

Ξύλο ή Μέταλλο; Επίδραση του Υλικού στο Ηχόχρωμα των Φλάουτων

Διονύσιος Θ. Γ. Κατερέλος

Αν/τής Καθηγητής,

Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Μουσικής Ακουστικής και Ταλαντώσεων, Τμήμα Τεχνών Ήχου και Εικόνας, Ιόνιο Πανεπιστήμιο, Στ. Τυπάλδου, Ληξούρι, 28200

dkaterelos@ionio.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα από τα ζητήματα της απόδοσης ενός μουσικού οργάνου είναι αν το υλικό κατασκευής του παίζει ρόλο στο ηχόχρωμά του. Οι περισσότερες από τις προσπάθειες απάντησης του ερωτήματος αυτού βασίζονται στην ακρόαση μουσικών οργάνων κατασκευασμένων από διαφορετικά υλικά. Στο άρθρο αυτό επιλέχθηκε το φλάουτο για τη διερεύνηση της επίδρασης του υλικού κατασκευής στο ηχόχρωμα. Εξετάστηκαν δυο περιπτώσεις. Στην πρώτη καταγράφηκαν ένα μεταλλικό και ένα ξύλινο φλάουτο. Στη δεύτερη καταγράφηκε ένα μεταλλικό φλάουτο με ξύλινη και μεταλλική κεφαλή. Ο παραγόμενος ήχος επεξεργάστηκε για την εξαγωγή φασματογραφήματος. Οι ιδιοσυχνότητες ταλάντωσης της αέριας στήλης, που προέκυψαν από τα φασματογραφήματα αναλύθηκαν και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν μεταξύ τους. Το συμπέρασμα που προέκυψε είναι ότι το υλικό παίζει ρόλο στο ηχόχρωμα, αν και οι καταγραφείσες διαφορές δεν είναι αντιληπτές.

Wood or Metal? Materials Influence on the Flutes Sound Timbre

ABSTRACT

One issue in musical instruments performance is whether the materials that are used to manufacture a musical instrument play role in the sound timbre produced by the instrument. Several attempts presented to answer this question are mostly based on listening musical instruments manufactured from different materials. In this paper the flute was chosen to investigate the manufacturing materials effect on the sound timbre. Two cases were examined. In the first two flutes, a metallic and a wooden were recorded. In the second, a metallic flute with two head joints, one metallic and the other wooden were recorded. The sound produced in all four cases was processed to extract the sound spectrograms. Examining in detail the spectrograms, analysing the eigenfrequencies of the vibrating aerial column and comparing the results corresponding to the same notes lead to the conclusion that the material plays a role in the sound timbre, although differences could be non-listened by the musician or a listener.

Εισαγωγή

Η επίδραση των υλικών στα μουσικά όργανα αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τον προσδιορισμό της ποιότητας του ήχου και του ηχοχρώματος, το οποίο αναφέρεται στις αρμονικές που παράγονται από ένα όργανο. Η έρευνα σε αυτόν τον τομέα συνεχίζεται, με το Miller [1] να είναι από τους πρώτους που συνέδεσαν το υλικό των πνευστών οργάνων με το ηχοχρώμα τους. Παρά τον αρχικό σκεπτικισμό, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα υλικά επηρεάζουν τον τόνο, αν και οι λόγοι παραμένουν ασαφείς. Ο Backus [2] προσπάθησε να ποσοτικοποιήσει αυτή την επίδραση στα κλαρινέτα, αλλά δεν βρήκε σημαντική διαφορά μεταξύ ξύλινων και πλαστικών μοντέλων. Πολλές μελέτες, όπως αυτές των Berger [3] και Coltman [4], βασίστηκαν σε ακουστικά τεστ για να εξετάσουν τις διαφορές στο ηχοχρώμα μεταξύ οργάνων κατασκευασμένων από διάφορα υλικά όπως ξύλο, ασήμι και χαλκό. Τα αποτελέσματα συχνά ήταν ασαφή, με τους ακροατές να μην μπορούν να διακρίνουν σημαντικές διαφορές στον τόνο.

