

Τεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδος (Τ.Ε.Ε)  
Εργαστήριο Ηχοτεχνίας (Ε.Μ.Π)  
Ελληνική Ακουστική Εταιρεία (Ε.ΑΚ.Ε)

## Προβλήματα ηχομόνωσης και ακουστικής χώρου στα κέντρα διασκέδασης

Οργανωτική - επιστημονική επιτροπή  
Κ.Βαρελίδης  
Δ.Ευθυμιάτος  
Γ.Σούμπερτ  
Θ.Τιμαγένης  
Κ.Ψύχας

Έκδοση

Ελληνική Ακουστική Εταιρεία

(Ε.ΑΚ.Ε)

Παπησίων 147 - 11251 Αθήνα

**Τελωνές Σπουδαστών της Ελλάδος (Τ.Ε.Ε)**

**Εργαστήριο Ηχοτεχνίας (Ε.Μ.Π)**

**Ελληνική Ακουστική Εταιρεία (Ε.ΑΚ.Ε)**

**Προβλήματα ηχομόνωσης και ακουστικής χώρου στα κέντρα διασκέδασης**

Παρασκευή 17. Απριλίου 1992 , ώρα 9<sup>00</sup> π.μ.

**Ν.Μπάρκας**

Χρόνος αντίχησης και κριτήρια αξιολόγησης της ακουστικής ποιότητας

**Δ.Κεραμίδας**

Αιτίες κακής ακουστικής χώρου στα Ελληνικά κέντρα διασκέδασης

**Γ.Καμπουράκης**

Disco και High Tech

**Λ.Ζαΐνεα**

Προβλήματα ακοής στα κέντρα διασκέδασης

**Δ.Τσούκα**

Υπαίθρια κέντρα διασκέδασης και πρόβλεψη απμοσφαιρικής διάρδοσης ηχητικών κυμάτων στην επιρρεαζομένη περιοχή

**Θ.Τιμαγένης , Δ.Ευθυμιάτος**

Μετρήσεις ηχοαπομόνωσης και ακουστική άνεση των περιοίκων

**Γ.Σούμπερτ , Σ.Τζεβελέκος**

Συνύπαρξη Disco - Bar και διαμερισμάτων στο ίδιο κτίσμα

**M.G.F.Hille,T.G.Tan**

The Dutch Policy on Entertainment Noise

**Χαλαζωνίτης**

Αναφορά στην Ελληνική νομοθεσία για τα κέντρα διασκέδασης

### **I.Μιχαήλ**

Η αντιμετώπιση των προβλημάτων ηχομόνωσης από τα κέντρα διασκέδασης και ο έλεγχος χρήσεων γής σπην Πλάκα.

### **M.Μπεραχάς**

Περιπλάνηση στον χώρο της νύκτας : Νονοί - νόμοι - αστυνόμοι και σφηνάκια  
Εμπειρίες από ηχομονωτικές κατασκευές στα κέντρα διασκέδασης

### **Θ.Αργουδέλης**

Δυνατότητες ηχομόνωσης κέντρων διασκέδασης - προτάσεις τροποποίησης νομοθεσίας

### **E.Τζεκάκης**

Μετατροπή κινηματογράφου "Κεντρικόν" σε κέντρο διασκεδάσεως

### **N.Τσινίκας**

Άσυνεχής κατασκευή και η εφαρμογή της στα κέντρα διασκέδασης

### **Σ.Αλφιέρη**

Δήμος Πειραιά. Ενας χρόνος εμπειρία από την ανάληψη της αρμοδιότητας της έκδοσης αδείων ίδρυσης καταστημάτων υγειονομικού ενδιαφέροντος (κέντρων διασκέδασης)

ΘΕΜΑ: Χρόνοι αντήχησης  
και κριτήρια αξιολόγησης της ακουστικής ποιότητας

Νίκος Μπάρκας Π.Ιωακείμ 4 ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η διαπραγμάτευση αφορά τους χώρους διασκέδασης, συμβατικής γεωμετρίας, που λόγω χαμηλού κοστολογίου, παρουσιάζουν εσωτερικά μια ακουστική μορφή συνήθως τυχαία, όπως θα προκύψει από τις ανάγκες της ηχομόνωσης.

Προσεγγίζεται η συμπεριφορά του χρόνου αντήχησης, ανάλογα με το είδος και την κατανομή των υλικών στο χώρο. Συγκρίνεται ο θεωρητικά υπολογιζόμενος χρόνος αντήχησης με τους προβλέψιμους ή μετρήσιμους χρόνους. Συσχετίζονται οι χρόνοι αντήχησης με ορισμένα κριτήρια ακουστικής αξιολόγησης των αιθουσών.

#### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συζήτηση γύρω από τις υποειμενικές εντυπώσεις και τα κριτήρια για την ακουστική αξιολόγηση μιας αίθουσας βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη και αποτελεί ένα τομέα συνάντησης της ψυστικής με την ψυχο-ακουστική, το σχεδιασμό και τις οικοδομικές εφαρμογές. Τα ακουστικά γεγονότα που ακολουθούν την ηχητική διέγερση μιας αίθουσας αποτελούν μια σύνθετη και ρυθμική αλληλεπίδραση φαινομένων που διαδραματίζονται ταυτόχρονα σε ελάχιστο χρόνο και σε άπειρα σημεία του χώρου: στο ενδιάμεσο προκύπτουν ακαθόριστες διεργασίες που μας δη-

μιουργούν ποικίλες και δυσδιάκριτες εντυπώσεις.

Στο λεξιλόγιο του κοινού και των καλλιτεχνών ( από όπου κυρίως ξεκίνησε η συγκρότηση τεχνικής ορολογίας) για την περιγραφή της ακουστικής ποιότητας συναντούμε τη διαύγεια, την οικειότητα, τη στεγνότητα του χώρου ή την καθαρότητα, τη σύγχιση, τον πλούτο του ήχου κλπ. Χάρη στον L.L.BERANEK, ο απροσδιόριστος κόσμος των ακουστικών αισθημάτων άρχισε να συνδέεται με την έρευνα και η συσχέτιση των υποκειμενικών εντυπώσεων (μέσω κριτηρίων ) με τα ηχητικά φαινόμενα να αποτελεί παράμετρο του ακουστικού σχεδιασμού.

