

Ακουστικός Σχεδιασμός Αιθουσών Ακροατηρίου

Αλεξάνδρας Σωτηροπούλου



Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά
Συγγράμματα και Βοηθήματα
www.kallipos.gr

HEALLINK
Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑ 1: Βελτίωση της ποιότητας της εκπαίδευσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΥ

αρχιτέκτων ΕΜΠ, MSc PhD (Bartlett Sch., UC-Univ. London)

αν. καθηγήτρια Ε.Μ.Πολυτεχνείου

ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΑΚΡΟΑΤΗΡΙΟΥ



**Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά
Συγγράμματα και Βοηθήματα**

www.kallipos.gr

Ακουστικός Σχεδιασμός Αιθουσών Ακροατηρίου

Συγγραφή

Αλεξάνδρα Σωτηροπούλου

Κριτικός αναγνώστης

Γεώργιος Καμπουράκης

Συντελεστές έκδοσης

Γραφιστική επιμέλεια: Γαβριήλ Μποζιονέλος

Τεχνική επεξεργασία: Γαβριήλ Μποζιονέλος

ISBN: 978-960-603-167-0

Το εξώφυλλο απεικονίζει τη μεγάλη αίθουσα της ακαδημίας παραστατικών τεχνών στην Αθήνα, από την επί διπλώματι εργασία των Μαρίας Παπαϊωάννου και Νικολέτας Μουγκάση. Ιούνιος 2015, Σχολή Αρχιτεκτόνων Ε.Μ. Πολυτεχνείο.

Copyright © ΣΕΑΒ, 2015



Το παρόν έργο αδειοδοτείται υπό τους όρους της άδειας Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 3.0. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής επισκεφτείτε τον ιστότοπο <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/gr/>

Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780 Ζωγράφου

www.kallipos.gr

*Στήν άγιωσύνη τής μορφής της,
Στό δυσθεώρητο άνάστημα τής προσωπικότητάς της,
Στό άπέραντο τής άγάπης της για τον Άνθρωπο, τό Παιδί, τά παιδιά της,
Στήν ΚΛΕΑΝΘΗ*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	10
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	11
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΑΥΤΟΥ.....	13
1.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	14
1.1.1. ΓΕΝΕΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	14
1.1.2. Η ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	15
1.1.3. ΣΤΑΘΜΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	17
1.1.3.1. ΗΧΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	17
1.1.3.2. ΣΤΑΘΜΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΕ DECIBEL, [dB]	18
1.1.3.3. ΠΡΟΣΘΕΣΗ DECIBEL.....	19
1.1.3.4. ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	20
1.2. Η ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	21
1.2.1. Η ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	21
1.2.1.1. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΣΟΑΚΟΥΣΤΟΤΗΤΑΣ (EQUAL LOUDNESS CONTOURS)	21
1.2.1.2. Η ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΕ dB – ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ dBA.....	22
1.2.2. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ (MASKING)	24
1.2.2.1. Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΚΟΗΣ.....	24
1.2.2.2. ΚΡΙΣΙΜΗ ΖΩΝΗ (CRITICAL BAND) - ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ (MASKING EFFECT)	25
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΧΩΡΟ	28
2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ.....	29
2.1.1 ΑΝΑΚΛΑΣΗ.....	29
2.1.2. ΔΙΑΧΥΣΗ.....	31
2.1.3. ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ.....	34
2.1.4. ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ	36
2.1.4.1. ΟΡΙΣΜΟΣ.....	36
2.1.4.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ	37
2.1.4.3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΑΚΡΟΑΣΗΣ ΟΜΙΛΙΑΣ.....	39
2.1.4.4 ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ vs ΣΤΑΘΜΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ, ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΧΩΡΟ	40
2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΧΩΡΟ.....	41
2.2.1. ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ (ΣΤΑΣΙΜΑ ΚΥΜΑΤΑ).....	41
2.2.1.1. ΟΡΙΣΜΟΣ.....	41
2.2.1.2. ΣΤΑΣΙΜΑ ΚΥΜΑΤΑ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΧΩΡΟ.....	42
2.2.1.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ	43
2.2.2. ΗΧΩ.....	45
2.2.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ.....	45

2.2.2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΤΗΣ ΗΧΟΥΣ	46
2.2.3. ΠΛΑΤΑΓΙΣΜΟΣ (FLUTTER ECHO)	47
2.2.3.1. ΟΡΙΣΜΟΣ.....	47
2.2.3.2. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΛΑΤΑΓΙΣΜΟΥ	48
2.2.3.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΠΛΑΤΑΓΙΣΜΟΥ	50
2.2.4. ΕΣΤΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	51
2.2.4.1. ΟΡΙΣΜΟΣ.....	51
2.2.4.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΕΣΤΙΑΣΜΟΥ.....	52
2.2.5. ΠΑΡΕΙΣΔΥΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΚΑΙ ΚΡΑΔΑΣΜΩΝ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ	56
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΑΚΡΟΑΣΗΣ ΟΜΙΛΙΑΣ	58
3.1. ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΑΚΡΟΑΣΗΣ ΟΜΙΛΙΑΣ	59
3.1.1. ΚΑΤΑΛΗΠΤΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΟΜΙΛΙΑΣ (SPEECH INTELLIGIBILITY, "SI")	59
3.1.2. ΦΥΣΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΗΠΤΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΟΜΙΛΙΑΣ	60
3.1.3. ΦΥΣΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΗΠΤΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΟΜΙΛΙΑΣ, ΕΥΡΕΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ	61
3.2. ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΑΚΡΟΑΣΗΣ ΟΜΙΛΙΑΣ	63
3.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	63
3.2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΠ' ΕΥΘΕΙΑΣ ΗΧΟΥ	64
3.2.2.1. ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΑΠΡΟΣΚΟΠΤΗΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΠ' ΕΥΘΕΙΑΣ ΗΧΟΥ.....	64
3.2.2.2. ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΟΜΙΛΗΤΗ-ΑΚΡΟΑΤΩΝ	65
3.2.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΠΡΩΙΜΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ.....	69
3.2.3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	69
3.2.3.2. ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΟΜΙΛΗΤΗ	70
3.2.3.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΤΗΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ	71
3.2.3.4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΠΑΡΕΙΩΝ ΤΗΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ	74
3.2.4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΒΑΘΟΥΣ	77
3.2.5. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ	78
3.2.6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	79
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΑΚΡΟΑΣΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ	81
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	82
4.2 ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ	83
4.2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ	83
4.2.1.1. ΕΩΣ ΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ 19ΟΥ ΑΙΩΝΑ.....	83
4.2.1.1.1. ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ.....	83
4.2.1.1.2. ΟΙ ΚΛΑΣΙΚΕΣ ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ	86
4.2.1.2. ΠΡΩΤΟ ΗΜΙΣΥ ΤΟΥ 20ΟΥ ΑΙΩΝΑ	89
4.2.1.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	89
4.2.1.2.2. Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ SABINE ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ	90
4.2.1.2.3. ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ ΤΟΥ 20ΟΥ ΑΙΩΝΑ	94
4.2.1.2.4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	100

4.2.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ	101
4.2.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	101
4.2.2.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	102
4.2.2.2.1. Η ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ BERANEK (1962).....	102
4.2.2.2.2 ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	104
4.2.2.2.3. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ ΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ· ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	106
4.2.2.3 ΦΥΣΙΚΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ	107
4.2.2.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	107
4.2.2.3.2. ΦΥΣΙΚΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ, ΕΥΡΕΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ.....	108
4.2.2.3.3. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ	109
4.2.3. ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ.....	110
4.2.3.1. ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΟ ΑΚΡΟΑΤΗΡΙΟ	110
4.2.3.1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	110
4.2.3.1.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΠ' ΕΥΘΕΙΑΣ ΗΧΟΥ	112
4.2.3.1.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΠΡΩΙΜΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ ΙΔΙΑΙΤΕΡΑ ΑΠΟ ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ	116
4.2.3.1.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΙΘΟΥΣΑΣ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ - ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	124
4.2.3.1.5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΕΠΑΡΚΟΥΣ ΒΑΘΜΟΥ ΔΙΑΧΥΣΗΣ	126
4.2.3.1.6. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΛΛΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	128
4.2.3.2. ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΕΡΜΗΝΕΥΤΕΣ.....	130
4.2.3.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	130
4.2.3.2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΞΕΔΡΑΣ ΣΥΜΦΩΝΙΚΗΣ ΟΡΧΗΣΤΡΑΣ (PLATFORM).....	131
4.2.3.2.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΤΗΣ ΟΡΧΗΣΤΡΑΣ	133
4.2.3.2.4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΟΡΧΗΣΤΡΑ.....	135
4.2.3.2.5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑ ΤΗΣ ΟΡΧΗΣΤΡΑΣ	137
4.2.3.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	138
4.3. ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΛΥΡΙΚΟΥ ΘΕΑΤΡΟΥ (OPERA)	139
4.3.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΛΥΡΙΚΟΥ ΘΕΑΤΡΟΥ.....	139
4.3.1.1. ΛΥΡΙΚΑ ΘΕΑΤΡΑ ΜΟΡΦΗΣ BAROQUE (BAROQUE THEATRE FORM)	139
4.3.1.2. ΤΟ ΛΥΡΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ ΤΟΥ WAGNER	142
4.3.1.3. ΛΥΡΙΚΑ ΘΕΑΤΡΑ ΤΟΥ 20ΟΥ ΑΙΩΝΑ.....	144
4.3.2. Ο ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ	146
4.3.3. ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΛΥΡΙΚΟΥ ΘΕΑΤΡΟΥ	147
4.3.3.1. ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΟ ΑΚΡΟΑΤΗΡΙΟ	147
4.3.3.1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	147
4.3.3.1.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΟΨΗΣ	148
4.3.3.1.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ.....	150
4.3.3.1.4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΩΣΤΩΝ	153
4.3.3.1.5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ	154

4.3.3.2. ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΕΡΜΗΝΕΥΤΕΣ	155
4.3.3.2.1. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΚΗΝΗΣ.....	155
4.3.3.2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΣΟΧΗΣ ΤΗΣ ΟΡΧΗΣΤΡΑΣ (ORCHESTRA PIT).....	156
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	159
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΟΛΥΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΑΙΘΟΥΣΕΣ – ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΕΥΕΛΙΚΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ	160
5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	161
5.2. ΗΧΗΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΑ ΜΕ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΕΣΑ.....	162
5.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	162
5.2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΜΙΑΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ	163
5.2.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΜΙΑΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ	166
5.3. ΗΧΗΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΜΕΣΑ.....	169
5.3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	169
5.3.2. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΑΝΑΚΛΑΣΕΙΣ	169
5.3.3. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΑΝΤΗΧΗΣΗ	170
5.3.3.1. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΒΟΗΘΟΥΜΕΝΗΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ (ASSISTED RESONANCE)	170
5.3.3.2. ΑΛΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ	173
5.4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	174
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	175
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΟΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΑΚΡΟΑΤΗ- ΡΙΟΥ <i>Επιμέλεια: Ιωάννης Καραγιάννης</i>	176
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	183
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΑΚΡΟΑΣΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΟΥ 21ΟΥ ΑΙΩΝΑ	184
7.1. ΗΛΕΚΤΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗ, ΜΟΥΣΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ, ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ	185
7.1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	185
7.1.2. ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΚΛΑΣΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΗΣ ΣΥΜΦΩΝΙΚΗΣ ΟΡΧΗΣΤΡΑΣ	186
7.1.3. ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΧΩΡΟ	188
7.1.4. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΕΠΙΤΑΓΕΣ ΤΟΥ ΜΟΥΣΟΥΡΓΟΥ	189
7.1.5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	190
7.1.6 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΙ ΧΩΡΟΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ.....	191
7.2. ΟΠΤΙΚΗ ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ ΤΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΟΥ 21ΟΥ ΑΙΩΝΑ.....	193
7.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	193
7.2.2. Η ΟΠΤΙΚΗ ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ ΤΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ.....	194
7.2.3. Η ΟΠΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΗ ΦΥΣΗ	195
7.2.4. Η ΟΠΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ.....	196
7.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	197
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	198
ΑΝΤΙ ΕΠΙΛΟΓΟΥ: ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΑΚΡΟΑΤΗΡΙΟΥ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ «ΠΟΙΗΤΙΚΗ»	199
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	202
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΑΚΡΟΑΤΗΡΙΟΥ	204

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	211
ΠΙΝΑΚΑΣ ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΩΝ ΟΡΩΝ.....	212
ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	214
Σχετικά με τη συγγραφέα	216

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι εξελίξεις στη γνώση της αρχιτεκτονικής ακουστικής στις πρόσφατες δεκαετίες εξασφάλισαν ελευθερία στον αρχιτέκτονα, ώστε αυτός να είναι σε θέση να αποδεσμευθεί από έτοιμες συνταγές και να πειραματισθεί / αναζητήσει νέες μορφές στη σύνθεση χώρων ακροατηρίου. Έτσι, το γνωστικό αυτό αντικείμενο έγινε απαραίτητο στην εκπαίδευση του αρχιτέκτονα κάθε προηγμένης χώρας. Η τεχνολογική γνώση εδώ, καθώς και εφ' όσον παρέχεται στον αρχιτέκτονα δημιουργό μέσα από την παιδεία του, κατασταλάζοντας αργά αφομοιώνεται στη συνείδηση του, διευρύνοντας και εμπλουτίζοντας το μέρος αυτής όπου συντελείται το συνθετικό γίγνεσθαι. Επί πλέον, ο Έλληνας αρχιτέκτων, -χρεωμένος με το καταπίστευμα των ιστορικών μας καταβολών στο αντικείμενο, καλείται πάλι να δώσει ένα ηχηρό παρόν στο νέο αιώνα που έχει ανατείλει.

Ήδη από τα μέσα του 20ου αιώνα, το μάθημα της αρχιτεκτονικής ακουστικής έχει ενταχθεί στο πρόγραμμα της Σχολής Αρχιτεκτόνων του ΕΜΠ, πρωτοβουλία του αείμνηστου καθηγητού Βασίλη Παπαθανασόπουλου, ο οποίος μάλιστα θεμελίωσε και το γνωστό σήμερα εργαστήριο Ηχοτεχνίας στο ΕΜΠ. Χαιρετίζοντας την πρωτοβουλία αυτή στη σύγχρονη εποχή, οι καθηγηταί Νίκος Καλογεράς και Αιμίλιος Κορωναίος, εισήγαγαν το ομώνυμο με το παρόν πόνημα, μάθημα, στο πρόγραμμα σπουδών της ίδιας Σχολής· τους ευχαριστώ για την προτροπή στη συγγραφή του σχετικού σπουδαστικού βοηθήματος. Επίσης, η άοκνη, διακριτική παρουσία κοντά μας, στο έργο μας, των κοσμητόρων κ. Ελένης Μαίστρου και κ. Δημήτρη Κουτσογιάννη δεν θα μπορούσε να μην υπογραμμισθεί.

Ευχαριστίες εκφράζονται προς τα στελέχη της ομάδας Ελληνικά Ακαδημαϊκά Συγγράμματα 'Κάλλιπος', τον κ. Γιώργο Χριστόπουλο και τα στελέχη της ομάδας Artichoke Design για τη συμβολή των στην ολοκλήρωση της παρούσας έκδοσης, καθώς και προς τα στελέχη της ομάδας φύλαξης ΕΜΠ που με πλαισίωσαν στις ατέλειωτες μοναχικές ώρες δημιουργίας. Επίσης ευχαριστώ τους κάτωθι φορείς και συγγραφείς, που μου έδωσαν την άδεια να αναπαράγω φωτογραφικό και γραφιστικό υλικό επί του οποίου κατέχουν τα πνευματικά δικαιώματα, (σε παρένθεση είναι ο αριθμός σχήματος):

Acoust. Soc. Am. (2.5, 4.9α, 4.10α, 4.11β, 4.12, 4.13, 4.14, 4.17α, 4.18, 4.19, 4.28α, 4.29, 2.20 αρ., 3.15, 4.23, 4.26). BRE (2.13, 3.4, 3.12). CIRIA (1.3 κάτω, 1.5). Houston First Corporation and City of Houston (5.1). Dr D.B. Fleming (4.24, 4.43). Fog Art museum, Harvard University (4.7). Faber Publ. (4.46β). IRCAM (7.3). Octopus Publ. Group Ltd. (4.39). Prof. L.L. Beranek (2.30, 2.31, 4.34, 7.1). Prof. M. Barron (4.11α, 4.32, 4.33, 4.36, 4.37, 4.38, 4.40, 4.41, 4.45, 4.47α, 4.48α, 4.49, 4.51, 4.52, 4.53, 4.54, 4.55, 4.56, 4.57, 4.58, 4.59, 4.60, 4.61, 4.62 αρ., 5.2, 5.4, 5.5, 5.8, 5.9, 5.10, 7.4). Prof. J. Musgrove (7.5). S. Hirzel Verlag GmbH (3.3). SRL Ltd. (1.1, 1.2, 1.3, 1.6, 2.1, 2.2, 2.10, 2.11, 2.16, 2.19, 2.24, 2.29). OMMA (4.20, 4.30). Καθ. Δ. Παπαϊωάννου (2.14, 3.11, 3.16). Μ. Παπαϊωάννου, Ν. Μουγκάση (5.3 και εξώφυλλο). Α. Ζουριδάκη (6.4).

Είμαι ευγνώμων προς τους καθηγητές John Musgrove, Dick Lyon, Ron Hawkes, David Fleming, Mike Barron, Raf Orłowski, Κωνσταντίνο Μουτζούρη, Νίκο Μαρκάτο και Σίμο Σιμόπουλο, οι οποίοι στηρίζοντας με στο αντικείμενο ενέπνευσαν και συνέβαλαν στην αγάπη μου γι' αυτό. Στον Γιάννη Τζουβαδάκη και Θανάση Στάμο εκφράζω τη βαθειά ευγνωμοσύνη μου, για την εμπύχωση και πολύτιμη συμπαράσταση στην υλοποίηση του παρόντος. Στον Γιώργο Πουλάκο για τη μέριμνα εξασφάλισης της υποδομής μαζί με τον Γιώργο Καμπουράκη, ο οποίος μάλιστα συνέβαλε στο παρόν και ως κριτικός αναγνώστης απευθύνω τις ευχαριστίες μου. Τον Γιάννη Καραγιάννη ευχαριστώ για τον γόνιμο διάλογο και την επιμέλεια του κεφαλαίου «Ψηφιακή τεχνολογία στον ακουστικό σχεδιασμό αιθουσών ακροατηρίου». Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ προσήκει σε όλους εκείνους τους μαθητές μου οι οποίοι με δίδαξαν, συνθέτοντας "ποίηση" από τη γνώση και συνεισφέροντας ψήγματα ρηξικέλευτης συμβολής των στην πορεία αυτής.

Αλεξάνδρα Σωτηροπούλου

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

AR	Σύστημα υποβοηθούμενης αντήχησης (Assisted resonance system)
BRE	Κέντρο ερευνών του κτιρίου (Building Research Establishment)
CIRIA	Ερευνητικό και πληροφοριακό κέντρο της κατασκευής (Construction Industry Research and Information Association)
dB	Ντεσιμπέλ (Decibel)
EDT	Χρόνος απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων (Early decay time)
EEF₅₀	Κλάσμα των πρώιμων ανακλάσεων (50 ms early energy fraction)
E-to-L sound index	Λόγος των πρώιμων-προς-τις-καθυστερημένες ανακλάσεις (80ms early-to-late sound index)
IRCAM	Ινστιτούτο ερευνών και συντονισμού μουσικής και ακουστικής (Institut de Recherche et Coordination d' Acoustique / Musique)
L_f	Κλάσμα των πρώιμων πλευρικών ανακλάσεων (80 ms Early lateral energy fraction)
MCR	Πολυκάναλο σύστημα αντήχησης (Multiple channel reverberation)
RT_{mid}	Χρόνος αντήχησης στις οκταβικές ζώνες 500 Hz και 1000 Hz (μέση τιμή)
S_A	Προσαυξημένη επιφάνεια ακροατηρίου (Acoustic seating area)
SI	Καταληπτότητα της ομιλίας (Speech intelligibility)
SPL	Στάθμη έντασης του ήχου (Sound pressure level)
SRL	Εργαστήρια έρευνας του ήχου (Sound Research Laboratories)
STI	Δείκτης μετάδοσης ομιλίας (Speech transmission index)
S-to-N ratio	Λόγος του σήματος-προς-τον-θόρυβο (signal-to-noise ratio)
V	Όγκος του χώρου
vs	Ως προς (λατ. versus)
EMΠ	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι αίθουσες ακροατηρίου (auditoria), σε αντίθεση με τους συνήθεις χώρους καθημερινής διαβίωσης απευθύνονται σε σχετικά ευρύ κοινό, συνεπώς χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλες διαστάσεις. Ως εκ τούτου, ο απ' ευθείας ήχος, δηλ. ο ήχος που φτάνει στον ακροατή χωρίς να προσπέσει (ανακλασθεί) στο κέλυφος του χώρου, κατά κανόνα φθάνει εξασθενημένος· σ' αυτή την περίπτωση η υφή και η μορφή του κελύφους του χώρου διαδραματίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο. Ειδικότερα, το κέλυφος του χώρου καλείται να συμπληρώσει τον απ' ευθείας ήχο, δηλ. να περισυλλέξει ("ανασυνθέσει") με τέχνη τον ήχο που σκορπίζεται με τη μορφή ανακλάσεων στον χώρο και να τον αποδώσει πίσω στον ακροατή. Η εκ νέου αυτή σύνθεση ("ανασύνθεση") του ήχου, παίζει καθοριστικό ρόλο στην ακουστική της αίθουσας, αδήριτα δε συνδέεται με τις δεξιότητες του αρχιτέκτονα ως εμπνευστού του κελύφους του χώρου.

Ο ακουστικός σχεδιασμός χώρων ακροατηρίου υπήρξε αντικείμενο συνειδητής προσέγγισης ήδη από την εποχή της κλασικής αρχαιότητας, και δη με ανεπανάληπτη έμπνευση και επινοητικότητα. Εν τούτοις το θέμα αυτό έγινε αντικείμενο επιστημονικής έρευνας μόλις στο τέλος του 19ου αιώνα· δηλ. ακριβώς τότε, που η ανάγκη για αναθεώρηση των κλασικών μορφών της αρχιτεκτονικής υπαγορευμένη από το Μοντέρνο κίνημα, προετοίμαζε τον αρχιτέκτονα να καλωσορίσει τη γνώση και να αποδεσμευθεί από την προσήλωση στην αντιγραφή δοκιμασμένων αιθουσών του παρελθόντος. Έκτοτε, ο ρυθμός των εξελίξεων της επιστήμης της αρχιτεκτονικής ακουστικής ιδιαίτερα στις πρόσφατες δεκαετίες είναι ραγδαίος· έχει φέρει δε στο προσκήνιο μια νέα γοητευτική διάσταση της γνώσης του ήχου, που αφορά στην κατανόηση της αντίληψης της ακουστικής. Η διάσταση αυτή άνοιξε νέους ορίζοντες στη συμβίωση της φυσικής επιστήμης του ήχου και της αρχιτεκτονικής.