Πιο πρόσφατες μελέτες διεύρυναν την έρευνα, εστιάζοντας στη δραστηριότητα του εγκεφάλου και την επίδραση του υλικού στο φλάουτο. Για παράδειγμα, οι Cocchi και Tronchin [5] μέτρησαν τις διαφορές στην ποιότητα του ήχου μεταξύ νέων και παλαιών μεταλλικών φλάουτων, ενώ η Hurtgen [6] εξερεύνησε τις σύνθετες δονήσεις που προκαλούνται από τα υλικά του τοιχώματος του φλάουτου. Οι Widholm κ. ά. [7] πραγματοποίησαν διπλές-τυφλές δοκιμές, δείχνοντας ότι το υλικό δεν είχε σημαντική επίδραση στον τόνο. Έρευνες [8-10] για τις κεφαλές των φλάουτων έδειξαν επίσης ότι ο κατασκευαστής του οργάνου είχε μεγαλύτερη επίδραση στις αρμονικές από το ίδιο το υλικό.

Αυτό το άρθρο συγκρίνει ξύλινα και μεταλλικά φλάουτα αναλύοντας τα φασματογραφήματά τους, αποκαλύπτοντας διαφορές στο ηχοχρώμα. Εξετάζεται επίσης η επίδραση των κεφαλών φλάουτου από διάφορα υλικά. Απαιτείται περαιτέρω αξιολόγηση από μουσικούς για να κατανοηθεί πλήρως η σημασία αυτών των ευρημάτων.

1. Πειραματική διαδικασία

1.1 Ηχογράφηση και μετρήσεις ήχου

Η μέτρηση του φάσματος ενός μουσικού οργάνου είναι ένα πολύπλοκο θέμα [11]. Στην περίπτωση που εξετάστηκε, χρησιμοποιήθηκε το στούντιο ηχογράφησης του πρώην Τμήματος Τεχνολογίας Ήχου και Μουσικών Οργάνων του πρώην ΤΕΙ Ιονίων Νήσων για την ηχογράφηση του ήχου που παρήχθη από τα δύο όργανα. Δύο έμπειροι φλαουτίστες κλήθηκαν να παίξουν τα φλάουτα. Ο θόρυβος περιβάλλοντος μετρήθηκε πριν το παίξιμο με τη χρήση του ηχομέτρου Briel & Kjaer 2250 τύπου I. Για να μειωθεί η μεταβλητότητα στο στυλ παιξίματος, οι μουσικοί έπαιξαν και με τα δύο όργανα. Ηχογραφήθηκαν όλες οι νότες της ντο μείζονος κλίμακας και κάθε νότα ηχογραφήθηκε τέσσερις φορές, συγκεντρώνοντας συνολικά 72 σήματα από κάθε όργανο. Οι ηχογραφημένες ηχητικές ενδείξεις αποθηκεύτηκαν σε υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία σήματος.

Ο ήχος ηχογραφήθηκε με τη μέθοδο κλειστής τοποθέτησης μικροφώνων, ώστε

να υπάρξει εστίαση στον ίδιο τον ήχο του οργάνου, χωρίς επιρροή από εξωτερικούς παράγοντες. Χρησιμοποιήθηκαν επτά μικρόφωνα, τοποθετημένα συμμετρικά γύρω από τον μουσικό. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μικροφώνων παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1.1 Γενικά τεχνικά χαρακτηριστικά των μικροφώνων που χρησιμοποιήθηκαν

Τύπος μικροφώνου	Audio Technica 4050 (i and vi)	Behringer ECM8000 (ii and v)	AKG C451-B (iii and iv)	AKG C414 B-ULS (vii)
Αρχή μετατροπής	Πυκνωτικό	Πυκνωτικό	Πυκνωτικό	Πυκνωτικό
Πολικό διάγραμμα	Παντοκατευθυντικό, καρδιοειδές και δι-κατευθυντικό	Παντοκατευθυντικό	Καρδιοειδές	Παντοκατευθυντικό, καρδιοειδές, υπερ-καρδιοειδές και δι-κατευθυντικό
Συχοτική απόκριση	20 Hz-18 kHz	15 Hz-20 kHz	20 Hz-20 kHz	20 Hz-20 kHz

Η επιλογή μικροφώνων βασίστηκε στην καμπύλη απόκρισης συχνότητας. Χρησιμοποιήθηκαν μικρόφωνα με μικρή και μεγάλη διάμετρο διαφράγματος για καλύτερη απόκριση σε υψηλές και χαμηλές συχνότητες αντίστοιχα. Ο εξοπλισμός ελέγχου περιλάμβανε έναν ελεγκτή C24, ηχεία, λογισμικό και κάρτα ήχου. Τα μικρόφωνα ήταν συνδεδεμένα με την αίθουσα ελέγχου μέσω πολυπλέκτη.