Τα κριτήρια είναι αριθμοποιημένα φυσικά μεγέθη, μετρήσιμα ή υπολογίσιμα, και μεταφράζουν τις υποκειμενικές εντυπώσεις σε ακουστικά δεδομένα. Στη βάση ενός, τυπικού μάλλον, διαχωρισμού της λειτουργικότητας των χώρων η αξιολόγηση διακρίνεται σε κριτήρια λόγου και μουσικής (όπου και εμπίπτουν οι αίθουσες διασκέδασης), μολονότι η καταληπτότητα της μελωδίας παραμένει ως ζητούμενο.

Τα πειράματα των HAWKES και DOUGLAS, απέδειξαν ότι, η ακουστική εντύπωση δεν αποτελεί μία γραμμική συνάθροιση ορισμένων σταθμισμένων κριτηρίων, αλλά μία πολυδιάστατη πραγματικότητα 4 ή 5 ανεξαρτήτων παραμέτρων, η οποία λειτουργεί μεν ως ατομική ιδιαιτερότητα, αλλά τελικά συγκροτεί το περιορισμένο φάσμα μιας σφαιρικής διανθρώπινης αντίληψης. Το πρόβλημα επομένως, δεν έγκειται στη συμπλήρωση ενός καταλόγου κριτηρίων, αλλά στη διατύπωση συνδυασμών από εύχρηστα κριτήρια, ικανών να περιγράφουν τις απαιτήσεις και τα μειονεκτήματα της ακουστικής λειτουργίας ενός δεδομένου χώρου.

## 1] Χρόνοι αντήχησης

Ο θεμελιώδης ορισμός του W.SABINE, αναφέρεται στο διάστημα που απαιτείται για μια μείωση της αρχικής ηχητικής στάθμης κατά 60 dB. Στην πραγματικότητα, η ανάδειξη του ωφέλιμου σήματος πάνω από το θόρυβο βάθους, σπάνια ξεπερνά τα 60 dB, ώστε να είναι εφαρμόσιμη η επιλογή ενος τέτοιου ορίου.

Η διάρκεια αντήχησης συνδέεται, εκτός από την ομώνυμη εντύπωση, με:

- την λαμπρότητα (την αίσθηση καθαρότητας και κρυσταλλικότητας των υψηλών συχνοτήτων),
- τη θερμότητα (την αντίστοιχη καθαρότητα και γλυκύτητα των χαμηλών συχνοτήτων) και
- την χωρική διάχυση (την ισόρροπη πληρότητα των ήχων σε ολόκληρο το αισθητό πλέγμα ).

Επειδή η φυσιολογική ακουστική αίσθηση έχει περιορισμένη δυναμική, η διερεύνηση της ηχητικής απομείωσης κατά 10 ως 20 dB, ανταποκρίνεται σε ανάλογες επιδράσεις του φαινομένου και σε τμήματα της φθίνουσας ενεργειακής καμπύλης.

Προτάθηκαν λοιπόν οι παρακάτω χρονικές διακρίσεις:

- TR60, για την διάρκεια απομείωσης μεταξύ -5 και -35 dB
- TR15, από 0 ως -15 dB
- TR20 ( από τον M.B.Schroeder ) από 0 ως -20 dB
- EDT, για την πρώτη ενεργειακή φθορά των πρώτων 10 dB, η οποία εκτός από την εντύπωση της αντήχησης συνδέεται και με τη ζωντάνια, την ακουστική πληθωρικότητα της αιθουσας.

Κατά το στάδιο σχεδιασμού μιας αίθουσας, πρωταρχικό μέλημα παράλληλα με την επιλογή της μορφής, είναι η συσχέτιση του όγκου με το χρόνο αντήχησης (με βάση τα διάφορα προτεινόμενα νομοδιαγράμματα).

## 2) Οι ενεργειακές αναλογίες.

Η αξιολόγηση των ανακλάσεων ανάγεται στη θεώρηση ενός χρονικού ορίου, που διαχωρίζει το ωφέλιμο από το επουσιώδες (ή και βλαπτικό) ενεργειακό τμήμα, είτε από το σύνολο της πχητικής ενέργειας. Με βάση τη φυσιολογία του ακουστικού μετοικάσματος και την αδυναμία εξακρίβωσης της χωρικής κατανομής στα πρώτα 35,50 ή 80 ms (ανά περίπτωση), προτάθηκαν διάφορες τιμές και αναλογίες ορίων ώστε να συνδεθούν οι χρονικές κανονές της πχητικής ενέργειας με αντίστοιχες εντυπώσεις:

-Η Διαύγεια 80 ms του W. Reichard, C=Εα-εων / Εασ-ω, σχετίζεται με την αισθηση της διαύγειας και αποσαφήνισης των μουσικών οργάνων, ονομάζεται επίσης "early-to-late-sound-index" και συνδέεται με τον δείκτη διαύγειας C του Schroeder, για την αξιολόγηση της καταληπτότητας του λόγου.

-Ζωντάνια των Maxfield -Alberstein, L=Εαντίνx/Εατενx, σχετίζεται με την ομώνυμη εντύπωση και προϋποθέτει την εκτίμηση μιας "κρίσιμης διάρκειας" Δt για τη διαδρομή του κατευθείαν ήχου στο χώρο. Με τη ζωντάνια συνδέεται και ο δείκτης διαχωρισμού S των Richard-Schmidt, S=10log1/L.

-Η αναλογία "σήμα προς θόρυβο" των Lochner-Burger, σε μια διαφορετική θεώρηση, προσομοιάζει το πεδίο αντήχησης με ένα

είδος παρασιτικού θορύβου που παρενοχλεί τον κατευθείαν ήχο (ως 35 ms) και τις έγκαιρες ανακλάσεις ( από 35 ως 95 ms).

Η σταθμισμένη λογαριθμική της έκφραση είναι

$$S/B = 10 \log \left[ \int_0^{95} |a(t)|^2 dt / \int_{95}^{\infty} |p|^2 dt \right]$$

Στην ίδια θεώρηση εμπίπτει και ο δείκτης της πχώ Ε του Niece

$$E = E_{\text{B.A.}} / [E_{\text{B.A.}} + E_{\text{B.B.}}],$$

όπου το ωφέλιμο ενεργειακό τμήμα ορίζεται μέχρι τα 33 ms.

