

**Η ΜΟΥΣΙΚΗ, ΟΙ ΜΟΥΣΙΚΟΙ ΚΑΙ ΟΙ ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ**

Πριν προχωρήσει κανείς στην κριτική μιας συσκευής υψηλής ποιότητας, είναι χρήσιμο να αναρωτηθεί για την ποιότητα της ηχογράφησης που χρησιμοποιεί στις ακροάσεις του. Και πριν από αυτό, ίσως πρέπει να προβληματισθεί για την ακουστική αυτής καθ' αυτής της ορχήστρας και του φυσικού χώρου της, της αίθουσας συναυλίας.

Με δεδομένο ένα τέτοιο προβληματισμό, προκίπνουν πολλά και ενδιαφέροντα συμπεράσματα όχι μόνο για το πως τελικά ακούγεται μια ορχήστρα αλλά και για τις παραμέτρους που επηρεάζουν άμεσα την κηπική της και ελάχιστα σχετίζονται με το αυτίο.

**Του Λίβιου Ζαϊνέα**

Στο ακουστικό περιβάλλον ενός μουσικού υπάρχουν πολλά στοιχεία, που μπορεί να επηρεάζουν την κανονικότητά του είτε σαν σολίστα, είτε παίζοντας σε σύνολο. Πρέπει να υπάρχει μία ισορροπία μεταξύ της επιπαιδιότητας του μουσικού να ακούει τον εαυτό του - *hearing of self* (πληροφορίες για το pitch, χροιά και εκφραστικότητα) και να ακούει τους άλλους μουσικούς - *hearing by others* (για το χρονικό συγχρονισμό και συντονισμό στα απαραίτητα pitch). Επίπλέον του *self* και *others* θα υπάρχουν μουσικές πληροφορίες, που έχοντας λιγότερη σημασία για το σύνολο, παράγουν όμως επικάλυψη και στις δύο πλευρές, τα λεγόμενα σήματα παρεμβολής - *interference* [15-23]. Για μια καλή μεταφορά των μουσικών πληροφοριών μεταξύ των μουσικών, οι διακυμάνσεις των επιπέδων των φασμάτων κάθε φθόγγου πρέπει να διατηρούνται, όσο γίνεται καλύτερα. Η αρχή, που ενώνει αυτήν την μεταφορά και επιτρέπει συνεχείς διορθώσεις των μουσικών, είναι η *modulation transfer function* - MTF, δηλαδή η συνάρτηση μεταφοράς της διαμόρφωσης της κηπικής πληροφορίας. Το MTF εισήχθη το 1973 από τους Houtgast και Steeneken (*Acustica* Vol. 28 σελ. 66-73). Το σχήμα 3 [33] δείχνει τη μορφή των σημάτων (input-output) και την αξία του  $m(f)$ , που εκφράζει το βαθμό διατήρησης των αρχικών διαμορφώσεων (*Intensity modulations*) ως συνάρτηση συχνότητας διαμόρφωσης. Η βιβλιογραφία [24-33, 69, 70] καλύπτει σχεδόν πλήρως τη θεωρητική υποστήριξη του φαινομένου.

Το πέρασμα από τα πειράματα στο εργαστήριο (Rasch) στη ρεαλιστική κατάσταση της αίθουσας καλύπτεται από τα πειράματα Gade [17] (1978-1989) και Naylor [15-16, 70] (1988, 1991).

Τα σχήματα 1 και 2 του Gade δείχνουν τα διαγράμματα λειτουργίας των πειραμάτων σε ανηχοϊκό δωμάτιο για τους σολίστες (Σχ 1) και εξομοιώσεις των συνθηκών για σύνολο μεγάλης ορχήστρας.

Τα σχήματα 15 και 16 (Gade) δείχνουν συγκριτικά μεταξύ ομάδων, που παίζουν η μία έγχορδα - τσέλα και βιολιά - και η άλλη φλάουτο, την επιρροή της ενέργειας των πρώιμων ανακλάσεων από το πάτωμα και πλαϊνούς τοίχους.

Γενική παρατήρηση: Φαίνεται, ότι είναι πιο εύκολο για τους φλαουτίστες, να ανηλεφθούν την επιρροή των ανακλάσεων, δηλαδή το δικό τους ήχο. Στο σχήμα 15 η διακεκομμένη γραμμή δείχνει το επίπεδο μιας ανάκλασης, που εξασθενεί πάνω σε μία επίπεδη οκληρή επιφάνεια.

Το σχήμα 16 συνεχίζει τα αποτελέσματα του σχ. 15. Στη θέση 1 οι μουσικοί έπαιζαν 2 m από την άκρη της σκηνής και στη θέση 2 πιο κοντά προς τον οπίσθιο τοίχο.

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων Naylor φαίνονται στα σχήματα 4, 5, 9 (A, B) και 10 (A, B).

Η μέθοδος 2AFC (2 εναλλακτικές αναγκαστικές επιλογές του Levitt [54 II]) επιτρέπει την εκτίμηση των 70,7% των απαντήσεων, που σχηματίζουν μία ψυχομετρική συνάρτηση, όπως στα σχήματα 4 και 5.

Το σχήμα δείχνει τη μέση διαφορά μεταξύ  $L_o$  (άλλοι μουσικοί - *others*) και  $L_s$  (*self*) για ποικίλους τρόπους ακομπανιασμένο (*unison* -  $\Delta$ , απλή αντίσπξη  $\_$ , τριπλή αντίσπξη  $\_x$  και *nonsense*  $\_t$ , δηλαδή σχήματα ταυτόχρονα συγκεντρωμένα από ηχογραφήσεις έξι κλασικών κομματιών). Με την αύξηση της περιπλοκότητας του ακομπανιασμένο η επικάλυψη του εαυτού του (*self*) αυξάνεται. Δηλαδή ο μουσικός δυσκολεύεται να ακούει το δικό του όργανο, επειδή τα μηνύματα από άλλους μουσικούς καλύπτουν το δικό του ήχο.

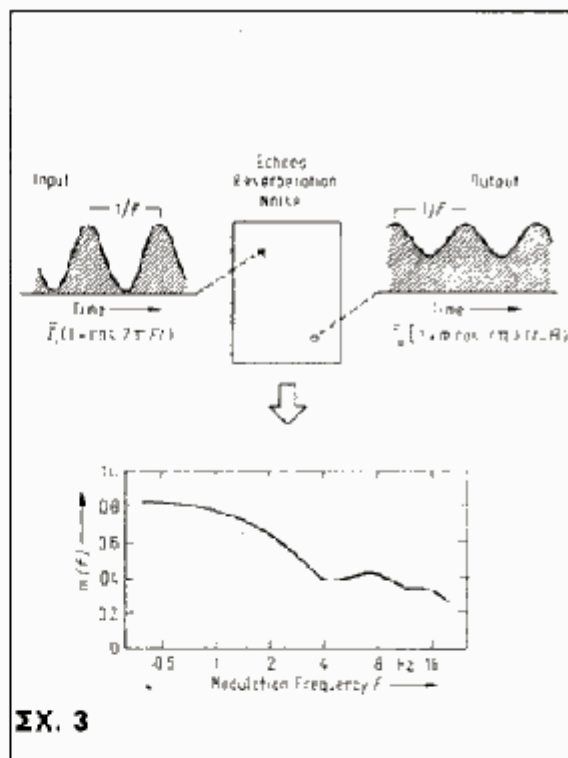
Αποτελέσματα, που φαίνονται στο σχήμα 5 για το άκουσμα των άλλων (*hearing*

NEXT

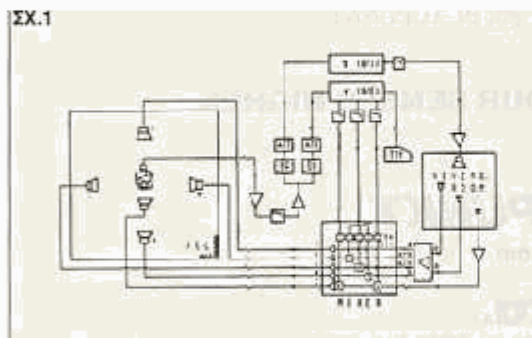
of others), ενοκίζουν τη σημασία της εφαρμογής του MTF, (που έχει συμπεριφορά παρόμοια της κατανομής της ομίχλης), στο σχεδιασμό των αυθουσών και ειδικά της σκηνής, έτσι, ώστε να ρυθμίζονται οι ωσπικές απαντήσεις για μία άριστη μεταφορά των μουσικών μνημάτων μεταξύ των μουσικών και προς τους ακροατές.

Στατιστικά εμφανίζουμε στα σχήματα 9 και 10 (Naylor) διαγράμματα με πολλαπλούς συνδυασμούς ακουστικών συνθηκών, όπου για τη χρήση και εξήγησή τους (delay and level και reverb time and level) παρουσιάζουμε το βοηθητικό σχήμα 17.

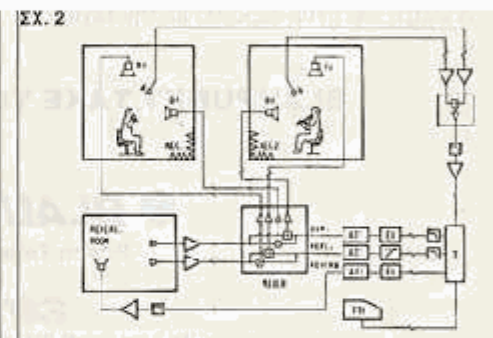
Οι πμές των παραμέτρων ποικίλουν στα πεδία (fields) 1-19 από 5-40msec delay ενώ το reverb time μεταβάλλεται από 0,8 sec (fields 9-12) σε 1,6 sec (fields 1-8 και 13-15) και 3,2 sec (Fields 16-19).



ΣΧ. 3

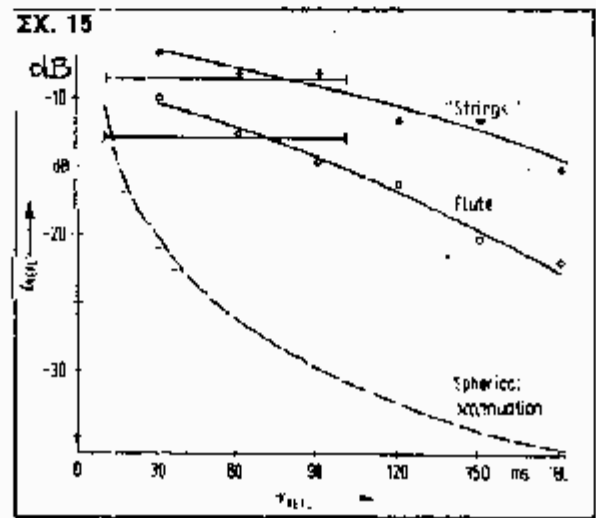


ΣΧ.1



ΣΧ.2

Βρέθηκε, ότι η μετρημένη MTF συνδυάζεται πολύ καλά με την υποκειμενική εκτίμησή της, βάσει των πειραμάτων. Οι μέθοδοι, STI και RASTI (rapid speech transmission, index), που είναι η στατιστική χρήση των πολλαπλών μετρήσεων MTF και η υποκειμενική MTF, είναι ποσότητες, που σχηματίζουν ρεαλιστικά τη σχέση ακουστική αίσθηση-περιβάλλον.