Σκοπός του παρόντος μαθήματος είναι να λάβουμε υπ' όψιν τις αρχές σύμφωνα με τις οποίες ο ήχος συμπεριφέρεται στον αρχιτεκτονικό χώρο, να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο ο ακροατής αντιλαμβάνεται την ακουστική και τέλος να εμβαθύνουμε στην εφαρμογή αυτής της γνώσης στον σχεδιασμό αιθουσών ακροατηρίου. Η ύλη του μαθήματος δομείται γύρω από επτά πυρήνες (κεφάλαια) και προσεγγίζεται μέσα από μια σειρά εικόνων και διαγραμμάτων που ακολουθούν, ώστε να γίνει η ακουστική όσο το δυνατό πιο εποπτική. Μάλιστα αυτή η μορφή παρουσίασης είναι κατάλληλη και ως εργαλείο διαλέξεων / διδασκαλίας.

Το **πρώτο κεφάλαιο** είναι εισαγωγικό και ανατρέπει σε βασικά σημεία που αφορούν στο φυσικό φαινόμενο του ήχου και στην αντίληψη αυτού. Το **δεύτερο** μας εισάγει στον τρόπο με τον οποίο ο ήχος συμπεριφέρεται σε κλειστό χώρο και στο ρόλο που παίζει σε αυτό ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός.

Όντας χρωσμένοι με των ιστορικών μας καταβολών το καταπίστευμα, το **τρίτο κεφάλαιο** μας εισάγει στις αρχές σχεδιασμού μιας σύγχρονης αίθουσας για ομιλία, με στόχο να πορεύσουμε, ηνιοχώντας τη γνώση προς την "Επίδουρο" του μέλλοντος. Ξεχειλίζει εδώ από αίσθημα ευθύνης η καρδιά του σύγχρονου Έλληνα που διερωτάται: Πόσον πρωτόποροι μπορούμε να καυχώμεθα οι Έλληνες ότι είμεθα σήμερα πάλι στην πορεία της αρχιτεκτονικής ακουστικής; Την απάντηση δίδουν τα αυθεντικά αριστουργήματα συνύπαρξης αρχιτεκτονικής και τεχνολογίας (ακουστικής) των τελευταίων δεκαετιών, που δεσπόζουν στις χώρες του Δυτικού κόσμου. Μια ξενάγηση στο μαγικό αυτό κόσμο του τεχνολογικού πολιτισμού μας κάνει το **τέταρτο κεφάλαιο**, με στόχο να μας μυήσει στις αρχές σχεδιασμού των σύγχρονων αιθουσών συναυλιών, λυρικών θεάτρων, κλπ.

Η ανάγκη για πολυλειτουργικές αίθουσες στην εποχή μας, οδήγησε στην αναγκαιότητα για ευέλικτη ακουστική, δηλαδή ακουστική που μπορεί να μεταβάλλεται στον ίδιο χώρο ανάλογα με το είδος του ακροάματος. Το **πέμπτο κεφάλαιο** θα μας μυήσει στο μυθικό κόσμο της συνολικής μεταβλητότητας του κελύφους ενός χώρου με υπερσύγχρονες τεχνολογίες. Το **έκτο κεφάλαιο** μας εισάγει στις νέες δυνατότητες που η προηγμένη ψηφιακή τεχνολογία παρέχει για τον σχεδιασμό χώρων ακροατηρίου.

Τέλος, την καλπάζουσα εισβολή της σύγχρονης μουσικής δημιουργίας στο χώρο της αρχιτεκτονικής πραγματεύεται το **έβδομο κεφάλαιο**. Όντας, ηθικά, κληρονόμοι της ρηξικέλευθης συμβολής του Ιάnnη Ξενάκη στην κατεύθυνση αυτή, αλλά και συνεχιστές μιας πορείας που ξεκίνησε εδώ και δυόμισι περίπου χιλιάδες χρόνια με την εποχή του θεάτρου της κλασικής αρχαιότητας, καλούμεθα σήμερα πάλι να επιβεβαιώσουμε με πράξη τα ρήματα των προγόνων μας: « Άμες δέ γ' ἐσόμεθα πολλῶ κάρρονες».

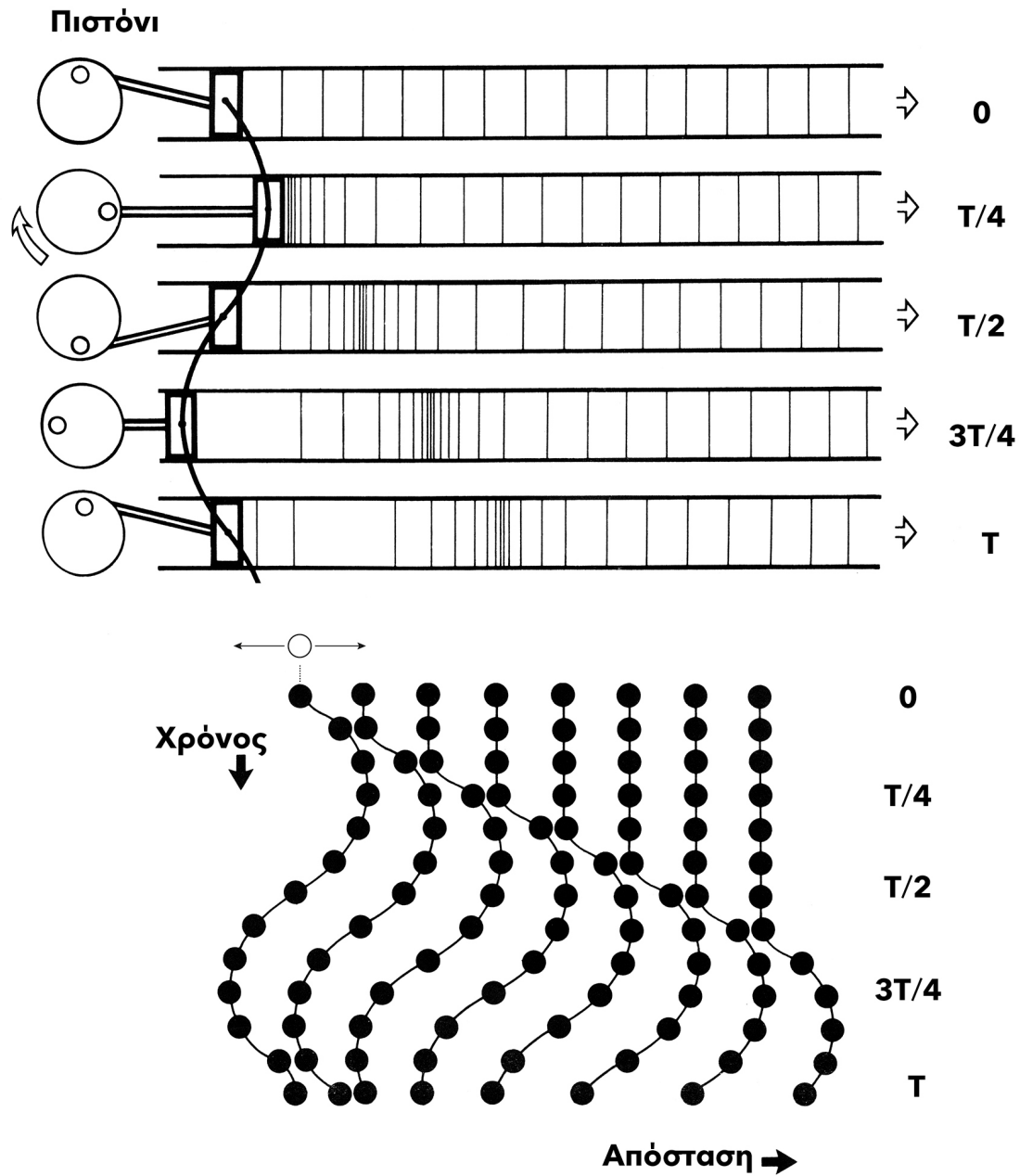
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΑΥΤΟΥ

1.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

1.1.1. ΓΕΝΕΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Ήχος είναι ό,τι ακούμε.

Ο ήχος είναι μια μορφή ενέργειας που μεταδίδεται μέσω των σωματιδίων του αέρα.



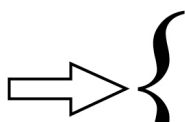
Σχήμα 1.1 Παράδειγμα μηχανισμού γένεσης και διάδοσης του ήχου (© SRL, 1976)

1.1.2. Η ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Συνεχ. (1 από 2)

Συχνότητα υποκειμενικά είναι εκείνο που διαφοροποιεί έναν οξύ ήχο από έναν υπόκωφο ήχο.

Η ΦΥΣΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΝΟΣ
ΗΧΟΥ ΑΝΑΦΕΡΕΤΑΙ ΚΥΡΙΩΣ

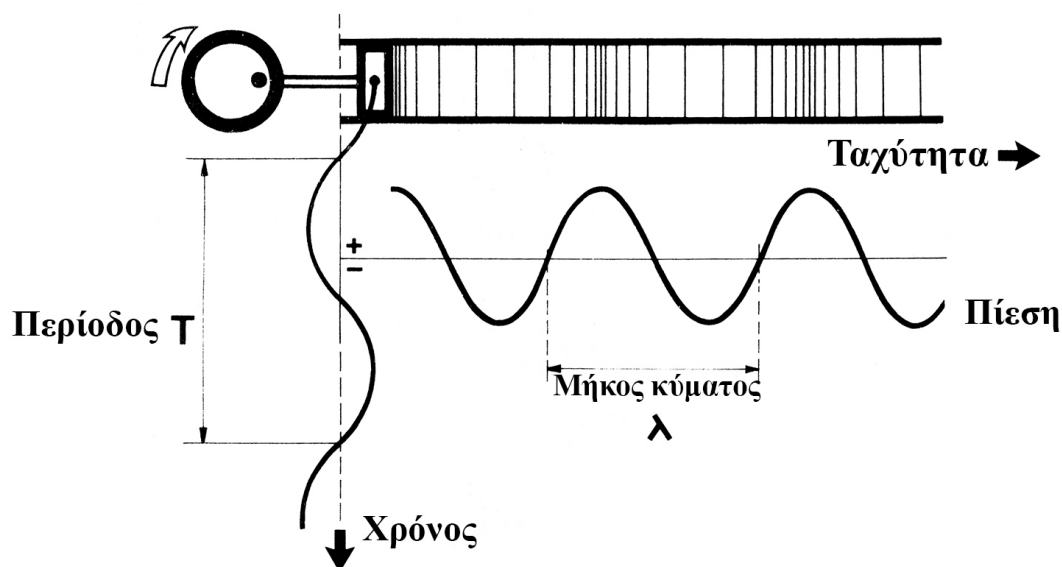


ΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (ΦΑΣΜΑ) ΤΟΥ ΗΧΟΥ

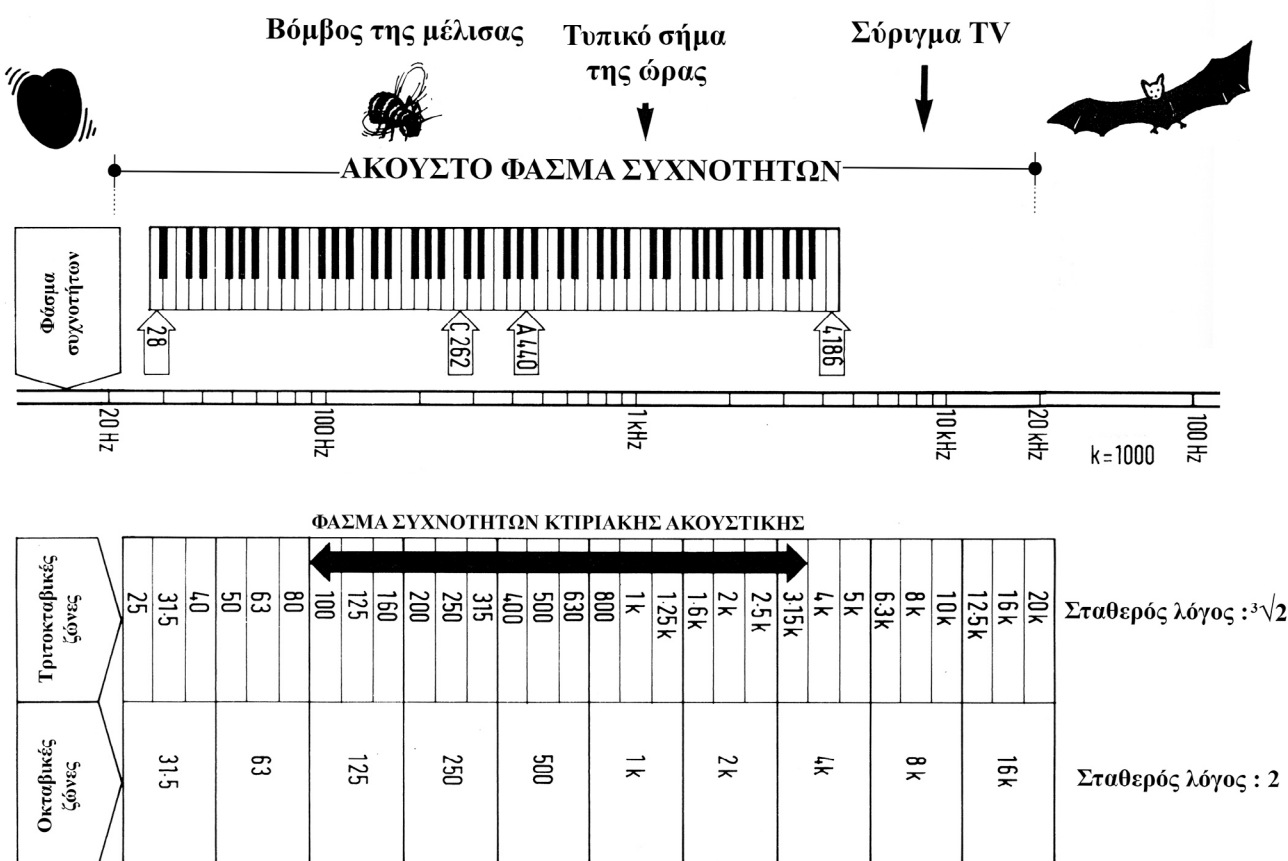
ΣΤΗ ΣΤΑΘΜΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Συχνότητα είναι ο ρυθμός με τον οποίο πάλλονται τα σωματίδια του αέρα κατά τη διάδοση του ηχητικού κύματος.

$$\text{ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ } f = \frac{1}{T} \text{ ΚΥΚΛΟΙ ΑΝΑ ΔΕΥΤΕΡΟΛΕΠΤΟ } \text{ ή } \text{Hz}$$



Σχήμα 1.2 Γραφική απεικόνιση της συχνότητας του ήχου ως φυσικού φαινομένου (© SRL, 1976)



Σχήμα 1.3 (άνω) Φάσμα ακουστών συχνοτήτων (© SRL, 1976) και **(κάτω)** οκταβικές και τριτοκταβικές ζώνες του φάσματος (© CIRIA Report, 1986)

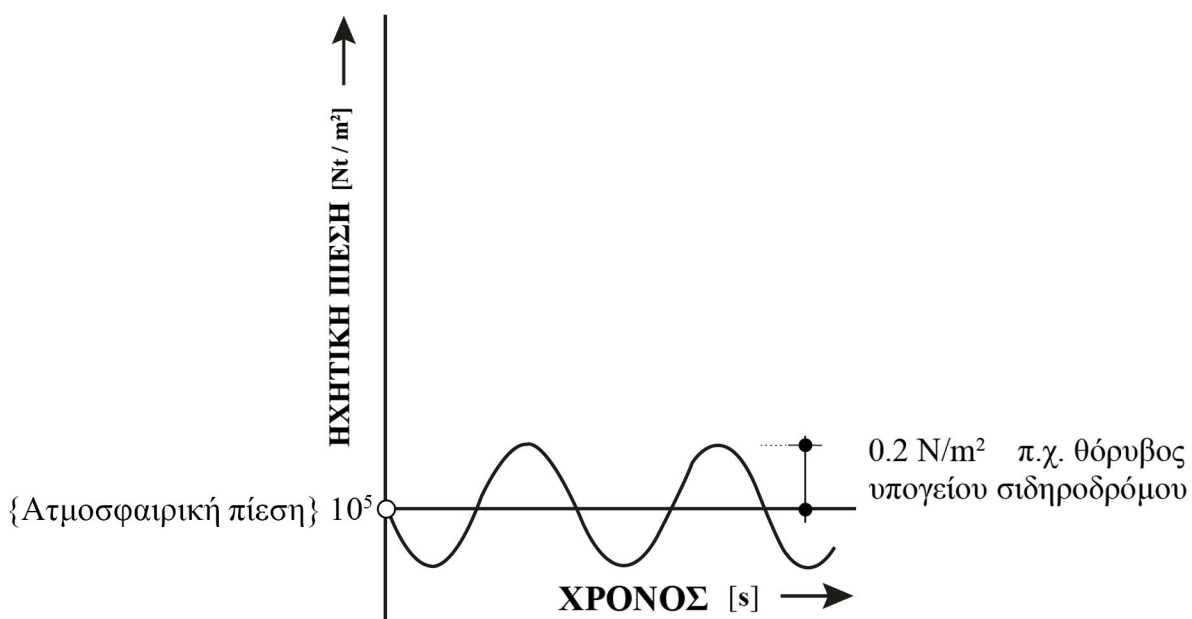
1.1.3. ΣΤΑΘΜΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

1.1.3.1. ΗΧΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Στάθμη έντασης του ήχου **υποκειμενικά**, είναι εκείνο που διαφοροποιεί έναν **έντονο ήχο** από έναν ήχο **αδύναμο**.

Στάθμη έντασης του ήχου είναι η ηχητική **ενέργεια** ως προς δεδομένο επίπεδο αναφοράς.

$$\text{ΗΧΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ} \propto (\text{ΗΧΗΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ})^2$$



Σχήμα 1.4 Απεικόνιση μεταβολής της (ηχητικής) πίεσης που γίνεται αντιληπτή ως ήχος

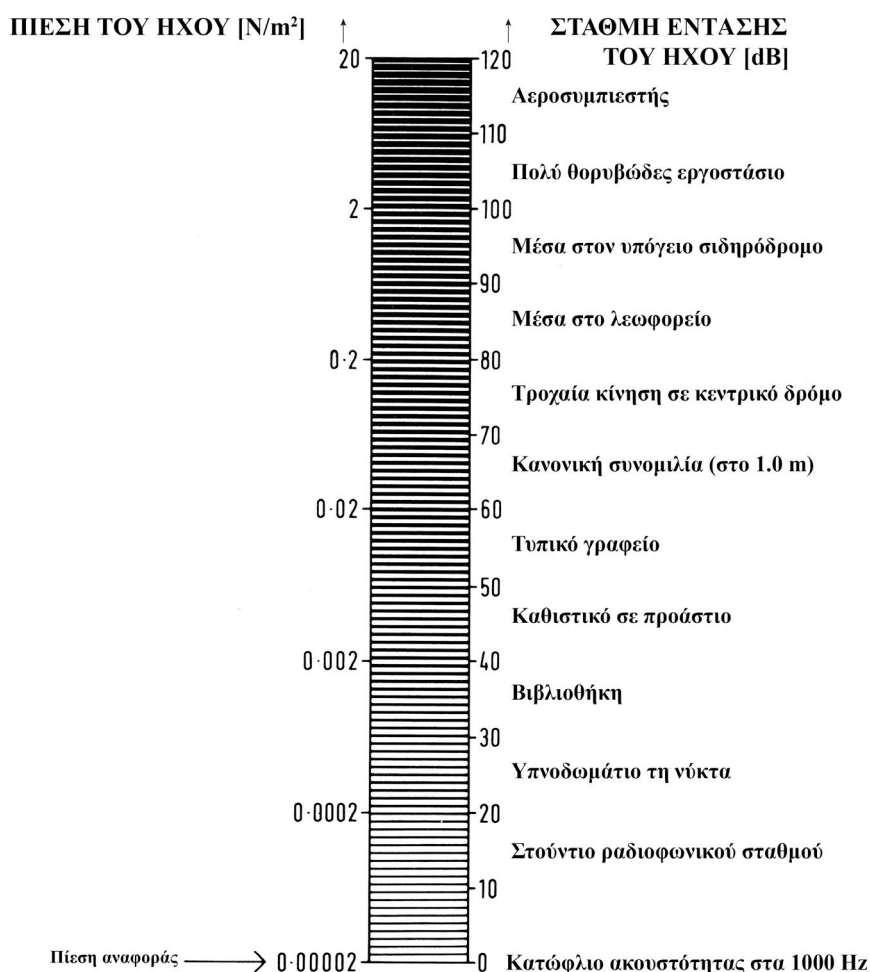
1.1.3.2. ΣΤΑΘΜΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ σε DECIBEL, [dB]

$$\left[\frac{\text{ΣΤΑΘΜΗ ΕΝΤΑΣΗΣ}}{\text{ΤΟΥ ΗΧΟΥ}} \right] = 10 \log \left[\frac{\text{ΗΧΗΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ}}{\text{ΗΧΗΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}} \right]^2, \text{ [dB]}$$

όπου : Ηχητική πίεση αναφοράς = 0.00002 N/m² (κατώφλιο ακουστότητας στα 1000 Hz)

Λόγοι εισαγωγής του dB:

- i) Η στάθμη της ηχητικής ενέργειας και όχι η ηχητική ενέργεια, χρησιμοποιείται για να επιτύχουμε πιο εύχρηστους αριθμούς.
- ii) Ο λογάριθμος χρησιμοποιείται διότι το όργανο της ακοής λειτουργεί σε λογαριθμική κλίμακα· δηλ. ίσες μεταβολές στην αντίληψη μιας φυσικής (ακουστικής) παραμέτρου αντιστοιχούν σε ίσες μεταβολές του λόγου και όχι της διαφοράς των αντίστοιχων φυσικών μεγεθών.
- iii) Ο παράγων «10» χρησιμοποιείται για να επιτύχουμε αριθμούς απαλλαγμένους από πολλά δεκαδικά ψηφία.



Σχήμα 1.5 Αντιστοιχία ηχητικής πίεσης και στάθμης έντασης του ήχου για συνήθεις θορύβους (© CIRIA Report, 1986)

Για συνεχείς ήχους, πρακτικά, η ελάχιστη μεταβολή στη στάθμη του ήχου που γίνεται ευχερώς αντιληπτή είναι 3.0 dB.

1.1.3.3. ΠΡΟΣΘΕΣΗ DECIBEL

Για να προσθέσουμε στάθμες του ήχου σε dB **πρέπει** πρώτα **να προσθέσουμε** τα αντίστοιχα **τετράγωνα των πιέσεων** και **μετά να λογαριθμήσουμε** το άθροισμα· π.χ. Ο ήχος της ομιλίας ενός ατόμου, στο 1.0 m είναι 65 dB. Αν δύο άτομα ομιλούν ταυτοχρόνως η συνολική στάθμη δεν θα είναι 130 dB, αλλά μόλις 68 dB.