### 3) Κριτήρια χρονικής αντίληψης

Είναι μια ομάδα κριτηρίων που εξάγονται από την επεξεργασία της παλμικής απόκρισης της αίθουσας

-Ο Χρωματισμός (ή φασματική απόκλιση ) του Bell Laboratory στηρίζεται στην μέτρηση των αποκλίσεων του συχνοτικού φάσματος και σχετίζεται με την ομώνυμη αίσθηση.

-Ο χρόνος ανάδυσης του V.Jordan, είναι η απαραίτητη διάρκεια  $t_r$  για τον υποδιπλασιασμό της συνολικής ενέργειας, δηλαδή ο χρόνος για μια αρχική πτώση κατά 3 dB.

-Ο βαρυκεντρικός χρόνος  $t_s$  του L.Cramer, ορίζει το υποκειμενικό όριο ανάμεσα στην ωφέλιμη και βλαπτική πχητική ενέργεια, δηλαδή καθορίζει την βαρύνουσα περιοχή της παλμικής απόκρισης και σχετίζεται με την αίσθηση χρωματισμού, λαμπρότητας και σαφήνειας στις ατάκες.

-Η διάρκεια της αρχικής καθυστέρησης (το λεγόμενο ITD Gap) του L.Beranek, καθορίζει το χρονικό διάστημα αποκλειστικής επικράτησης του κατευθείαν ήχου, πρίν την εμφάνιση των πρώτων ανακλάσεων.

-Η χρονική διάχυση Δ, του H.Kuttruff, που υπολογίζεται από την συνάρτηση αυτοσυνέλιξης της παλμικής απόκρισης, προτάθηκε για την αξιολόγηση μιας ενοχλητικής εντύπωσης από τις καθυστερημένες ανακλάσεις και την παλμική ηχώ.

-Ο δείκτης αναστροφής II, του V.Jordan, αξιολογεί την εξαπλωση μιας ηχητικής ισορροπίας στο χώρο, συγκρίνοντας το χρόνο EDT μεταξύ σκηνής και αίθουσας.

#### 4] Κριτήρια χωρικής αντίληψης

-Η αμφιακουστική συνάφεια Κ, του M.Schroeder, σχετίζεται με την αμφιθεατρική ακουστική αίσθηση (μια εξοικείωση με τις αναλογίες του χώρου, που αν υπερτονιστεί οδηγεί στη χασμαδία) και προκύπτει από μια κανονικοποίηση της αντίληψης στα 2 αισθητήρια. Από αυτήν προκύπτει και η σύντομη αμφιακουστική συνάφεια IACC, περιορίζοντας την ίδια μέτρηση στο διάστημα των 80 ms.

-Η πλευρική ικανότητα LE, του M.Barron, σχετίζεται με την αίσθηση σφαιρικής αντίληψης του χώρου και το βαθμό διάκρισης των πλάγιων διευθύνσεων. Προκύπτει από την αναλογία της πλευρικής ενέργειας προς τη συνολική διάχυση, και συγγενεύει με τον παράγοντα πλευρικής ενέργειας L, και το δείκτη απόκρισης χώρου RR ο οποίος βασίζεται στη διάκριση του κατευθείαν ήχου (25 ms), από τις πλευρικές ανακλάσεις (25 ως 80 ms) και την ολοκληρωμένη διάχυση (80 ως 160 ms):

$$E = 10 \log [ E_{25-160} / E_{0-80} ]$$

-Η ηχητική στάθμη στα 10 m, της ομάδας του Bell Laboratory, συσχετίζει το σχετικό επίπεδο έντασης, στα 10 m, με την απόλυτη ισχύ της πηγής. Συνδέεται με την αισθηση της οικειότητας, ενός ηχητικού φλοιού και μιας σφαιρικής αξιολόγησης της ακουστικής του χώρου.

### 5] Ομαδοποίηση των σημαντικότερων κριτηρίων

Για να εκπονηθεί μια αποτελεσματική μέθοδος μελέτης και πρόγνωσης της ακουστικής συμπεριφοράς των αιθουσών, απαιτείται η επιλογή ενός ολοκληρωμένου συνδυασμού εύχρηστων κριτηρίων που να συσχετίζουν και να αξιολογούν τα χαρακτηριστικά και τις λειτουργικές απαιτήσεις του χώρου ( όγκος, γεωμετρία, αναλογίες, είδος και κατανομή υλικών, πυκνότητα ακροατηρίου, χρήση, εξοπλισμός κλπ ).

Από μια ευρύτατη λίστα, ορισμένα κριτήρια μπορούν να παραληφθούν, ενώ αρκετά αλληλοεπικαλύπτονται: η επιλογή, από μόνη της αποτελεί τμήμα της τρέχουσας έρευνας.

Ακολουθώντας τις προτάσεις των Lehmann-Bargon, ένας πρόσφορος και αξιόπιστος συνδυασμός θα μπορούσε να περιλαμβάνει:

#### -TR<sub>so</sub> ή EDT

Τα ψηλότερα τμήματα της καμπύλης απομείωσης των εντάσεων δίνουν πολύτιμες πληροφορίες για την αντίχηση και μια σχετικά ολοκληρωμένη άποψη για την χωρική διάχυση. Σε μικρούς όγκους και χαμηλές στάθμες θορύβου το EDT είναι πρακτικότερο.

#### -C<sub>so</sub> ή T\*

Ως εντυπώσεις η διαύγεια και η αντίχηση έχουν μεγάλη

συνάφεια. Η αλληλοκάλυψη των δύο κριτηρίων είναι απόλυτη όταν η καμπύλη απομείωσης έχει εκθετική μορφή. Το C<sub>80</sub> θεωρείται προτιμότερο για μια συνολική ακουστική αξιολόγηση.

-IACC ή LE

Η σύντομη αμφιακουστική συνάφεια θεωρείται αποτελεσματική στη διάγνωση της χωρικής αντίληψης και στον εντοπισμό κάποιας ηχητικής σκιάς ή ανάδυσης. Χρησιμοποιείται ευρύτατα για την αξιολόγηση της συνολικής ποιότητας του χώρου, μολονότι ο δεικτης πλευρικής ικανότητας παρέχει ταυτόσημες πληροφορίες, με ελάχιστες τεχνικές απαιτήσεις.

-Η ηχητική στάθμη στα 10 m [F]

Ως απόλυτο μέγεθος ή από την κλίση της καμπύλης απομείωσης η ένταση του ήχου παρέχει πληροφορίες απαραίτητες για την σφαιρική αξιολόγηση του χώρου.