ΣΧ. 15

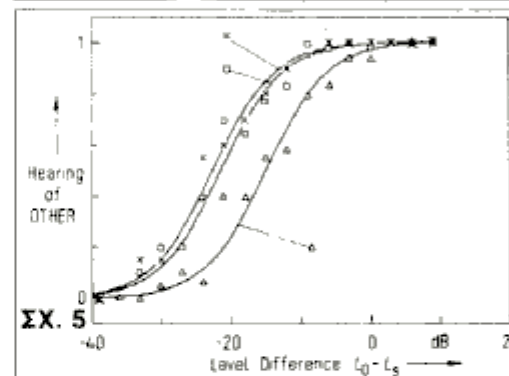
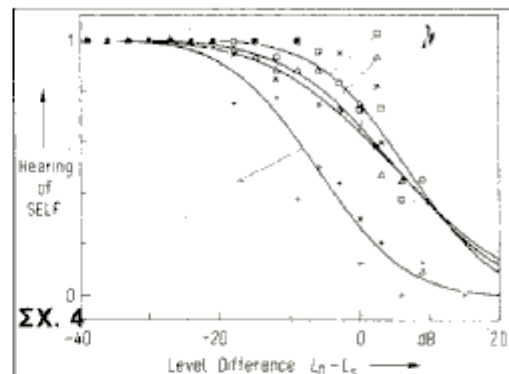
NEXT

Σε κλειστές αίθουσες τα ηχητικά σήματα κάνουν την ενέργειά τους σχετικά αργά από την απορρόφηση στις ανακλαστικές επιφάνειες. Η ενέργεια τείνει να αποσβεσθεί εκθετικά (exponential decay) στο χώρο με την ποσότητα  $e^{-At}$ , όπου  $A$  είναι η ολική απορρόφηση. Ο βαθμός της τραχύτητας των επιφανειών πέρα από την απορρόφηση των υλικών έχει μεγάλη σημασία. Όπως βλέπουμε στο σχήμα 8 (29), μία από τις προσπίπτουσες ακτίνες (incident  $Z_i$ ) που ανηκει στην ηχητική πηγή, ανακλάται κατά γεωμετρικό τρόπο (reflected  $Z_r = (1-\delta)(1-\alpha)Z_i$ , απορροφάται ( $\alpha Z_i$ ) και ένα μέρος διανέμεται ως διάχυση. Ο παράγοντας  $\delta$ , που είναι η μέση απόσταση μεταξύ δύο ηχητικών πληροφοριών-κυμάτων, που ανακλώνται μέσα σε ένα όγκο  $V$  του δωματίου, επηρεάζει την πιθανότητα να φτάσει στον ακροατή η ηχητική πληροφορία.

α) Κατοπτρική ανάκλαση

Το πρόβλημα μιας αίθουσας συναυλιών είναι στην παραγωγή και μετάδοση της ακουστικής πληροφορίας προς τους ακροατές. Η αρχική ηχητική δέσμη επιστρέφει κατά την κατοπτρική ανάκλαση μέχρι το 99% της αρχικής ενέργειας, με την παρατήρηση, ότι όλες οι σχέσεις των φάσεων διατηρούνται με ακρίβεια.

Μία κατοπτρική επιφάνεια είναι μία εξοδανκωμένη απαλή επιφάνεια. Τέτοια επιφάνεια απορροφά ένα κλάσμα  $\alpha$  των προσπίπτοντων ηχητικών μορίων (phonons) και ανακλά το υπόλοιπο σαν ένας καθρέφτης με ίσες γωνίες μεταξύ των προσπίπτοντων και ανακλωμένων κυμάτων. Σε μια τέτοια αίθουσα ο ήχος θα παραμένει ομοιογενής, αν αρχικά ήταν έτσι, επειδή οι απόλυτα κατοπτρικές αίθουσες δεν έχουν μηχανισμούς να παράγουν ομοιογένεια από μόνες τους.



Τα κριτήρια: Η επιφάνεια να είναι μεγαλύτερη από το μεγαλύτερο μήκος κύματος και πιο ομαλή από τα μικρότερα μήκη κύματος των προσπίπτοντων κυμάτων. Αν στην οπτική το αποτέλεσμα θα ήταν ένα φανταστικό είδωλο, στην ακουστική είναι μία αντίκλαση με μορφή ηχούς, που στην καλύτερη περίπτωση καθορίζει το reverboration time. Ας ονομάσουμε αυτό το είδος ανάκλασης των ηχητικών πληροφοριών  $_K$ . Σε αίθουσες με κατοπτρικές επιφάνειες ακούγονται συγκεκριμένες σειρές από ηχώ, που έχουν μία οριστική μορφή, αλλά είναι ανεπιθύμητες, επειδή παρέχουν πληροφορίες για την τοποθέτηση και μορφή των τοίκων, των πατωμάτων και της οροφής.

Το σχήμα 19 [67] δείχνει την κατανομή του προσπίπτοντος ήχου σε σχέση με τη μορφή και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του τοίκου, των διαδρόμων και του επιπέδου της χρονοκατανομής των ακτίνων εμφανίζοντας έτσι κάποια αντιπροσωπευτικά σημεία υποδοχής. Στο σχήμα 18 [67] εμφανίζονται ως παράδειγμα η κατανομή και οι αλλαγές των ήχων, που φτάνουν στο επίπεδο των ακροατών και κατευθύνονται προς το πάτωμα. Όπως διαπιστώσατε ο πρώτος ήχος (25-100 msec) φτάνει στο πρώτο μισό της αίθουσας και λίγο στους πλαϊνούς εξώστες.

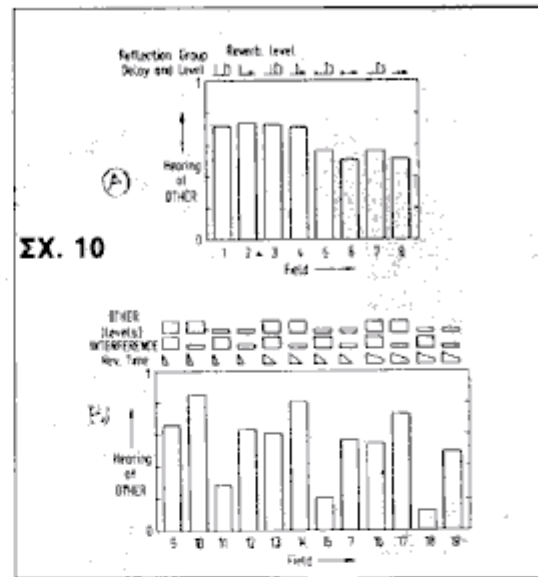
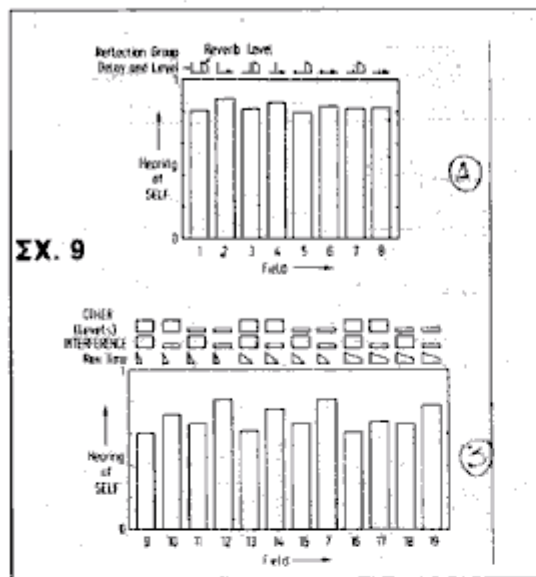
Επισημαίνουμε, ότι το σχήμα 18 εμφανίζει μία αίθουσα συναυλιών τύπου Shoe Box (κουτιού παπουτσιών). Η άλλη μορφή αίθουσών είναι η ριμποειδής. Τα δύο παραδείγματα (σχ. 18 και 19) είναι μέρος μιας μεθόδου Finite Sound Ray Integration των *Delacourchi* και *Kimura* για τη σχεδίαση των αίθουσών που κάνει χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή για τους υπολογισμούς και την εξομίωση της σχεδίασης.

β) Διαχυτική ανάκλαση

Είναι ακόμα πιο δύσκολο να προσδιορισθεί πώς διαμορφώνεται η ηχητική

πληροφορία από τη διαχυτική ανάκλαση. Υπάρχουν σίγουρες ενδείξεις, ότι είναι η μορφή της ανάκλασης, που το αυτών προτιμά.

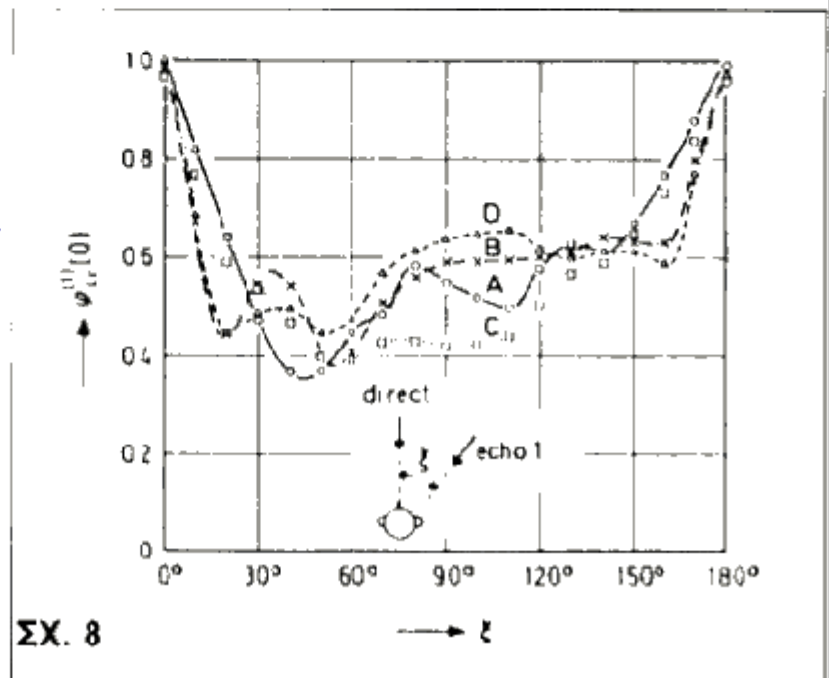
Μια διαχυτική επιφάνεια είναι μία εξιδανικευμένη τραχεία επιφάνεια. Απορροφά ένα κλάσμα  $\alpha$  των προσπιπόντων ηχητικών μορίων και διαχέει τα υπόλοιπα με την ίδια κατανομή των κατευθύνσεων στην αίθουσα, όπως τα ρηχός σε ένα ομοιογενές ακουστικό πεδίο.



Εάν το  $\alpha$  είναι μικρό (πόσα κύματα προσκρούουν στην επιφάνεια), τα δωμάτια με διαχυτική επιφάνεια τείνουν να καταστούν σχεδόν ένα ομοιογενές ανακλαστικό ηχητικό πεδίο. Λογικά η ολική ηχητική πληροφορία ΚΣ, που φτάνει στον ακροατή είναι η κατοπτρική  $K_{\text{cat}}$  συν διαχυτική  $\Delta$  ανάκλαση. Αν η  $K_{\text{cat}}$  υποκειμενικά καθορίζει την ποσότητα της ενέργειας, το  $\Delta$  επηρεάζει την ποιότητα του ήχου.

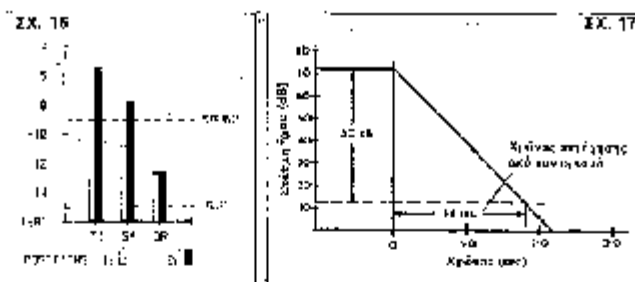
Από το 1940 μέχρι το 1972 ο Γαβριλ ανέπτυξε πειραματικά την ιδέα της αναγκαιότητας της ταυτόχρονης προσέγγισης της κβαντικής πληροφορίας με την κβαντική ενέργεια και όλα την παραπληρωματικά τους, όπως ισχυρίσθηκε ο Βοήρ.

