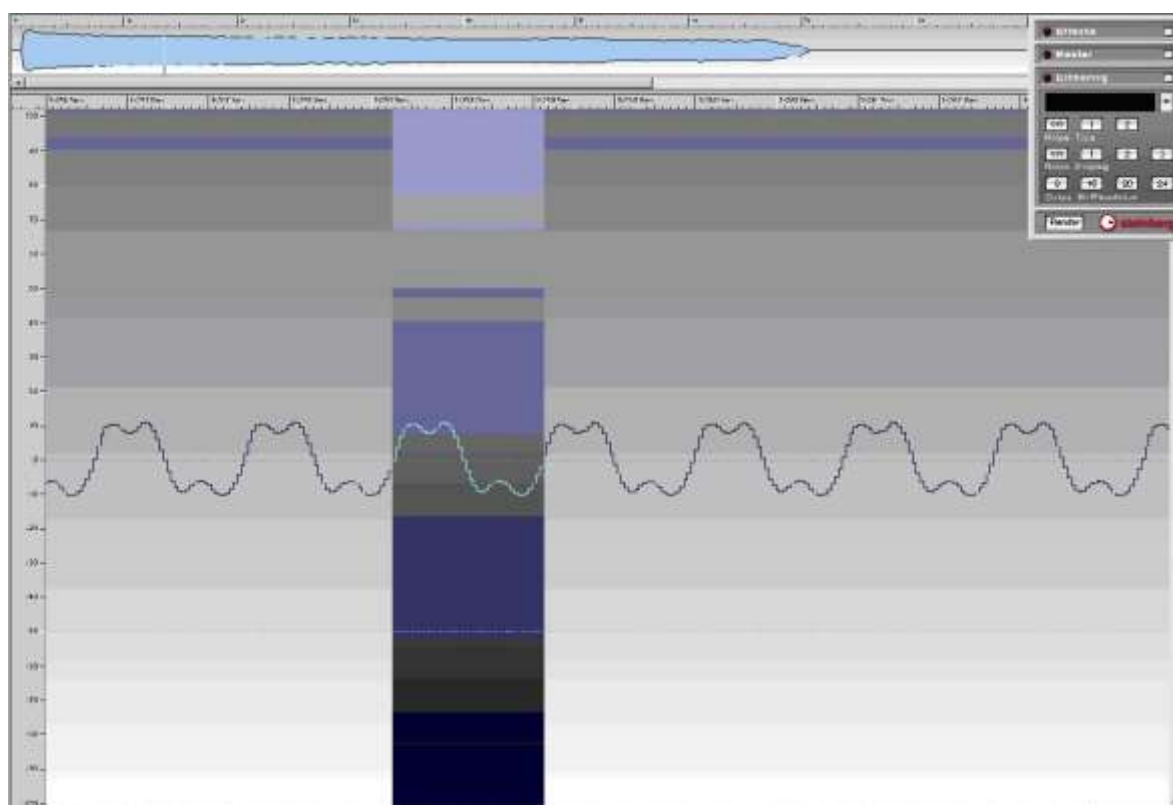
Γράφημα 2.1.1.: Συχνότητες (Hz) σε συνάρτηση με το χρόνο.



Γράφημα 2.1.2.: Συχνότητες (Hz) σε συνάρτηση με την ένταση (db).

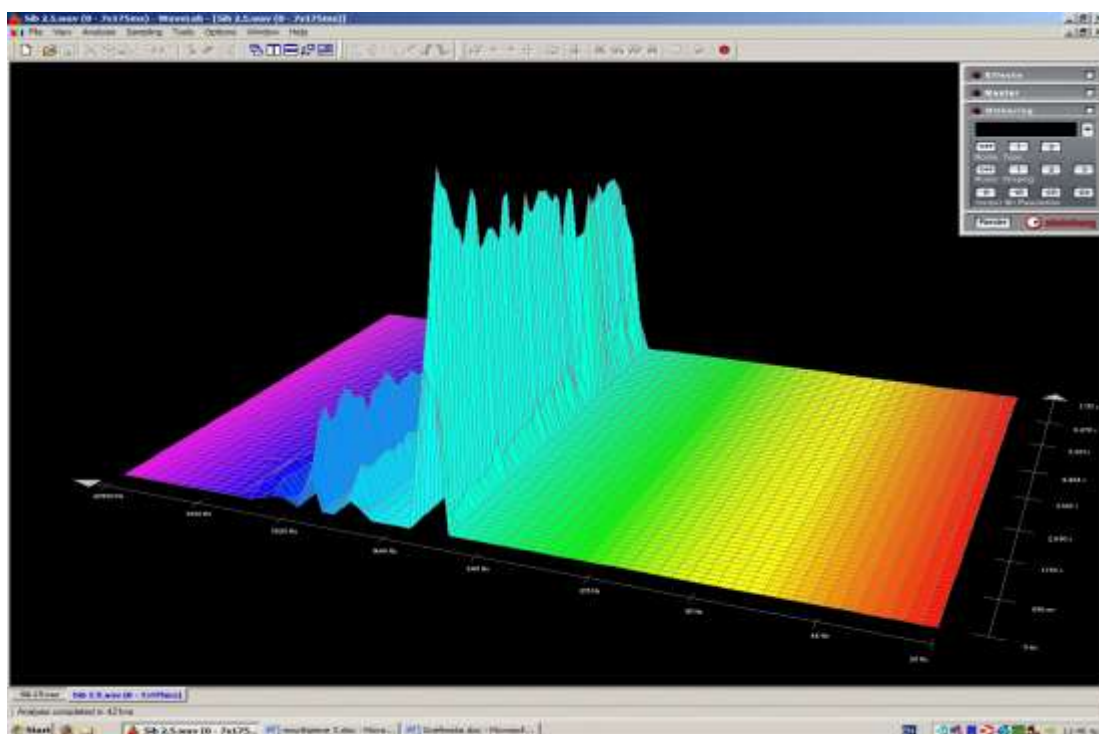


Γράφημα 2.1.3.: Η κυματομορφή του ηχητικού σήματος.