Τα παραπάνω κριτήρια λοιπόν μπορούν να μας εξασφαλίσουν μια ασφαλή και αποδοτική αξιολόγηση της ακουστικής ποιότητας μιας αίθουσας μουσικής, χωρίς να λησμονούμε ωστόσο, ότι η κατανόηση και η προσέγγιση μιας μουσικής ακρόασης εξακολουθεί να μας επιφυλάσσει αναπάντητα ερωτήματα.

## 6] Πρόγνωση και μέτρηση των κριτηρίων

Η πρόγνωση των κριτηρίων είναι μια διαδικασία επίπονη και σύνθετη: σε συνθήκες πεδίου διάχυσης είναι πιθανόν ακριβής ο προσδιορισμός της αντήχησης, της διαύγειας, της ηχητικής στάθμης και της καταληπτότητας. Η υπόθεση αυτή δυστυχώς δεν ισχύει ούτε στο θέατρο ούτε στις αίθουσες μουσικής, παρά μόνο

προσεγγιστικά για την αντίχηση.

Με βάση τα παραπάνω, αναπτύχθηκαν διάφορες προσπάθειες βελτίωσης του υπολογιστικού τύπου του Sabine, γνωστές πλέον ως τύποι του Eyring, του Millington, του Puzole και άλλων: η πρόγνωση της αντίχησης παραμένει υπολογιστικά ατελής.

Αναγκαστικά λοιπόν η έρευνα στράφηκε προς τη μοντελοποίηση των αιθουσών, είτε αναλογικά (σε μακέτες οπτικού ή ακουστικού σήματος), είτε μαθηματικά ( με την μέθοδο των ακτίνων, των ειδώλων-πηγών, ή των διαδρομών).

Η μοντελοποίηση, σε κάθε περίπτωση, απαιτεί την υποδομή και υποστήριξη ενός εργαστηρίου ακουστικής ή ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή με προγραμματισμό υψηλών προδιαγραφών. Η πραγματικότητα της ελληνικής αγοράς, όσον αφορά τις αιθουσες διακέδασης, δεν θέλει και ίσως δεν μπορεί ακόμη, να πληρώνει και να συντηρεί μια τέτοια οργάνωση σε ευρεία κλίμακα.

Η μέτρηση των κριτηρίων σε συνθήκες εφαρμογής, είτε ανά φάσεις κατασκευής, είτε σε περίπτωση ακουστικής διόρθωσης είναι πλέον εφικτή:

-τα TR και EDT από την καμπύλη απομείωσης της ηχητικής έντασης, με την παρέμβαση ενός χαρακτηριστικού σήματος, ή με την βαθμιδωτή ολοκλήρωση της παλμικής απόκρισης, κατά την μέθοδο Schroeder.

-τα C80 και LE από την ολοκλήρωση της παλμικής απόκρισης ροζ ή λευκού θορύβου, ή ενός συντόμου κανονικοποιημένου σήματος, είτε με αναλυτική είτε με αριθμητική μέθοδο.

-Η ηχητική στάθμη με τη βοήθεια μιάς πηγής δεδομένης ισχύος, ή από την παλμική απόκριση, σε μια ακτίνα 10 m και

στα χαρακτηριστικά σημεία της αίθουσας.

Ωστόσο και στο επίπεδο της διόρθωσης η συνήθης ελληνική περίπτωση των αιθουσών διασκέδασης μεταθέτει τα ζητήματα του ακουστικού σχεδιασμού στη λειτουργία της ηλεκτρακουστικής εγκατάστασης: περισότερη ένταση, μπάσα ή πρίμα. Και τότε εκτός από τους θαμώνες ταλαιπωρούνται και οι γείτονες, δηλαδή ακυρώνονται οι δυνατότητες της ηχομόνωσης.

## 7) Τα δεδομένα του Espace IRCAM

Σε μια προσπάθεια σφαιρικής παρουσιάσης της εφαρμογής των κριτηρίων, σε πρώτο επίπεδο ανάλυσης, επιλέχθηκαν ορισμένες ακουστικές μετρήσεις στον πειραματικό χώρο δοκιμών του IRCAM στο Παρίσι. Χαρακτηριστικό της αίθουσας είναι η ευελιξία της μορφής και των αναλογιών ( μέγιστος όγκος 6500 m<sup>3</sup> και ελάχιστος 1500 m<sup>3</sup> περίπου) και η μεταβλητότητα των πλευρικών τοιχωμάτων και της οροφής ( που συγκροτούνται από 140 περίπου περιστρεφόμενους περιάκτους με διαφορετικές επιφάνειες: ανακλαστική (R), διαχυτική (D) και απορροφητική (A) χαμηλών και υψηλών συχνοτήτων εναλλακτικά ) με αποτέλεσμα να επιτρέπει την προσομοίωση μιας μεγάλης ποικιλίας αιθουσών σε άπειρες απεικονίσεις επιφανειακών υλικών και κατανομών.

Ως πρώτο δείγμα, παρατίθενται οι 11 απεικονίσεις μιας αίθουσας με ορθογωνικό σχήμα (24m x 15m περίπου), μέσο όγκο ( 2500 m<sup>3</sup> περίπου ) και ομοιόμορφη κατανομή υλικών, που κατατάσσονται με βάση τα ποσοστά των απορροφητικών υλικών:

	. 1 .	2 .	3 .	4 .	5 .	6 .	7 .	8 .	9 .	10 .	11
A	100	85	70	60	55	40	20	20	15	0	0
D	0	0	0	40	30	30	80	65	55	85	0
R	0	15	30	0	15	30	0	15	30	15	100

Οι απεικονίσεις αυτές συγκροτούν ένα πυκνό δίκτυο ρεαλιστικών εκδοχών και επιτρέπουν την προσεγγιστική παρεμβολή πρόσθετων περιπτώσεων.