Συμπέρασμα: Η κατοπτρική ανάκλαση από μόνη της δεν έχει καλό και ευχάριστο αποτέλεσμα. (Όποτε δοκιμάστηκε απρόσεκτα έδωσε ήχο λίγας (rasping) και αστραφτερό (glaring).



Στην αίθουσα του Μεγάλου της Μουσικής για παράδειγμα, εντόπισα σχεδόν μία οπική επαφή με την απόσβεση του ήχου με μορφή automatic digital decay, που [NEXT](#)

μου ενίσχυσε την πεποίθηση της επιτυχίας της μορφής κατοπτρικής ανάλασης, που διάλεξαν οι σχεδιαστές. Η τοποθέτηση των εγκάρδιων σε αθουσες συναυλιών



Το σχήμα 11 δείχνει τους τρεις τύπους διάταξης εγκάρδιων σε μια συμφωνική ορχήστρα:

Το μοντέλο Α, που ονομάζεται γερμανικό ή ευρωπαϊκό όπου το πρώτο group των βιολιών Β1 και το δεύτερο Β2 βρίσκονται στα αριστερά και δεξιά της σκηνής με τα βιολοντσέλα -ΒΤΣ- στο κέντρο πίσω, τα κοντραμπάσα ΚΜ αριστερά πίσω και τις βιόλες ΒΑ στα αριστερά των βιολοντσέλων έχει το πλεονέκτημα μιας καλής επαφής μεταξύ του πρώτου βιολιού και του σόλο βιολοντσέλου.

Μειονέκτημα είναι η μεγάλη απόσταση μεταξύ των ομάδων των βιολιών.

Το μοντέλο Β, το οποίο στην Ευρώπη ονομάζεται αμερικάνικο σύστημα, εισήχθη από τον Στοκχολμ. Τα group των βιολιών Β1 και Β2 είναι κοντά και τα βιολοντσέλα βρίσκονται στη δεξιά πλευρά. Προς τα πίσω δεξιά βρίσκονται τα κοντραμπάσα και στα δεξιά τους, οι βιόλες. Φυσικά υπάρχει μια στενή επαφή μεταξύ Β1 και Β2, αλλά το σόλο ΒΤΣ είναι απομακρυσμένο.

Το μοντέλο C είναι μία παραλλαγή του μοντέλου Β, που εισήχθη από τον Funtanahier. Εδώ οι βιόλες και τα βιολοντσέλα άλλαξαν μεταξύ τους. Είναι το μοντέλο, που επιτρέπει την καλύτερη οπτική και ακουστική επαφή μεταξύ των μουσικών.

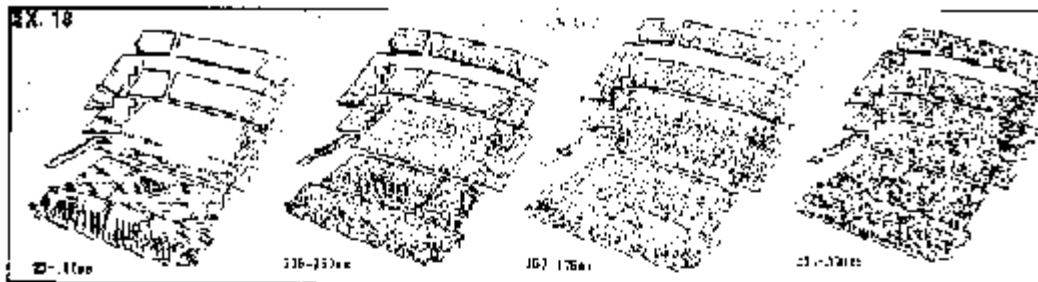
Τα παραπάνω μοντέλα έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε σχέση με το μέγεθος της αίθουσας και της ορχήστρας και παράγοντας, που καθορίζει όλα αυτά είναι η κατευθυντικότητα των εγκάρδιων.

Το σχήμα 12 προσαρμοσμένο από τον Meyer δείχνει τα διαγράμματα των πιθανοτήτων (0,05 και 1) των κύριων κατευθύνσεων των ακτινοβολιών του βιολοντσέλου στο επίπεδο της γέφυρας (καβαλάρι). Η διάσπικτη περιοχή δείχνει τις ημές, που βρέθηκαν, όταν ο τελίστας παίζει κατευθείαν προς τους ακροατές. Η γραμμοσκιασμένη περιοχή δείχνει την ακτινοβολία στην περίπτωση Β και C, όπου ο μουσικός κάνει κάποια γωνία με τον άξονα της αίθουσας. Οι άσπρες περιοχές ήταν οι κοινές. Η σημαντικότερη περιοχή (350-500 Hz) όπου ο ήχος μοιάζει με το φθόγγο \_ο\_ (η διάσπικτη περιοχή είναι η μεγαλύτερη). Ειδικά στο γερμανικό μοντέλο η ακτινοβολία κατευθύνεται περισσότερο προς τους ακροατές, όπως φαίνεται και για τις περιοχές των 2000-5000 Hz που ευθύνεται για τη λαμπρότητα και καθαρότητα του ήχου σε γρήγορες αλλαγές, ειδικά, όταν τόνοι με ίδιο pitch αλληλοδιαδέχονται. Για τα μοντέλα Β και C το πλεονέκτημα το έχει η περιοχή των 800 Hz (όπου ο τόνος, που μοιάζει με το φθόγγο \_ο\_ φαίνεται σκοτεινός. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του γερμανικού μοντέλου είναι η έλλειψη των στερεοφωνικών διαχωρισμών μεταξύ των βιολιών και του group των βιολοντσέλων.

Η ομαδοποίηση παράγει έτσι ένα συνολικό ήχο. Σαν παράδειγμα αναφέρουμε την τελευταία κίνηση της πρώτης συμφωνίας του Βηλήτης, όπου την πρώτη φορά το θέμα εκτελείται από τα βιολιά, ενώ τα βιολοντσέλα και κοντραμπάσα παίζουν τις ίδιες νότες pizzicato. Στην επόμενη, επανάληψη του θέματος τα βιολιά και το τσέλο παίζουν σε ομοφωνία (unison) ενώ τα κοντραμπάσα παίζουν μόνο το pizzicato.

Στο σχήμα 13 προσαρμοσμένο από τον Meyer εμφανίζονται με ίδιες παραμέτρους όπως στο σχήμα 12) οι κύριες κατευθύνσεις της ακτινοβολίας ενός βιολιού. Για συχνότητες κάτω από 500Hz η ακουστική ακτινοβολία είναι ίδια προς όλες τις κατευθύνσεις, κάτι που αλλάζει πάνω από τα 700 Hz και κορυφώνεται στην περιοχή των 1000-1200 Hz (των υψηλών αρμονικών, που σχηματίζουν το φθόγγο \_α\_) γεγονός που κάνει τον τόνο εύθραυστο. Σ\_ αυτήν την περιοχή τα βιολιά Guarnieri del Gesù έχουν μεγαλύτερη ένταση και εμφάνιση από τα Stradivari. Το 2ο group των βιολιών (στη γερμανική διάταξη) δεν δένουν καλά ηχητικά με το 1ο group, Σ\_ αυτήν την περίπτωση η ομάδα των δεύτερων βιολιών κατευθύνεται προς το κέντρο και πίσω και όχι προς τους ακροατές.

[NEXT](#)



Στην ομάδα των πρώτων βιολιών, με την κλίση των περίπου 45° με το οριζόντιο επίπεδο, το κύριο σήμα της ηχητικής ακτινοβολίας φτάνει στην οροφή όχι στην περιοχή, που καλύπτει τη σκηνή, αλλά σε κάποια απόσταση επάνω και προς τους ακροατές, που φυσικά έχουν εξαιρετική ακρόαση των βιολιών. Αν στην περιοχή των 2000-5000 Hz στο βιολοντσέλο η ακουστική ακτινοβολία βρίσκεται προς την οροφή και προς το πάτωμα και από εκεί με ανακλάσεις κατευθύνεται προς τους ακροατές, για το βιολί άλλες περιοχές της οροφής είναι σημαντικές.

Σε ορισμένες κλασικές συμφωνίες, όπου τα γκουπ των βιολιών B1 και B2 βρίσκονται διατεταγμένα στο γερμανικό σύστημα A, οι αλλαγές των φράσεων (που έχουν και στερεοφωνική μορφή), έχουν και διαφορετικές κροές.

Σε αίθουσες, όπως είναι το Μέγαρο της Μουσικής, η καλύτερη διάταξη είναι το αμερικάνικο μοντέλο, που επιτρέπει στους ακροατές, που βρίσκονται σε πλαϊνούς εξώστες μια καλή ακρόαση. (B1 και B2 είναι κοντά στην αριστερή πλευρά της σκηνής).

Η βιόλα δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη ηχητική διαφορά σε αλλαγές των τοποθετίσεων. Η μεγαλύτερη κατευθυντικότητα είναι κοντά στα 1000 Hz σε μία γραμμή των 0° και οι ανακλάσεις προέρχονται από τον πίσω τοίχο και την οροφή.

Το μεγαλύτερο έγχωρο όργανο της ανάλυσης μας είναι το κοντραμπάσο (KM), στο οποίο αναφέρουμε τα αποτελέσματα για το οριζόντιο επίπεδο της ακτινοβολίας. Από τα 60 Hz (που είναι η συχνότητα συντονισμού του αέρα μέσα στο όργανο) μέχρι τα 160 Hz με μικρές ανωμαλίες, η ακτινοβολία καλύπτει περίπου 200° της μπροστινής πλευράς. Οι πιθανότητες της ακτινοβολίας στις περιοχές, που φαίνονται στο σχήμα 14 (προσαρμοσμένο από τον Meyer και όπου 1 σημαίνει σίγουρο ηχητικό αποτέλεσμα σε όλες τις συνθήκες), αναφέρουν, ότι η περιοχή 600-800 Hz είναι η πολύ ευαίσθητη σε σχέση με τη θέση στη σκηνή.

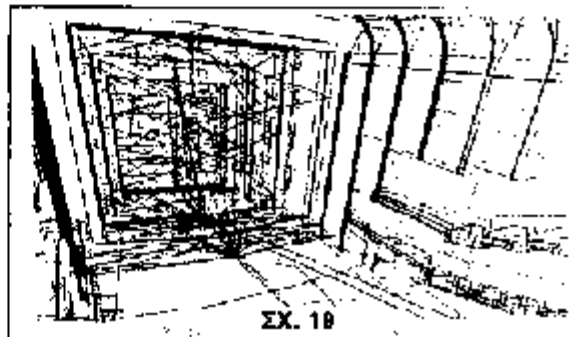
Αν ο μπασίστας παίζει στα αριστερά της σκηνής -διάστικη περιοχή- το όργανο εκπέμπει κατευθείαν προς τους ακροατές από την αριστερή πλευρά του πιο πολύ. Η περιοχή με γραμμές (πάντα στις μέσες περιοχές) είναι μεγαλύτερη και βρέθηκε, όταν το όργανο παίζεται στο μοντέλο B και C, δηλαδή το αμερικάνικο μοντέλο διάταξης. Συνήθως τα κοντραμπάσα παίζουν μαζί με τα βιολοντσέλα και φαγκότα σε οκτάβες και η θέση τους δεν επηρεάζει το ηχητικό σύνολο.

Σε έργα όμως, όπου τα κοντραμπάσα παίζουν κάποιο θέμα (σε μία φούγκα ως τελευταία σειρά των ενκόρων), πρέπει να βρεθεί η καλύτερη θέση για το γκουπ των κοντραμπάσων για τη συγκεκριμένη αίθουσα. Αν η αίθουσα έχει κάποιες αδυναμίες στις χαμηλές συχνότητες, οι μουσικοί πρέπει να είναι προσεκτικοί και κοντά στο δεξί τοίχο μάλλον είναι η καλύτερη θέση.