Πρακτικός οδηγός άθροισης* Decibel:

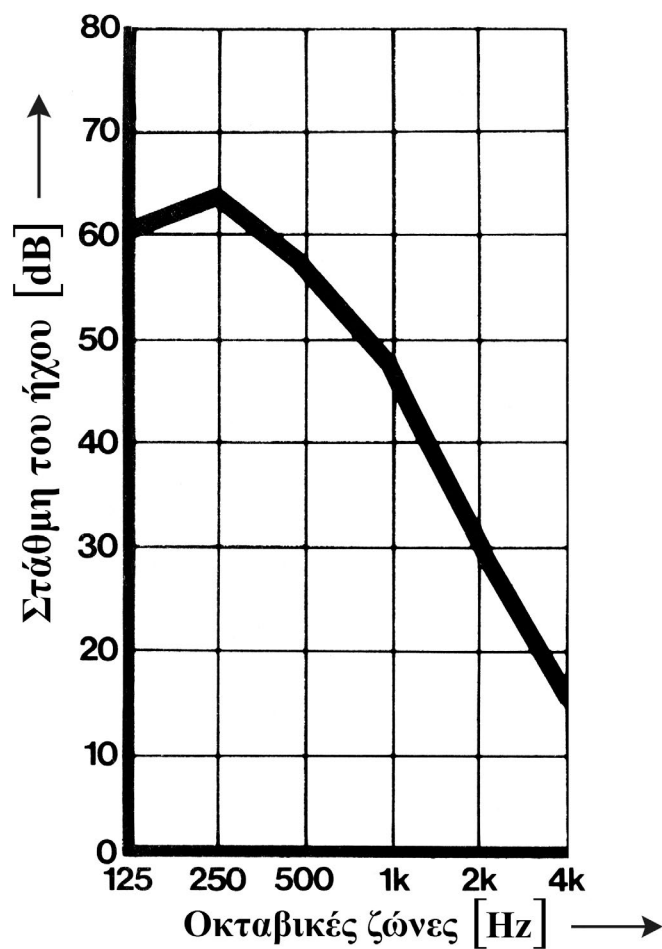
Αριθμητική διαφορά σταθμών [dB]	Πρόσθεσε στην υψηλότερη στάθμη [dB]
0 ή 1	3
2 ή 3	2
4 έως 9	1
10 ή περισσότερο	0
*ακρίβεια αποτελέσματος ικανοποιητική (± 1 dB)	

Παράδειγμα:

Ερώτηση: Να υπολογισθεί η συνολική στάθμη δύο ήχων, που ο κάθε ένας ξεχωριστά έχει στάθμη 60 dB και 57 dB αντίστοιχα.

Απάντηση: Οι διαφορά στη στάθμη μεταξύ των δύο ήχων είναι 3 dB. Άρα σύμφωνα με τον παραπάνω πρακτικό οδηγό θα προσθέσουμε 2 dB στην υψηλότερη στάθμη, ήτοι η συνολική στάθμη των δύο ήχων είναι 62 dB.

1.1.3.4. ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ



Σχήμα 1.6 Γραφική παράσταση της στάθμης έντασης του ήχου, σε οκτάβες (© SRL, 1976)

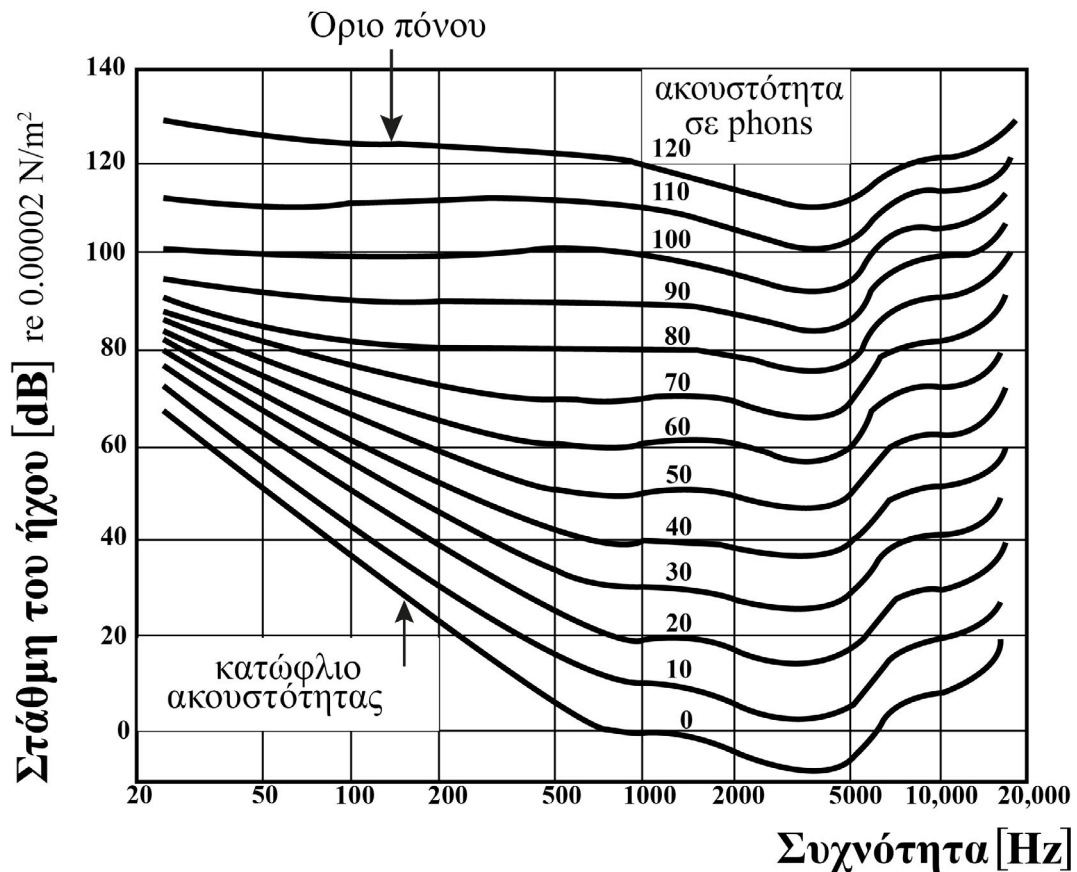
Οι στάθμες έντασης του ήχου στο φάσμα συχνοτήτων που ενδιαφέρει **μπορούν να μετρηθούν** ευχερώς με τη χρήση ενός φορητού **ηχομέτρου** (sound level meter).

1.2. Η ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

1.2.1. Η ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

1.2.1.1. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΣΟΑΚΟΥΣΤΟΤΗΤΑΣ (EQUAL LOUDNESS CONTOURS)

Ακουστότητα είναι η αντίληψη της στάθμης έντασης ενός ήχου. Δύο ήχοι της αυτής στάθμης είναι δυνατόν να μην έχουν την ίδια ακουστότητα, αν ανήκουν σε διαφορετικές περιοχές του φάσματος.



Σχήμα 1.7 Καμπύλες ισοακουστότητας (γεωμετρικός τόπος ήχων της αυτής ακουστότητας) καθαρών τόνων κατά Fletcher & Munson (1933), (en.wikipedia.org)

Παρατηρήσεις:

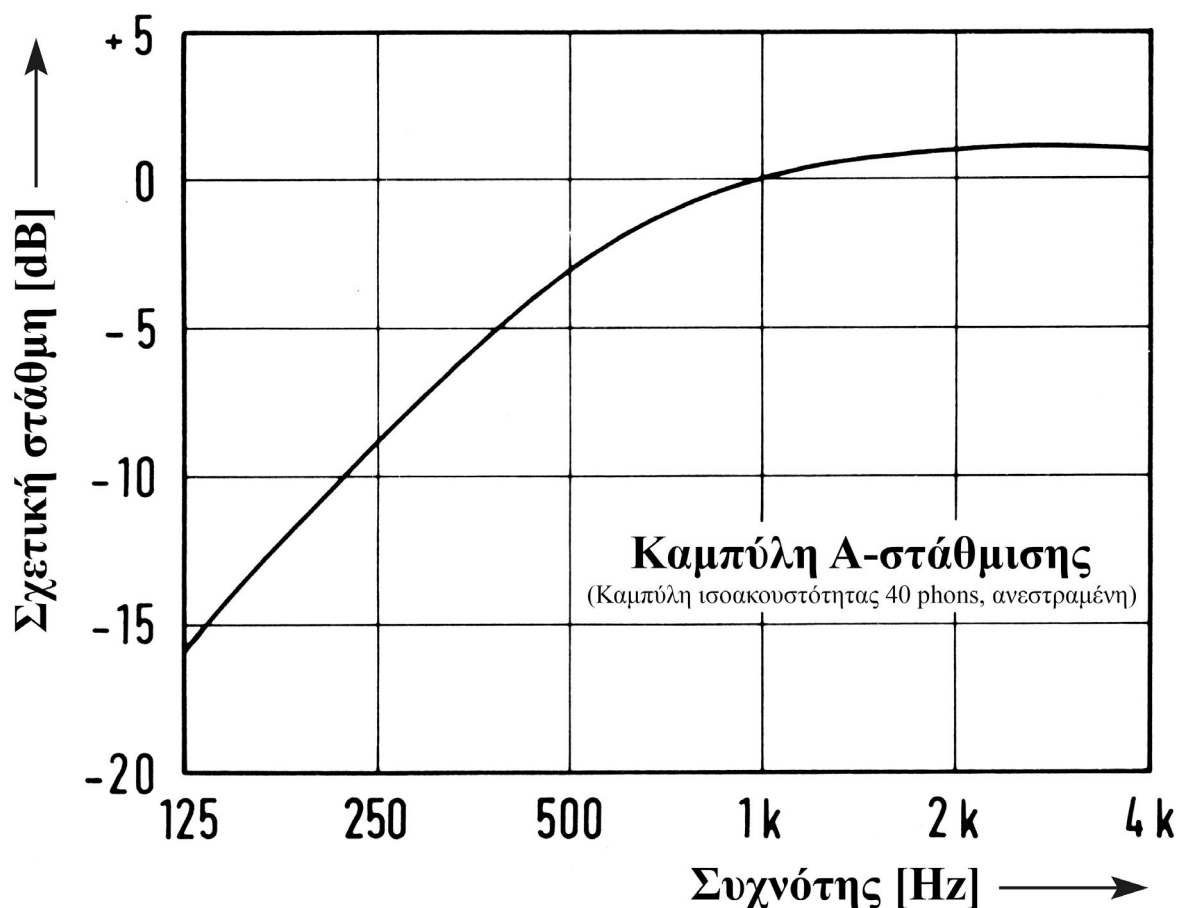
- i) Η μέγιστη ευαισθησία του οργάνου της ακοής παρατηρείται μεταξύ 3000 Hz και 4000 Hz
- ii) Η ευαισθησία του οργάνου της ακοής σταδιακά μειώνεται στη χαμηλή περιοχή του φάσματος

1.2.1.2. Η ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ σε dB – ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ dBA

Συνεχ. (1 από 2)

Ένα μονότιμο μέγεθος που αποτιμά τη στάθμη έντασης του ήχου σε dB, ενώ ταυτόχρονα λαμβάνει υπ' όψιν την ποικίλη ευαισθησία του οργάνου της ακοής στις διαφορετικές περιοχές του φάσματος είναι το **dBA**.

Το dBA σταθμίζει τη στάθμη έντασης του ήχου στις διάφορες περιοχές του φάσματος σύμφωνα με την ευαισθησία του οργάνου της ακοής σε κάθε μία από αυτές (βλέπε συντελεστές στάθμισης κατωτέρω) και μετά αθροίζει τις διάφορες στάθμες.



Σχήμα 1.8 Απεικόνιση των συντελεστών Α-στάθμισης (en.wikipedia.org)

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΑΙ Α-ΣΤΑΘΜΙΣΗΣ

Οκτ. ζώνες	125	250	500	1000	2000	4000	[Hz]
Συντελεσταιί	-16	-9	-3	0	+1	+1	[dB]

Παράδειγμα

Ερώτηση: Η στάθμη έντασης του θορύβου σε αυτοκινητόδρομο είναι 81 dB. Με δεδομένη τη στάθμη αυτή ανά οκταβική ζώνη, να υπολογισθεί η στάθμη έντασης του θορύβου σε dBA.

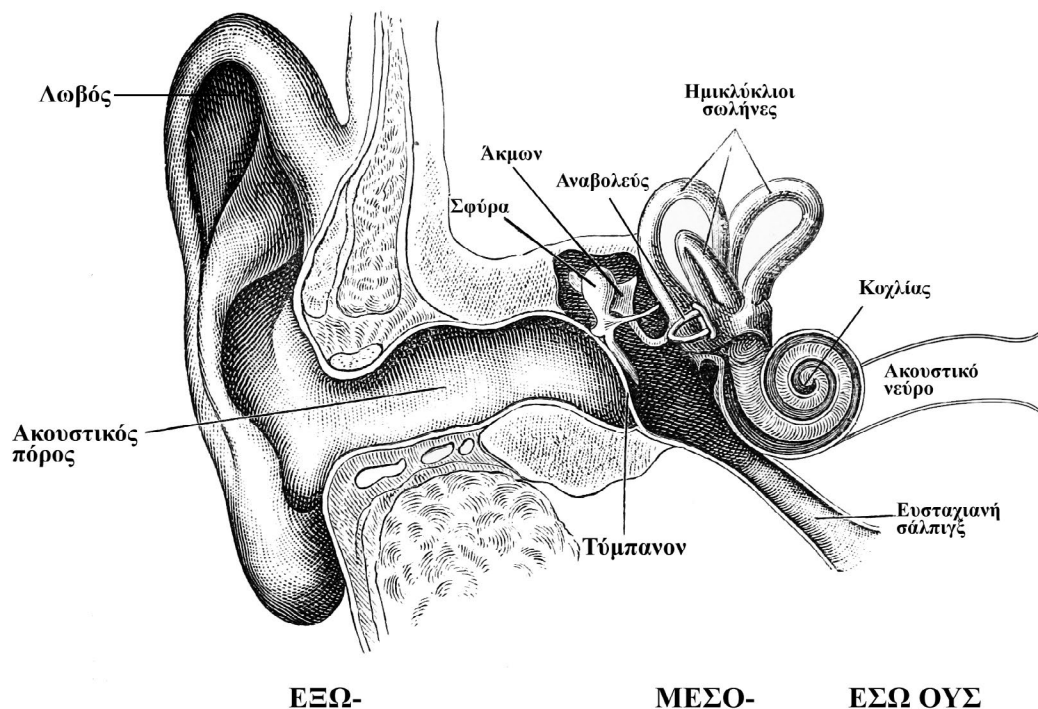
ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΕ dBA							
	Οκτ. ζώνες [Hz]						Συνολική στάθμη έντασης θορύβου*
	125	250	500	1000	2000	4000	
Στάθμη έντασης θορύβου [dB]	80	75	60	62	55	50	81 dB
Στάθμη έντασης μετά την A - στάθμιση [dB]	64	66	57	62	56	51	69 dBA
* η άθροιση των επί μέρους σταθμών έντασης του πίνακα, γίνεται σύμφωνα με την ανωτέρω ενότητα «1.1.3.3. ΠΡΟΣΘΕΣΗ DECIBEL»							

Απάντηση: Η ζητούμενη στάθμη έντασης θορύβου είναι 69 dBA.

Το dBA χρησιμοποιείται ευρύτατα σε εφαρμογές περιβαλλοντικού θορύβου και είναι δυνατό να μετρηθεί ευχερώς με τη χρήση φορητού ηχομέτρου.

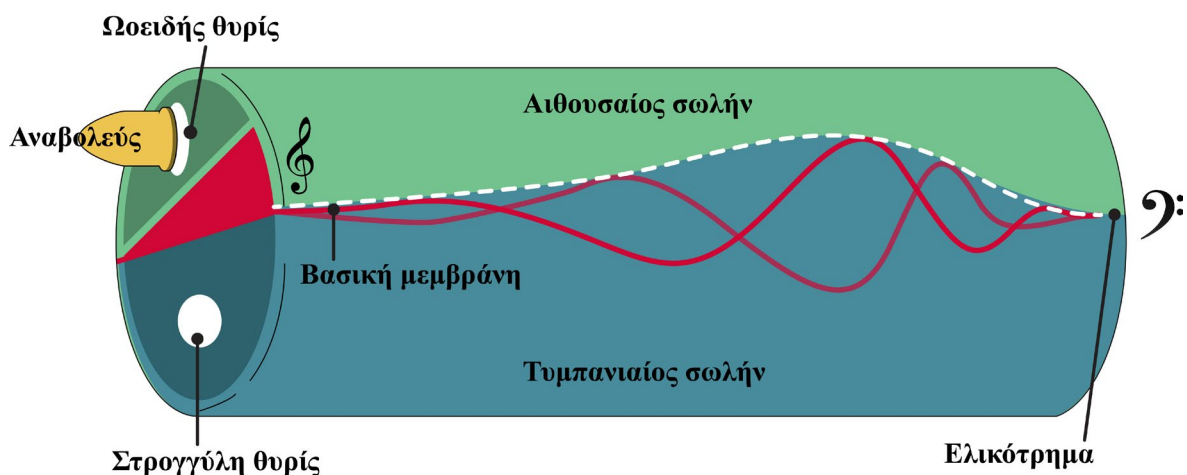
1.2.2. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ (MASKING)

1.2.2.1. Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΚΟΗΣ



Σχήμα 1.9 Ανατομία του οργάνου της ακοής (upload.wikimedia.org)

Ο ήχος, μέσω του **ακουστικού πόρου** θέτει το **τύμπανο** σε παλμική κίνηση. Αυτή, μέσω της **σφύρας** του **άκμονος** και του **αναβολέως** (ακουστικά οστάρια που λειτουργούν εν είδει μοχλού) μεταβιβάζεται στην **ωοειδή θυρίδα** και από εκεί, μέσα στον **κοχλία**.



Σχήμα1.10 Ανάπτυγμα του κοχλία

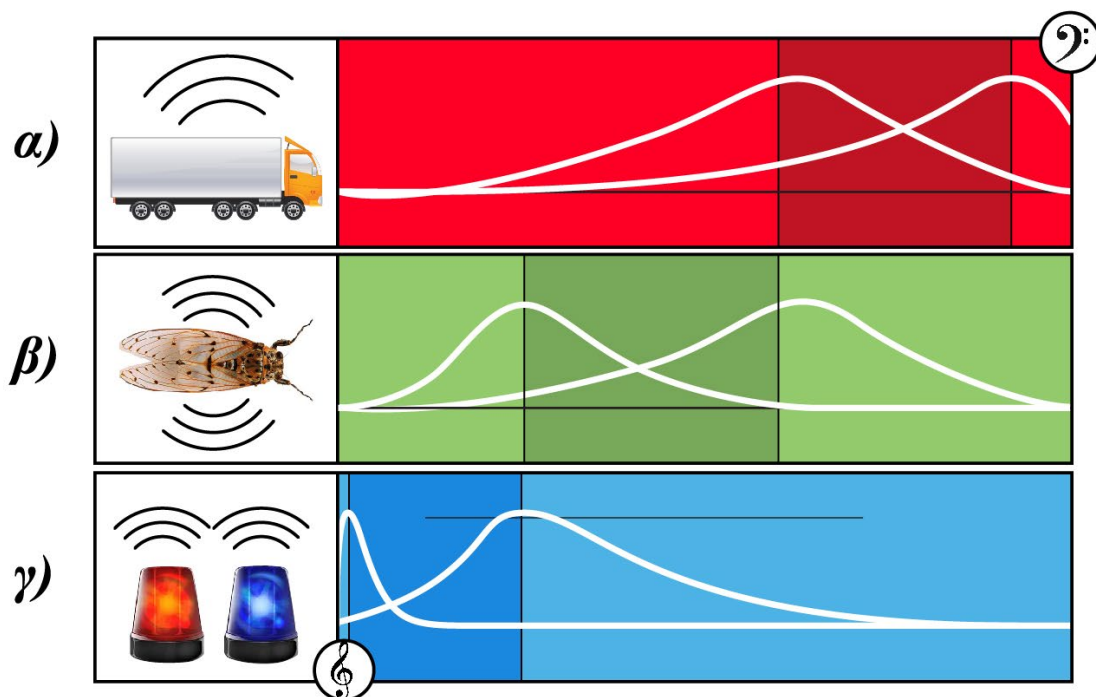
Ο **κοχλίας** είναι ένας οστεώδης **συσπειρωμένος σωλήνας** στο **έσω ούς**, θεμελιώδης για την αντίληψη της ακοής και είναι γεμάτος με υγρό μέσα στο οποίο θα κινηθεί ο ήχος.

Η παλμική κίνηση (ήχος) μέσα στο υγρό του κοχλίας, από τον **αιθουσαίο σωλήνα** μεταφέρεται (μέσω του **ελικοτρήματος**) στον **τυμπανιαίο σωλήνα**: εκεί θέτει σε κίνηση τη **βασική μεμβράνη** και τις **τριχοειδείς απολήξεις** (hair cells) του ακουστικού νεύρου (οι οποίες είναι εμφυτευμένες στην κάτω επιφάνεια της βασικής μεμβράνης): αυτή η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε **ηλεκτρική ενέργεια** που τελικά διαβιβάζεται στον **εγκέφαλο**.

1.2.2.2. ΚΡΙΣΙΜΗ ΖΩΝΗ (CRITICAL BAND) - ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ (MASKING EFFECT)

Συνεχ. (1 από 2)

Αναλόγως της συχνότητας του ήχου, μια ορισμένη μόνο περιοχή της βασικής μεμβράνης τίθεται σε παλμική κίνηση. Η περιοχή αυτή καλείται **κρίσιμη ζώνη**.



Σχήμα 1.11 Το διάγραμμα δείχνει το τμήμα της βασικής μεμβράνης που προσβάλλει ο κάθε ένας από τους τρεις ήχους. **α)** Βαρύ φορτηγό – χαμηλή περιοχή του φάσματος, κρίσιμη ζώνη σχετικά ευρεία, **β)** Τζιτζίκας - μεσαίες συχνότητες, κρίσιμη ζώνη λιγότερο ευρεία, **γ)** Οξύ σφύριγμα σειρήνας - υψηλές συχνότητες, κρίσιμη ζώνη σχετικά στενή.

Πόρισμα:

Ήχοι παρόμοιου φάσματος έχουν επικάλυψη ως προς την κρίσιμη ζώνη τους. ► **Ο ασθενέστερος ήχος επικαλύπτεται ηχητικά από τον εντονότερο.** Ο βαθμός ηχητικής επικάλυψης εξαρτάται από το βαθμό επικάλυψης των κρίσιμων ζωνών.

Εφαρμογές

Το φαινόμενο της επικάλυψης **αξιοποιείται** σε διάφορες εφαρμογές, όπως:

- ΚΤΙΡΙΑΚΗΣ ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ { ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΑΝΕΠΙΘΥΜΗΤΩΝ ΗΧΩΝ
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΙΔΙΩΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
ΤΗΣ ΣΥΝΟΜΙΛΙΑΣ

π.χ. σε γραφεία ανοικτού τύπου (open plan offices) με τη σκόπιμη εισαγωγή «λευκού»* θορύβου στο χώρο, είναι δυνατόν να επικαλύπτονται θόρυβοι λειτουργίας του χώρου, όπως συνομιλίες παρακειμένων ατόμων κλπ., ενώ ταυτοχρόνως προστατεύεται και το απόρρητο των συνομιλιών. (* «λευκός» είναι ο θόρυβος που περιλαμβάνει ισοκατανεμημένα όλο το φάσμα και είναι από άποψη ενοχλητικότητας σχετικά ουδέτερος).

- ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΤΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ { ΣΥΝΘΕΣΗ (composition) και ΕΡΜΗΝΕΙΑ
ΔΙΑΤΑΞΗ ΟΡΧΗΣΤΡΑΣ, κλπ. **

π.χ. Σε **concerti** για βιολοντσέλλο. Σε αντίθεση με το βιολί, το βιολοντσέλλο έχει πλούσιες συνιστώσες στις **χαμηλές συχνότητες** και είναι εύκολο να **επικαλυφθεί από τη** συμφωνική **ορχήστρα** σε έντονα μέρη (fortissimo). Γι' αυτό είναι ελάχιστα το κονσέρτα που έχουν γραφτεί για βιολοντσέλλο· και τα λίγα που υπάρχουν στο κλασικό ρεπερτόριο είναι γραμμένα με σεβασμό σε αυτόν τον κανόνα. Π.χ., Στο κονσέρτο για βιολοντσέλλο και ορχήστρα αρ. 2 του **Victor Herbert**, όταν το solo βιολοντσέλλο ηχεί σε μπάσους τόνους η παρτιτούρα καλεί την ορχήστρα να σιγήσει, ενώ όταν η ορχήστρα ερμηνεύει έντονα μέρη, το βιολοντσέλλο παίζει σε σχετικά υψηλούς τόνους ώστε να είναι ευδιάκριτοι.

** Βλέπε ενότητα «4.3.3.2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΣΟΧΗΣ ΤΗΣ ΟΡΧΗΣΤΡΑΣ (ORCHESTRA PIT)» και «4.2.3.2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΞΕΔΡΑΣ ΣΥΜΦΩΝΙΚΗΣ ΟΡΧΗΣΤΡΑΣ (PLATFORM)»

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- CIRIA Report (1986). Sound Control for homes. *Construction industry research and information association England, Report 114*.
- Fletcher, H. & Munson, W.A. (1933). Loudness, its definition, measurement and calculation. *J. Acoust. Soc. Am.*, 5, pp. 82-108.
- SRL (1976). *Practical Building Acoustics*. London: Sound research laboratories Ltd.

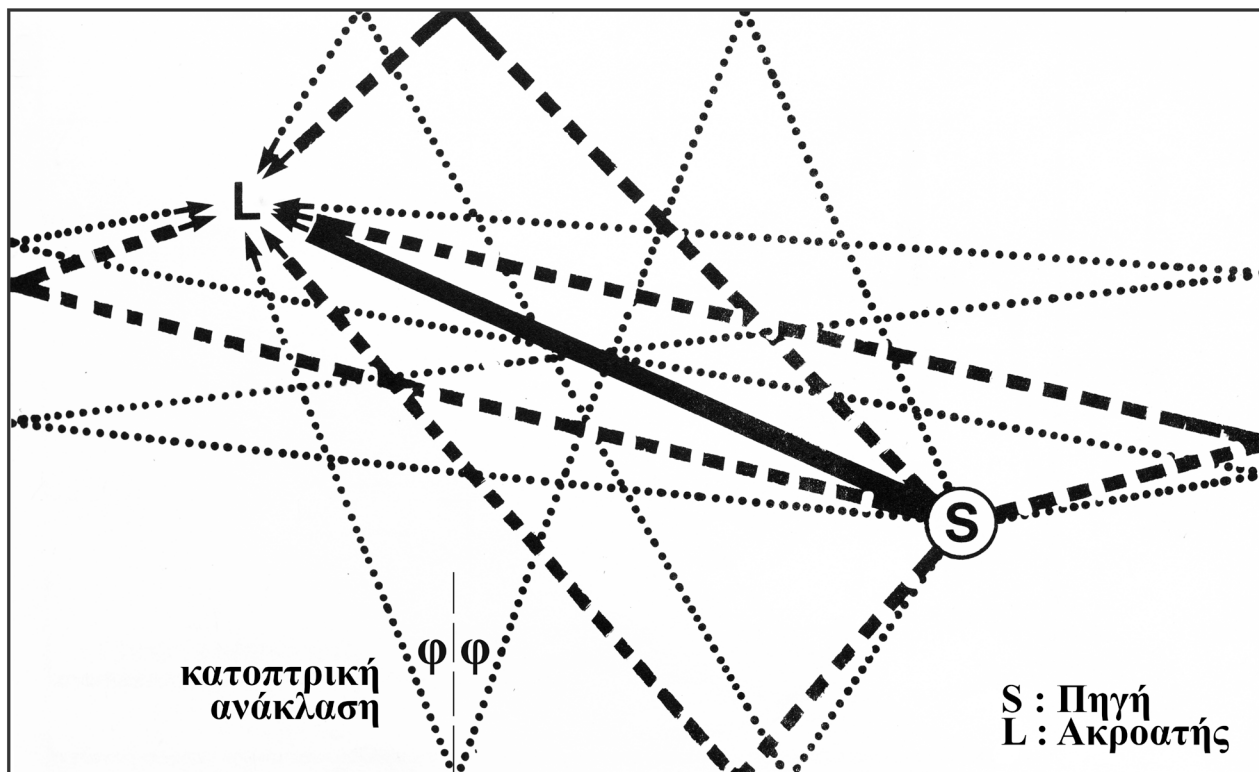
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΧΩΡΟ

2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

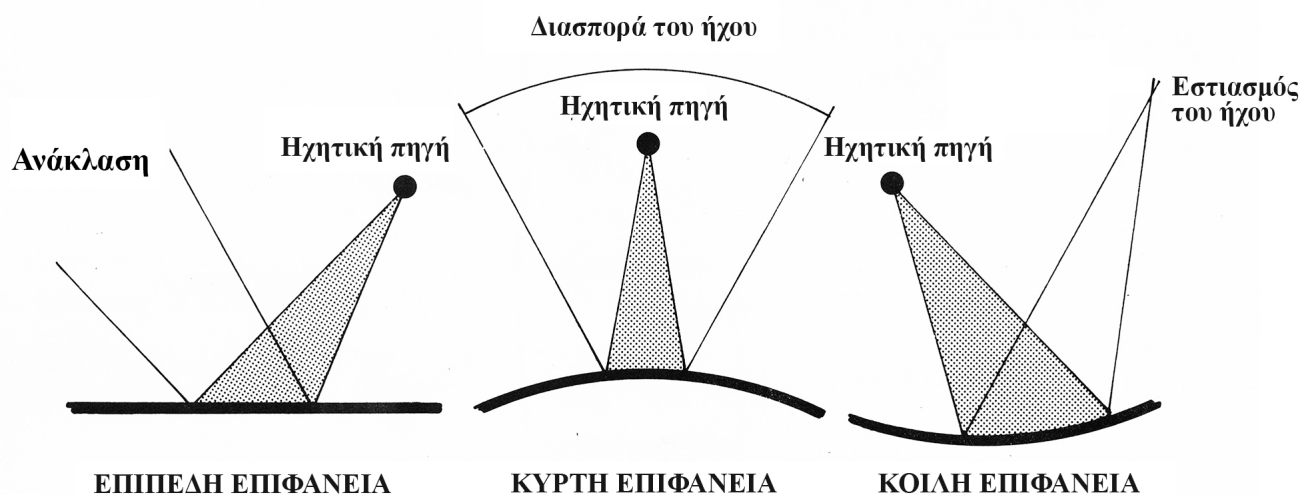
Συνεχ. (1 από 2)

2.1.1 ΑΝΑΚΛΑΣΗ

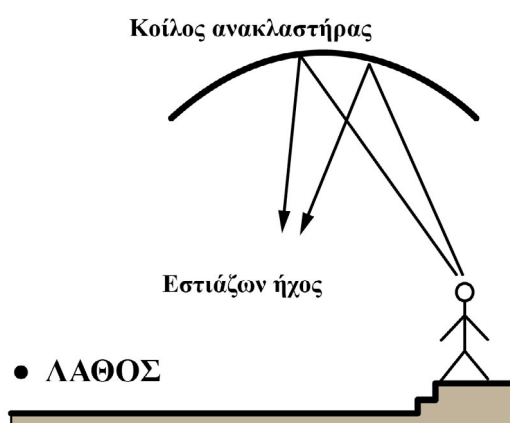
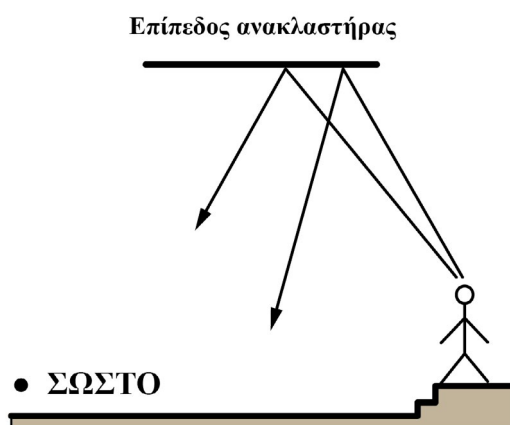
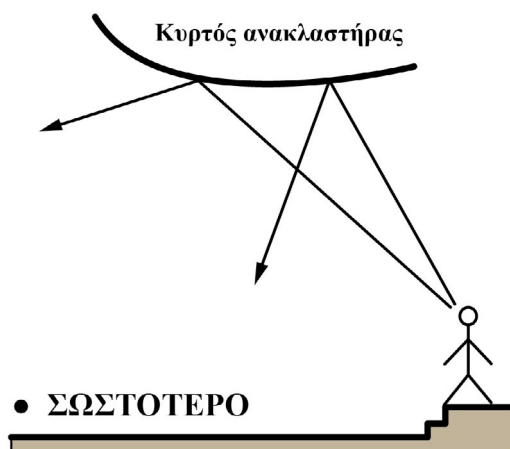
Η αλλαγή στην πορεία του ήχου λόγω πρόσπτωσης σε μια επιφάνεια καλείται ανάκλαση.



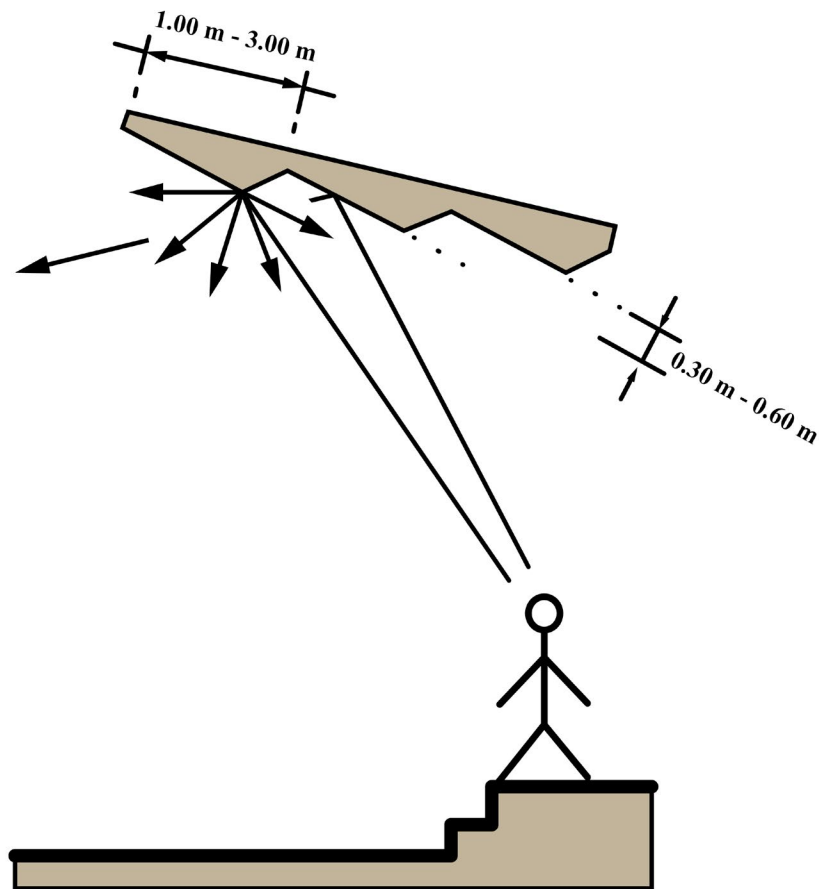
Σχήμα 2.1 Απεικόνιση των ανακλάσεων του ήχου στο εσωτερικό κέλυφος κλειστού χώρου. Η συμπαγής γραμμή συμβολίζει τον απ'ευθείας ήχο. (© SRL, 1976)



Σχήμα 2.2 Επιρροή της μορφής του κελύφους του χώρου στην ανάκλαση του ήχου (© SRL, 1976)

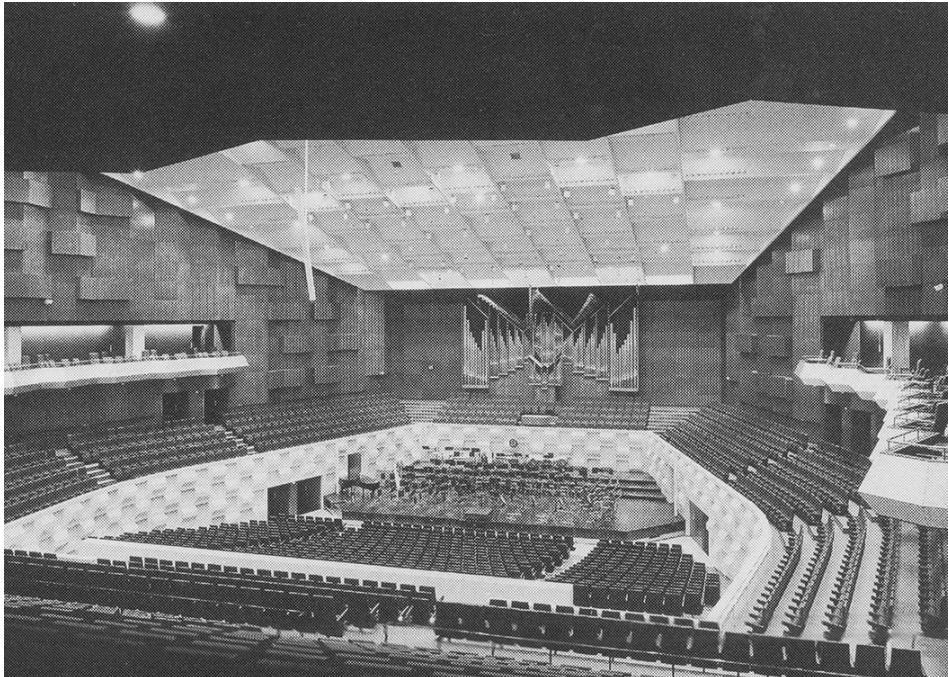


Σχήμα 2.3 Ηχητική ανάκλαση σε επιφάνειες διαφορετικής μορφής αντίστοιχα



Σχήμα 2.4 Απεικόνιση ανακλαστήρα με ανάγλυφα στοιχεία διάχυσης

Ο σκεδασμός μιας ανακλώμενης ηχητικής ακτίνας σε ασθενέστερες ακτίνες τυχαίας κατανομής λέγεται **διάχυση**. Συμβαίνει όταν οι **διαστάσεις** της ανακλαστικής επιφάνειας είναι **της αυτής τάξης μεγέθους** με το **μήκος κύματος** του ήχου. Π.χ. Τα ανάγλυφα στοιχεία της τάξης του 0.30 m - 0.60 m δημιουργούν διάχυση στην περιοχή του φάσματος 500 Hz - 1000 Hz, το οποίο αντιστοιχεί σε μήκη κύματος 0.34 m - 0.68 m.



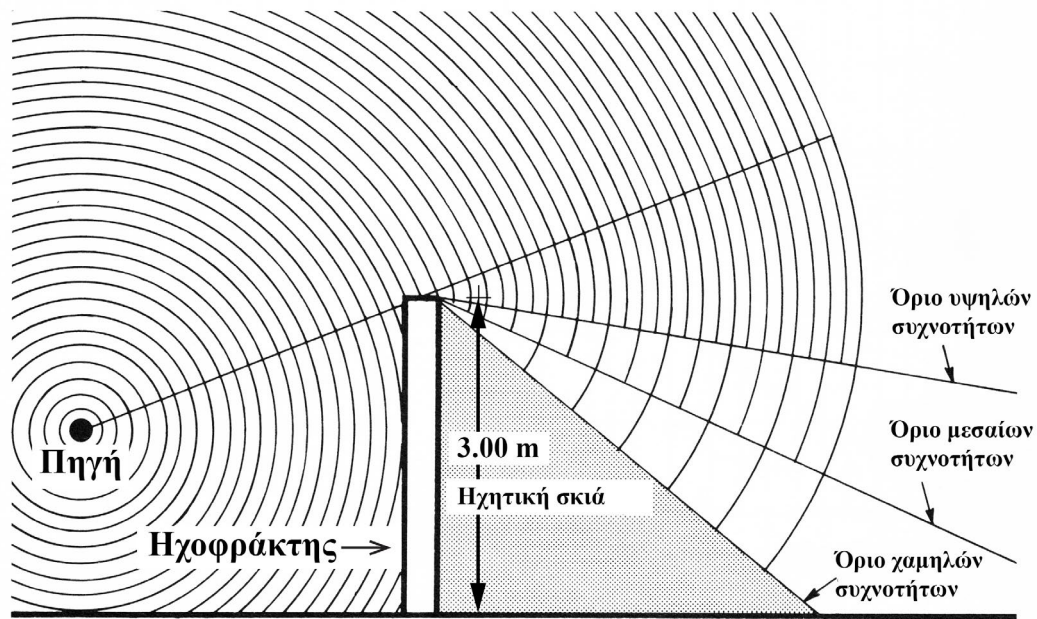
Σχήμα 2.5 Μεγάλη αίθουσα συναυλιών “Grotte Zaal” του συγκροτήματος *de Doelen, Rotterdam, Netherlands*. Έτος 1966, ≈ 2250 άτομα. Αρχ/των: E.H. & H.M. Kraaijvanger, R.H. Fledderus, Σύμβ. ακουστικής: C.W. Kosten & P.A. De Lange. Εσωτερική άποψη της αίθουσας με εμφανή την επιφάνεια διάχυσης που φέρει ανάγλυφο γεωμετρικό μοτίβο από μάρμαρο (© Beranek, 1996)



Σχήμα 2.6 Αίθουσα συναυλιών της συμφωνικής της *Βοστώνης, Mass USA*. Έτος 1900, ≈ 2600 άτομα. Αρχ/των: McKim, Mead, White, Σύμβ. ακουστικής: W.C. Sabine. Εσωτερική άποψη της αίθουσας με εμφανή τα στοιχεία διάχυσης όπως παραστάδες, στηθαία εξωστών, εσοχές με διακοσμητικά γλυπτά κλπ.



Σχήμα 2.7 Νεοκλασικό αμφιθέατρο διδασκαλίας στο ΕΜΠ. ≈ 100 άτομα. Επισκευή, Τεχν. υπηρεσία ΕΜΠ, Σύμβ. ακουστικής: Α. Σωτηροπούλου. Παράδειγμα διάχυσης, με χρήση εναλλάξ ηχοαπορροφητικών και ηχοανακλαστικών πάνελων τοποθετημένων πίσω από το υφασμάτινο τελείωμα

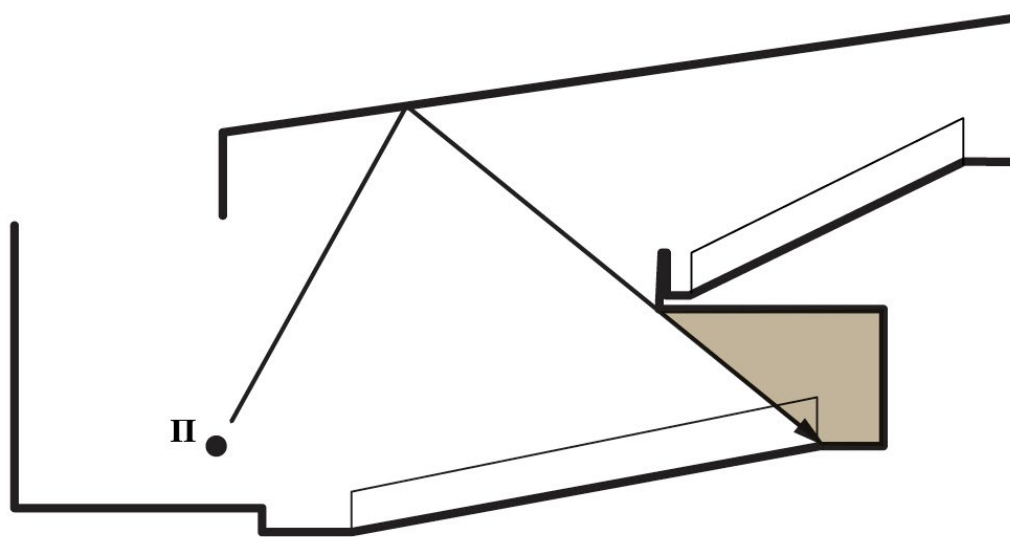


Σχήμα 2.8 Απεικόνιση ηχητικής σκιάς που δημιουργείται λόγω ηχοφράκτου (© Webb, 1978)

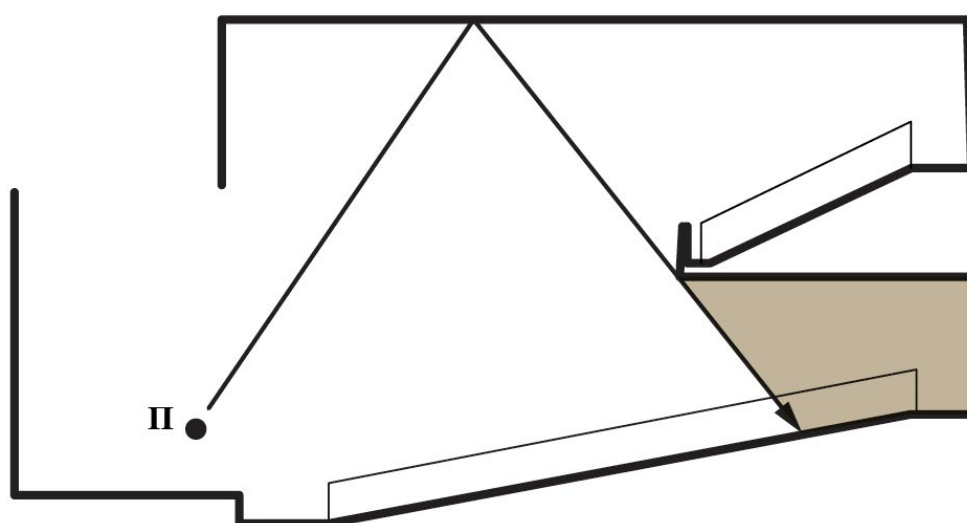
Ο βαθμός περίθλασης εξαρτάται από το **μήκος κύματος** του ήχου **σε σχέση** με τις **διαστάσεις του εμποδίου**. Π.χ. για ηχοφράκτη (sound barrier) ύψους 3.00 m σε έναν αυτοκινητόδρομο, οι χαμηλές συχνότητες του κυκλοφοριακού θορύβου (δηλ. εκείνες που έχουν μήκος κύματος της αυτής τάξης μεγέθους με τον ηχοφράκτη) περιθλώνται (λυγίζουν) προς την άλλη πλευρά του φράκτου. Αντίθετα, οι σχετικά υψηλές συχνότητες που έχουν σχετικά μικρό μήκος κύματος δεν περιθλώνται, εξασφαλίζοντας έτσι ηχοπροστασία (ηχητική σκιά) από την άλλη πλευρά του φράκτου.