1.2 Φλάουτα από μέταλλο και ξύλο

Το φλάουτο αποτελείται από τρία κύρια μέρη: τον αρμό (ποδαράκι), το σώμα και την κεφαλή. Στην περίπτωση που εξετάστηκε, τα δύο φλάουτα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τύπου Boehm, με τις ίδιες γεωμετρικές και μηχανικές ιδιότητες, με μόνη διαφορά το υλικό κατασκευής. Το ένα φλάουτο ήταν μεταλλικό από κράμα νικελίου-ασημιού, ενώ το δεύτερο ήταν ξύλινο, κατασκευασμένο εξ' ολοκλήρου από έβενο. Η κεφαλή και τα μηχανικά μέρη και των δύο οργάνων ήταν κατασκευασμένα από κράμα νικελίου-ασημιού.

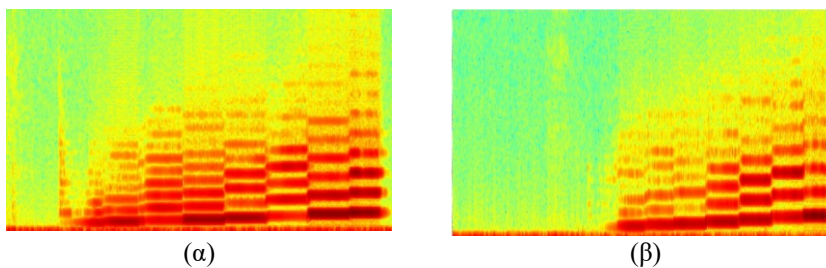
1.2 Κεφαλές φλάουτου

Στη δεύτερη φάση του πειράματος, ερευνήθηκε η επίδραση του υλικού της κεφαλής του φλάουτου στο ηχόχρωμα. Χρησιμοποιήθηκε ένα φλάουτο Yamaha 271, με δύο διαφορετικές κεφαλές: μία μεταλλική και μία ξύλινη κατασκευασμένη από τριανταφυλλιά. Ο μουσικός έπαιξε νότες σε όλες τις οκτάβες, και ο ήχος

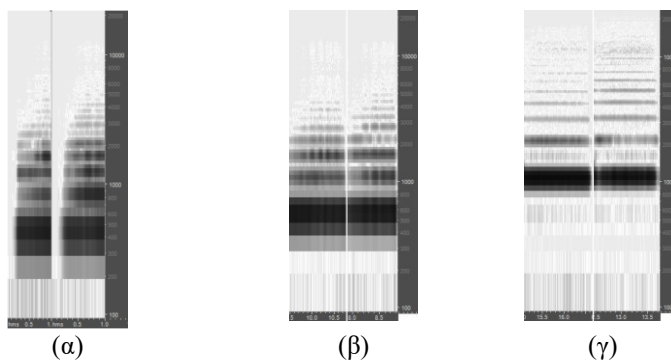
ηχογραφήθηκε με την ίδια μέθοδο όπως παραπάνω.

2. Αποτελέσματα

Για κάθε σήμα ηχογράφησης εφαρμόστηκε βραχυχρόνιος μετασχηματισμός Fourier (Short Time Fourier Transform - STFT). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε φασματογραφήματα, όπου ο άξονας των κάθετων αντιπροσωπεύει τις συχνότητες και ο άξονας των οριζόντιων τον χρόνο. Στην εικόνα 2.1 παρουσιάζεται το φασματογράφημα πλήρους οκτάβας από τα μεταλλικό και ξύλινο φλάουτα, ενώ στην εικόνα 2.2 παρουσιάζεται ενδεικτικό φασματογράφημα από το μεταλλικό φλάουτο με ξύλινη και μεταλλική κεφαλή. Τα σήματα από τις κεφαλές των φλάουτων και από τις νότες που παίχτηκαν παρουσιάζουν διαφορές στο ηχόχρωμα. Η ένταση του χρώματος ορίζει το ποσοστό συνεισφοράς της κάθε συχνότητας στο τελικό ηχόχρωμα.