Η συνάρτηση μεταφοράς του συνόλου όργανο-μουσικός

Το σχήμα 7 δείχνει τη σχέση, που δημιουργείται μεταξύ του μουσικού και του οργάνου του και μεταξύ οργάνου και μουσικού σαν κανάλι ανάδρασης [6].

Το μη γραμμικό στοιχείο κέλη, φύσημα του αέρα, επιστόμιο, (generator) είναι στενά συνδεδεμένο με τη στήλη αέρος και τα σκεπτόμενα με αυτήν στοιχεία του οργάνου (resonator), τις τρύπες και τις βαλβίδες, που ενεργοποιούνται από τα δάκτυλα τα οποία αποτελούν και το γραμμικό στοιχείο. Η



NEXT

ακουστότητας και η ποιότητα του τόνου της ακουστικής εξόδου ελέγχονται από μη γραμμικούς παράγοντες. Αντίθετα το *ritc'h*, το οποίο είναι η κύρια μουσική μορφή, που γίνεται αντιληπτή, εξαρτάται από γραμμικούς παράγοντες. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι σχέσεις των διαφόρων παραγόντων, που σχηματίζουν μία συνάρτηση μεταφοράς μεταξύ παραγόντων γραμμικών και μη γραμμικών, όπου το Δ είναι η ισχυρή επιρροή και το Α η ασθενής των παραγόντων.

Είναι φανερό, ότι τον πρώτο ρόλο, που καθορίζει το ύψος και τις χροίες των πνευστών οργάνων, τον έχουν οι μη γραμμικοί παράγοντες. Σε δυναμικές συνθήκες, όπως είναι το παίξιμο των πνευστών οργάνων, ο μουσικός εκπιά συγχρόνως τις διαφορές στην ακουστότητα και το *ritc'h*.

Από το σχήμα 6 συμπεραίνουμε ότι: α) το εύρος και οι συχνότητες μπορούν να αυξάνονται μαζί (*crescendo*), β) το εύρος να αυξάνεται και η συχνότητα να μειώνεται και γ) το εύρος να μειώνεται, αλλά να αυξάνεται η συχνότητα.

Η παρουσία κάποιων καθαρών αντιληπτών αλλαγών μιας παραμέτρου, π.χ. της ακουστότητας, οδηγεί στη βελτίωση της αντίληψης του *ritc'h*, μερικές φορές όμως προκύπτει και χειροτέρευση αυτής της αντίληψης. Στην περίπτωση της βελτίωσης της αντίληψης της δεύτερης παραμέτρου παράγεται ένα είδος σύγχυσης. Ο μουσικός ή ο ακροατής μπορεί να αντιληφθεί έναν ήχο, που αυξάνεται στη συχνότητα σαν πιο έντονο και έναν τόνο, στον οποίο η ένταση μειώνεται, σαν να περιέχει συχνότητες, χαμηλότερες από τα πραγματικά φυσικά συστατικά. Οι δυναμικές αλλαγές στην αντίληψη (τη στιγμή που εμφανίζονται), παριστάνουν ένα μηχανισμό διαφοροποιητικό [54 και 11].

Για τις αλλαγές (η αντίληψη ενός ολικού τόνου ως μεταβατικής περιόδου), το ακουστικό σύστημα (σιγά-σιγά θα αναφερόμαστε πιο πολύ στο μυαλό) κάνει ένα είδος *\_ολοκλήρωσης\_* των σημαίνων αυξήσεων των παραμέτρων του τόνου, μέχρι να παρατηρείται μια αλλαγή. Εμφανίζεται ο ρόλος της μικρής διάρκειας μνήμης. Ο μουσικός σκέφτεται το χρώμα της κάθε νότας και τη σημασία της στο σύνολο της μελωδίας και κάνει χρήση της μνήμης μακράς διάρκειας για τη σύγκριση με το παίξιμο στις πρόβες ή το παίξιμο των άλλων μουσικών. Η εφαρμογή της ΜΤΦ στο παίξιμο των πνευστών οργάνων μοιάζει με ένα είδος *Vocalisation*, επειδή ο μουσικός κάνει ένα μουρμούρισμα, που μοιάζει με φωνήεντα, σύμφωνα ή συλλαβές. (Παράδειγμα *\_τα\_ ή *\_ντα\_**).

Υπάρχει ένας εξαιρετικός συσχετισμός μεταξύ ομιλίας, παιξίματος πνευστών και ακούσματος. Βρέθηκε, ότι το ακουστικό σύστημα είναι ευαίσθητο στις μεταβολές του εύρους, που έχουν ημί διαμόρφωσης 4Hz (Fastl 1983). Οι Houtgast και Dierken (1973) βρήκαν, ότι οι διακρίσεις της περιβάλλουσας της συνεχούς ομιλίας έχουν μία μέγιστη ημί γύρω στα 4Hz, που σημαίνει γύρω στις 4 συλλαβές ανά δευτερόλεπτο.

Η μετατροπή της ακουστικής ενέργειας σε νευρική ενέργεια του ακουστικού νευρικού συστήματος. Η ημί της διαμόρφωσης, (το γνωστό μας 1/f) έχει ανάμειξη στη συμπεριφορά της αντίληψης της μουσικής από δύο πλευρές. Σύθεση με γρήγορο ρυθμό αλλαγών παράγει αυξημένη διέγερση. Σκεφτείτε τις *\_τέσσερις εποχές\_* του Vivaldi. Η βορυβώδης αναγέννηση της *\_νοιξής\_* και ο πλούτος του Φθινοπώρου *\_allegro/adagio molto*.

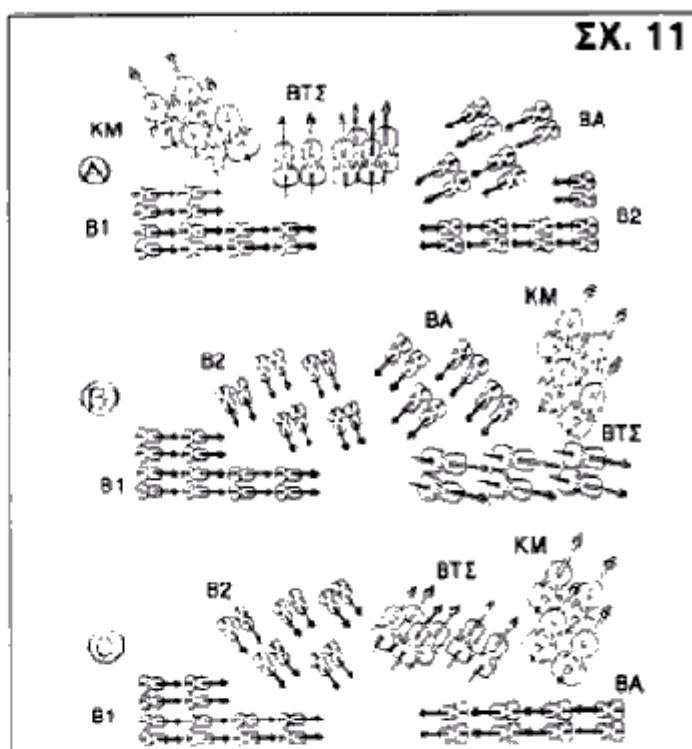
Σχετικό με το παραπάνω είναι και το γεγονός, ότι η ταχύτητα στην εκτίμηση της αίσθησης του τόνου εξαρτάται και από την κατάσταση των αρτηριών, που φθάνουν στο μυαλό. Μετρήσεις, που έγιναν πριν και μετά από επιχειρήσεις αποφράξεων, έδειξαν σημαντικές διαφορές. Βρέθηκε, ότι η μέση ημί για την αντίληψη ενός τόνου των 1000Hz ήταν 206mssec πριν την εγκύριση και 89 mssec μετά. Η αίσθηση του τόνου δεν είναι ένα απόλυτα ακριβές αντίγραφο του ερεθίσματος, αλλά είναι, ένα μέρος μιας μήτρας, που παράγεται από το μυαλό.

Ο κοχλίας σαν ενεργός δομή-ενισχυτής και αναλυτής ήχου. Τα δυναμικά χαρακτηριστικά των ατομικών τμημάτων του οργάνου του *Corti* καθορίζονται από τη συλλογική τους απόκριση. Η δραστηριότητα του κοχλία εκφράζεται από το γεγονός, ότι δημιουργεί μηχανική ενέργεια βάσει της εξωτερικής διέγερσης. Η δημιουργία των δυνάμεων, που μεταφέρουν τα κύματα αυξάνεται εκθετικά με μία σταθερή ημί στην αρχή, που μεγαλώνει, όταν τα κύματα φτάνουν προς το τέλος του κοχλία (δηλαδή στο γεωμετρικό κέντρο της σπείρας του). Σε αυτό το σημείο της μέγιστης ταχύτητας της μεμβράνης η ολική ενέργεια αντιστρέφεται ξαφνικά και αντλείται σε άλλη περιοχή του οργάνου του *Corti*, όπου γίνεται η νευρική αποκωδικοποίηση.

Το όργανο του *Corti* λειτουργεί σε κάθε περιοχή του σαν ένας αρμονικός ταλαντωτής, με αρμονική απόσβεση. Αν οι ανακλάσεις που εκδηλώνονται στον κοχλία σαν ανάδραση και κατευθύνονται πάλι προς τον αναβολέα, είναι σε φάση με τα πρώτα άμεσα κύματα, επιπυκνάζεται μια θετική ανάδραση, που ενισχύει το σήμα. Η διαδικασία των

NEXT

παλινδρομούντων κυμάτων στην ενίσχυσή τους, δημιουργεί σειρά στασιμών κυμάτων στον κοιλία. Αν το δεύτερο κύμα, το αναστρέφόμενο είναι σε αντίφαση με το πρώτο, παράγεται αρνητική ανάδραση μειώνοντας το σήμα της εισόδου. Επειδή ο αναβολέας δεν είναι ένας τέλειος ακουστικός καθρέφτης, ένα μέρος των κυμάτων, που αναστρέφονται προς αυτόν, δεν



ανακλώνται, αλλά περνούν δια του μέσου ωτός προς τον έξω ακουστικό πόρο σαν προκαλούμενες ωτοακουστικές εκπομπές POE [54 I σελ. 33-34].

Όπως θυμόμαστε, οι δύο τόνοι, που εμφανίζονται έτσι, αλληλεπιδρούν επηρεάζοντας αμοιβαία την περιοχή του καθενός, δημιουργώντας έτσι την αίσθηση των κτυπημάτων (beating). Όσο αυξάνεται το επίπεδο των POE, τόσο μικραίνει η ημί των κτυπημάτων. Μετά από την αντίληψη ενός απλού κτυπήματος ακολουθεί μια ασυμμετρική περίοδος, όπου η ενέργεια, που πρέπει να αντιστοιχεί στις αρχικές συχνότητες, είναι η μικρότερη.