Εφαρμογές:

Το φαινόμενο της **περίθλασης** έχει **εφαρμογές** στον περιβαλλοντικό σχεδιασμό, όχι μόνο **σε ανοικτούς χώρους** αλλά και **σε κλειστούς**. Για παράδειγμα, σε **αίθουσες ακροατηρίου** είναι δυνατόν να δημιουργείται (ανεπιθύμητη) **ηχητική σκιά** κάτω από την κρέμαση **εξώστων** όταν αυτοί έχουν σχετικά **μεγάλο βάθος**.



Αβαθύς εξώστης - ΣΩΣΤΟ



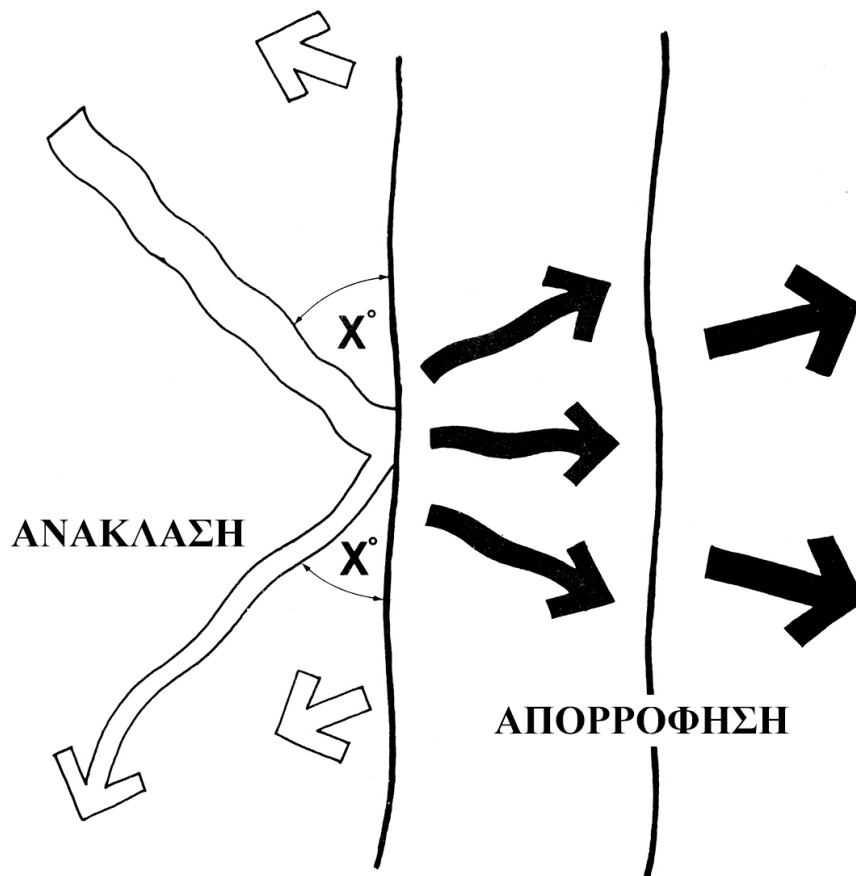
Βαθύς εξώστης - ΛΑΘΟΣ

Σχήμα 2.9 Απεικόνιση ηχητικής σκιάς κάτω από τον εξώστη θεάτρου

Για **εξώστες βάθους** μεγαλύτερου των **2.00 - 3.00 m** ο ήχος περιθλάται ικανοποιητικά (φθάνει κάτω από τον εξώστη) μόνο στις πολύ χαμηλές συχνότητες. Αποτέλεσμα αυτού είναι οι θέσεις εκείνες να **στερούνται** υψίσυχων ήχων (**treble**) και να **θεωρούνται** μειονεκτικές.

2.1.4. ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ

2.1.4.1. ΟΡΙΣΜΟΣ



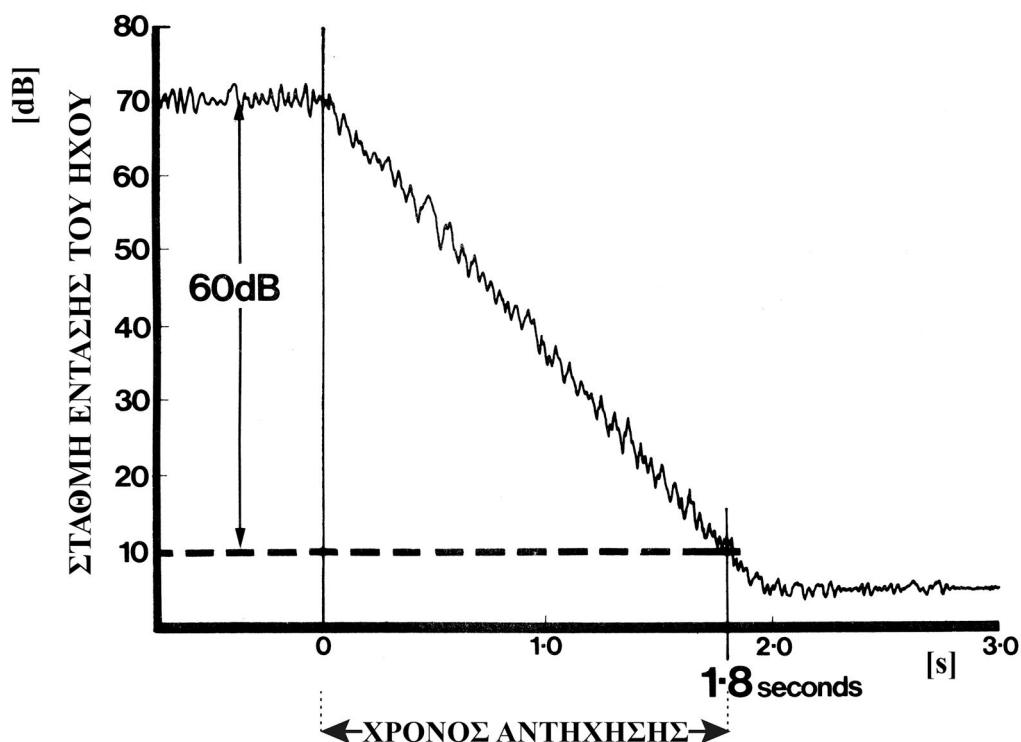
Σχήμα 2.10 Σχηματική απεικόνιση του ανακλώμενου / απορροφώμενου ήχου λόγω πρόσπτωσης επί διαχωριστικού πετάσματος (© SRL, 1976)

Το ποσό του ήχου του προσπίπτοντος επί επιφανείας ενός χώρου, που δεν ανακλάται, εξ ορισμού **απορροφάται**.

• Συντελεστής ηχοαπορρόφησης "α" ενός υλικού είναι εξ ορισμού το ποσοστό, εκ του προσπίπτοντος επί του υλικού ήχου, που δεν ανακλάται.

• Ηχοαπορρόφηση επιφάνειας είναι το γινόμενο του συντελεστού ηχοαπορρόφησης του υλικού επί το εμβαδό "F" της επιφάνειας.

• Ορισμός του χρόνου αντήχησης (reverberation time), "RT"



Σχήμα 2.11 Σχηματική απεικόνιση της απόσβεσης του ήχου σε κλειστό χώρο. Ο χρόνος που αντιστοιχεί σε απόσβεση του ήχου κατά 60 dB είναι ο χρόνος αντήχησης της αίθουσας. (© SRL, 1976)

• Ο τύπος του Sabine:

$$R T = \frac{0.16 V}{\sum_i F_i \alpha_i + V x}, \quad [s]$$

όπου :

RT: χρόνος αντήχησης [s]

V : όγκος του χώρου [m³]

F_i: επιφάνεια του νιοστού υλικού του χώρου [m²]

α_i: συντελεστής ηχοαπορρόφησης του νιοστού υλικού [%] ή [Sab]

x: ηχοαπορρόφηση του αέρα ανά μονάδα όγκου [%] ή [Sab]

n: το πλήθος των ηχοαπορροφητικών υλικών στο χώρο

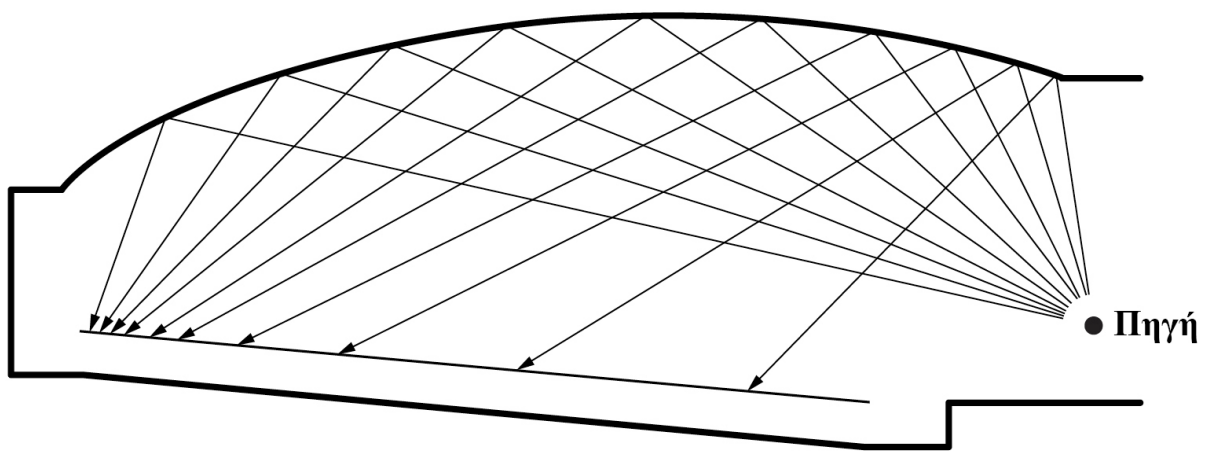
Προϋπόθεση (παραδοχή): Διάχυτο ηχητικό πεδίο.

- Περιπτώσεις **παραβίασης της παραδοχής** του τύπου του Sabine:

i) Χώροι με **μεγάλη αναλογία ηχοαπορρόφησης** π.χ. σε γραφεία ανοικτού τύπου (open plan) όπου χρησιμοποιείται κατά κανόνα ηχοαπορροφητικό δάπεδο και οροφή.

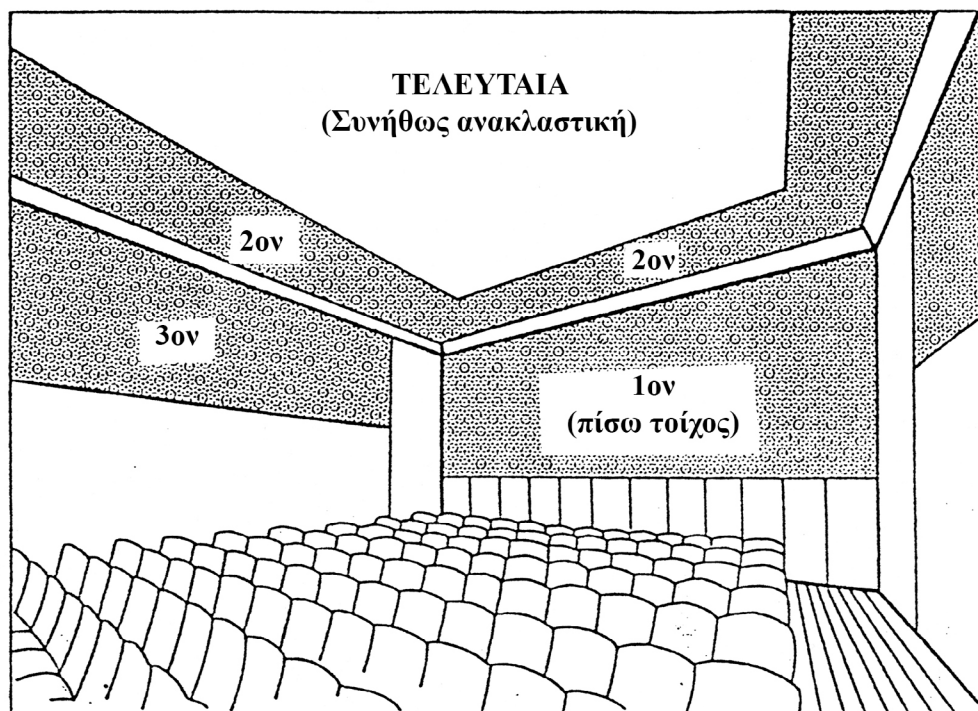
ii) Αίθουσες με **μορφολογημένη οροφή (reflected sound ceiling)** που ανακλά σχεδόν το σύνολο του ήχου απ' ευθείας στο ακροατήριο. δηλ. πριν αυτός προλάβει να «ταξιδέψει» στον υπόλοιπο χώρο.

Σε τέτοιες περιπτώσεις ο μελετητής πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτικός. Κατά κανόνα ο **πραγματικός χρόνος αντήχησης** προκύπτει **μικρότερος** των **υπολογισμών**. Μάλιστα αυτό μπορεί να είναι ολέθριο για αίθουσες συναυλιών όπου κατά κανόνα καταβάλλεται προσπάθεια για να εξασφαλισθεί σχετικά υψηλή αντήχηση.



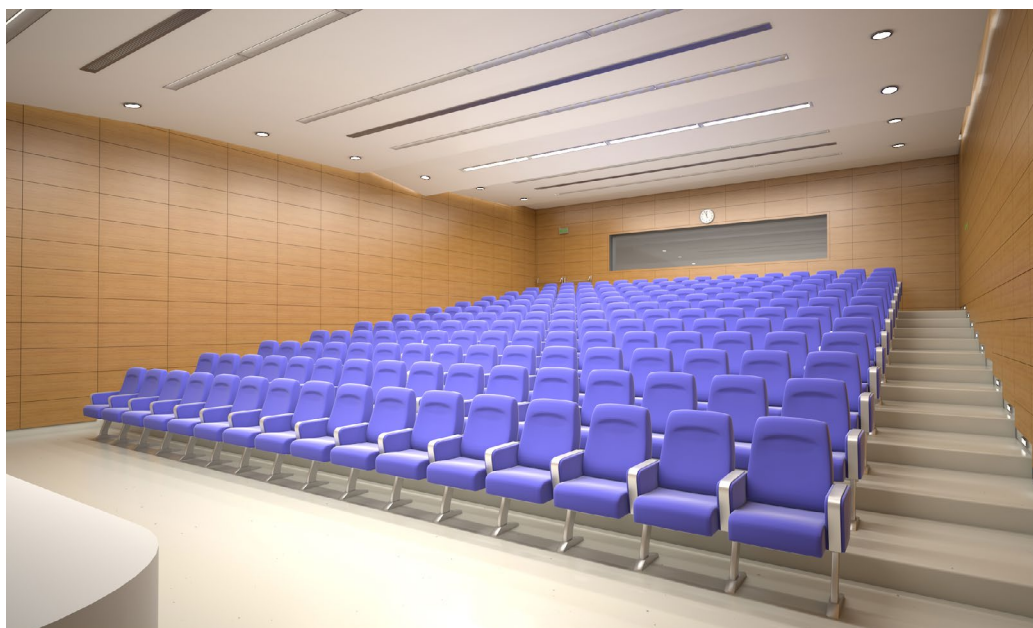
Σχήμα 2.12 Σχηματική απεικόνιση μορφοποιημένης οροφής σε αίθουσα ακροατηρίου

2.1.4.3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΑΚΡΟΑΣΗΣ ΟΜΙΛΙΑΣ



Σχήμα 2.13 Σχηματική απεικόνιση αίθουσας ακρόασης ομιλίας όπου υποδεικνύονται με σειρά προτεραιότητας δυνητικές επιφάνειες υποδοχής ηχοαπορροφητικής επένδυσης (© IHS, αναπαρήχθη κατόπιν αδείας από το BRE DG 192, 1976)

Παράδειγμα:



Σχήμα 2.14 Αμφιθέατρο διαλέξεων 180 - θέσεων. Σεισαστοπούλειος σχολή, Αθήνα. Έτος 2013 (Μελέτη). Προσθήκη / επέκταση. Αρχ/των: Δ. Παπαϊωάννου & Συνεργάτες, Σύμβ. ακουστικής: Α. Σωτηροπούλου. Αποψη προς την πίσω παρειά της αίθουσας η οποία φέρει ηχοαπορροφητική επένδυση από πλάκες ξύλου MDF με ψιλή διάτρηση (Σωτηροπούλου, 2014), (© Δ.Παπαϊωάννου)

2.1.4.4 ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ vs ΣΤΑΘΜΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ, ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΧΩΡΟ

$$\text{SPL} = \text{SWL} + 10 \log \left[\frac{Q_\theta}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right], \quad [\text{dB}]$$

όπου :

SPL: στάθμη έντασης του ήχου σε απόσταση "r" από την πηγή

SWL: ηχητική ισχύς της πηγής, [dB]

Q_θ : συντελεστής κατευθυντικότητας της ηχητικής πηγής υπό γωνία θ , (για πανκατευθυντική πηγή $Q_\theta = 1$)

A: συνολική ηχοαπορρόφηση στον χώρο, [$\text{m}^2 \text{Sab}$]

r: απόσταση της θέσης μέτρησης από την πηγή, [m]

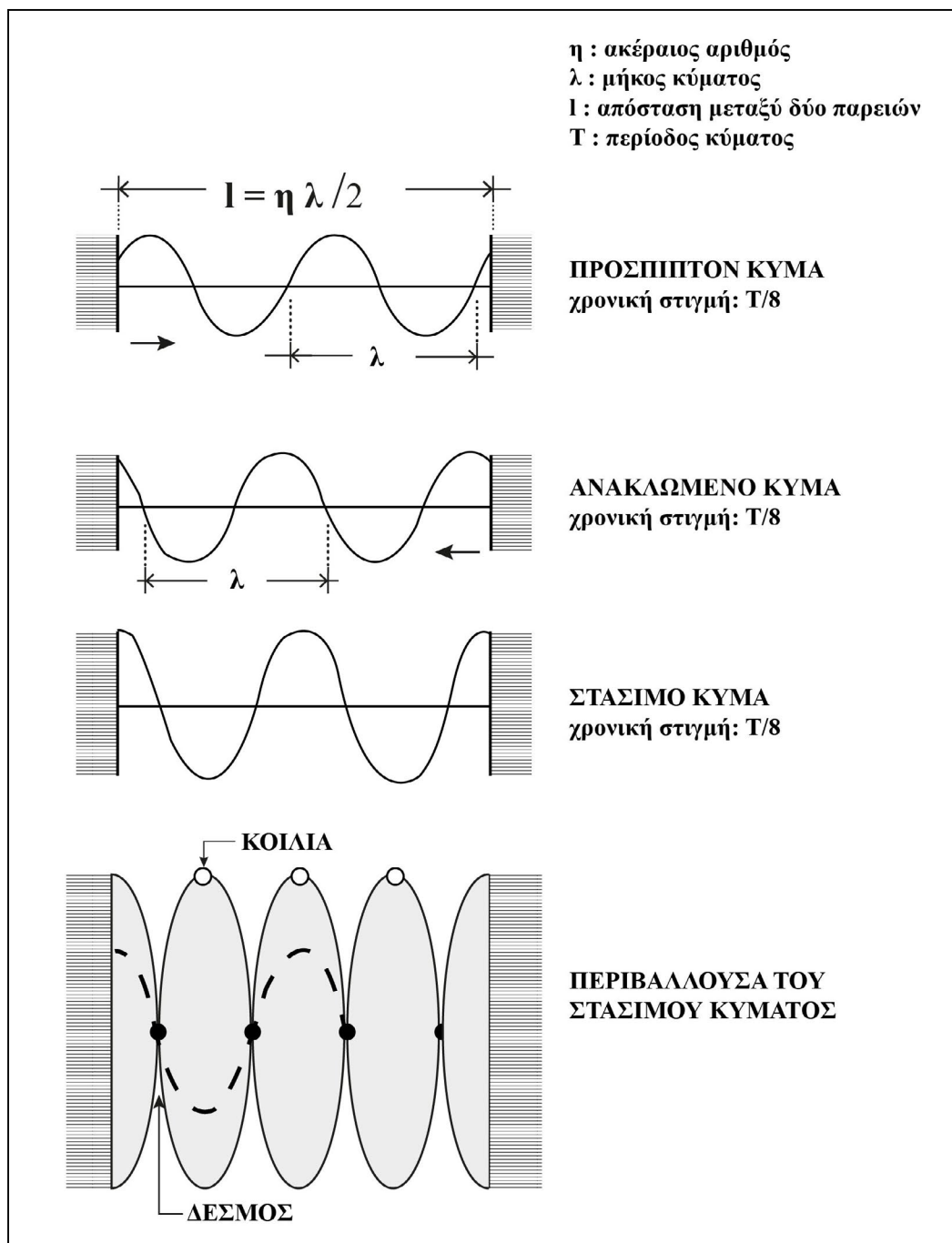
Πόρισμα:

Η παρουσία ηχοαπορρόφησης μειώνει τη στάθμη έντασης του ήχου στο χώρο· συνεπώς, προκειμένου για αίθουσες ακροατηρίου, όπου η επάρκεια σε ηχητική ένταση είναι πλεονέκτημα για την ακρόαση, η εισαγωγή ηχοαπορροφητικών επενδύσεων πρέπει να γίνεται με μέτρο.