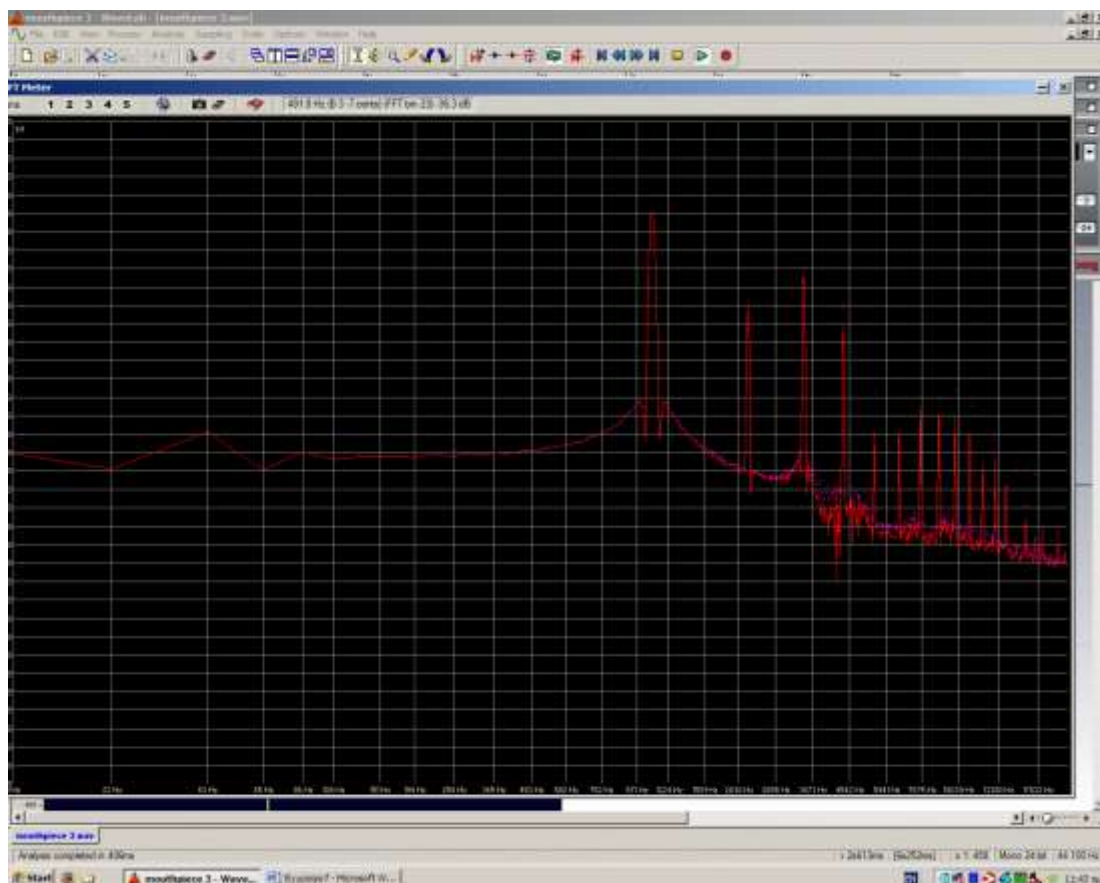


Γράφημα 2.1.4.: Η περίοδος του ηχητικού κύματος.

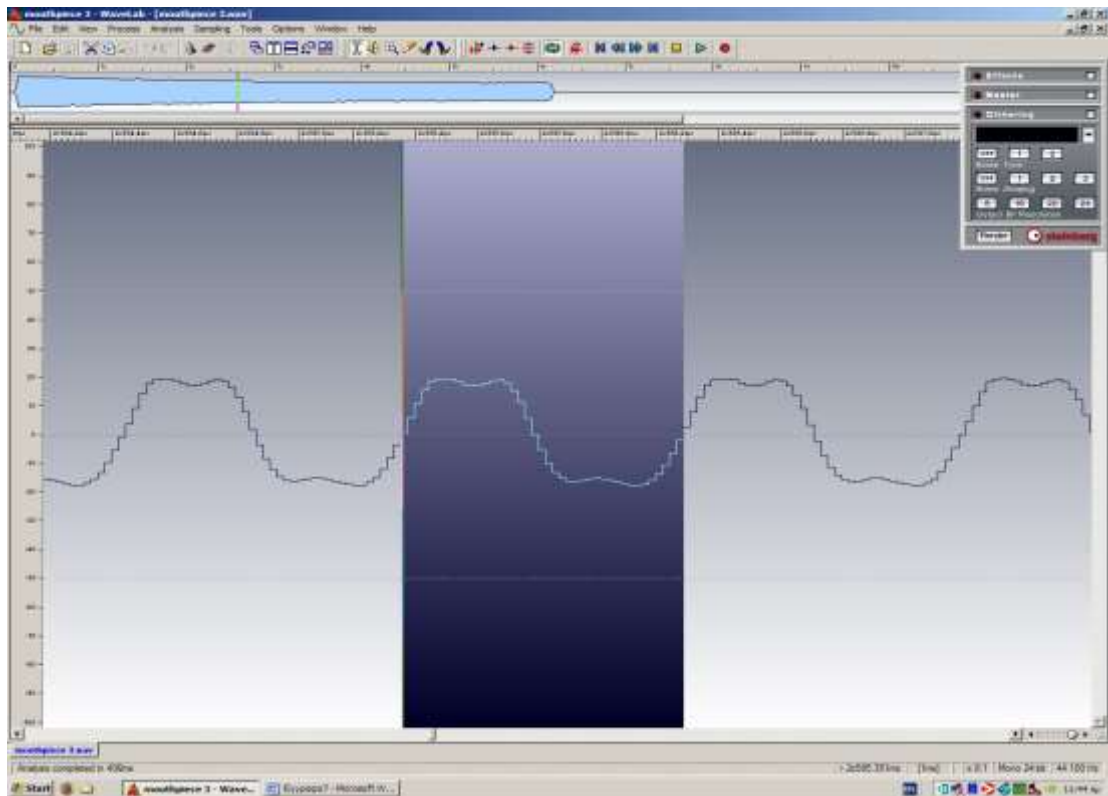
2.2 Γραφήματα επιστόμιου κλαρινέτου με καλαμίδα Νο 3