Εικόνα 2.1 Φασματογράφημα σήματος πλήρους ντο μείζονος κλίμακας από (α) το μεταλλικό και (β) το ξύλινο φλάουτο



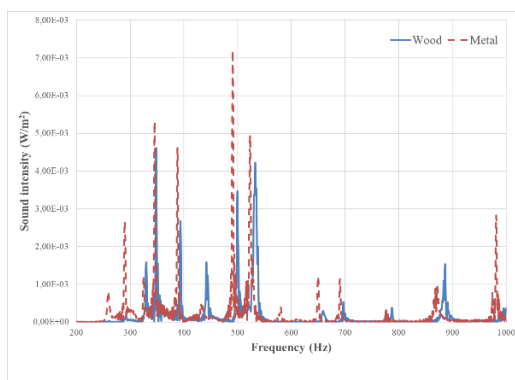
Εικόνα 2.2 Φασματογράφημα των νοτών φα(1) (α), ρε(2) (β) και ρε(3) (γ) μεταλλικού φλάουτου με μεταλλική (δεξιά) και ξύλινη (αριστερά) κεφαλή

3. Συζήτηση

3.1 Μεταλλικό και ξύλινο φλάουτο

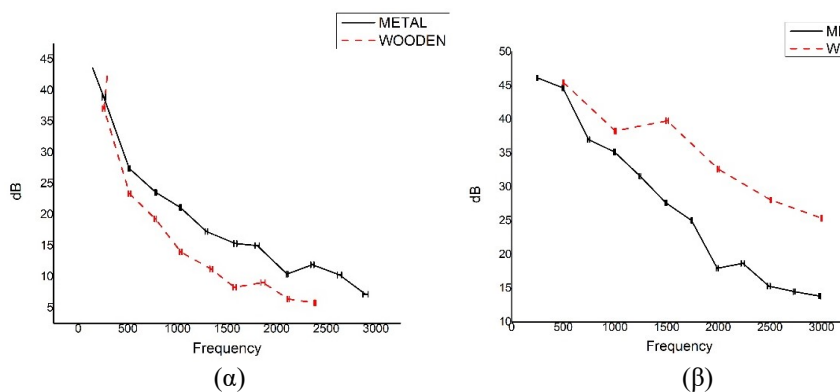
Εκ πρώτης όψεως τα φασματογραφήματα δύσκολα δείχνουν διαφορές. Όμως, αν

ειδωθούν όπως στο διάγραμμα της εικόνας 3.1, όπου παρουσιάζονται οι θεμελιώδεις (πρώτες ιδιοσυχνότητες) κάθε νότας της οκτάβας, οι διαφορές εμφανίζονται, τόσο στην ένταση (που όμως εξαρτάται και από τον εκτελεστή) όσο και, ιδιαίτερα, στην τιμή κορυφής των συχνοτήτων, οι οποίες είναι γειτονικές αλλά διαφορετικές.



Εικόνα 3.1 Η ένταση του ήχου ως συνάρτηση της συχνότητας για πλήρη οκτάβα

Στην επόμενη εικόνα (3.2) παρουσιάζονται οι ιδιοσυχνότητες που σχηματίζουν τις νότες ντο (α) και ντο(2) (β), όπου γίνονται ξεκάθαρες οι διαφορές ανάμεσα στα δύο όργανα. Η σημαντικότερη από αυτές τις διαφορές είναι ότι το μεταλλικό φλάουτο παράγει περισσότερες συχνότητες από το ξύλινο άρα έχει πιο πλούσιο ηχόχρωμα. Επίσης, παρατηρούνται διαφορές στην ένταση της κάθε συχνότητας, αλλά, όπως προαναφέρθηκε, αυτές μπορεί να οφείλονται και στον εκτελεστή. Αντίστοιχα παρατηρήθηκαν και για τις άλλες νότες στην κλίμακα.