2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΧΩΡΟ

2.2.1. ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ (ΣΤΑΣΙΜΑ ΚΥΜΑΤΑ)

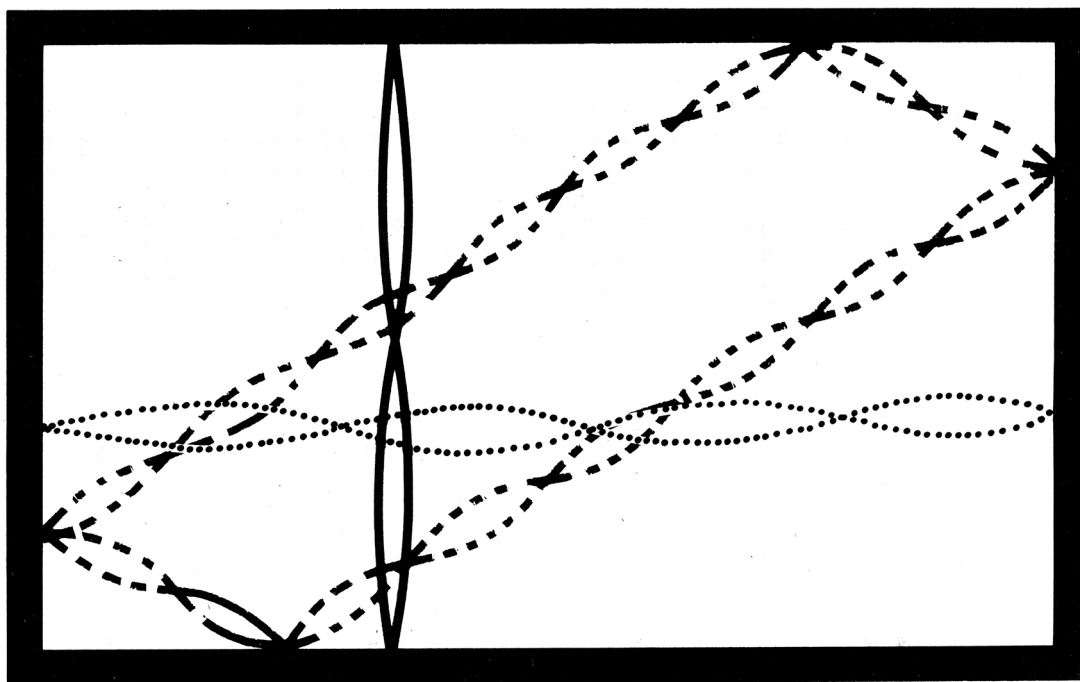
2.2.1.1. ΟΡΙΣΜΟΣ



Σχήμα 2.15 Απεικόνιση στασίμων κύματος

Η παρουσία **στασίμων κυμάτων** επιλεκτικά σε κάποιες συχνότητες στο χώρο είναι **προβληματική** για την **ακουστική**, διότι οδηγεί σε έλλειψη ομοιομορφίας στην κατανομή της ηχητικής ενέργειας (για κάποιες συχνότητες επιλεκτικά). Αυτό επί πλέον έχει ως επακόλουθο τη **χρωματική αλλοίωση του ήχου** (π.χ. βομβώδης ήχος στο λουτρό).

2.2.1.2. ΣΤΑΣΙΜΑ ΚΥΜΑΤΑ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΧΩΡΟ



Σχήμα 2.16 Σχηματική απεικόνιση ανάπτυξης στασίμων κυμάτων (© SRL 1976)

- Πάντα υπάρχουν **στάσιμα κύματα** (συχνότητες συντονισμού) σε **κλειστούς χώρους με ηχοανακλαστικές επιφάνειες**. Το φαινόμενο του συντονισμού καθίσταται **πρόβλημα** κυρίως σε χώρους σχετικά **μικρών διαστάσεων π.χ.** σε χώρους μουσικής εξάσκησης (music practice rooms), διότι εκεί κυριαρχούν λίγες διακριτές συχνότητες (συντονισμού) που αναπόφευκτα γίνονται αντιληπτές. Αντίθετα, σε μεγάλους χώρους όπου υπάρχει πληθώρα τέτοιων συχνοτήτων, τα αντίστοιχα στάσιμα κύματα τείνουν να αλληλοεπικαλύπτονται στο χώρο και συνεπώς να αλληλοαναιρούνται. Βλέπε ενότητα «2.1.4.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ».

- Το φαινόμενο δεν αποτρέπεται, **αποτρέπονται όμως οι ανεπιθύμητες συνέπειες του**.

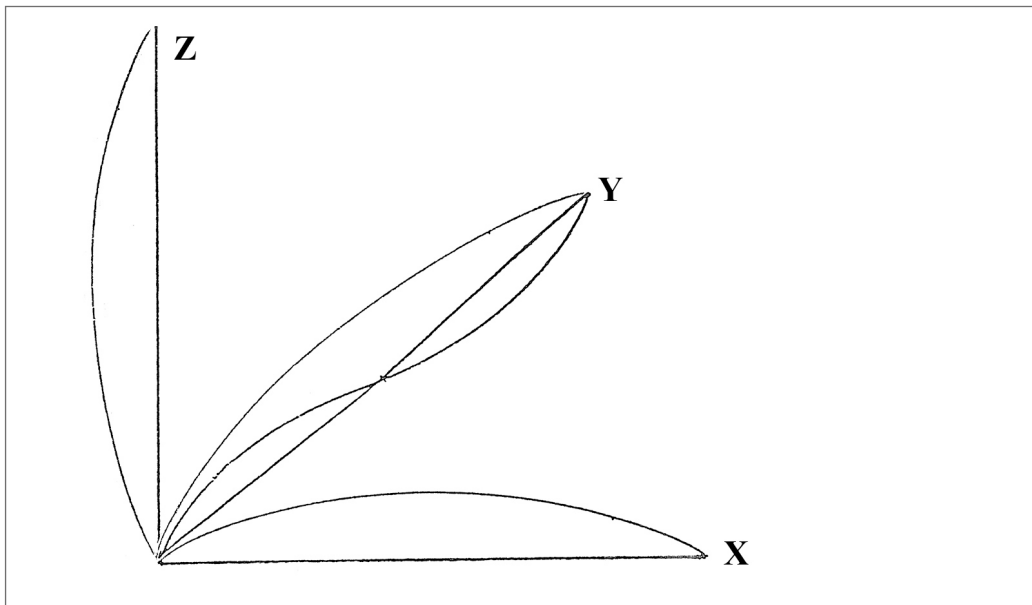
2.2.1.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

Συνεχ. (1 από 2)

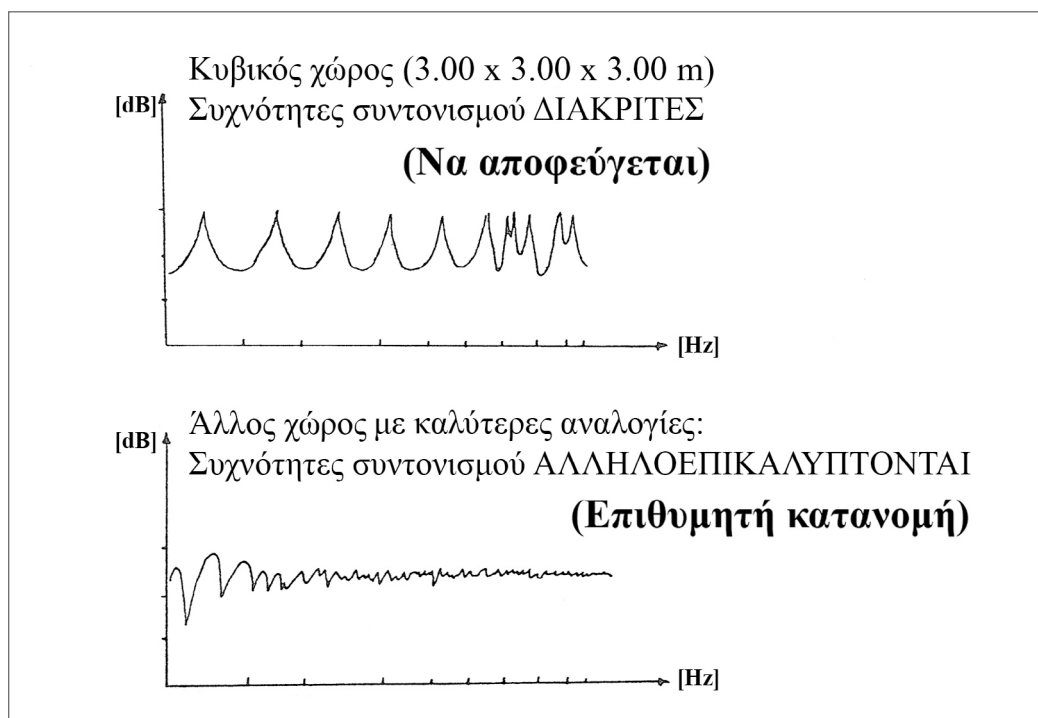
ΜΕΓΑΛΟΙ ΧΩΡΟΙ
(διαστάσεις > 8.5 m) $\Rightarrow$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ο ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΑΝΕΠΙΘΥΜΗΤΕΣ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ} \\ \text{(η χαμηλότερη συχνότητα συντονισμού είναι κάτω από το όριο ακουστών συχνοτήτων)} \end{array} \right.$

ΜΙΚΡΟΙ ΧΩΡΟΙ
(διαστάσεις < 8.5 m) $\Rightarrow$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ο συντονισμός αντιμετωπίζεται με:} \\ \text{i) ΧΡΗΣΗ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ (π.χ. επιπλωμένοι χώροι διαβίωσης)} \\ \text{ii) ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ} \\ \text{(ώστε οι συχνότητες συντονισμού να είναι ομαλά κατανεμημένες στο φάσμα)} \end{array} \right.$

• Παράδειγμα κακής επιλογής σχήματος χώρου:



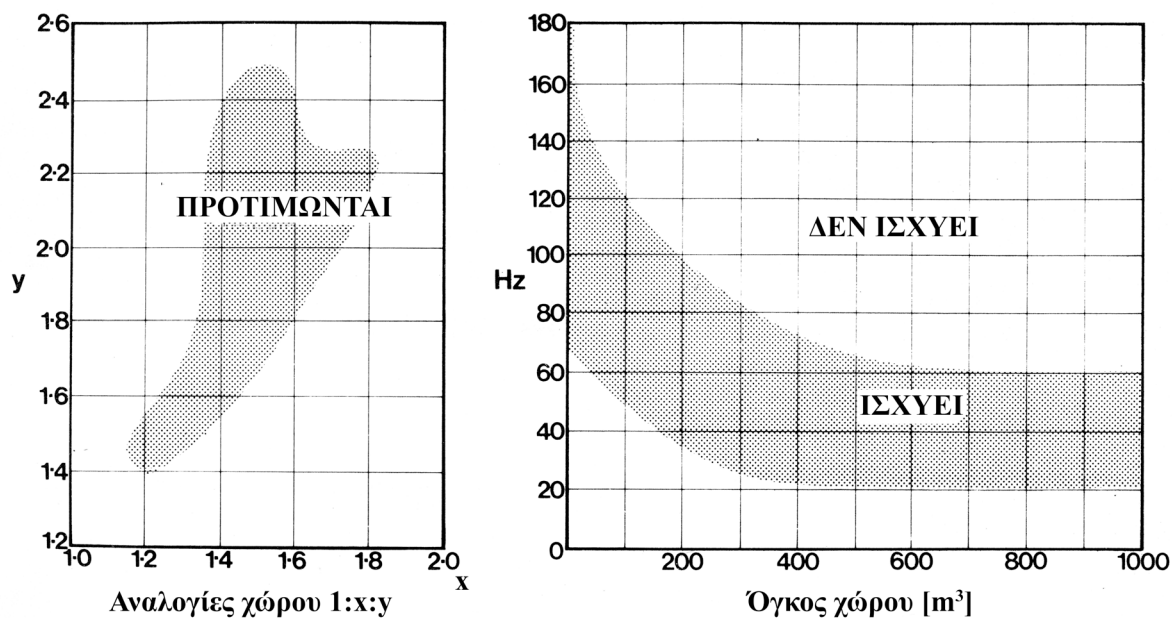
Σχήμα 2.17 Κυβικός χώρος (3.00 x 3.00 x 3.00 m) με στάσιμα κύματα σχεδιασμένα στις τρεις διαστάσεις του



Σχήμα 2.18 Φασματική κατανομή συχνοτήτων συντονισμού

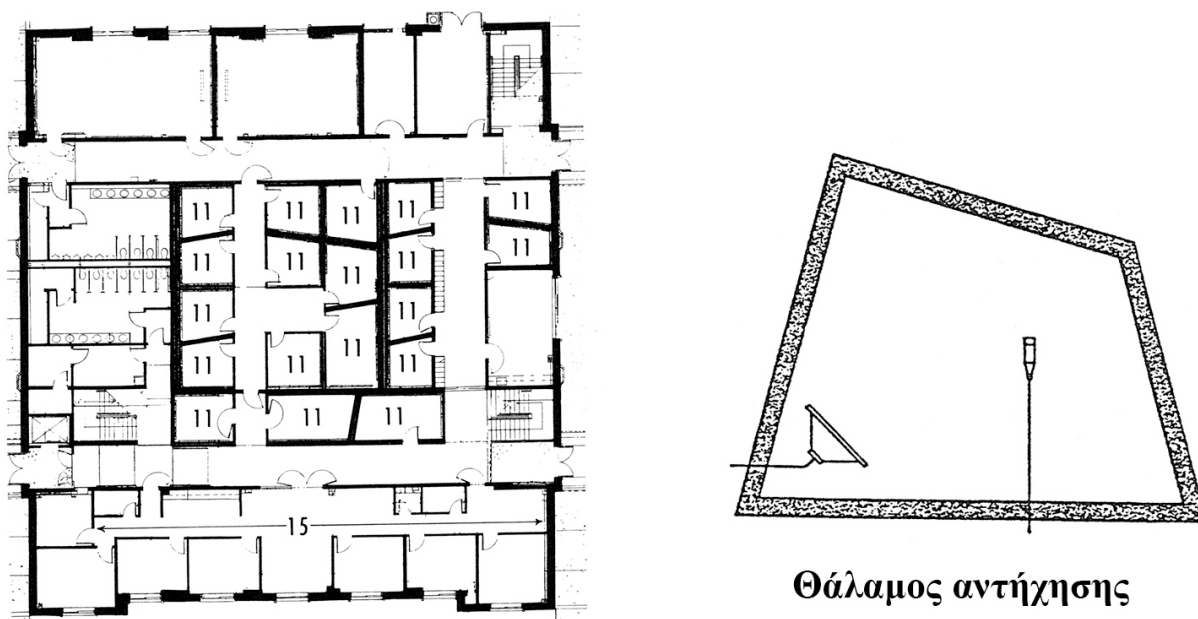
• Επιλογή σχήματος χώρου:

i) Για ορθογωνικούς χώρους προτιμώνται αναλογίες ως κάτωθι:



Σχήμα 2.19 Συνιστώμενες αναλογίες χώρων. Τα σχήματα αφορούν σε χαμηλές συχνότητες και σχετικά μικρούς χώρους. (© SRL, 1976)

ii) Συνιστώνται ακανόνιστα σχήματα χώρων, π.χ.

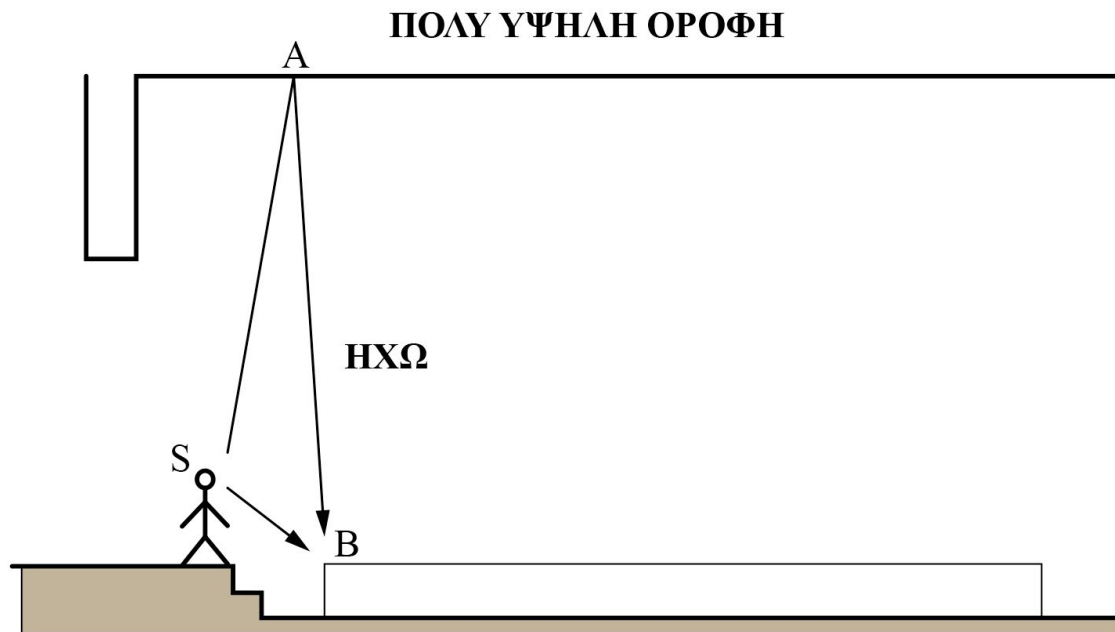


Σχήμα 2.20 Εφαρμογές με χώρους σε ακανόνιστα σχήματα. **Αριστερά:** Ross Fine Arts Center, Oregon USA. Κάτοψη ισογείου. **Π:** Δωμάτια μουσικής εξάσκησης. (© McCue & Talaske 1990). **Δεξιά:** Τυπική κάτοψη θαλάμου αντήχησης (ακουστικών μετρήσεων)

2.2.2. ΗΧΩ

2.2.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

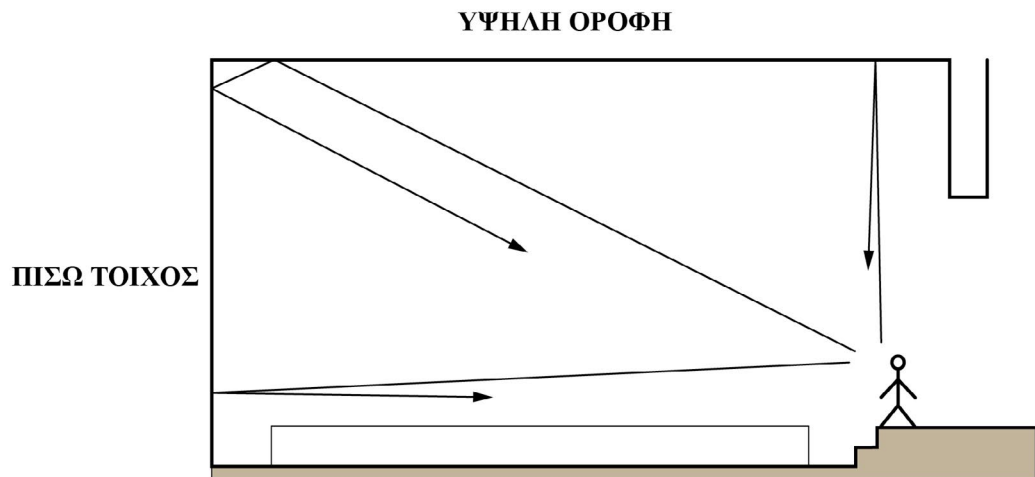
Ηχώ είναι μια καθυστερημένη ανάκλαση σχετικά έντονη, η οποία είναι διακριτή σε σχέση με τον απ' ευθείας ήχο.



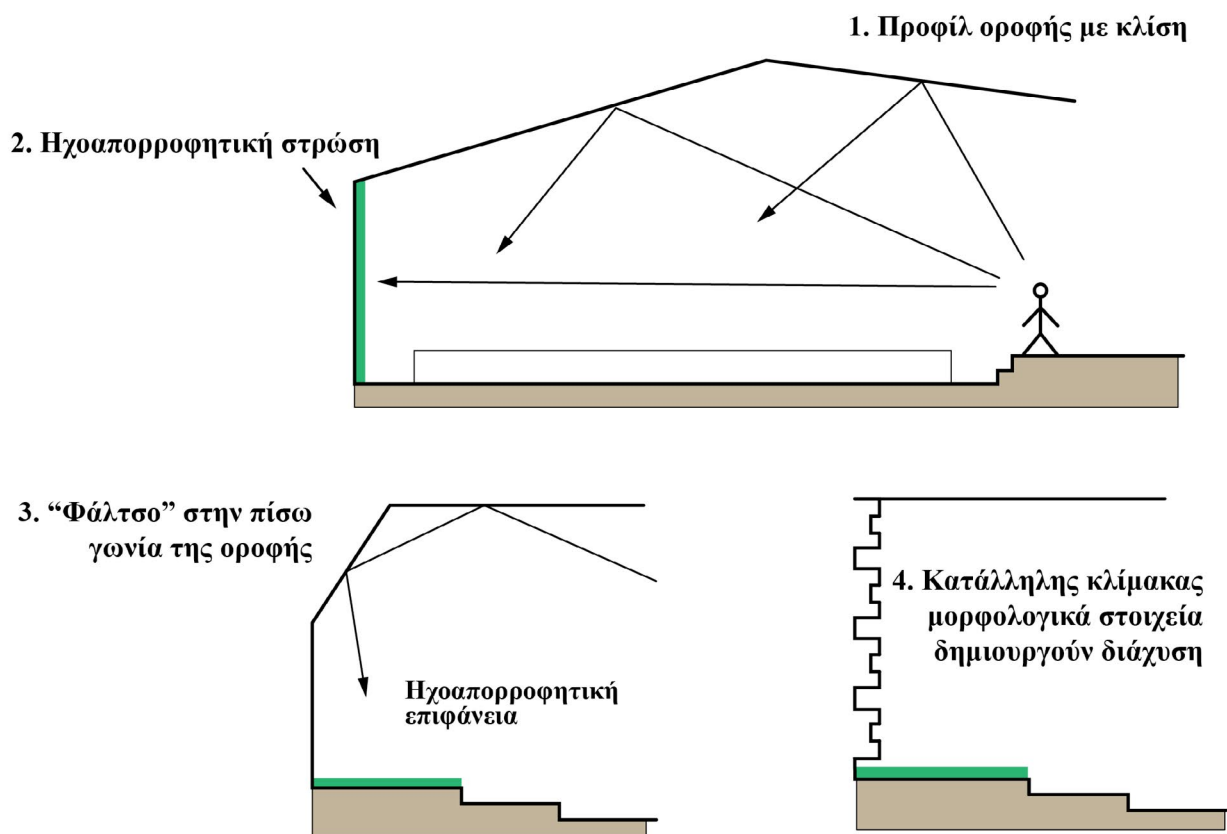
Σχήμα 2.21 Προϋποθέσεις δημιουργίας ηχούς

$$[(SAB)-(SB)] \geq \left\{ \begin{array}{l} 14.0 \text{ m (ομιλία)} \\ 34.0 \text{ m (μουσική)} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{ΗΧΩ}$$

2.2.2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΤΗΣ ΗΧΟΥΣ



Σχήμα 2.22 Επιφάνειες που συνήθως δημιουργούν ηχώ

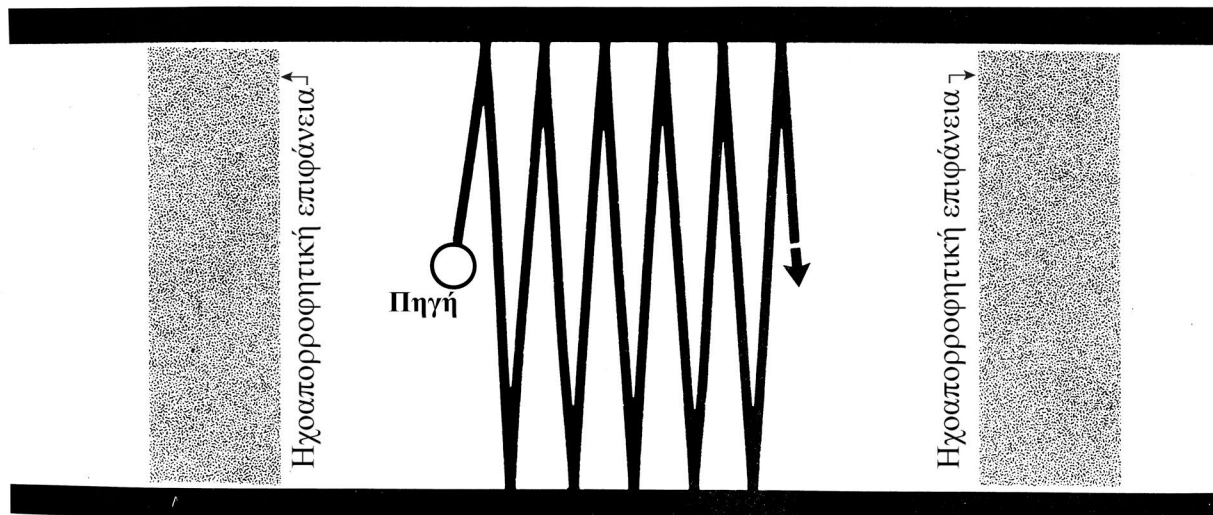


Σχήμα 2.23 Τεχνικές σχεδιασμού αποφυγής της ηχούς σε κλειστό χώρο

2.2.3. ΠΛΑΤΑΓΙΣΜΟΣ (FLUTTER ECHO)