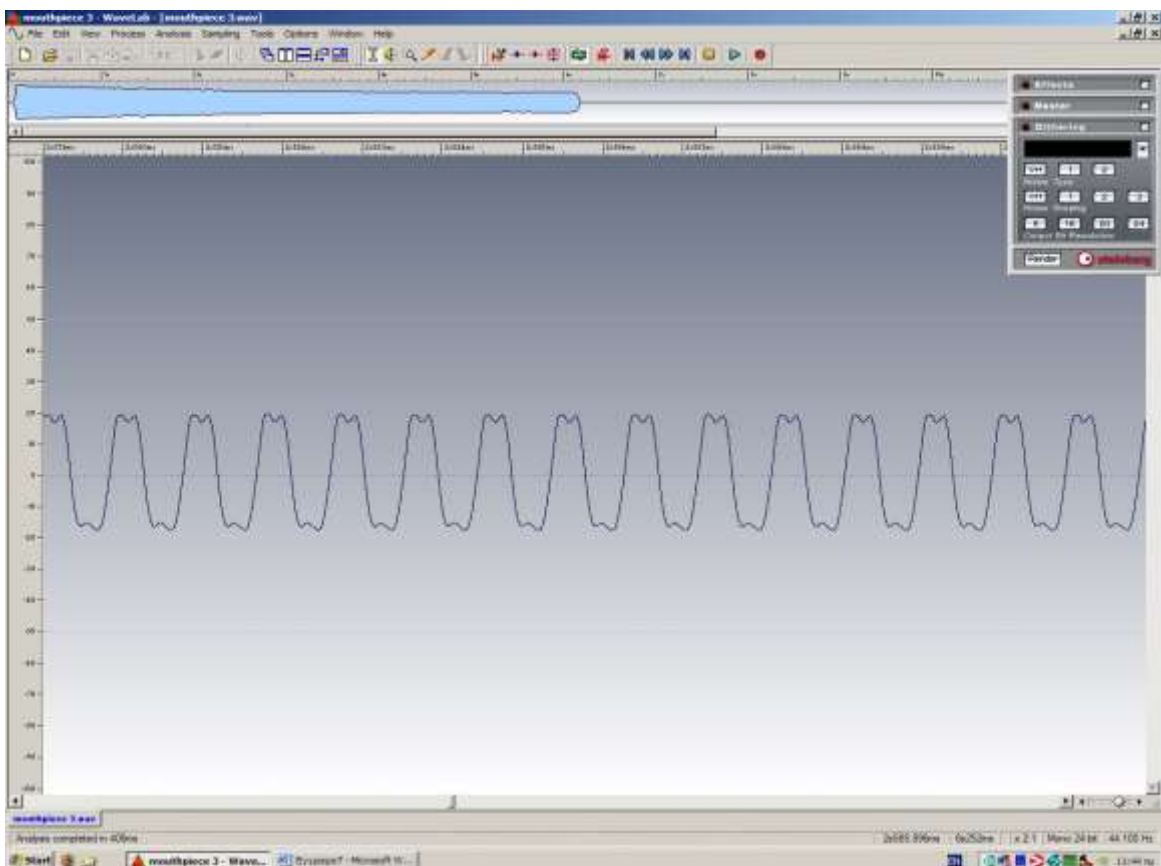
Γράφημα 2.2.1.: Συχνότητες (Hz) σε συνάρτηση με το χρόνο.



Γράφημα 2.2.2.: Συχνότητες (Hz) σε συνάρτηση με την ένταση (db).