Εικόνα 3.2 Ιδιοσυχνότητες που αποτελούν τις νότες ντο (α) και ντο(2) (β)

3.2 Μεταλλικό φλάουτο με διαφορετικές κεφαλές

Παρόμοια ευρήματα παρουσιάζονται και στην ανάλυση των μετρήσεων μεταλλικού φλάουτου με διαφορετικές κεφαλές. Εδώ το υλικό κατασκευής της

κεφαλής φαίνεται να μην επηρεάζει σημαντικά το ηχόχρωμα, παρά μόνο ελαφρώς στις υψηλότερες αρμονικές.

4. Συμπεράσματα

Το υλικό κατασκευής ενός μουσικού οργάνου, στην προκειμένη περίπτωση του φλάουτου, επηρεάζει το ηχόχρωμα που παράγεται. Το μεταλλικό φλάουτο, γενικά, παράγει πιο πλούσιο ηχόχρωμα από το ξύλινο. Επιπλέον, οι διαφορές στις κεφαλές των φλάουτων, αν και υπαρκτές, δεν είναι τόσο σημαντικές όσο το υλικό του ίδιου του οργάνου. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την πλήρη κατανόηση της επιρροής των υλικών κατασκευής στις ηχητικές ιδιότητες των μουσικών οργάνων.

5. Ευχαριστίες

Ο συγγραφέας επιθυμεί να ευχαριστήσει για τη συνεισφορά τους, τους Μάγια Παπαγεωργίου, Μυρτώ Κορκοκίου, Μαρία Μπακάλη, Χρήστο Μυλωνά, Νίκο Διπλάρη, Γιώργο Παράσχο†, Στέλιο Μιμηλάκη, Κωνσταντίνο Δρόσο, Νίκο Λάσκαρη και Τάσο Κόκκινο

6. Αναφορές

- [1] D.C. Miller «The Influence of the Material of Wind-Instruments on the Tone Quality» *Science, New Series* **29**, pp 161-171 (1909)
- [2] J. Backus «Effect of Wall Material on the Steady-State Tone Quality of Woodwind Instruments» *J. Acoust. Soc. Am.* **36**, pp. 1881-1887 (1964)
- [3] K.W. Berger «Some Factors in the Recognition of Timbre» *J. Acoust. Soc. Am.* **36**, pp. 1888-1891 (1964)
- [4] J.W. Coltman «Effect of Material on Flute Tone Quality» *J. Acoust. Soc. Am.* **49**, pp. 520-523 (1970)
- [5] A. Cocchi and L. Tronchin «Material and Obsolescence on Flute Quality» *J. Acoust. Soc. Am.* **103**, pp. 763-764 (1998)
- [6] C.M. Hurtgen «Body Vibrational Spectra of Metal Flutes Models» *J. Undergrad. Res. Phys.* **18**, pp. 26-31, (2000)
- [7] G. Widholm, R. Linortner, W. Kausel and M. Bertsch «Silver, gold, platinum—and the sound of the flute» in *Proc. International Symposium on Musical Acoustics*, 277–280 (2001)
- [8] J. Smith, J. Wolfe and M. Green «Head Joint, Embouchure Hole and Filtering Effects on the Input Impedance of Flutes» in *Proc. Stockholm Music Acoustics Conference* (2003)
- [9] N.H. Fletcher, J.W. Strong and R.K. Silk «Acoustical Characterization of Flute Head Joints» *J. Acoust. Soc. Am.* **71**, pp. 1255-1260 (1982)
- [10] C.D. Young and D. Boyd Schultz «Effects of Head Joint Material and Instrument Manufacturer on Flute Timbre, as Measured by the Intensity of the First Nine Overtones in the Harmonic Series» *Univ. Alabama McNair J.* pp. 139-154 (2009)
- [11] A.H. Benade and C.O. Larson «Requirements and Techniques for measuring the musical spectrum of the clarinet» *J. Acoust. Soc. Am.* **78**, pp. 1475-1498 (1985)