2.2.3.1. ΟΡΙΣΜΟΣ

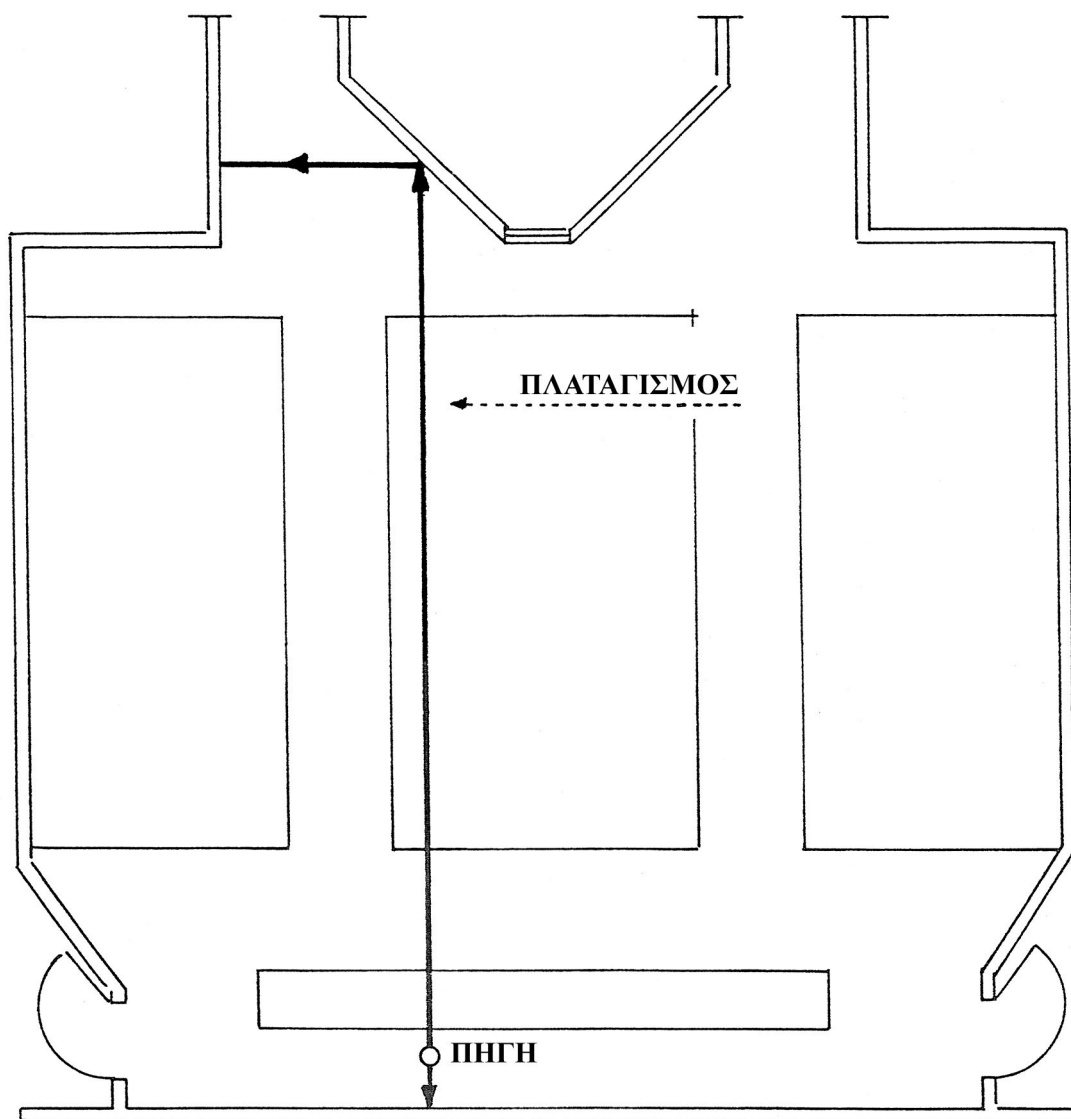
- Πλαταγισμός είναι το αποτέλεσμα μιας επαναλαμβανόμενης ανάκλασης σχετικά έντονης.



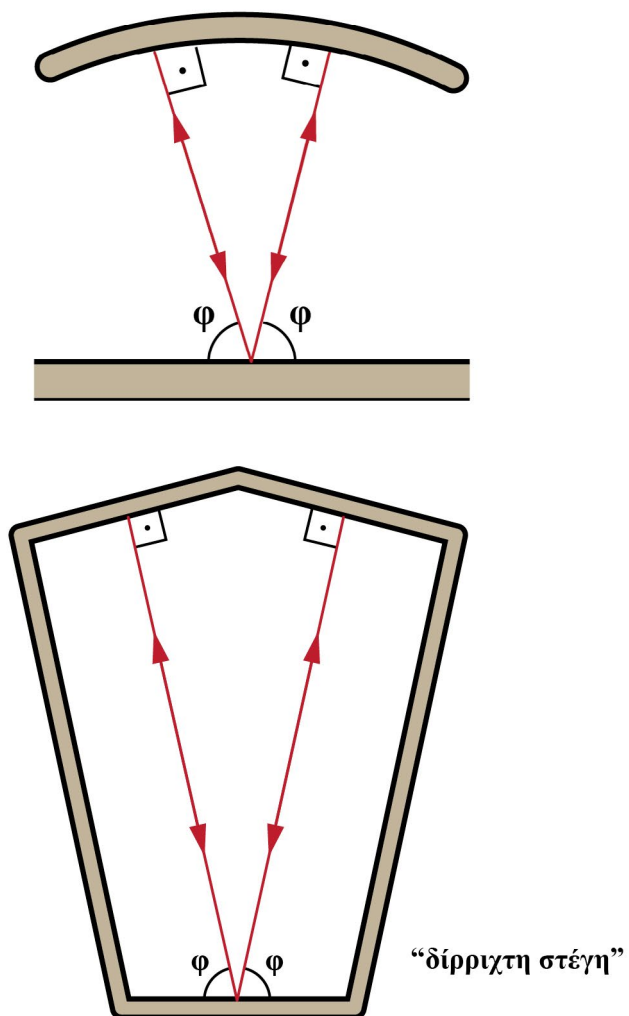
Σχήμα 2.24 Σχηματική απεικόνιση ανάπτυξης πλαταγισμού (© SRL, 1976)

- Επαναλαμβανόμενη ανάκλαση σχετικά έντονη μπορεί να συμβεί π.χ. μεταξύ παραλλήλων ανακλαστικών επιφανειών, υπό την προϋπόθεση ότι οι άλλες επιφάνειες του χώρου είναι ηχοαπορροφητικές.
- Ο πλαταγισμός συνήθως συνοδεύεται από κάποια χρωματική αλλοίωση του ήχου, διότι κάποιες συχνότητες αυτού αντιστοιχούν σε **στάσιμα κύματα** (συχνότητες συντονισμού) του χώρου (Βλέπε ενότητα «2.2.1. ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ (ΣΤΑΣΙΜΑ ΚΥΜΑΤΑ)»).

Παράδειγμα 1



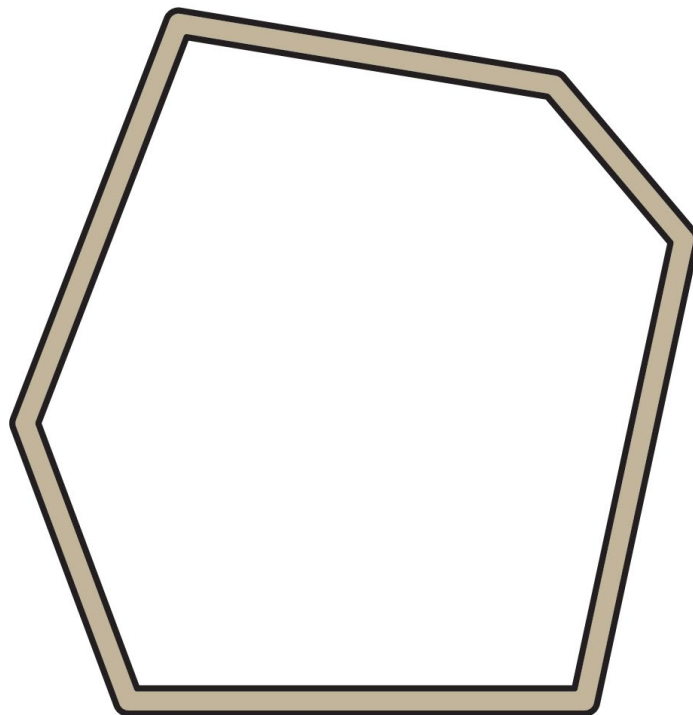
Σχήμα 2.25 Κάτοψη αίθουσας διδασκαλίας όπου ενθαρρύνεται η ανάπτυξη πλαταγισμού.



Σχήμα 2.26 Σχηματική απεικόνιση χώρων είτε σε κάτοψη είτε σε τομή, που ενθαρρύνει την ανάπτυξη πλαταγισμού

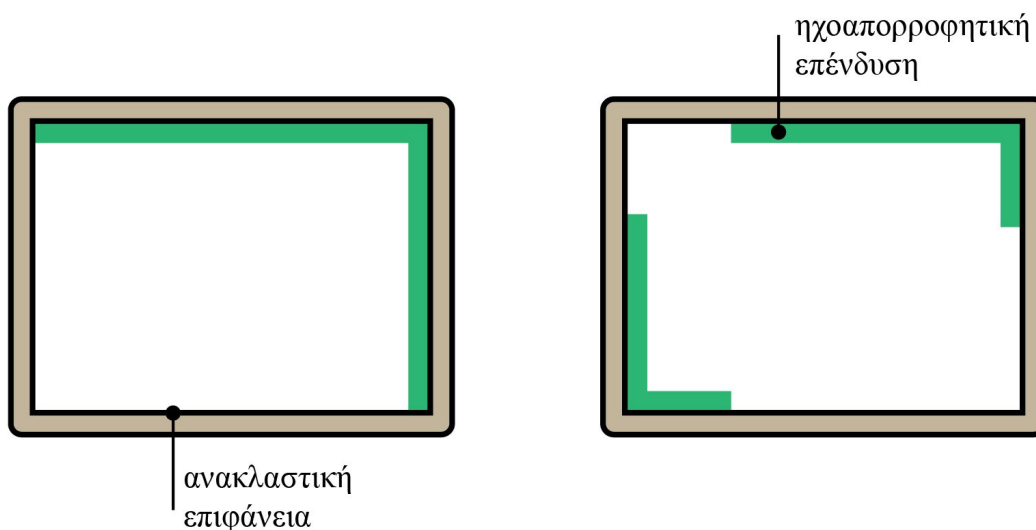
2.2.3.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΠΛΑΤΑΓΙΣΜΟΥ

- Αποφυγή παραλληλίας μεταξύ αντικρουστών παρειών του χώρου



Σχήμα 2.27 Σχηματική απεικόνιση κάτοψης χώρου που αποθαρρύνει την ανάπτυξη πλαταγισμού

- Χρήση ηχοαπορροφητικής επένδυσης σε μία τουλάχιστον επιφάνεια για κάθε ζεύγος παραλλήλων παρειών του χώρου.

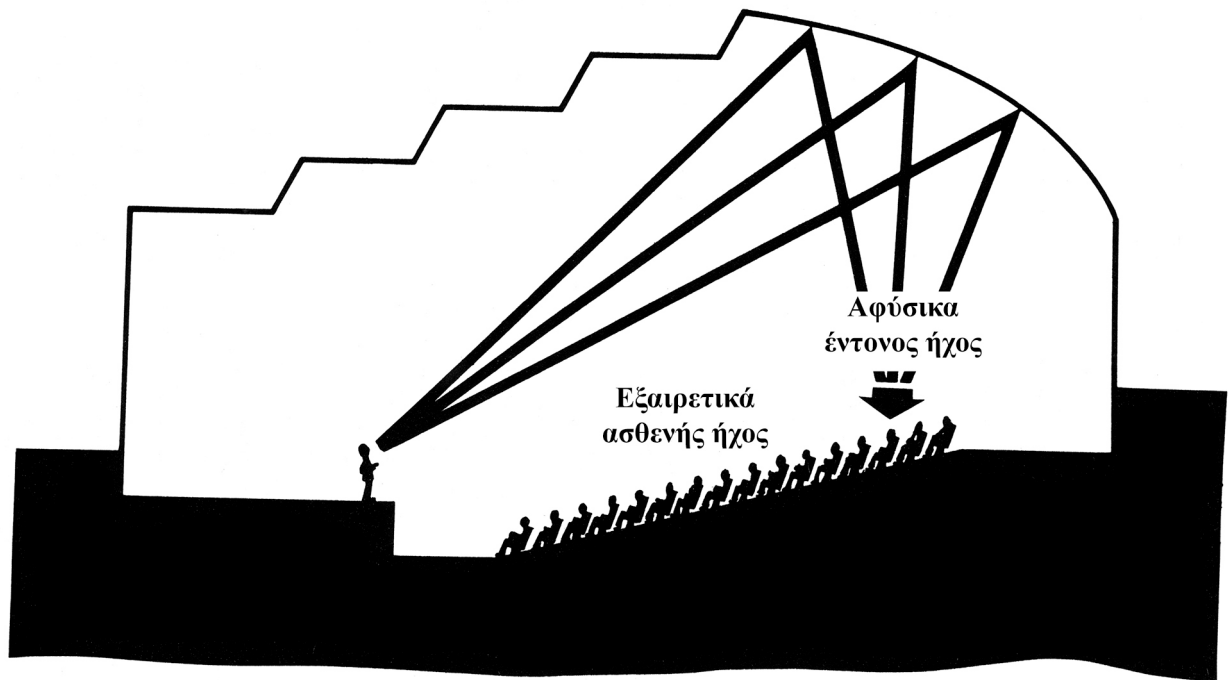


Σχήμα 2.28 Σχηματική απεικόνιση χώρων όπου αποθαρρύνεται η ανάπτυξη πλαταγισμού

- Χρήση μορφολογικών στοιχείων (δημιουργία διάχυτου ήχου) σε μία τουλάχιστον επιφάνεια για κάθε ζεύγος παραλλήλων παρειών του χώρου.

2.2.4. ΕΣΤΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

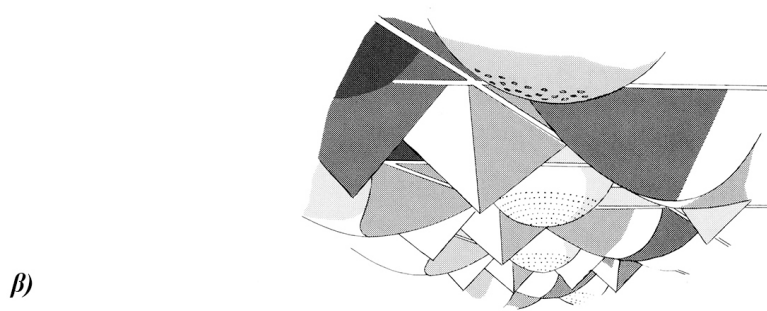
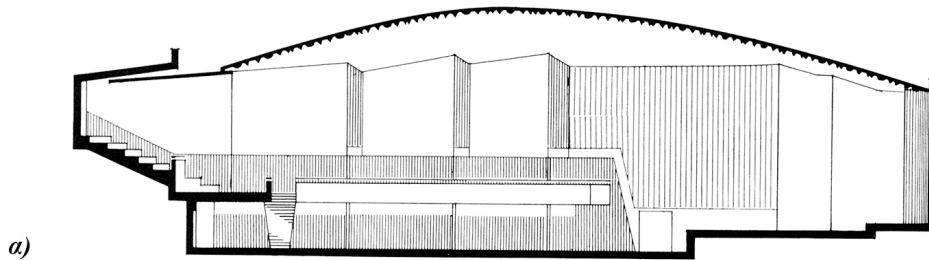
2.2.4.1. ΟΡΙΣΜΟΣ



Σχήμα 2.29 Σχηματική απεικόνιση συνθηκών δημιουργίας εστιασμού του ήχου σε αίθουσες ακροατηρίου (© SRL, 1976)

- Αποφυγή κοίλων επιφανειών
- Χρήση στοιχείων διάχυσης στις κοίλες επιφάνειες

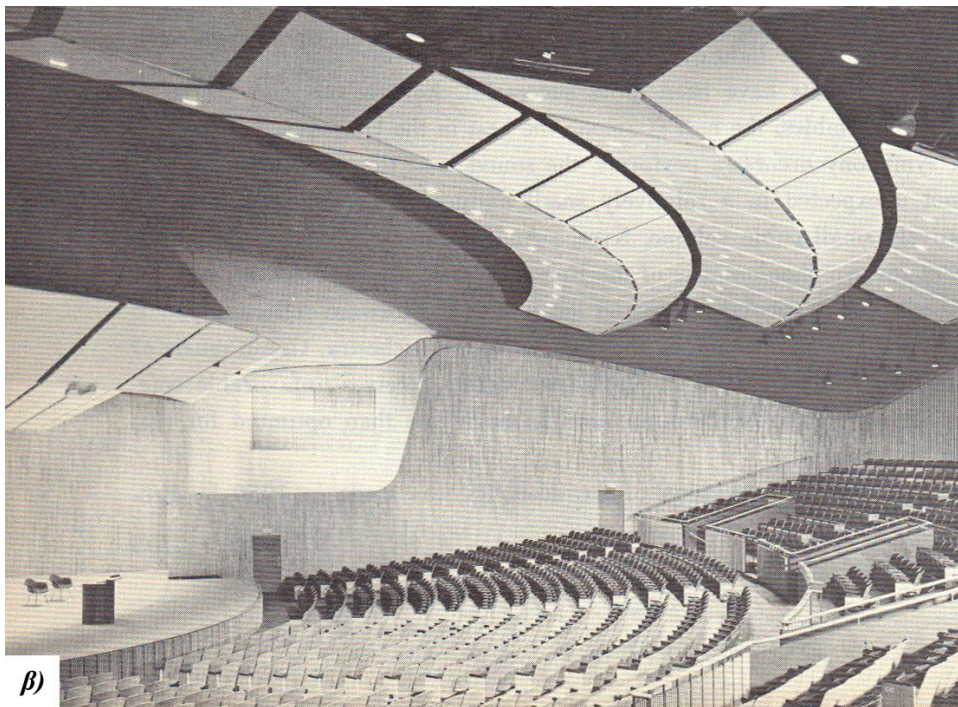
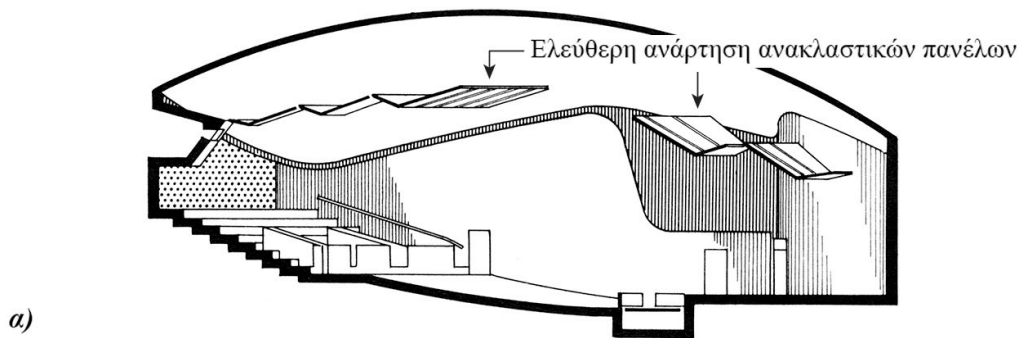
Παράδειγμα:



Σχήμα 2.30 Beethovenhalle, Βόνη, Γερμανία. Έτος 1957, ≈ 1400 άτομα. Αρχ/των: S. Wolske, Σύμβ. ακουστικής: E. Meyer. α) Τομή κατά μήκος, β) Λεπτομέρεια στοιχείων διάχυσης οροφής, γ) Εσωτερική άποψη. (© Beranek, 1962)

- Χρήση αναρτημένων στοιχείων, που αποτρέπει τον εστιασμό του ήχου στην κοίλη οροφή.

Παράδειγμα:



Σχήμα 2.31 Kresge Auditorium, Cambridge USA. Έτος 1955, ≈ 1250 άτομα. Αρχ/των: E. Saarinen, Σύμβ. ακουστικής: Bolt, Beranek, Newman. **α)** Τομή κατά μήκος, **β)** Εσωτερική άποψη. (© Beranek, 1962). **γ)** Εξωτερική άποψη. (en. wikipedia.org). Το τρουλλοειδές κέλυφος δεν ταιριάζει λειτουργικά στον εσωτερικό χώρο. Είναι όμως εμπνευσμένο μονοσήμαντα από το ένστικτο του αρχιτέκτονα για καθαρές μορφές με απέριτο χαρακτήρα.

- Χρήση ηχοαπορροφητικής επένδυσης σε κοίλες επιφάνειες

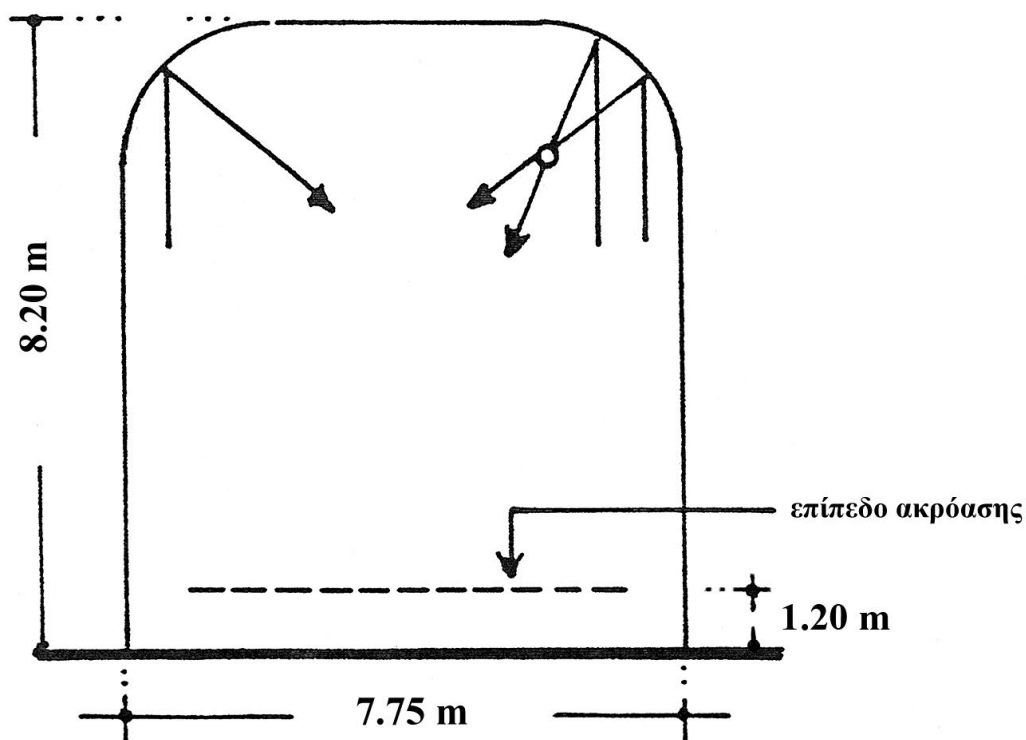
Παράδειγμα:



Σχήμα 2.32 Χρήση ειδικών διάτρητων ηχοαπορροφητικών τούβλων στην καμπυλόγραμμη πλευρική παρειά χώρου ακροατηρίου.