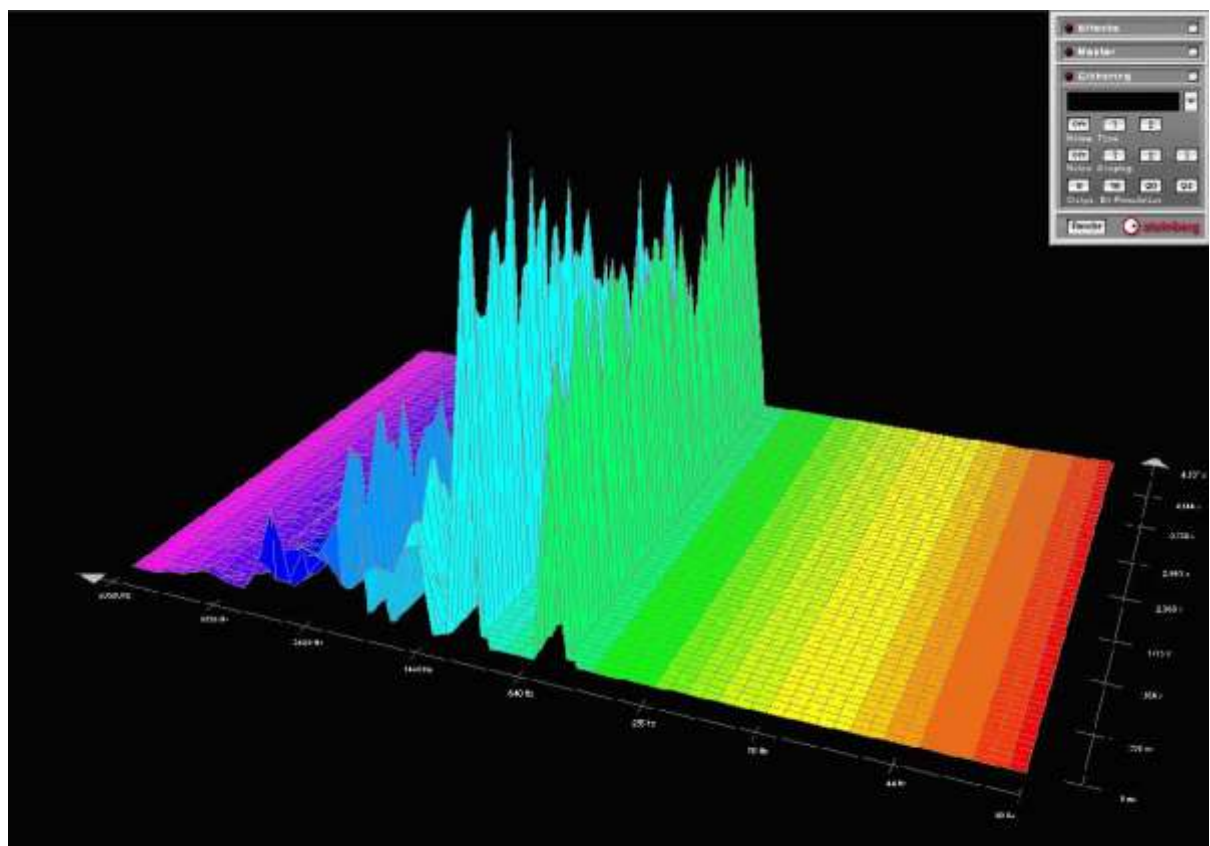


Γράφημα 2.2.3.: Η περίοδος του ηχητικού κύματος.

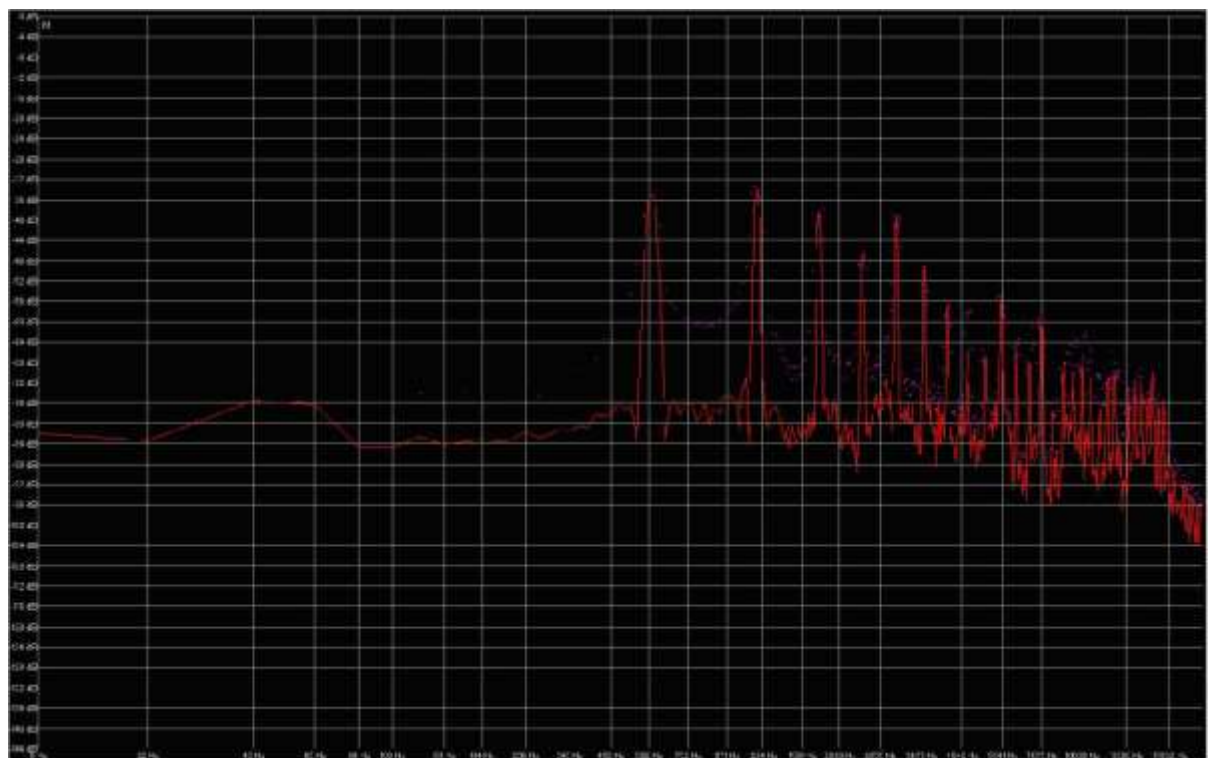


Γράφημα 2.2.4.: Η κυματομορφή του ηχητικού σήματος.