Ως δεύτερο δείγμα, παρατίθενται τρείς διακριτές μορφές αίθουσας, σε μια δεδομένη κατανομή υλικών ( την 5η του άνω δείγματος ), αλλά σε τρείς περιπτώσεις κατανομών ( ομοιόμορφη [U,11], μέτρια [M,12] και έντονα ακανόνιστη [F,13] ):

-1η περίπτωση, αίθουσα μικρού όγκου ( 1800 m³ περίπου ), με μικρή ακτίνα μεταξύ πάλκου και θεατών ( 5m περίπου ),

-2η περίπτωση, αίθουσα μέτριου όγκου ( 2500 m³ περίπου ), με αμφιθεατρική διάταξη θέσεων και έντονη παρουσία πλευρικών τοιχωμάτων ( ακτίνα 7.5m περίπου ) και

-3η περίπτωση, αίθουσα κανονικού όγκου ( 3800 m³ περίπου ), με έντονο ανάπτυγμα βάθους και εξώστες ( ακτίνα 10m περίπου ).

Οι εκδοχές αυτές μας επιτρέπουν να παρακολουθήσουμε την αοριστία του θεωρητικά υπολογιζόμενου χρόνου αντήχησης στο εσωτερικό των μεταβαλόμενων μορφών και κατανομών.

## 8] Η αναλογίες τών υλικών ως παράμετρος

Στον ΠΙΝΑΚΑ 1 παρατίθεται η αριθμητική διακύμανση των τιμών 5 κριτηρίων (TR60, EDT, C80, LE και F), σε σχέση με την στατιστικά μέση υπολογιζόμενη τιμή TR\* του χρόνου αντήχησης, στις 11 επιλεγμένες απεικονίσεις της αίθουσας και για την ίδια μέση ελεύθερη ακτίνα, σε σφαιρική φασματική ανάλυση.

Οσον αφορά την εκτίμηση του χρόνου αντήχησης (ΣΧΗΜΑ 1, κέντρο), η διακύμανση των χρόνων εμφανίζεται καλή και ομαλή.

Η υπερεκτίμηση της στατιστικής προσέγγισης προέρχεται από τις απότομες αυξήσεις ανακλαστικών υλικών (μεταξύ 1ης και 3ης, 4ης και 6ης, 10 και 11ης). Το EDT παρακολουθεί εξίσου έγκαιρα όλες τις μεταβολές. Γενικά, οι έντονες κλίσεις στις καμπύλες των εξελίξεων χρόνου παρουσιάζουν απότομες μεταβολές, όταν παρεμβάλονται σημαντικές (και μη υπολογιζόμενες στατιστικά) αυξήσεις διαχυτικών υλικών, δηλαδή τοπικές ζώνες έντονης διάχυσης (4η, 6η, 8η απεικόνιση).

Οσον αφορά τα C80 και LE (ΣΧΗΜΑ 1 κάτω), η εσωτερική τους συνάφεια είναι υψηλή και η διακύμανση τους, σχετικά με τον θεωρητικά υπολογιζόμενο χρόνο αντήχησης, εμφανίζεται ομαλή και αντιπαράλληλη. Ήπιες μεταβολές της κλίσης των χρόνων επιφέρουν ομαλές μεταβολές της διαύγειας και αντίστοιχα έντονες διακυμάνσεις προκαλούν μεγάλες πτώσεις, ως αποτέλεσμα της ενεργοποίησης τοπικών ζωνών διάχυσης.

Η διακύμανση της πλευρικής ικανότητας παρουσιάζει έντονη πτώση για υψηλά ποσοστά απορρόφησης (μέχρι και την 3η), θετική ενίσχυση χάρη στην αύξηση της διάχυσης (4η, 5η, 9η) και

σημαντική απομείωση σε έντονες αυξήσεις της ανάκλασης (μεταξύ 4ης-5ης και 8ης-9ης). Σε συνθήκες ολοσχερούς διάχυσης (10η), εμφανίζεται η ακύρωση της ακουστικής αντίληψης.

Τέλος, όσον αφορά την F (ΣΧΗΜΑ 1 πάνω), παρά την άμεση εξάρτηση της από την απορρόφηση, παρακολουθεί αρκετά ομαλά την αντίχηση, εμφανίζει (αναμενόμενα) έντονες αυξητικές τάσεις στις αυξήσεις της ανάκλασης (1η-2η), άλλα δεν παρακολουθεί την διακύμανση της διάχυσης (3η-4η, 8η-9η). Η F δείχνει πως μεταφέρει χρήσιμες πληροφορίες στις μεταβολές που επιφέρει μια μικρή έστω αύξηση της ανάκλασης (7η-8η), ενώ μάλλον υπερεκτιμά τις τοπικές ζώνες διάχυσης (5η-7η). Εμφανίζει ωστόσο μεγάλη ευαισθησία για τη μορφή του χώρου και των τοιχωμάτων, σε σχετικά σταθερές συνθήκες απορρόφησης (8η-9η-10η).

Συνολικά η συνεργασία των 5 κριτηρίων με το θεωρητικό χρόνο αντίχησης εμφανίζεται καλή και οι πρόσθετες πληροφορίες είναι οπωσδήποτε απαραίτητες. Για ανεκτές διακυμάνσεις της αντίχησης, παίρνοντας υπόψη τον όγκο, τη μορφή και τις απαιτήσεις μιας αίθουσας μουσικής, σε συνθήκες παρουσίας κοινού, (προσεγγιστικά μεταξύ 3ης και 7ης απεικόνισης), οι αντίστοιχα ανεκτές διακυμάνσεις των κριτηρίων εντοπίζονται μεταξύ 2ης και 6ης για τη διαύγεια (3.5-7.5 dB), 3ης και 6ης για την πλευρική ικανότητα (-3 ως -5dB), και 4ης ως 11ης για την ηχητική στάθμη ( μέχρι 3dB πτώση ): κοινός τόπος των απαιτήσεων μοιάζει να είναι η 5η απεικόνιση, την οποία θα διερευνίσουμε στο δεύτερο επίπεδο ανάλυσης.

## 9] Η κατανομή των υλικών ως παράμετρος

Στον ΠΙΝΑΚΑ 2 παρατίθεται σε οκταβική συχνοτική ανάλυση, η αριθμητική διακύμανση των τιμών, του θεωρητικά υπολογιζόμενου χρόνου αντήχησης, και των κριτηρίων C80 και TR60, με την ίδια αναλογία υλικών (απεικόνιση 5 της παραπάνω διαπραγμάτευσης) αλλά σε τρεις διαφορετικές κατανομές ως προς τη πηγή ( ομοιόμορφη [στήλες 11, U], μέση [στήλες 12, M] και έντονα ακανόνιστη [στήλες 13, F]), τριών διαφορετικών αιθουσών:

-[πρώτο μπλόκ] αιθουσα μικρού όγκου με μικρή ακουστική ακτίνα και μετωπική σχέση πάλκου-κοινού,

-[δεύτερο μπλόκ] αιθουσα μέσου όγκου, σε περιμετρική διάταξη κοινού,

-[τρίτο μπλόκ] αιθουσα κανονικού όγκου, με αξονική διατάξη και έντονο βάθος.