Η τάση του ακουστικού συστήματος είναι, μέσω των μερικών συγχρονισμών, να μειώσει το χρόνο, στον οποίο οι εκπομπές POE ταλαντώνονται κοντά σε εκείνη τη συχνότητα. Το ψηχοακουστικό ισοδύναμο του συγχρονισμού των καμπυλών συντονισμού (tuning curve) είναι η μετάβαση από την αντίληψη ενός τρακέως ερεθίσματος ή κτυπήματος προς την σαν τόνο διέγερση, δηλαδή καταστολή των περιφερειακών παρασίτων (B2). Σαν αναλογία μπορούμε να εκτιμήσουμε τις ωτοακουστικές εκπομπές. Όλες οι περιοχές, που παράγουν ενισχυμένες ταλαντώσεις στον κοιλία, συνδέονται μεταξύ τους με στοιχεία αδρανείας του κοιλιακού υγρού. Η ενίσχυση μεγαλώνει φυσικά τη λήψη και σε μεγαλύτερες εντάσεις του σήματος επιτρέπει μη γραμμικές, διαδικασίες της διαμόρφωσης ενός σήματος από το άλλο. Το μιγάλο βάζει

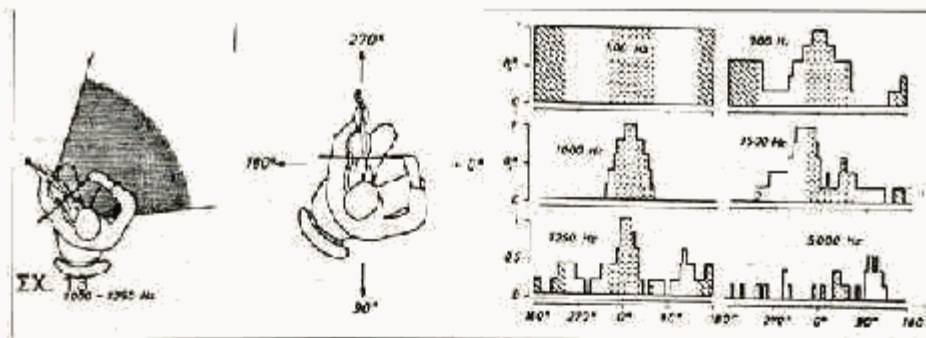
των προσδοκιών του καθορίζει μηχανικά χαρακτηριστικά του κοιλία και κάνει ένα είδος βελτίωσης της λειτουργίας του. Η αναλογία της γραμμής μετάδοσης (transmission line) και της ανάδρασης, που έχει σαν αποτέλεσμα έναν αυτόματο έλεγχο του gain, υπάρχει και σε άλλα βιολογικά συστήματα. Παράδειγμα η κόρη του οφθαλμού. Αν η ατροπίνη προκαλεί τη διεύρυνσή της, για το αυτί, η ουσία, που έχει παρόμοια δράση, είναι η... ασπρίνη. Ερέθηκε, ότι η κατανόληση ασπρίνης τροποποιεί το συγχρονισμό των εξωτερικών ήχων και των καμπυλών καταστολής με το επίπεδο των προκαλούμενων ωτοακουστικών εκπομπών.

Η ασπρίνη αυξάνει την αγωγιμότητα των τριγωνών κυττάρων και προκαλεί την εκπόλασή τους έχοντας σαν αποτέλεσμα τη μείωση της ακαμψίας τους και των ηλεκτρομηχανικών απαντήσεών τους - ένα είδος ήπιας αναισθησίας των ενεργητικών μηχανισμών του κοιλία. Τα κύρια αποτελέσματα της ασπρίνης: α) Ο κοιλίας γίνεται μικροφωνικός και β) ο συνδυασμός τόνων και POE τείνει προς τη μονοφωνία (τα κτυπήματα είναι λιγότερο αισθητά).

Όποτε είχα την ευκαιρία να δουλεύω σε στούντιο ηχογραφήσεων, προτείνοντας στους καλούς τραγουδιστές μια ασπρίνη παρατήρησα τη βελτίωση των ερμηνειών τους ειδικά την εκφραστικότητα της λεπτομέρειας. Προηγουμένως ο τραγουδιστής ήταν φανερά

[NEXT](#)





ενοχλημένος δηλώνοντας, ότι δεν βγαίνει. Επαγγελματικό μυστικό μένουν όμως, οι συνθήκες χρήσης της μίας και μόνο ασπιρίνης, που συχνά μπορεί να σώζει μιας ημέρας δουλειά.

**Η αντίληψη στις χρονικές αλλαγές στο σύνθετο φάσμα**

Κάθε σύνθετο ερέθισμα, που υφίσταται μία καθυστέρηση (delay) σαν συνέπεια της ανάλασης από μία επιφάνεια και μετά επανασύνδεση με τον κατ' ευθείαν ήχο, θα έχει ένα κυματομό (modulation) προσπθήμενο στο εύρος του φάσματος.

Σε πολλές αίθουσες ο χρωματισμός, που προσπθεται έτσι, δεν είναι ακουστός.

Η μορφή του φασματικού δείγματος ενός τέτοιου φαινομένου είναι το  $H(f) = 1 + m \cos(2\pi fT + \Theta)$ , όπου  $m$  είναι το βάθος της παραμόρφωσης του ήκου,  $f$  είναι η συχνότητα,  $T$  είναι η καθυστέρηση και το  $\Theta$  καθορίζει το σκεπτικό φασματικό προσδιορισμό των *reaks*, που εμφανίζονται σαν επανειλημμένα *ritch*, μία μορφή ηκούς. Όπως παρατηρείται στα MTF στο σήμα εξόδου (δηλαδή στη λήψη της κληπικής πληροφορίας), εμφανίζεται ο παράγων  $\cos 2\pi fT + \Theta$ . Φυσικά το  $\Theta$  δεν εκφράζει ακριβώς το ίδιο φαινόμενο, αλλιώς η αίθουσα θα έπρεπε να ακιρώνει ( $+\Theta - \Theta = 0$ ) την παραμόρφωση. Η μεταβολή στο χρόνο των δύο μορφών της  $\Theta$  (οι χρονικές αλλαγές της παραμόρφωσης στο αρχικό κληπικό σήμα -επιρροασμός του κώρου- μεταβολή της απόκρισης ορισμένων περιοχών της αίθουσας) παράγει μια αμφίβολη περίπτωση (ambiguity) για την καθαρή αντίληψη των *reak* του παραμορφωμένου ήκου με μορφή *butter echo* ή *vibrato*.

Οι αντίληπτες, χρονικές αλλαγές εξαρτώνται από τον αριθμό τους ανά δευτερόλεπτο. Για ημές μεγαλύτερες των 10/sec, ανεξάρτητα από την παραμόρφωση, που προέρχεται από τη συμπεριφορά της αίθουσας, (ειδικά την πίσω πλευρά της) εμφανίζεται μία στατιστική των δειγμάτων με δύο όψεις:

α) Επειδή το φάσμα είναι παραμορφωμένο χρονικά, παράγεται ένα είδος διασκορπισμού (*splattering*) της ενέργειας σε σχέση με το *reak* του φάσματος, το οποίο φαινόμενο αυξάνεται ανάλογα με το μέγεθος της χρονικής αλλαγής.

β) Επειδή ο μηχανισμός της ακοής, που αναλύει το *phrased sound* και τις συνέπειές του (η μεταβολή του *ritch*) είναι αργός, για μεγάλες ημές ανά δευτερόλεπτο, το φαινόμενο γίνεται

	Resonator	Γραμμικός	Generator		Φωνητικό κανάλι Γραμμικό
			Γραμμική	Μη Γραμμική	
<b>Ritch</b> της νότας		Δ	Δ	Α	Α
<b>Εύρος</b>		Λ	Δ	Δ	Λ
<b>Φάσμα</b>		Α	Α	Δ	Α
<b>Μεταβατ. τόνος</b>		Λ	Α	Α	Α

αντληπτό σαν ένας συνεχής τόνος.

Από το σχήμα β του Ando συμπεραίνεται για τέσσερα μουσικά μοτίβα Α, Β, Γ, Δ, οι αξίες  $I_{Acc}$  (ανάλυση, ετεροσυσχέτιση του κληπικού πεδίου για οριζόντιες γωνίες), που επιτρέπουν την ανακάλυψη και αναγνώριση μιας ανάλασης με μορφή ηκούς. Όπως φαίνεται, η μεγαλύτερη πιθανότητα εντοπισμού είναι στις οριζόντιες γωνίες των 30-36ψ και για καθυστέρηση αυτό τον κατ' ευθείαν ήχο των 20-30 msec. Σε μία αίθουσα όμως ο ακροατής έχει αμφιβολική ακοή (*hinauta*). Ο εκπαιδευμένος ακροατής μπορεί να διαχωρίζει μεταξύ τους **NEXT**

πολλαπλά ηχητικά γεγονότα. Στο σχήμα 21 του Blauert φαίνονται σαν κάρτες (σε οριζόντιο και κάθετο επίπεδο) βάσει πειραμάτων με *pink noise*, (που όπως είδαμε είναι μία γενική μορφή της μουσικής), οι περιοχές της εντόπισης των ηχητικών γεγονότων, η λεγόμενη ηχητική εικόνα.

Εκτός από την περίπτωση όπου  $K=0$ , ( $K$  είναι οι σκεπτικές αξίες της συναφούς των αυτιών, *interaural coherence*), που, όπως φαίνεται παράγει δύο ξεχωρές περιοχές, (παράδειγμα *stereo a la Beatles*), όλες οι άλλες, εμφανίζουν μία κεντρική εντόπιση πλαισιωμένη συμμετρικά από δύο πλαινές, με διάφορες μορφές.

Θεωρείται, ότι η μέγιστη αίσθηση της ευρυχωρίας δίδεται για  $K=0,78$  έως 1, που έχει σαν άμεση παρατήρηση, ότι η ποσότητα της πλαινής ενέργειας δεν έχει τόσο μεγάλη σημασία, αρκεί να έχει μια ελάχιστη αξία. Το φαινόμενο της *repetition pitch* ή *echo* (που συζητάμε) είναι προϊόν των *I.T.D.* (διαφορά χρόνου άφιξης στα δύο αυτιά, που παράγουν τα *ILD* διαφορές εντάσεων) και μεγαλώνουν με την αύξηση της συχνότητας φτάνοντας στα 18dB γύρω στα 2000 Hz. Η επίπτωση της σκάας του κεφαλιού δεν είναι μεγάλη, επειδή (όπως βρήκαμε στον Zwicker [41] και Grantham [51]), η ένταση της εκτοπομένης ηκούς προκαλεί την άνοδο του κατωφλίου ακοής του άμεσου ήχου (αμέσως από την έναρξή του) και έτσι σε ειδικές περιπτώσεις το *flutter echo* με μορφή *rippled noise* κάνει εναλλακτικά επικάλυψη ειδικά αν ο ήχος καθυστερεί μέχρι 900 msec. Στην αιβουσα του Μεγάλου της Μουσικής, που λειτουργεί βάσει της εφαρμογής της κατοπριακής ανάλασης, το φαινόμενο είναι ελάχιστο και το παρατήρησα μόνο στις τελευταίες θέσεις του εξώστη κοντά στο τζάμι του *control room*, ακριβώς στον άξονα της αιβουσσας. Η διαπίστωση έγινε στην περιοχή των αρμονικών των τενόρων.

Φυσικά τόσο ανάλυση έχει ένα σκοπό: Η αιβουσα του Μεγάλου Μουσικής, εμφανίζεται σαν συμβολικό περιβάλλον, που δεν συγκαταλεί λιγότερο επιτυχείς ερμηνείες ειδικά στις φωνές. Έτσι εμφανίζεται σαν μία ελιπίδα για αναγκαία και σταθερή πρόοδο.

Ο βαρύτονος Σπύρος Σακκάς (Σαρράτρο) και η Ιταλίδα υψίφωνος Λουτσιάννα Σέρρα (Βασίλισσα της Νύκτας) στο *Μαγεμένο Αυλό*, του Μότσαρτ υπήρξαν εξαιρετικοί ερμηνευτές. Στον πρώτο είχα σχεδόν την οπτική επαφή των χαμηλών συχνοτήτων του *νιόβατο* του. Η φωνή της βασίλισσας της Νύκτας, μέσα στο Μέγαρο της Μουσικής ήταν ένα σχεδόν υπερφυσικό φαινόμενο.