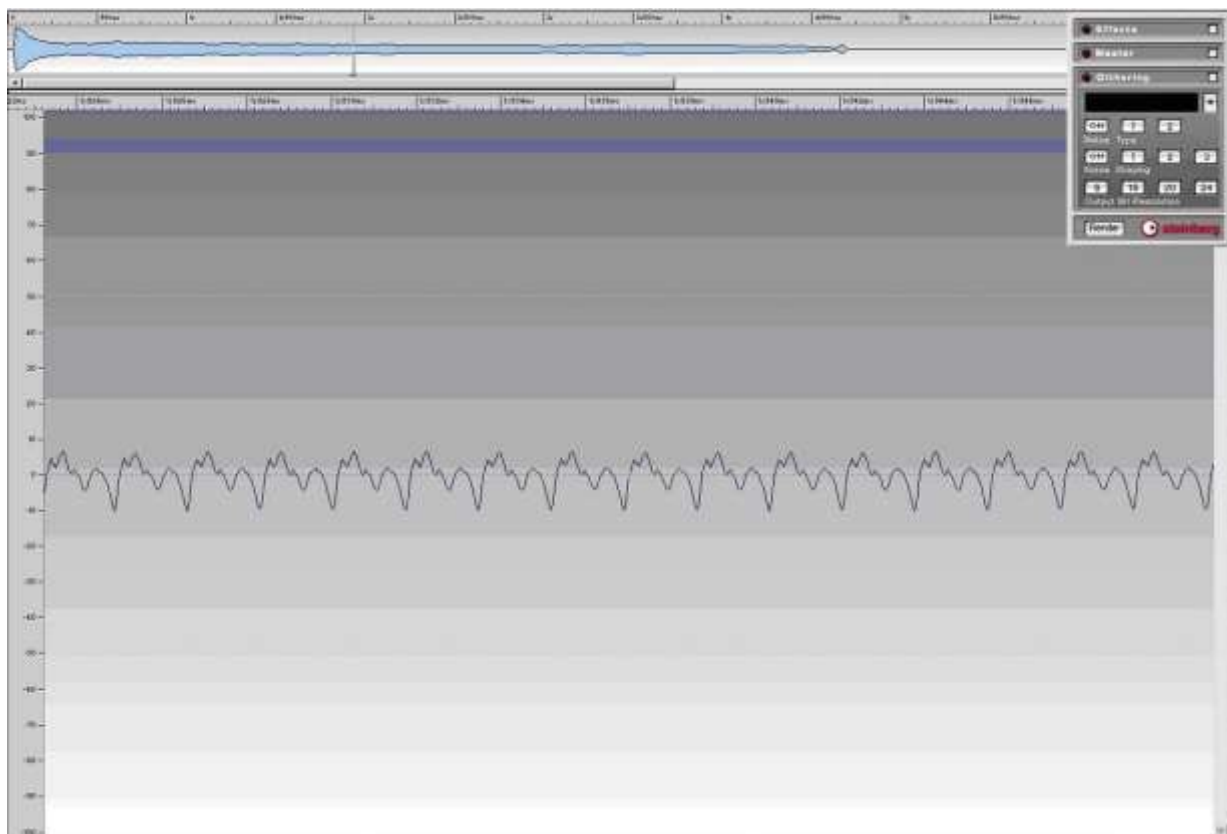
2.3 Γραφήματα καλαμίδας σαξόφωνου τενόρου



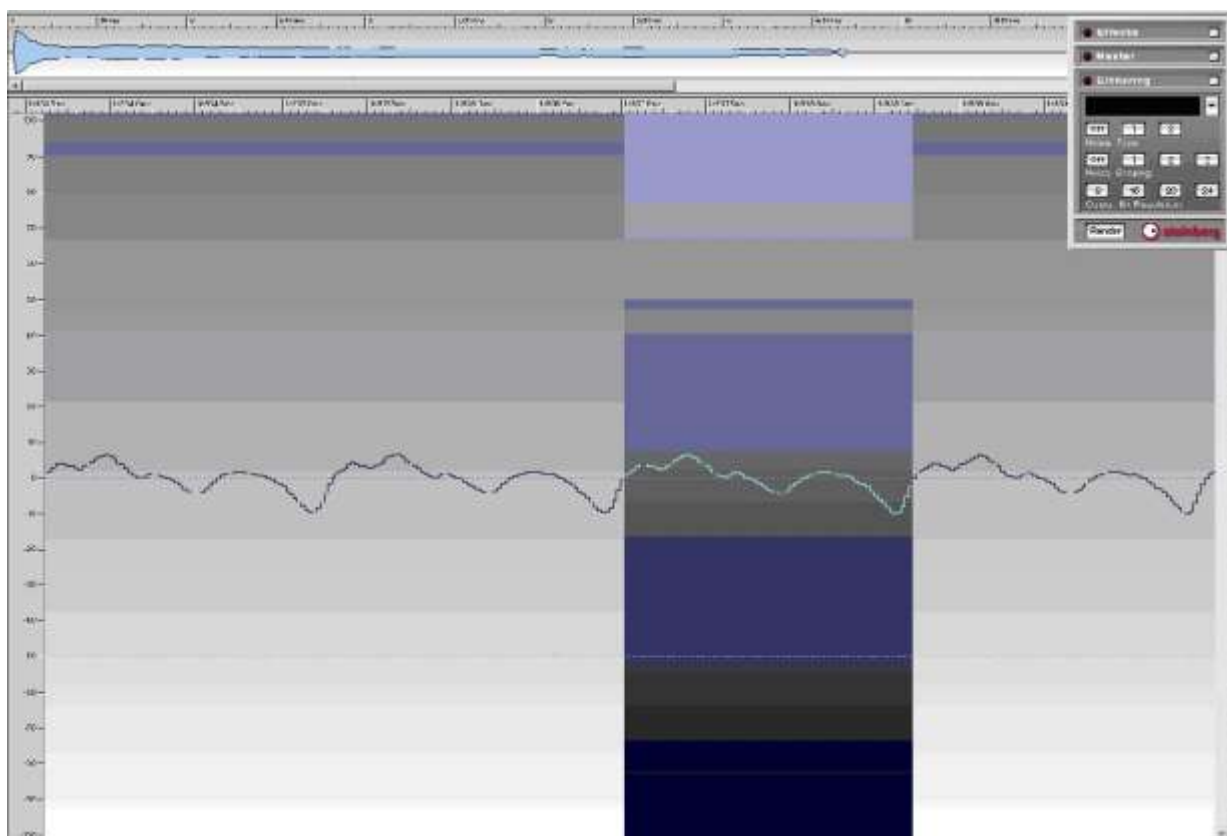
Γράφημα 2.3.1.: Συχνότητες (Hz) σε συνάρτηση με το χρόνο.