Η πρώτη αιθουσα (ΣΧΗΜΑ 2) εμφανίζει την κορυφή του διαγράμματος αντήχησης μεταξύ 1000-2000HZ. Στα 250HZ εντοπίζεται μια θετική ενίσχυση της αντήχησης στην κατανομή F, η οποία ενισχύει πιθανόν την ανθρώπινη φωνή, αλλά θα προκαλέσει ίσως άλλα ενοχλητικά φαινόμενα. Γενικά ο θεωρητικά υπολογιζόμενος χρόνος δεν παρακολουθεί ακριβώς τις διακυμάνσεις της αντήχησης, η κατανομή U τις υποεκτιμά, ενώ η κατανομή M μοιάζει αποδεκτή. Επίσης η έντονη πτώση της αντήχησης μετά τα 2000HZ είναι μια πρώτη υποψία για τον πλεονασμό πιθανής ηλεκτρακουστικής εγκατάστασης.

Η διαύγεια μεταξύ 125 και 2000HZ είναι γενικά αποδεκτή, με εξαίρεση την κατανομή U, ενώ ειδικά στα 125HZ μοιάζει ανα-

γκαία μια πρόσθετη παρεμβολή ανακλαστικών ή διαχυτικών υλικών πίσω από το πάλκο. Γενικά οι διακυμάνσεις της διαύγειας εμφανίζονται ιδιαίτερα αποκαλυπτικές στην κατανομή F.

Η δεύτερη αίθουσα (ΣΧΗΜΑ 3), όπως ήταν αναμενόμενο, εμφανίζει έντονες τοπικές επιρροές διάχυσης. Η καμπύλη της θεωρητικά υπολογισμένης αντήχησης εμφανίζει αρκετά καλές διακυμάνσεις με μικρές αποκλίσεις μόνο στα 250 και 500HZ (που ωστόσο είναι μια πολύτιμη περιοχή).

Η κορυφή της αντήχησης βρίσκεται και εδώ, μεταξύ 1000-2000HZ η κατανομή U συνεχίζει να υποεκτιμά τις διακυμάνσεις, ενώ μια έντονη πτώση εμφανίζεται μεταξύ 125-250HZ.

Οι μεταβολές της διαύγειας εμφανίζονται πολύ καλές, παρουσιάζοντας χαμηλές τιμές μεταξύ 500-2000HZ: η πιθανή λειτουργία ηλεκτρακουστικής εγκατάστασης θα δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα καταληπτότητας και μουσικής αντίληψης.

Γενικά εξαιτίας της επικράτησης των πλευρικών τοιχωμάτων τα τοπικά φαινόμενα συμβολής εμφανίζονται πολύ θετικά στα 250HZ αλλά αρνητικά μεταξύ 500-1000HZ (για τυχαίους λόγους που ανάγονται στη συγκεκριμένη γεωμετρία της αίθουσας), επομένως η διαύγεια εμφανίζει μια κακή συμπεριφορά στην περιπτώση απορρόφησης χαμηλών συχνοτήτων.

Στην τρίτη αίθουσα (ΣΧΗΜΑ 4) εμφανίζεται πάλι κορύφωση της αντήχησης μεταξύ 1000-2000HZ. Ειδικά στην κατανομή F παρατηρείται μια πτώση στα 250HZ, που για την κατανομή U μετατίθεται στα 125HZ με ομαλότερες κλίσεις.

Η διαύγεια παρουσιάζει αναντίστοιχη πτώση μεταξύ 500-4000HZ αποτέλεσμα πιθανά των ολιγάριθμων διάχυτών (ως προς τον

όγκο της αίθουσας), γεγονός που υποδηλώνει την ανάγκη ηλεκτρακουστικής ενίσχυσης. Γενικά η υπάρχουσα διάχυση βοηθά τη διαύγεια στις χαμηλές συχνότητες ενώ παρουσιάζει μειωμένη απόδοση στις μέσες συχνότητες.

Συσχετίζοντας το σύνολο των διακυμάνσεων του χρόνου αντήχησης στις τρείς αίθουσες θα μπορούσαμε να παρατηρήσουμε:

-σε μικρούς όγκους, μια αύξηση της αντήχησης και πτώση της διαύγειας μεταξύ 125-250HZ επιβάλει μια ικανοποιητική διάχυση πίσω από το πάλκο και μια μέση ή έντονη ανισοκατανομή των υλικών,

-σε μικρές αμφιθεατρικές διατάξεις με μια αύξηση της αντήχησης και πτώση της διαύγειας μεταξύ 500-2000HZ, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στα τοπικά φαινόμενα συμβολής και στο σχήμα των διαχυτών, ενώ μια ηλεκτρακουστική εγκατάσταση περιπλέκει εμφανώς τα πράγματα,

-σε κανονικούς όγκους, με έντονο βάθος, χρειάζεται μεγάλη προσοχή στην απορρόφηση των μέσων συχνοτήτων, η αντήχηση εμφανίζεται ικανά υψηλή, η ομοιόμορφη κατανομή δίνει ομαλότερες διακυμάνσεις και η σωστή λειτουργία μιας ηλεκτρακουστικής εγκατάστασης είναι απαραίτητη.

## 10] Επίλογος

Οπως αποκαλύπτει η συνολική διαπραγμάτευση, υπάρχει μια σημαντική διαπλοκή των φυσικών μεγεθών με τις υποκειμενικές εντυπώσεις και ορισμένοι βασικοί συνδυασμοί κριτηρίων για την αξιολόγηση της ακουστικής ποιότητας μιας αίθουσας.

Η διάρκεια αντίχησης είναι ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό του οποίου η αναλυτική προσέγγιση απαιτεί σύνθετες διαδικασίες.

Στην κατανόηση της ακουστικής ατμόσφαιρας και την εξασφάλιση ακουστικής άνεσης παρεμβάλεται μια λεπτή προσέγγιση όπου η εμπειρία διαπλέκεται με τις εξειδικευμένες δυνατότητες.