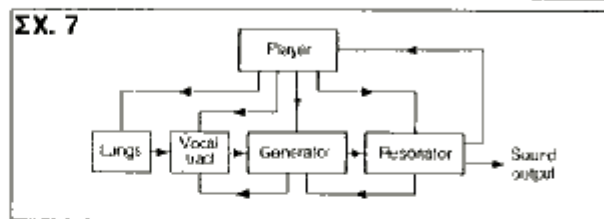
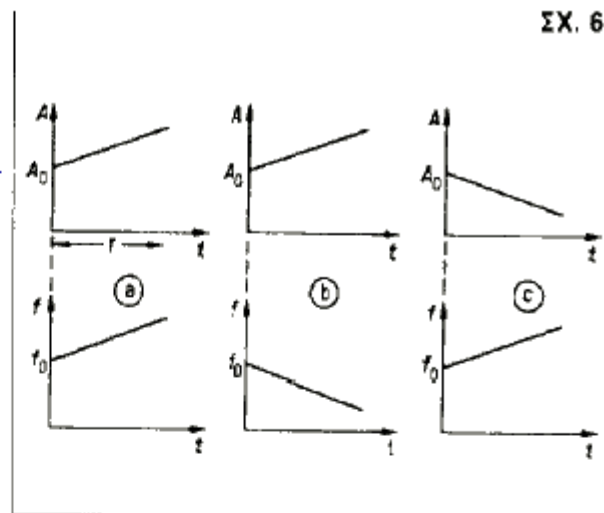
Μερικές αρχές της αντίληψης

Μίλησαμε για την έννοια της μεταφοράς (*transfer function*) μεταξύ πηγής και δέκτη, μεταξύ έσω ωτός και φλοιού του εγκεφάλου. Ας θυμηθούμε συνοπτικά, ποιοί είναι οι παράγοντες, που επηρεάζουν ή εξαρτώνται από την κανόντητα του ακουστικού συστήματος και ο οποίοι φυσικά παράγουν κάποιες ατομικές διαφορές:

Συχνότητα ή *pitch* του σήματος, ένταση ακουστότητας, διάρκεια του ηχητικού ερεθίσματος, ρυθμός, ποιότητα ή χροιά τόνου, ακουστική μνήμη (μικρός ή μεγάλης διάρκειας), επιμονή της αντίληψης και αντοχή στην παραμόρφωση, αντίκρουση, αντίληψη/μνήμη, *I.Q.* και επίπεδο μόρφωσης, ακοομετρικές μετρήσεις, μουσική, εμπειρία, ανάγνωση των λέξεων ή των φθόγγων από μουσικά όργανα, ακουστική μάθηση/αναγνώριση. Στην πραγματική ζωή ένας ακροατής ξεχωρίζει από το μέσο όρο με κάποιες συν ή πλην διαφορές. Οι θετικές διαφορές παράγουν επιτυχίες στη μάθηση μας ή πολλών γλωσσών, στην αναγνώριση των ήχων της καρδιάς (καλή διάγνωση από ορισμένους γιατρούς) ή στο δρόμο προς τη σωστή ηκοληψία.

Οι ακροατές γίνονται ευαίσθητοι στην πιθανότητα της κατανομής του σήματος σαν

[NEXT](#)



σύνολο και τείνουν να προσέχουν ερεθίσματα (ήχους) με μεγαλύτερη πιθανότητα. Ποιά μεγαλύτερη πιθανότητα; Η εσωτερικά εικόνα ή μήτρα (matrix), που μπορούμε να την ονομάζουμε προαντίληψη, έρχεται σε επαφή (και πάλι το transfer function λειτουργεί) με τα εισερχόμενα αισθήματα-αντίληψη. Η ασυμφωνία ή το contrast μεταξύ προαντίληψης και αντίληψης είναι το δυναμικότερο σημείο της προσοχής μας. Αν θεωρήσουμε τη μουσική σαν έναν κόσμο ηχητικών γεγονότων, που παράγει διαταραχή στον αέρα, πρέπει να παρατηρούμε αυτήν τη διαταραχή και όχι τον διαταραγμένο αέρα. Η αντίληψη, που βασίζεται στα ακουστικά σήματα, είναι κατευθυνόμενη από το περιβάλλον. Ας κάνουμε μια αναλογία με απτικές διεγέρσεις: Οι παρατηρητές κρατώντας ένα αντικείμενο στο χέρι μπορούν να το περιγράψουν αμέσως, αλλά δεν μπορούν να έχουν σαν βασική και πρώτη παρατήρηση το μωσαϊκό του δέρματος, που πέζεται, ή τη γωνία των αρθρώσεων των δακτύλων, όταν μετακινείται το αντικείμενο.

Αποδείχθηκε, ότι η αντίληψη των συνθέτων τόνων και η αποθήκευση/ανάλυση της διάρκειας ενός μουσικού κομματιού απαιτεί ειδικευμένους μηχανισμούς νευρολογικούς. Τα εγκεφαλικά συστήματα για την εντόπιση των ηχητικών πηγών βάσει της διαφοράς χρόνου άφιξης στα δύο αυτιά αποκτούν συνεχώς εμπειρίες όχι του χρόνου σαν δευτερόλεπτα αλλά του προσδιορισμού ενός ηχητικού γεγονότος στο χώρο, στην αβουσα.

Η διερεύνηση αντίληψης με τη χρήση των αποτελεσμάτων (παρατηρήσεις) έχει δύο όψεις: Η μία είναι η κατανόηση του πώς συμβαίνει από τη στιγμή, που ένα αισθητήριο όργανο (μάτια και αυτιά) είναι διεγερμένο, μέχρι που να επιτευχθεί μία εντύπωση. Αυτή θεωρείται σαν προσωπική πλευρά της αντίληψης. Έκταση (σημασία) της δομής της ατμόσφαιρας (ηχητική ψυχοκαλλιτεχνική) της αβουσας, που μπορούν να ερεθίζουν τα αισθητήρια όργανα και τέλος το όριο, στο οποίο η σχηματιζόμενη δομή χρησιμοποιείται από τον ακροατή για επανορθώσεις των ηχητικών γεγονότων. Κατά βούληση (μας) το ακουστικό σύστημα αποφασίζει σε μια στιγμή, πώς να επανορθώσει από ένα περιφερικό ερέθισμα ενός ηχητικού συνόλου, ή να αντιληφθεί πρώτα το σύνολο.

Ας θυμηθούμε, ότι ο ορισμός της ακουστικότητας είναι: Η υποκειμενική ένταση των αισθήσεων όταν ένας ακροατής κατευθύνει τη συνείδησή του για να αντιλαμβάνεται ήχους. Είναι δυνατόν, όσο και αν φαίνεται τολμηρό, ο μετρήσεις-εκτιμήσεις των αντιλήψεων βάσει των προαντιλήψεων, (που προέρχονται από μεθοδική και μακρόχρονη ειδίκευση), να φθάνουν κοντά (και ακόμα να ξεπερνούν σε φινέτσα) τις ηλεκτρονικές μετρήσεις.

Ο καθηγητής Wallace Sabine, ο άνθρωπος που ήταν σύμβουλος στην ακουστική ολοκλήρωση της παγκόσμια αναγνωρισμένης καλύτερης αβουσας-The Boston Philharmonic Hall είχε σαν \_εργαλείο\_ τον περίφημο δίσκο του τύπου  $RT=0,161 W/A$ , ένα χρονόμετρο και κάτι άλλο... τ\_ αυτιά του. Σήμερα ενενήντα χρόνια αργότερα η αβουσα διατηρείται ακριβώς όπως τότε. Ακόμα και οι καρέκλες επισκευάζονται τακτικά στο υπόγειο της αβουσας και δεν αντικαθίστανται.

Μερικά στοιχεία ακουστικών παραγόντων σε αβουσες συναυλιών Η αβουσα Φίλων της Μουσικής είναι μια αβουσα πολλαπλής χρήσεως με μεταβλητή γεωμετρία. Η μελέτη, το σχέδιο και η κατασκευή της είναι πρωτοπόρες. Το Berlin Philharmonic Hall, οι αβουσες της Granada και Μαδρίτης (Ισπανία) και η αβουσα πολλαπλής χρήσεως της Λουμπλιάνα (Πολιγκοσλαβία) είναι μία μικρή σειρά πρόσφατων αβουσών, όπου η συνεχώς βελτιούμενη δουλειά του οίκου M. Ber και της \_σχολής\_ του καθηγητή L. Cremer ως συμβούλων ακουστικής είναι φανερά.

Η παρούσα εργασία είναι η πρώτη προσωπική προσπάθεια εκτίμησης της ελληνικής αβουσας. Οι παρατηρήσεις, που διατυπώνω βασίζονται σε ακρόαση που έγινε σε τρεις θέσεις: Στα 12 μέτρα, στα 25 και στην τελευταία σειρά στον εξώστη, όλα ακριβώς στον άξονα της αβουσας. Επειδή η αβουσα δεν παραδόθηκε επίσημα, αναμένονται ορισμένες βελτιώσεις με την ολοκλήρωση των εργασιών.

Στον κόσμο υπάρχουν τρεις αβουσες ομόφωνα αναγνωρισμένες για την καλή ακουστική τους: Amsterdam Concertgebouw, Viena Grosser Musikvereinssaal και το Boston Symphony Hall. Όσο πιο καλά κατανοούνται οι μηχανισμοί της εξαιρετικής ακουστικής τους (σχέδιο, υλικά κ.λπ.), τόσο οι καινούργιοι δρόμοι, (όπου οι νέοι αρχιτέκτονες αποφεύγουν την μίμηση παραδοσιακών αβουσών) είναι λιγάκι πιο ασφαλείς.

Στη συνέχεια αναφέρουμε μερικές από τις ακουστικές παραμέτρους, βάσει των οποίων γίνεται πιθανή η εκτίμηση μιας αβουσας συναυλιών.

α) Το reverberation time των αβουσών συναυλιών.

Το R.T. πρέπει να βρίσκεται στην περιοχή των 1,8 μέχρι 2,3 sec για μεσαίες συχνότητες και να αυξάνεται κατά 1,2 φορές στις χαμηλές περιοχές (125-250 Hz). Για συχνότητες πάνω από 1000 Hz απορρίπτονται τα απορροφητικά υλικά (εκτός των ακροατών φυσικά) επειδή η μοριακή απορρόφηση από τον ίδιο τον αέρα μειώνει το R.T. των υψηλών συχνοτήτων, περισσότερο από τον R.T. των μεσαίων. Επισημαίνουμε, ότι η μεταβολή της **NEXT**

θερμοκρασίας και της υγρασίας σε συχνότητες >3000 Hz επηρεάζει το R.T. Σης υψηλές συχνότητες όσο ο αέρας είναι πιο ξηρός, η απορρόφηση μεγαλώνει μέχρι το όριο της 20% σχετικής υγρασίας, όπου η καμπύλη που καθορίζει τη σχέση απορρόφηση-υγρασία ανποτρέφεται.

Όσο ο αέρας είναι πιο απορροφητικός, τόσο ο ήχος ταξιδεύει καλύτερα. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας/υγρασίας, που εμφανίζονται στην αίθουσα, επηρεάζουν αισθητά την καθυστέρηση (delay) μεταξύ του άμεσου ήχου και της πρώτης ανάκλασης. Οι αισθητές αλλαγές φαίνονται σαν ένα είδος επιτάχυνσης των κηληκτών κυμάτων στις υψηλές συχνότητες. Η μόνη λύση της σταθεροποίησης είναι η είσοδος των ακροατών αρκετό χρόνο προς την έναρξη. Ο αριθμός των ακροατών (όταν η αίθουσα δεν είναι γεμάτη), επηρεάζει το διακριτικό πεδίο.

Το σχήμα 22 (Bradley+Z) δείχνει τη μορφή του R.T. για τις τρεις καλύτερες αίθουσες και τις δικές μου προβλέψεις για την αθηναϊκή αίθουσα A(Z). Βασικά τα καινούμενα panel reflectors (ανακλαστικά επίπεδα), που βρίσκονται στην οροφή, έχουν δύο είδη διαστάσεων. Η διαφορά μεταξύ τους είναι έτσι ώστε οι κηληκές περιοχές, που παράγουν να μη δημιουργούν μεταξύ τους κηληκές ανωμαλίες ειδικά κτυπήματα.