Γράφημα 2.3.2.: Συχνότητες (Hz) σε συνάρτηση με την ένταση (db).

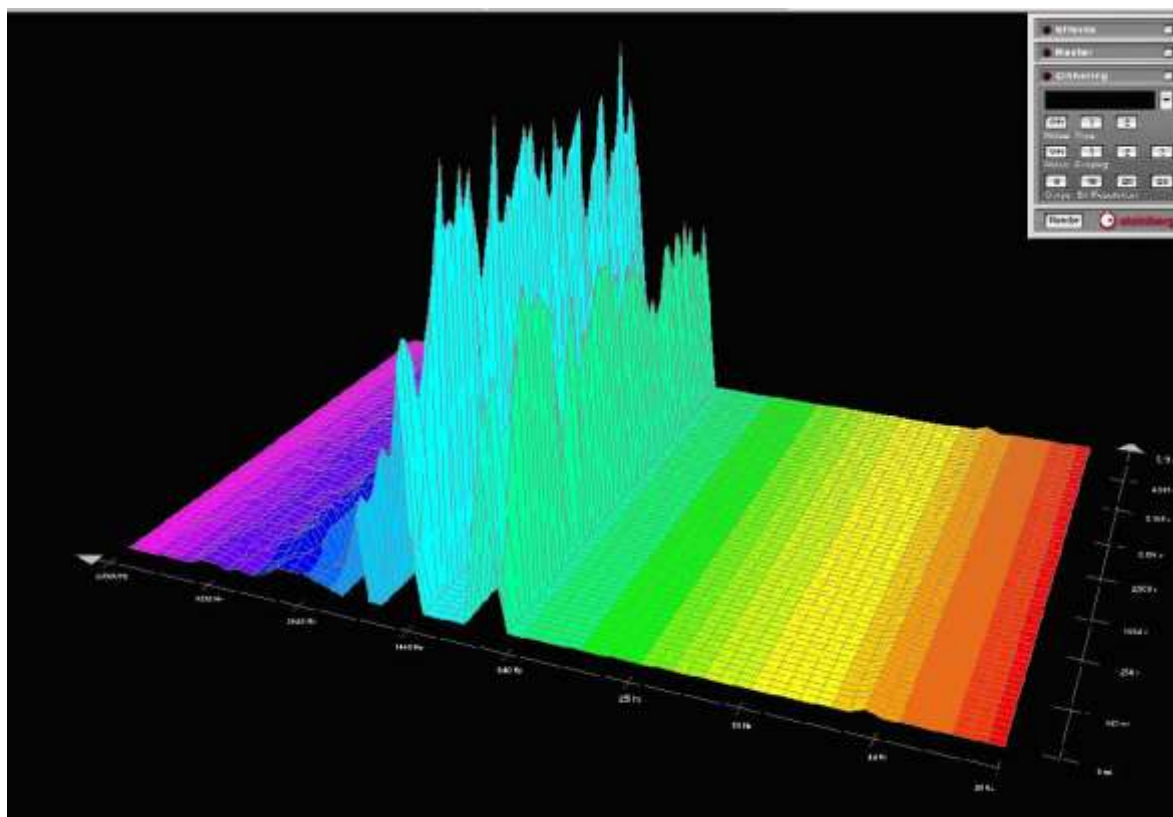


Γράφημα 2.3.3.: Η κυματομορφή του ηχητικού σήματος.