Στις τεχνικές εφαρμογές, η διάκριση μεταξύ των πεδίων αντίχησης και διάχυσης εξαρτάται από ένα πλήθος παραμέτρων: μεγέθη, αναλογίες, μορφές, υλικά και κατανομές, μικρές ή μεγάλες διαχυτικές επιφάνειες.

Ακόμη και σήμερα συναντούμε μεγάλες δυσκολίες για μια ασφαλή αναγωγή των μετρήσεων από τα πεδία διάχυσης, για την αποδοτικότητα των υλικών σε χώρους μεγάλης απορροφητικότητας, για την πραγματική συμπεριφορά των τοιχωμάτων σε μια γεμάτη αίθουσα με ακουστικά διαπερατή οροφή.

Ωστόσο, ένα πλήθος προβλημάτων που προέρχονται από την έντονη παρουσία ισχυρών πεδίων αντίχησης μπορούν να βρουν τη λύση τους κατάλληλα και ίσως αποκλειστικά με τον "τύπο του Sabine": η πολυπλοκότητα δεν είναι καλός σύμβουλος.

Στην πραγματικότητα λοιπόν, είμαστε υποχρεωμένοι να διορθώνουμε (στα όρια αυτής της κλίμακας) μια σειρά από δύσβατες προυποθέσεις με τις εμπειρικές μας διαπιστώσεις.

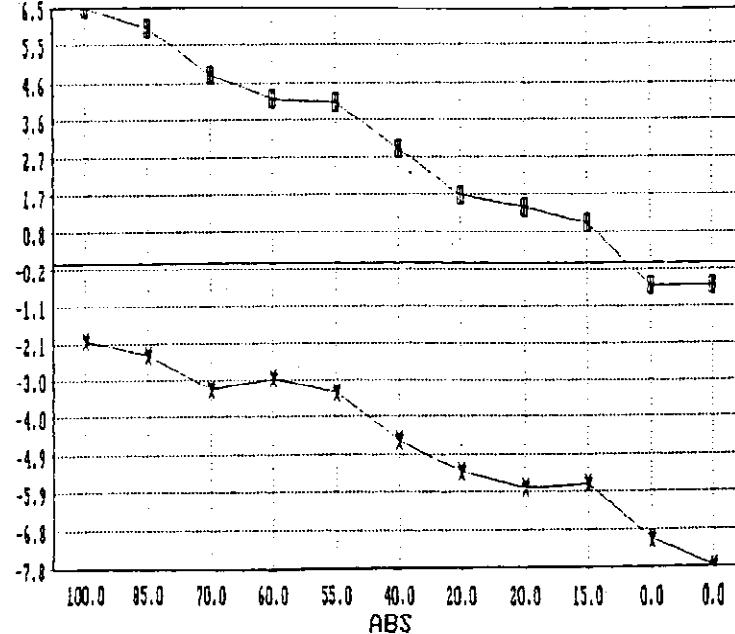
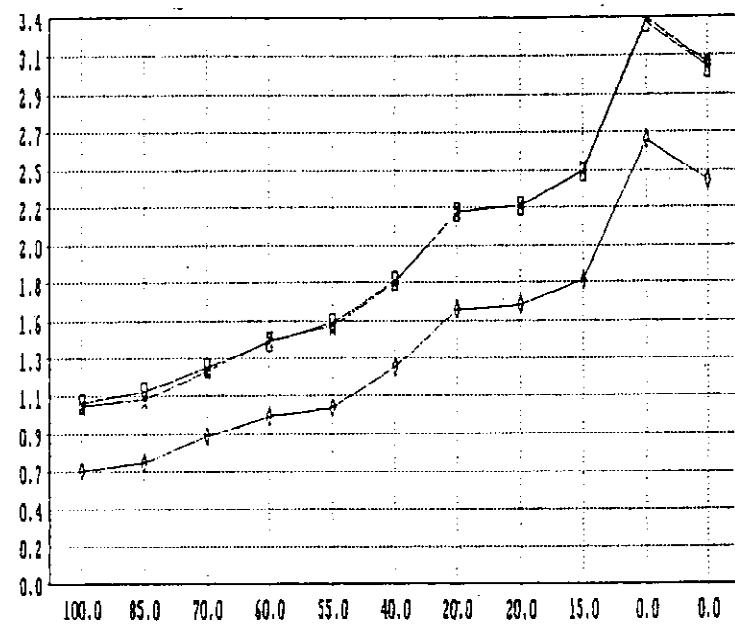
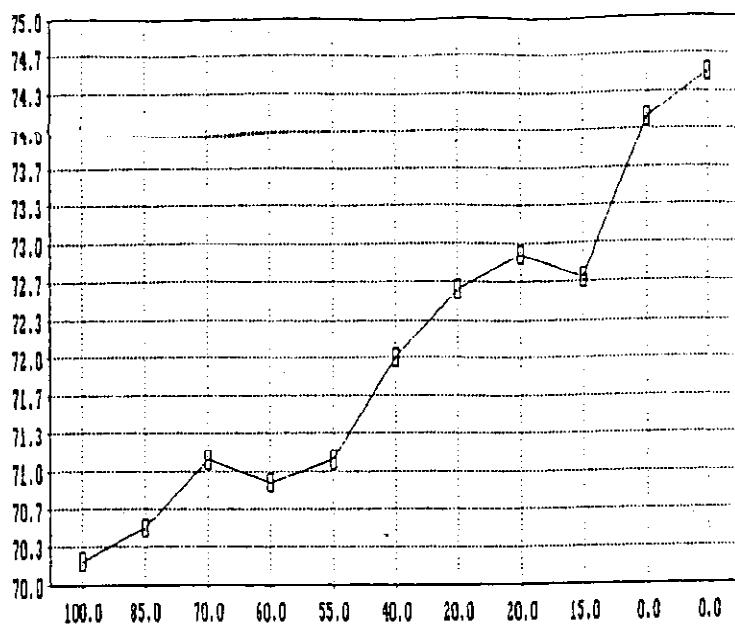
Αυτή η αδυναμία μας επιτρέπει στον ακουστικό σχεδιασμό να παραμένει μια τέχνη του *savoir faire*.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