Ας δούμε και τη γνώμη του Cramer γενικά για τα reflectors:

\_Από την ολική ενέργεια, που αντανακλούν τα καινού reflectors, μόνο το μέρος των υψηλών συχνοτήτων θα εκτραπούν. Το μέρος των χαμηλών συχνοτήτων, (η ζεστασιά του ήχου), δεν θα επηρεαστεί. Τα panel reflectors (βάσει της εφαρμογής των θεωριών Fresnel-Kirckhoff) χρησιμεύουν για συχνότητες πολύ πιο χαμηλές, από όσο θα μπορούσε να υποθέσει κανείς, από το μέγεθός τους\_.

β) Οι παράμετροι, που καθορίζουν την ενέργεια στην αντίληψη της ζωντανής μουσικής, μετρούν την αντίληψη των τόνων, που ξεχωρίζονται στο χρόνο, όταν τα όργανα παίζουν ταυτόχρονα.

Η διαφάνεια του ήχου εκτιμάται από δύο όρους: 1) Σαφήνεια -D-definition- που καθορίζει την ενέργεια, που φτάνει στον ακροατή στα πρώτα 50 msec κατά την ολική ενέργεια  $D=E(0-50\text{ msec})/E(0-\text{ απ})$ .

2) Διαύγεια (C-clarity) σε dB είναι ο δεκαδικός λογάριθμος της σχέσης μεταξύ της ενέργειας, που φτάνει στον ακροατή στα πρώτα 80 msec και της ολικής ενέργειας από 80 msec και πάνω  $C80 = 10 \log [E(0-80\text{ msec} - \text{ απ})]$ .

Αν οι προβλέψεις μου είναι σωστές, (βλέπε σχήμα 24, A(Z)), στην αθηναϊκή αίθουσα η διαύγεια του ήχου είναι πολύ καλή.

γ) Η γενική απόκριση της αίθουσας εκτιμάται από τη σχέση της ολικής ενέργειας (rise response) με την ενέργεια στα 10 μέτρα  $G = 10 \log [E(0-\text{ απ})/E(0\text{m} (0-\text{ απ})]$ . Στο σχήμα 23 προσαρμοσμένο από τον Bradley φαίνεται η συμπεριφορά των τριών αιθουσών συν την αθηναϊκή A(Z). Οι εκτιμήσεις μου δείχνουν μια καλή γραμμικότητα. Η καλή συμπεριφορά των panel reflectors στις χαμηλές συχνότητες είναι φανερή.

δ) Η πλευρική ενέργεια (lateral energy fraction) σχετίζεται με το IACC.

Το σχήμα 20 (Vollender-Kuttrup) δείχνει σαν οπτική κατανομή (μαύρη περιοχή) το βαθμό της πλευρικής ενέργειας (degree of lateralness) για αίθουσες όπου οι πλευρικοί τοίχοι έχουν διάφορες αποκλίσεις από το παραλληλόγραμο Z. Όσο πιο μαύρη είναι η περιοχή, τόσο η αίσθηση των πλευρικών ήχων μεγαλώνει.

Υπάρχουν και άλλες παράμετροι, που είναι αποκλίσεις των α, β, γ, δ.

Στο IRCAM αλλά και ο Shuo-Kian-Wu πρότειναν την εφαρμογή μιας μέτρης με δειγματοληπτικά δεδομένα, που σχηματίζουν τις παραπάνω παραμέτρους (συν άλλες) από την ερμηνεία των οποίων, θα μπορούσαν να βρεθούν οι ταυτόχρονοι μεταξύ τους συσχετισμοί βάσει πολλαπλών κριτηρίων (ενέργεια, χρόνος, κώρος). Το αποτέλεσμα αυτών των συσχετισμών μπορεί βάσει των απαραίτητων ακουστικών συνθηκών για κάθε είδος συμφωνικής μουσικής (κλασική, μπαρόκ/βαγκνερική όπερα, ρομαντική/μη βαγκνερική όπερα) τις εκτάσεις ή την εμβέλεια των ακουστικών συνθηκών, είτε στο στάδιο του σχεδιασμού είτε στην πρακτική εφαρμογή και την εκμετάλλευση, όπως είναι η αθηναϊκή αίθουσα με μεταβλητή γεωμετρία. Η δημιουργία μιας τράπεζας μνήμης των μουσικών γεγονότων (τύπος μουσικής/θέση μικροφώνων/θέση των reflectors/ακουστικό αποτέλεσμα) και η στατιστική επεξεργασία τους θα επιτρέψει την σταθεροποίηση του ανθρώπινου παράγοντα (υπεύθυνοι τεχνικοί κ.λπ.).

[NEXT](#)

θερμοκρασίας και της υγρασίας σε συχνότητες >3000 Hz επηρεάζει το R.T. Σης υψηλές συχνότητες όσο ο αέρας είναι πιο ξηρός, η απορρόφηση μεγαλώνει μέχρι το όριο της 20% σχετικής υγρασίας, όπου η καμπύλη που καθορίζει τη σχέση απορρόφηση-υγρασία αντιστρέφεται.

Όσο ο αέρας είναι πιο απορροφητικός, τόσο ο ήχος ταξιδεύει καλύτερα. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας/υγρασίας, που εμφανίζονται στην αίθουσα, επηρεάζουν αισθητά την καθυστέρηση (delay) μεταξύ του άμεσου ήχου και της πρώτης ανάκλασης. Οι αισθητές αλλαγές φαίνονται σαν ένα είδος επιτάχυνσης των κηληκτών κυμάτων στις υψηλές συχνότητες. Η μόνη λύση της σταθεροποίησης είναι η είσοδος των ακροατών αρκετό χρόνο προς την έναρξη. Ο αριθμός των ακροατών (όταν η αίθουσα δεν είναι γεμάτη), επηρεάζει το διακριτικό πεδίο.

Το σχήμα 22 (Bradley+Z) δείχνει τη μορφή του R.T. για τις τρεις καλύτερες αίθουσες και τις δικές μου προβλέψεις για την αθηναϊκή αίθουσα A(Z). Βασικά τα καινούμενα panel reflectors (ανακλαστικά επίπεδα), που βρίσκονται στην οροφή, έχουν δύο είδη διαστάσεων. Η διαφορά μεταξύ τους είναι έτσι ώστε οι κηληκτές περιοχές, που παράγουν να μη δημιουργούν μεταξύ τους κηληκτές ανωμαλίες ειδικά κτυπήματα.

Ας δούμε και τη γνώμη του Cramer γενικά για τα reflectors:

«Από την ολική ενέργεια, που αντανακλούν τα καινού reflectors, μόνο το μέρος των υψηλών συχνοτήτων θα εκτραπούν. Το μέρος των χαμηλών συχνοτήτων, (η ζεστασιά του ήχου), δεν θα επηρεαστεί. Τα panel reflectors (βάσει της εφαρμογής των θεωριών Fresnel-Kirckhoff) χρησιμεύουν για συχνότητες πολύ πιο χαμηλές, από όσο θα μπορούσε να υποθέσει κανείς, από το μέγεθός τους.»

β) Οι παράμετροι, που καθορίζουν την ενέργεια στην αντίληψη της ζωντανής μουσικής, μετρούν την αντίληψη των τόνων, που ξεχωρίζονται στο χρόνο, όταν τα όργανα παίζουν ταυτόχρονα.

Η διαφάνεια του ήχου εκτιμάται από δύο όρους: 1) Σαφήνεια -D-definition- που καθορίζει την ενέργεια, που φτάνει στον ακροατή στα πρώτα 50 msec κατά την ολική ενέργεια  $D=E(0-50\text{ msec})/E(0-\text{ απ})$ .

2) Διαύγεια (C-clarity) σε dB είναι ο δεκαδικός λογάριθμος της σχέσης μεταξύ της ενέργειας, που φτάνει στον ακροατή στα πρώτα 80 msec και της ολικής ενέργειας από 80 msec και πάνω  $C80 = 10 \log [E(0-80\text{ msec} - \text{ απ})]$ .

Αν οι προβλέψεις μου είναι σωστές, (βλέπε σχήμα 24, A(Z)), στην αθηναϊκή αίθουσα η διαύγεια του ήχου είναι πολύ καλή.

γ) Η γενική απόκριση της αίθουσας εκτιμάται από τη σχέση της ολικής ενέργειας (rise response) με την ενέργεια στα 10 μέτρα  $G = 10 \log [E(0-\text{ απ})/E(0m(0-\text{ απ})]$ . Στο σχήμα 23 προσαρμοσμένο από τον Bradley φαίνεται η συμπεριφορά των τριών αιθουσών συν την αθηναϊκή A(Z). Οι εκτιμήσεις μου δείχνουν μια καλή γραμμικότητα. Η καλή συμπεριφορά των panel reflectors στις χαμηλές συχνότητες είναι φανερή.

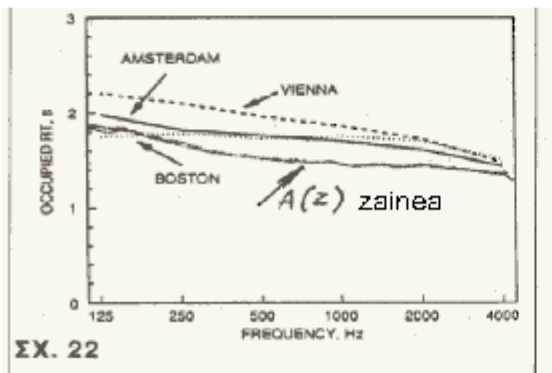
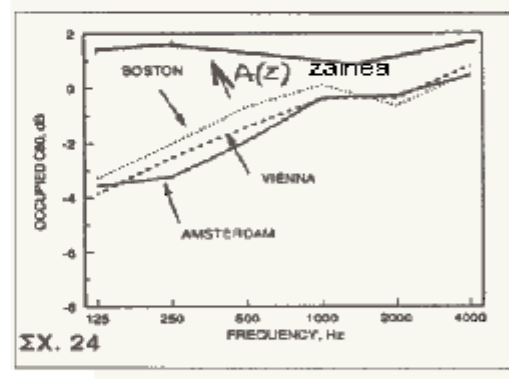
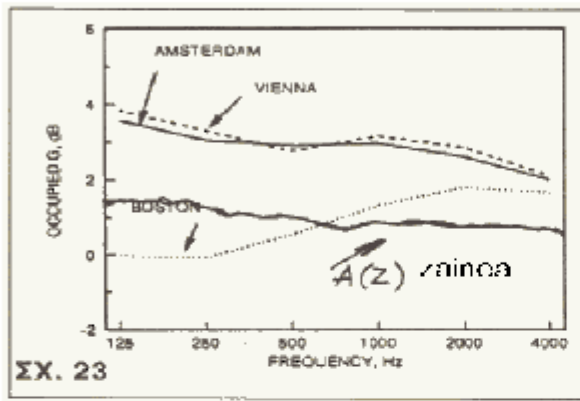
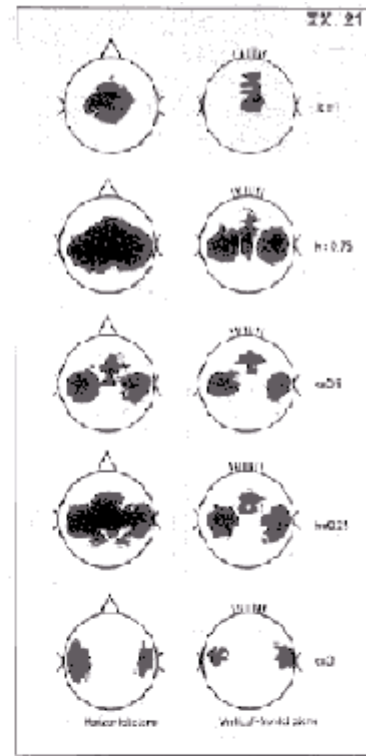
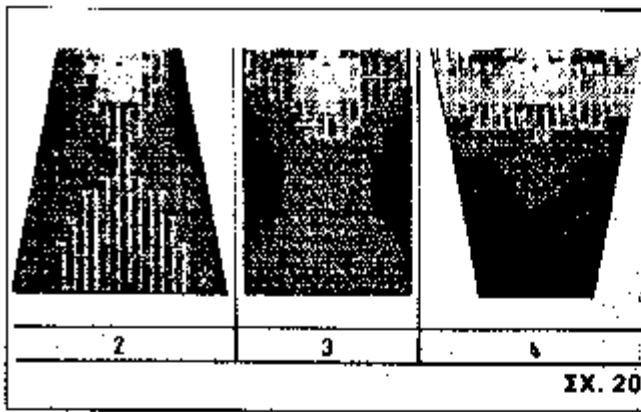
δ) Η πλευρική ενέργεια (lateral energy fraction) σχετίζεται με το IACC.