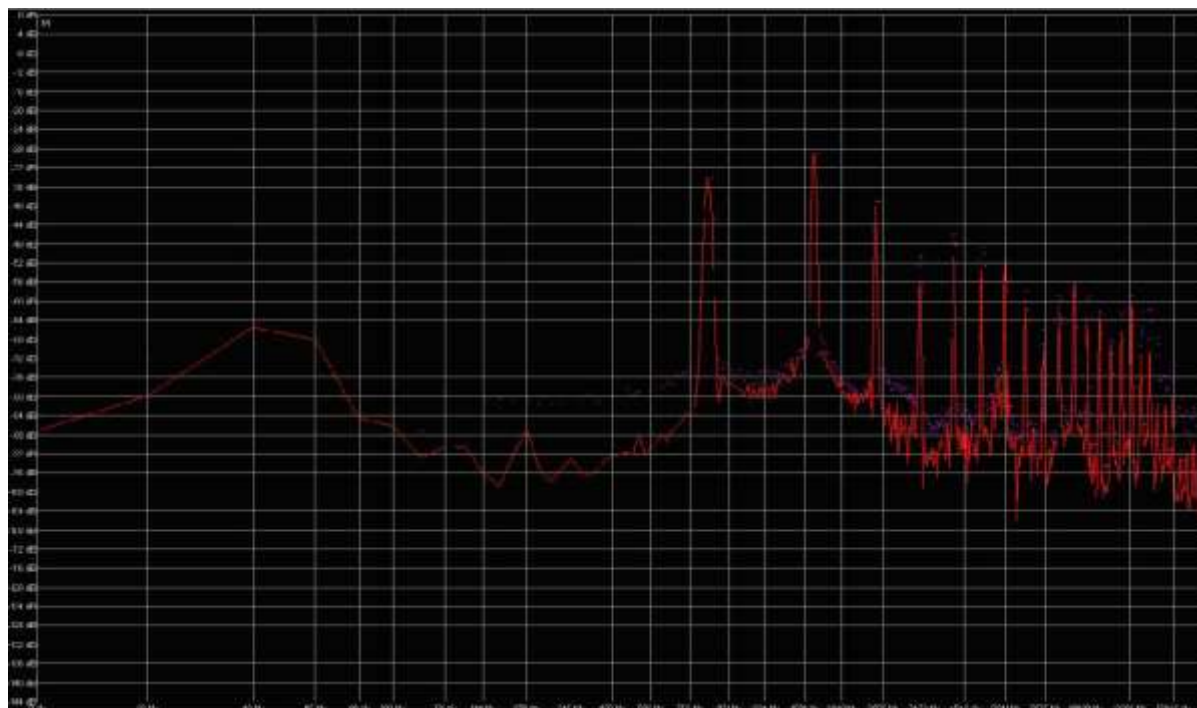


Γράφημα 2.3.4.: Η περίοδος του ηχητικού κύματος.

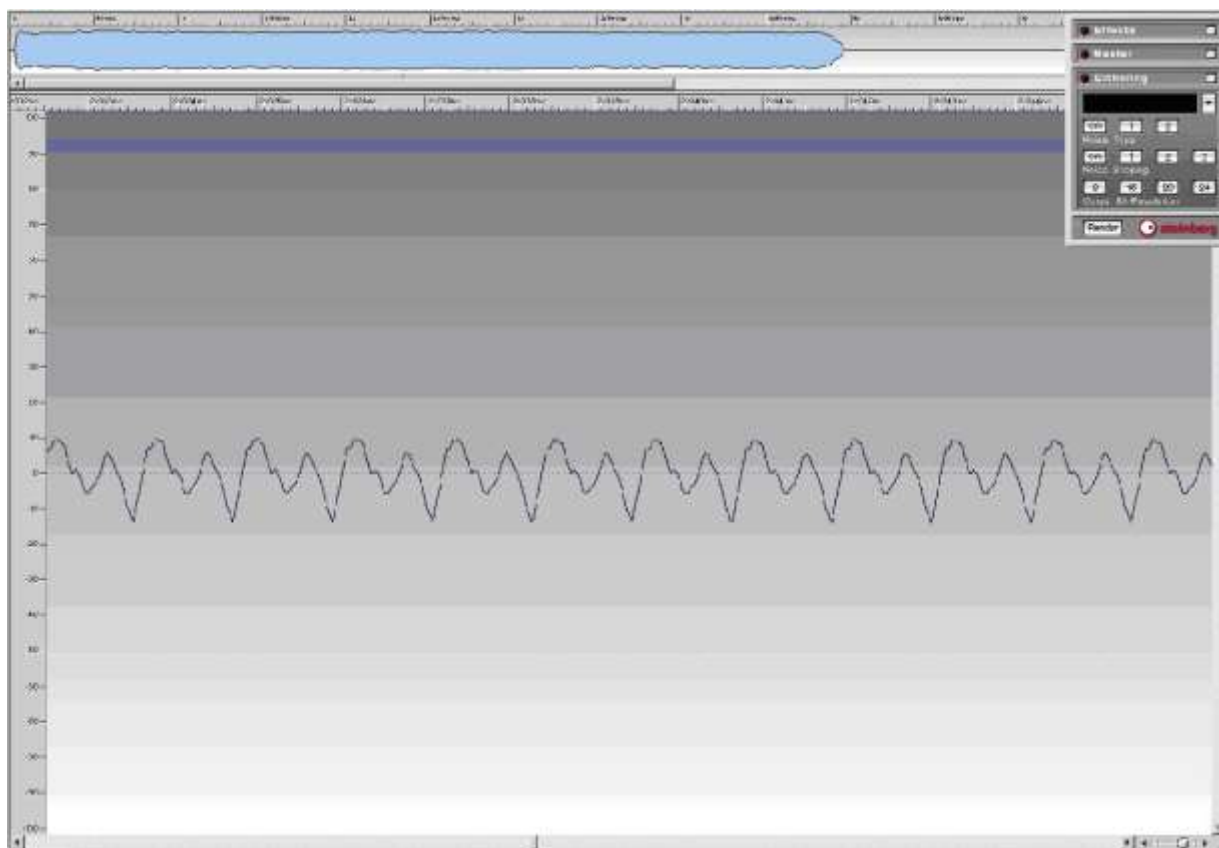
2.4 Γραφήματα καλαμίδας φαγκότου



Γράφημα 2.4.1.: Συχνότητες (Hz) σε συνάρτηση με το χρόνο.



Γράφημα 2.4.2.: Συχνότητες (Hz) σε συνάρτηση με την ένταση (db).