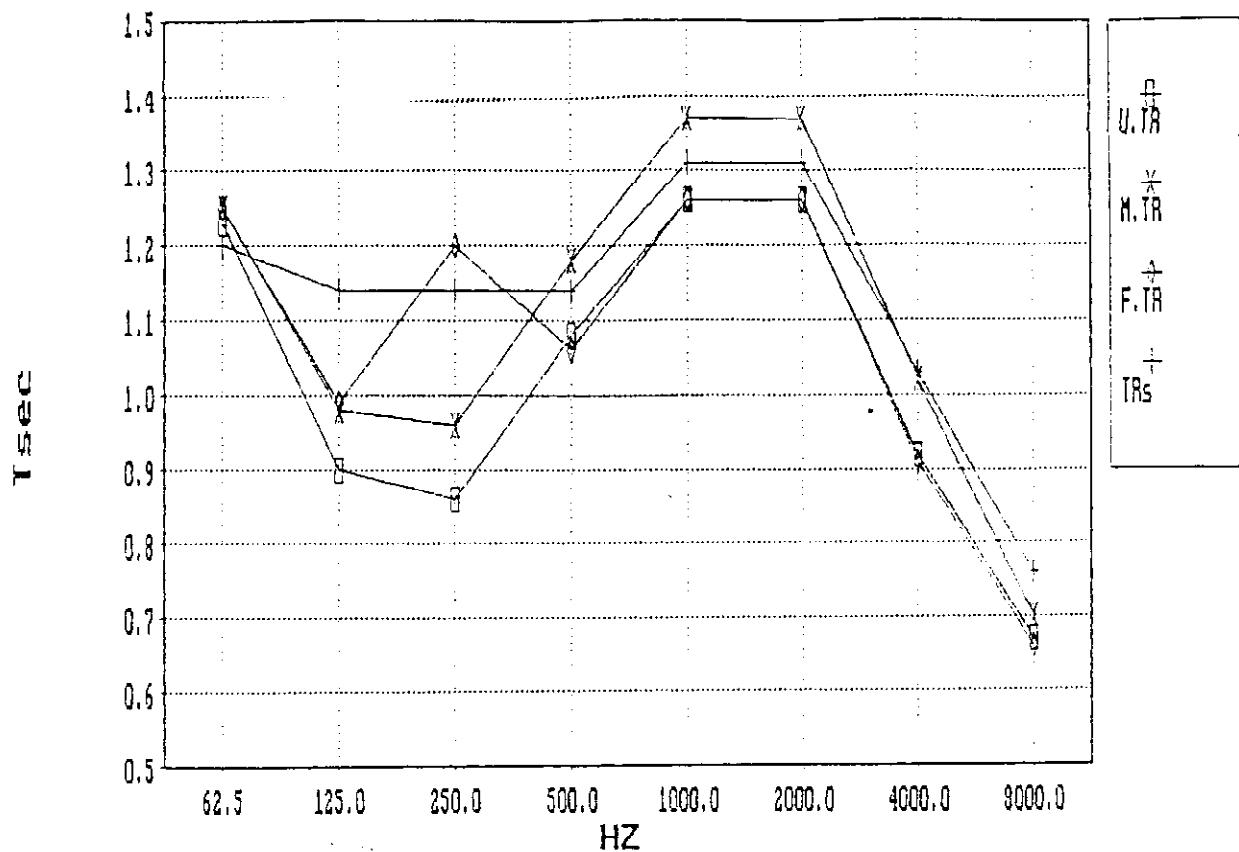
ABS	TRs	TR60	EDT	C80	LE	F
100	1.08	1.06	0.68	6.5	-2	70.2
85	1.15	1.1	0.73	6	-2.4	70.5
70	1.29	1.27	0.89	4.8	-3.3	71.1
60	1.45	1.46	1	4.2	-3	70.9
55	1.56	1.54	1.05	4.1	-3.4	71.1
40	1.81	1.8	1.29	2.9	-4.6	72
20	2.22	2.22	1.64	1.7	-5.4	72.6
20	2.26	2.26	1.67	1.4	-5.8	72.9
15	2.46	2.47	1.81	1	-5.7	72.7
0	3.34	3.37	2.65	-0.6	-7.1	74.1
0	3.08	3.1	2.41	-0.6	-7.8	74.5

FR	11TR	11C	12TR	12C	13TR	13C	MTR
62.5	1.23	13.6	1.25	13.9	1.25	14	1.2
125	0.9	7.1	0.98	6.9	0.99	7.2	1.14
250	0.86	3.4	0.96	2.2	1.2	5	1.14
500	1.08	6.8	1.18	6	1.06	7.4	1.14
1000	1.26	4.5	1.37	4.3	1.26	5.4	1.31
2000	1.26	3.4	1.37	6.1	1.26	4.3	1.31
4000	0.92	11.3	1.02	9.8	0.91	11.6	1.03
8000	0.67	13.2	0.7	14.1	0.66	14.7	0.76
FR	11TR	11C	12TR	12C	13TR	13C	MTR
62.5	1.24	-3.8	1.41	-4	1.38	-2.9	1.38
125	1.25	3.7	1.29	3.5	1.34	4.1	1.37
250	1.16	4.9	1.19	3.9	1.12	4.5	1.26
500	1.35	0.1	1.45	0.5	1.45	-0.1	1.42
1000	1.58	0.5	1.66	0.7	1.64	0.5	1.63
2000	1.58	2.8	1.64	2.7	1.63	2.8	1.63
4000	1.23	4.9	1.28	4.4	1.3	4.6	1.29
8000	0.88	10.2	0.92	9.5	0.91	9.3	0.94
FR	11TR	11C	12TR	12C	13TR	13C	MTR
62.5	1.63	4.9	1.57	4.8	1.61	4.5	1.65
125	1.27	4.5	1.32	4.2	1.37	4.8	1.41
250	1.34	4.7	1.4	3.8	1.22	5.2	1.35
500	1.55	1	1.65	1.1	1.57	1.1	1.62
1000	1.8	2	1.93	1.6	1.85	1.9	1.9
2000	1.81	2.1	1.91	2.1	1.85	2	1.87
4000	1.37	3.3	1.45	3.4	1.41	3.7	1.42
8000	0.95	7.8	1.03	7.3	0.97	7.3	1.01

ΠΙΝΑΚΑΣ 2



$\Sigma \text{XHMA}$  1



$\Sigma X H M A = 2$