Το σχήμα 20 (Vollender-Kuttrup) δείχνει σαν οπτική κατανομή (μαύρη περιοχή) το βαθμό της πλευρικής ενέργειας (degree of lateralness) για αίθουσες όπου οι πλευρικοί τοίχοι έχουν διάφορες αποκλίσεις από το παραλληλόγραμο Z. Όσο πιο μαύρη είναι η περιοχή, τόσο η αίσθηση των πλευρικών ήχων μεγαλώνει.

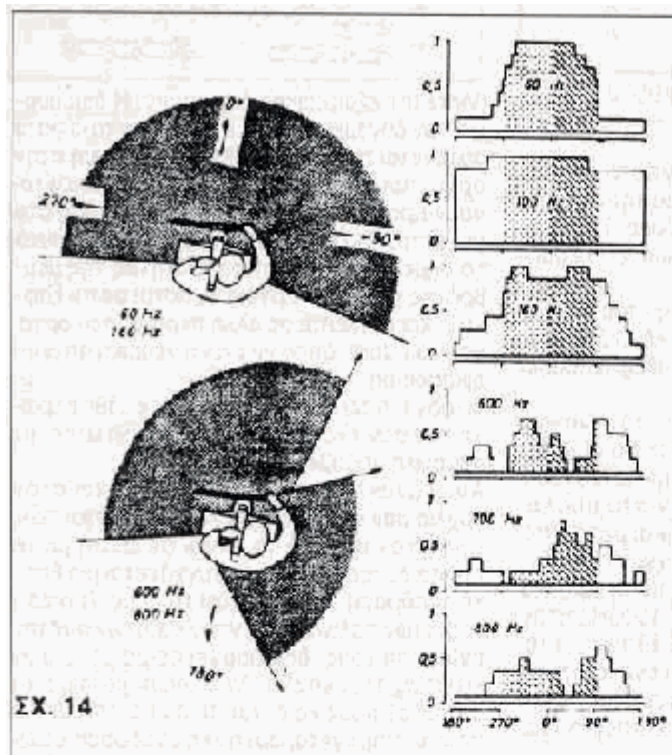
Υπάρχουν και άλλες παράμετροι, που είναι αποκλίσεις των α, β, γ, δ.

Στο IRCAM αλλά και ο Shuo-Kian-Wu πρότειναν την εφαρμογή μιας μέτρας με δειγματοληπτικά δεδομένα, που σχηματίζουν τις παραπάνω παραμέτρους (συν άλλες) από την ερμηνεία των οποίων, θα μπορούσαν να βρεθούν οι ταυτόχρονοι μεταξύ τους συσχετισμοί βάσει πολλαπλών κριτηρίων (ενέργεια, χρόνος, κώρος). Το αποτέλεσμα αυτών των συσχετισμών μπορεί βάσει των απαραίτητων ακουστικών συνθηκών για κάθε είδος συμφωνικής μουσικής (κλασική, μπαρόκ/βαγκνερική όπερα, ρομαντική/μη βαγκνερική όπερα) τις εκτάσεις ή την εμβέλεια των ακουστικών συνθηκών, είτε στο στάδιο του σχεδιασμού είτε στην πρακτική εφαρμογή και την εκμετάλλευση, όπως είναι η αθηναϊκή αίθουσα με μεταβλητή γεωμετρία. Η δημιουργία μιας τράπεζας μνήμης των μουσικών γεγονότων (τύπος μουσικής/θέση μικροφώνων/θέση των reflectors/ακουστικό αποτέλεσμα) και η στατιστική επεξεργασία τους θα επιτρέψει την σταθεροποίηση του ανθρώπινου παράγοντα (υπεύθυνοι τεχνικοί κ.λπ.).

[NEXT](#)



[NEXT](#)



ΣΧ. 14

#### Βιβλιογραφία

##### Ακουστικές ενδείξεις

1. ACUSTICA-VOL. 30/1974-J. B. LEE-Σ. 196-200
2. JASA-VOL. 43/3/1968-R.S. SHANKLAND, Σ. 426-430
3. ACUSTICA-VOL. 72/1990-H. DATE, Σ. 280-87
4. ACUSTICA-VOL. 46/1980-M. KLEINER, Σ. 82-87
5. ACUSTICA-VOL. 59/1986, OHTA, MIYATA, Σ. 167-176
6. ACUSTICA-VOL. 66/1980, E. GILBERT, Σ. 290-292
7. ACUSTICA-VOL. 41/1978, Y. HIRATA, Σ. 222-224
8. ACUSTICA-VOL. 44/1980, BERDONE, SACERDOTE, Σ. 73-77
9. JAES-VOL. 37/7-8/1989, OLIVE, TOOLE, Σ. 539-552
10. JAES-VOL. 36/3/1988, TOOLE, OLIVE, Σ. 122-140
11. JAES-VOL. 29/10/1981, B. BARTLETT, Σ. 726-736
12. ACUSTICA-VOL. 71/1990, M. OHTA et al, Σ. 147-151
13. JASA-VOL. 89/2/1991, M. HOIGSON, Σ. 765-771
14. ACUSTICA-VOL. 65/1988, C. RAJKOWSKA et al, Σ. 209-211

##### Ειρήθικες για παίξιμο σε σύνολο

15. ACUSTICA-VOL. 65/1988, G. NAYLOR, J. CRAIK, Σ. 95-100
16. ACUSTICA-VOL. 65/1988, G. NAYLOR, Σ. 127-136
17. ACUSTICA-VOL. 69/1989, A.C. GADE, Σ. 193-262
18. JASA-VOL. 64/5/1978, A. HARSHALL et al, Σ. 1437-41
19. ACUSTICA-VOL. 72/1990, J. BLAUERT, Σ. 195-296
20. ACUSTICA-VOL. 54/1984, I. NAKAYAMA, Σ. 217-221
21. ACUSTICA-VOL. 37/1977, ANDO, KAGEYAMA, Σ. 11-117
22. JASA-VOL. 62/6/1977, Y. ANDO Σ. 1436-1441
23. ACUSTICA-VOL. 50/1982, Y. ANDO, Σ. 135-140

##### \_ MTF \_

24. JAES, VOL. 37/12/1989, K. JAKOB, Σ. 1020-30
25. JAES, VOL. 39/4/1991, JAKOB et al, Σ. 232-41
26. ACUSTICA-VOL. 46/1980, HOUTGAST, STEENEKEN, PLOMP, Σ. 60-81
27. JASA-VOL. 68/1/1980, M. SCHROEDER, Σ. 22-28
28. ACUSTICA, VOL. 49/1981, M. SCHROEDER, Σ. 179-182
29. ACUSTICA, VOL. 49/1981, VAN RIETCHOOTE et al, Σ. 245-52

NEXT

30. ACUSTICA, VOL. 51/1982, STEENEKEN, HOUTGAST, Σ. 229-34
31. ACUSTICA, VOL. 54/1984, HOUTGAST, STEENEKEN, Σ. 185-99
32. ACUSTICA, VOL. 54/1984, POLACK et al. Σ. 257-65
33. JASA, VOL. 77/3/1985, HOUTGAST, STEENEKEN, Σ. 1069-77

#### *Αρχές της αντίληψης*

34. JASA, VOL. 79/3/1986, J. HOWARD et al, Σ.788-91
35. JASA, VOL. 81/2/1987, D. JOHNSON et al. Σ.427-38
36. JASA, VOL. 88/3/1990, C. FOWLER, Σ.1236-49

#### *Ψυχοακουστικές ενδείξεις*

37. JASA-VOL. 89/2/1991, E. ZWICKER, U.T. ZWICKER, Σ.756-64
38. JAES, VOL. 39/3/1991, E. ZWICKER, U.T. ZWICKER, Σ.105-25
39. JASA, VOL. 81/6/1987, YOST, MOORE, Σ.1896-905
40. JASA, VOL. 80/1/1986, DYE, YOST, Σ.112-17
41. JASA, VOL. 89/3/1991, SCHMIDT, E. ZWICKER, Σ.1324-30
42. ACUSTICA, VOL. 66/1988, BLAUERT, DIVENYI, Σ.267-74
43. JASA, VOL. 79/3/1986, BLAUBERT, LINDEMAN, Σ.806-13
44. JASA, VOL. 80/6/1986, LINDEMAN, Σ.1608-30
45. JASA, VOL. 86/2/1989, Y. ANDO et al, Σ.644-49
46. JAES, VOL. 37/1/1989, T. BOULIANE, Σ.51-52
47. JASA, VOL. 79/6/1986, W. KELLY, C. WATSON, Σ.1934-38
48. JASA, VOL. 51/6/1972, BOOMSLITER, CREEL, Σ.1984-93
49. ACUSTICA, VOL. 73/1991, H. FASTL et al, Σ.35-36
50. JASA, VOL. 71/3/1982, ANDO, ALRUTZ, Σ.616-18
51. JASA, VOL. 89/3/1991, GRANTHAM, BACON, Σ.1340-49
52. JASA, VOL. 89/3/1991, LONG. et al, Σ.1201-12
53. JASA, VOL. 89/3/1991, G. ZWEIG, Σ.1229-54
54. ΗΧΟΣ & ΗΙ-ΨΗ/1991, L. ZAINEA, ΤΕΥΧΟΣ 216 (I), 217 (II), 218 (III), 219 (IV).

#### *Αντικειμενικές και υποκειμενικές ενδείξεις για αίσθησες συναυλιών*

55. JASA, VOL. 73/6/1983, J. BRADLEY, Σ.2051-58
56. JASA, VOL. 89/3/1991, J. BRADLEY, Σ.1176-92
57. JASA, VOL. 89/2/1991, SHUO-XIAN, WU, Σ.722-26
58. I-er C. FRANCAIS D\_ ACCOUSTIQUE 1990, WARUSFEL, JULIEN. TOME 51/2 Σ.877-80
59. JASA, VOL. 83/5/1988, D. ENGLE, Σ.1968-71
60. JASA, VOL. 86/2/1989, TANNAKA, KOSHIKANA, Σ.603-19
61. JASA, VOL. 57/6/1975, L. BARANEK, Σ.1258-61
62. ACUSTICA, VOL. 66/1988, M. BARRON, Σ.1-14
63. JASA, VOL. 84/2/1988, BARRON, LEE, Σ.618-28
64. JASA, VOL. 85/3/1989, L. CREMER, Σ.1213-23
65. APPLIED ACOUSTICS, VOL. 30/2/1990, N. FLETCHER, Σ. 85-117
66. JASA, VOL. 51/6/1972, J. MEYER, Σ.1994-2009.
67. Applied ACOUSTICS, VOL. 32/1991, SEKIGUCHI, KIMURA, Σ.121-48
68. Applied ACOUSTICS, VOL. 32/1991, A. KULOWSKI, Σ. 93-105
69. ACUSTICA, VOL. 73/1991, MIYATA, NOMURA, HOUTGAST, Σ. 200-207
70. ACUSTICA, VOL. 73/1991, G.M. NAYLOR, Σ. 208-214
71. JOURNAL OF SOUND AND VIBRATION, VOL. 69/1/1980, D. VAUGHAN, Σ.119-38

This was in July 1991

[Go to article's first page](#)