Γράφημα 2.4.3.: Η κυματομορφή του ηχητικού σήματος.



Γράφημα 2.4.4.: Η περίοδος του ηχητικού κύματος.

2.5 Ανάλυση ηχητικών σημάτων

Παραθέτοντας και συγκρίνοντας τα στοιχεία που μας προκύπτουν από τα γραφήματα, θα μπορέσουμε να καταλάβουμε τις διαφορές ανάμεσα στις καλαμίδες που συγκρίνουμε και θα εξάγουμε συμπεράσματα ως προς το ηχητικό τους αποτέλεσμα.

- Η καλαμίδα Νο 2.5 του κλαρινέτου απεικονίζεται με μέγιστη τιμή έντασης (-24 db) στη θεμέλιο συχνότητα που είναι περίπου 900Hz και ελάχιστη -107 db στα 5000 Hz (σχήμα 2.1.2). Η περίοδος είναι 0.9 ms (σχήμα 2.1.4).
- Η καλαμίδα Νο 3 του κλαρινέτου απεικονίζεται με μέγιστη τιμή έντασης (-20 db) στη θεμέλιο συχνότητα που είναι περίπου 1000Hz και ελάχιστη -100 db στα 3800 Hz (σχήμα 2.2.2). Η περίοδος είναι 1 ms (σχήμα 2.2.3).
- στην περίπτωση της καλαμίδας του τενόρου σαξοφώνου η συχνότητα του δεύτερου αρμονικού που είναι περίπου 1150 Hz παρουσιάζεται ισχυρότερη σε ένταση (-34 db) από τη θεμέλιο συχνότητα (-36 db) που είναι περίπου στα 550 Hz (σχήμα 2.3.2). Η περίοδος είναι 1,7 ms (σχήμα 2.3.4).
- Και στην περίπτωση της καλαμίδας του φαγκότου η συχνότητα του δεύτερου αρμονικού που είναι περίπου 1700 Hz παρουσιάζεται ισχυρότερη σε ένταση (-20 db) από τη θεμέλιο συχνότητα (-28 db) που είναι περίπου στα 850 Hz (σχήμα 2.4.2). Η περίοδος είναι 1,2 ms (σχήμα 2.4.4).

Σαν πρώτη σύγκριση θα ασχοληθούμε με τις καλαμίδες No 2.5 και No 3 του κλαρινέτου. Η καλαμίδα No 3 παράγει ήχο ισχυρότερο σε ένταση από την καλαμίδα No 2.5. Ταυτόχρονα, τονικά ψηλότερο ήχο. Ως προς το πλούτο του συχνοτικού φάσματος δεν μπορούμε να πούμε ότι παρουσιάζουν κάποια σημαντική διαφορά, αυτό τουλάχιστον φαίνεται από τα γραφήματα.

Εδώ θα παρεμβληθεί η ανάλυση του Fourier, σύμφωνα με την οποία όσο οξύτερες είναι οι κορυφές της αέρινης παλμοσειράς τόσο πλουσιότερος είναι ο ήχος σε αρμονικούς. Έτσι θα διαπιστωθεί από τα γραφήματα ότι ο ήχος της καλαμίδας του φαγκότου είναι ο πλουσιότερος σε αρμονικούς. Αν όχι τόσο πιο πλούσιος από αυτόν του σαξόφωνου, σίγουρα και ξεκάθαρα από αυτόν του κλαρινέτου, που είναι ο φτωχότερος.

Επίλογος

Τελειώνοντας, να αναφερθεί ότι η παρούσα εργασία ,που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του σεμιναρίου “η φυσική των μουσικών οργάνων”, δεν αποτελεί πανάκεια στη λύση του προβληματισμού όσο αναφορά τη μηχανική και τη συμπεριφορά της καλαμίδας. Αποτελεί όμως μια καλή εισαγωγή, για το σημαντικότερο κομμάτι ενός αερόφωνου οργάνου, από το μέρος της μηχανικής. Το υποκειμενικό ζήτημα που ονομάζεται καλαμίδα ,εξαρτάται και από άλλα στοιχεία ,όπως, η πυκνότητα του καλαμιού, η ελαστικότητά του, τα καιρικά φαινόμενα και από άλλους πολλούς αστάθμητους παράγοντες που για την εξήγησή τους χρειάζονται αρκετές σελίδες χαρτιού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΝΙΚΟΣ ΜΑΛΛΙΑΡΑΣ,(1996), Ιστορία των μουσικών οργάνων,
 - σημειώσεις για φοιτητές
- ΦΟΙΒΟΣ ΑΝΩΓΕΙΑΝΑΚΗΣ,(1976),*Ελληνικά Λαϊκά Μουσικά Όργανα*,
 - εκδόσεις ΜΕΛΙΣΣΑ
- ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΣΠΥΡΙΔΗΣ, *Η φυσική των μουσικών οργάνων*,
 - εκδόσεις Graphonline
- ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΣΠΥΡΙΔΗΣ,(2005), *Φυσική και μουσική ακουστική*,
 - εκδόσεις Graphonline
- HARRY F.OLSON,(1967), *Music,Physics and Engineering*
 - DOVER PUBLICATIONS,INC.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

- ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΓΚΥΚΛΟΠΑΙΔΙΑ

<http://en.wikipedia.org/>

- <http://www.phys.unsw.edu.au/jw/clarinetacoustics.html#reed>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Double_reed
- <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/645041/wind-instrument/53798/Flutes-and-reeds#ref=ref131152>
- http://www.essortment.com/hobbies/clarinet/reeds_szls.htm