- Το / τα εστιακά σημεία της κοίλης επιφάνειας να επιλέγονται εκτός του επιπέδου ακρόασης

Παράδειγμα:



Σχήμα 2.33 Νεοκλασικό αμφιθέατρο διδασκαλίας στο ΕΜΠ. Εγκάρσια τομή. Χάρης στην υψηλή οροφή, τα εστιακά σημεία των θολωτών επιφανειών ευρίσκονται εκτός του επιπέδου ακρόασης. (βλέπε «Σχήμα 2.7 Νεοκλασικό αμφιθέατρο διδασκαλίας στο ΕΜΠ. ≈ 100 άτομα. Επισκευή, Τεχν. υπηρεσία ΕΜΠ, Σύμβ. ακουστικής: Α. Σωτηροπούλου. Παράδειγμα διάχυσης, με χρήση εναλλάξ ηχοαπορροφητικών και ηχοανακλαστικών πανέλων τοποθετημένων πίσω από το υφασμάτινο τελείωμα»)

2.2.5. ΠΑΡΕΙΣΔΥΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΚΑΙ ΚΡΑΔΑΣΜΩΝ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

- Αποτελεί σοβαρό μειονέκτημα για τον χώρο όταν ενοχλεί στην ακρόαση του χρήσιμου ήχου.
- Αποτελεί αντικείμενο του «Σχεδιασμού ηχοπροστασίας του κτιρίου», το οποίο διδάσκεται σε ξεχωριστό εξάμηνο και αποτελεί αντικείμενο άλλου αυτοτελούς πονήματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Beranek, L.L. (1962). *Music, Acoustics and Architecture*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Beranek, L.L. (1996). *Concert and Opera Halls, How they sound*. New York: Am. Inst. Physics press for the Acoust. Soc. Am.
- BRE Digest (1976). The acoustics of rooms for speech. *Building Research Establishment, Digest 192*.
- McCue, E. & Talaske, R.H. (Eds.) (1990). *Acoustical Design of Music Education Facilities*. New York: Am. Inst. Physics press for the Acoust. Soc. Am.
- SRL (1976). *Practical Building Acoustics*. London: Sound research laboratories Ltd.
- Webb, J.D. (1978). *Noise control in industry. 2nd ed.* London: Sound research laboratories Ltd.
- Σωτηροπούλου, Α. (2014). Σεβαστοπούλειο εκπαιδευτικό συγκρότημα στην Αθήνα· ακουστικός σχεδιασμός αμφιθεάτρου 180-θέσεων. 7ο Πανελλήνιο Συνέδριο 'ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2014', 20-21 Οκτωβρίου 2014 (<http://conferences.helina.gr/2014/gr>). Θεσσαλονίκη: ΕΛΙΝΑ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΑΚΡΟΑΣΗΣ ΟΜΙΛΙΑΣ

3.1. ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΑΚΡΟΑΣΗΣ ΟΜΙΛΙΑΣ

3.1.1. ΚΑΤΑΛΗΠΤΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΟΜΙΛΙΑΣ (SPEECH INTELLIGIBILITY, "SI")

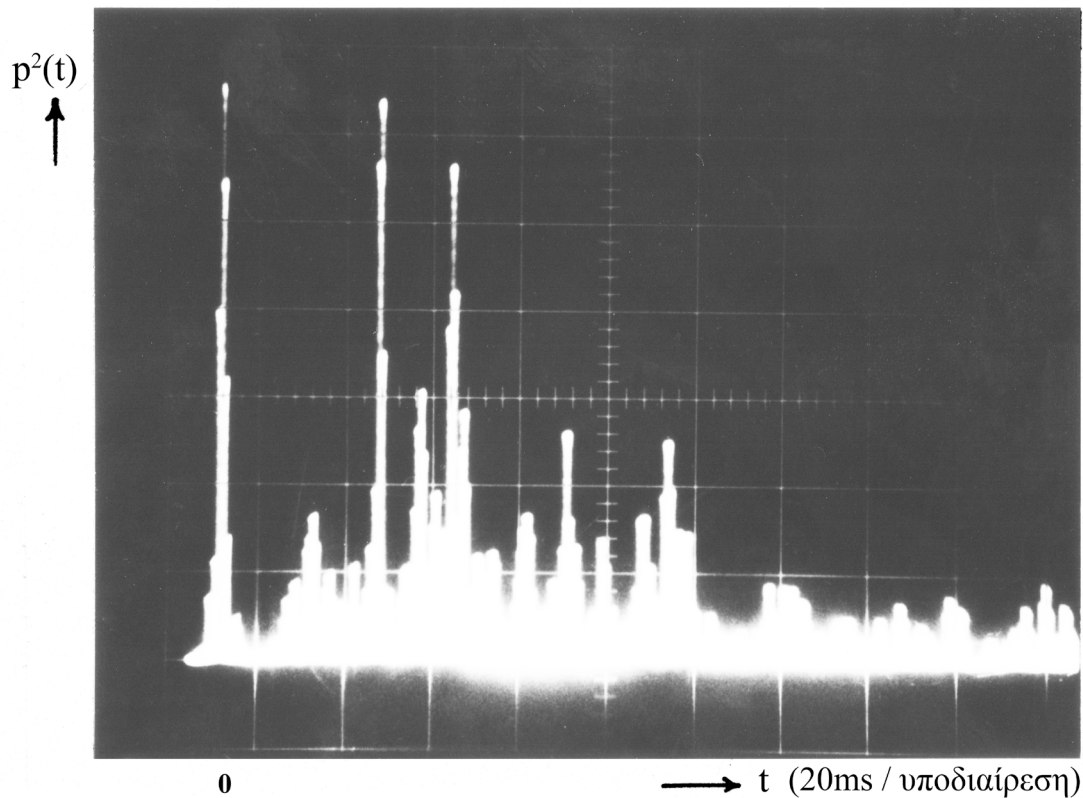


Σχήμα 3.1 Η καταληπτότητα της ομιλίας, ως (σημαντική) συνιστώσα της συνολικής αντίληψης της ακουστικής σε αίθουσες ακρόασης ομιλίας. Υπάρχουν και άλλες (λιγότερο διερευνημένες) συνιστώσες.

• Η **καταληπτότητα της ομιλίας** ορίζεται ως η **επί τοις εκατό καταληπτότητα των λέξεων της ομιλίας σε ένα σύστημα** π.χ. σε ένα χώρο, στο τηλέφωνο κλπ. (ANSI / ASA, 1997). Έχει υπάρξει αντικείμενο επιστημονικής έρευνας από την δεκαετία του 1940 όπου οι πρώτες εφαρμογές αφορούσαν σε συστήματα τηλεπικοινωνιών κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου πολέμου (French & Steinberg, 1947).

3.1.2. ΦΥΣΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΗΠΤΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΟΜΙΛΙΑΣ

- Κλάσμα των πρώιμων ανακλάσεων (50 ms early energy fraction, "EEF₅₀") (Thiele, 1953)
- Δείκτης μετάδοσης ομιλίας (speech transmission index, "STI") (Houtgast, Steeneken & Plomp, 1980)
- Λόγος του χρήσιμου-προς-τον επιζήμιο ήχο (useful-to-detrimental energy ratio) (Bradley, 1986)
- κλπ.



Σχήμα 3.2 Διάγραμμα των ανακλάσεων του ήχου (*impulse response*) σε κλειστό χώρο, συναρτήσει του χρόνου "t" από τη στιγμή 0 (άφιξη του απ' ευθείας ήχου). $p^2(t)$: ηχητική ενέργεια

3.1.3. ΦΥΣΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΗΠΤΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΟΜΙΛΙΑΣ, ΕΥΡΕΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ

Συνεχ. (1 από 2)

Κριτήρια επιλογής κριτηρίων (Hawkes, 1985) :

- i) Δυνατότητα μέτρησης και/ή
- ii) Δυνατότητα υπολογιστικού προσδιορισμού

Φυσικά κριτήρια ευρείας χρήσης:

i) Κλάσμα των πρώιμων ανακλάσεων, "EEF₅₀"

• Ορισμός :

$$EEF_{50} = \frac{\text{ΗΧΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΦΘΑΝΕΙ ΣΤΟΝ ΑΚΡΟΑΤΗ ΕΝΤΟΣ 50 ms}^*}{\text{ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΗΧΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΦΘΑΝΕΙ ΣΤΟΝ ΑΚΡΟΑΤΗ}^*}$$

* Έναρξη χρόνου είναι η στιγμή άφιξης στον ακροατή του απ' ευθείας ήχου

• Βέλτιστη τιμή: EEF₅₀ = 0.50

• Φασματική κατανομή (στάθμιση σύμφωνα με την συμμετοχή κάθε συχνότητας στην καταληπτότητα της ομιλίας):

Οκταβικές ζώνες, [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Συντελεστής στάθμισης	0.13	0.14	0.11	0.15	0.23	0.24

• Υπολογιστικός προσδιορισμός (Barron, 1988):

$$EEF_{50} = \frac{(d+e_r)}{(d+e_r+1)}$$

όπου:

d: ενέργεια του απ' ευθείας ήχου, ως προς τον απ' ευθείας ήχο της ίδιας πηγής στο ύπαιθρο σε απόσταση 10 m. {d = 100 / r } όπου r: απόσταση από την πηγή σε m.

e_r: ανακλώμενη ηχητική ενέργεια που φθάνει στον ακροατή εντός 50 ms μετά τον απ' ευθείας ήχο, ως προς τον απ' ευθείας ήχο της ίδιας πηγής στο ύπαιθρο σε απόσταση 10 m. {e_r = (31200 T/V) e^{-0.04 r/T} (1-e^{-1.11/T})} όπου V: όγκος του χώρου σε m³ και T: χρόνος αντήχησης σε s.

1: ηχητική ενέργεια που φθάνει στον ακροατή μετά τα 50 ms, ως προς τον απ' ευθείας ήχο της ίδιας πηγής στο ύπαιθρο σε απόσταση 10m. {1 = (31200 T/V) e^{-0.04 r/T} e^{-1.11/T}}.

Παραδοχή: Διάχυτο ηχητικό πεδίο.

ii) Λόγος του σήματος-προς-τον θόρυβο (signal-to-noise ratio), "S-to-N ratio"

(2 από 2)

• Ορισμός

Σήμα: Ο ήχος της ομιλίας στη θέση του ακροατή

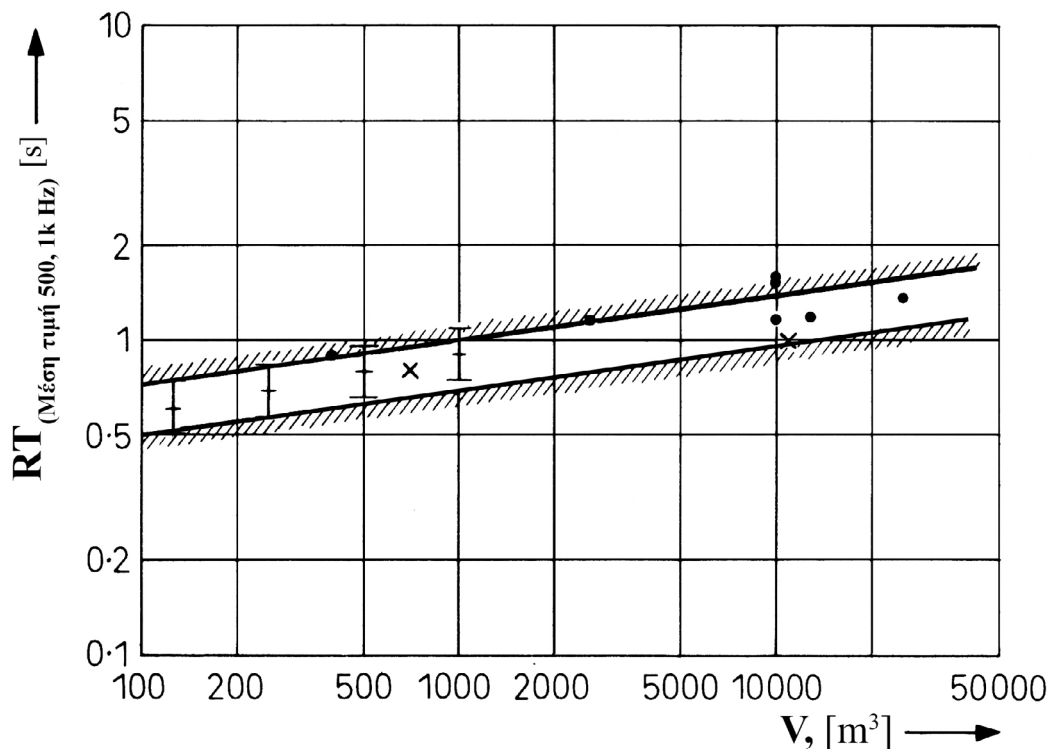
Θόρυβος: Παρεισδύων απ' έξω θόρυβος, θόρυβος του συστήματος κλιματισμού του χώρου, θόρυβος αναπνοής του κοινού (Kleiner, 1981), κλπ.

• Βέλτιστη τιμή ≥ 10 dB (Barron, 1986)

iii) Χρόνος Αντήχησης (βλέπε ενότητα «2.1.4.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ»)

• Βέλτιστες τιμές

Συνιστώμενος όγκος ανά άτομο [m^3] (Doelle 1972)		
Ελάχιστος	Βέλτιστος	Μέγιστος
2.3	3.1	4.3



Σχήμα 3.3 Επιθυμητές τιμές του χρόνου αντήχησης (RT) για αίθουσες ακρόασης ομιλίας με ακροατήριο, συναρτήσει του όγκου (V) του χώρου. **Άνω όριο**, επιτυγχάνονται σχετικά υψηλές στάθμες ήχου. **Κάτω όριο**: επιτυγχάνεται σχετικά υψηλή καταληπτότητα της ομιλίας. Για θεατρικές παραστάσεις το άνω όριο αυξάνεται κατά 10 - 20%, αυλαία κλειστή. (© Cremer et al, 1982)

• Φασματική κατανομή

Συνιστάται να μην υπάρχει μεταβολή του χρόνου αντήχησης στο φάσμα συχνοτήτων.

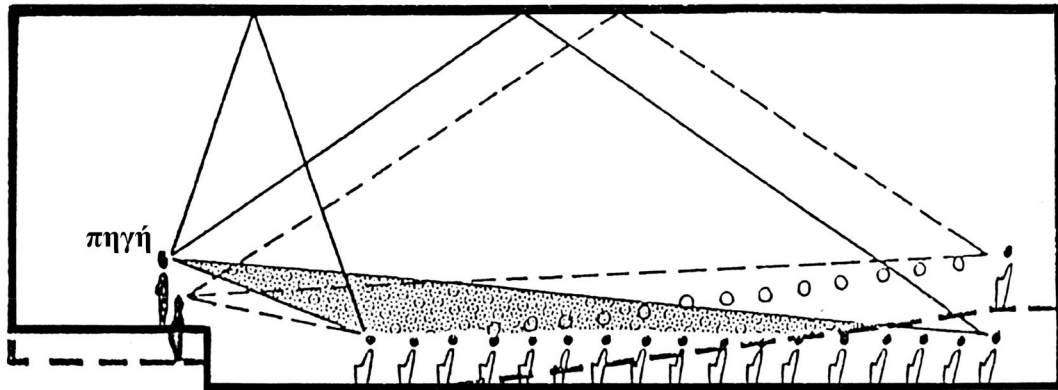
3.2. ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΑΚΡΟΑΣΗΣ ΟΜΙΛΙΑΣ

3.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΦΥΣΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ (βλέπε ενότητα «3.1.3. ΦΥΣΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΗΠΤΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΟΜΙΛΙΑΣ, ΕΥΡΕΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ»)	ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
1. ΚΛΑΣΜΑ ΤΩΝ ΠΡΩΙΜΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ	• Σχεδιασμός βελτιστοποίησης του απ' ευθείας ήχου • Σχεδιασμός εξασφάλισης άφθονων πρώιμων ανακλάσεων
2. ΛΟΓΟΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ - ΠΡΟΣ - ΤΟΝ - ΘΟΡΥΒΟ	• Σχεδιασμός διατήρησης χαμηλών επιπέδων θορύβου
3. ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ	• Βελτιστοποίηση του όγκου της αίθουσας και των ηχοαπορροφητικών υλικών

3.2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΠ' ΕΥΘΕΙΑΣ ΗΧΟΥ

3.2.2.1. ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΑΠΡΟΣΚΟΠΤΗΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΠ' ΕΥΘΕΙΑΣ ΗΧΟΥ



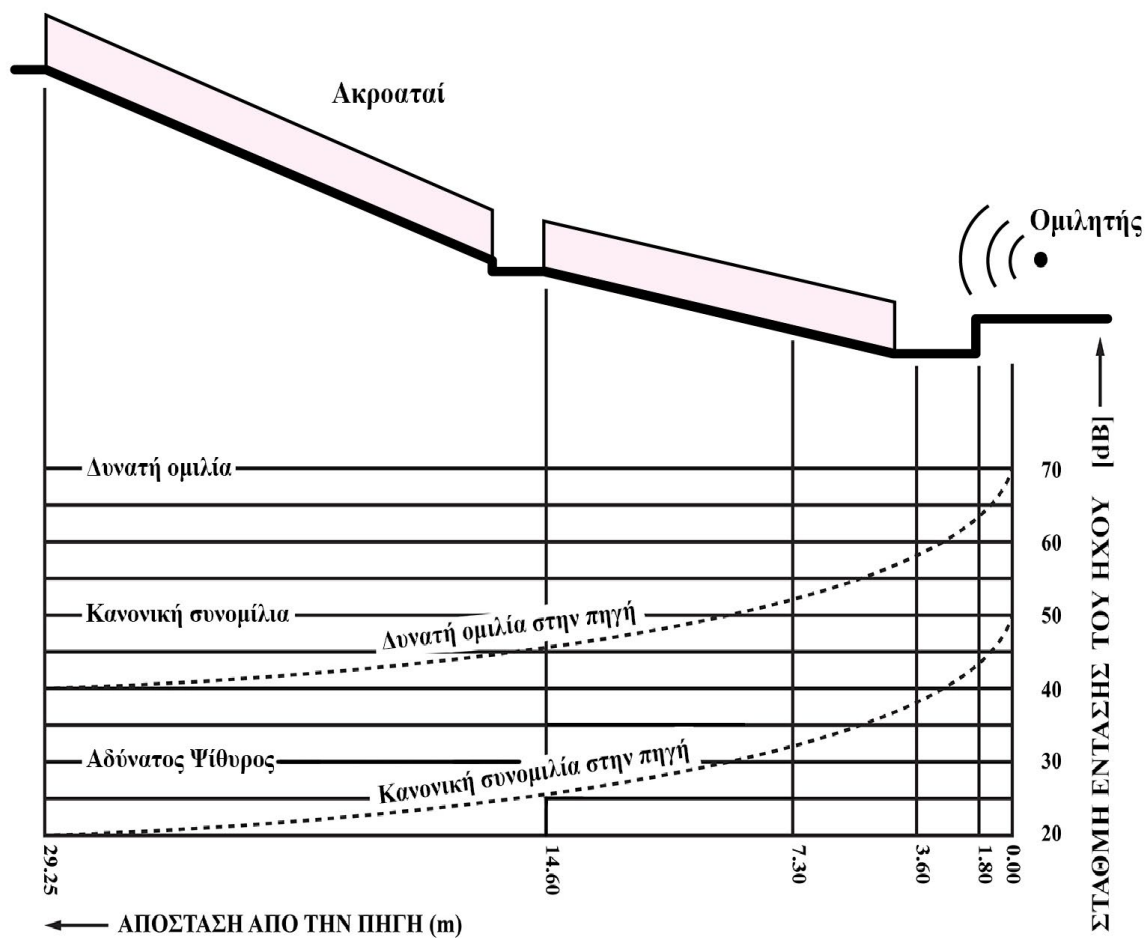
Σχήμα 3.4 Τομή κατά μήκος αίθουσας διδασκαλίας, όπου είναι προφανές ότι το κεκλιμένο δάπεδο του ακροατηρίου και η εξέδρα στον ομιλητή επιτρέπουν στον απ' ευθείας ήχο να φθάνει απρόσκοπτα στο ακροατήριο, σε αντίθεση με την περίπτωση του οριζοντίου δαπέδου. (© IHS, αναπαρήχθη κατόπιν αδείας από το BRE DG 192, 1976)

Τεχνικές σχεδιασμού:

- Χρήση εξέδρας για τον ομιλητή.
- Χρήση **κεκλιμένου** επίπεδου για το ακροατήριο (υιοθετείται για πρώτη φορά στα αρχαία Ελληνικά θέατρα).
- Συνδυασμός των δύο τεχνικών.



Σχήμα 3.5 Αρχαίο θέατρο της Επιδαύρου. Τέλη 4^{ου} και μέσα 2^{ου} π.Χ. αιώνα, ≈ 14000 άτομα. Αρχ/των: Πολύκλειτος ο νεότερος (Πανσανίας). Άποψη προς τις κερκίδες (en.wikipedia.org)



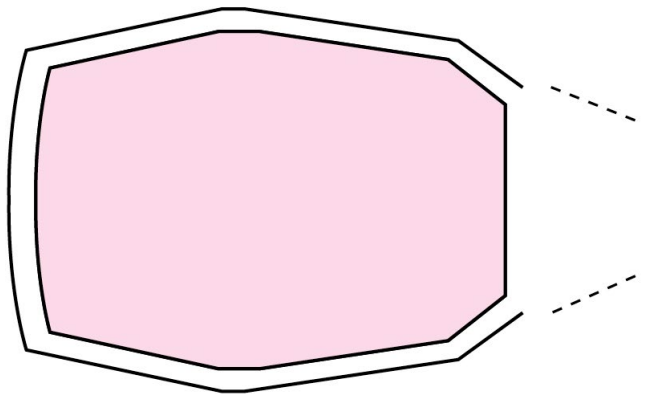
Σχήμα 3.6 Η στάθμη του απ' ευθείας ήχου της φωνής του ομιλητή συναρτήσει της απόστασης από την πηγή. Είναι προφανής η σημαντική απόσβεση. Σε απόσταση 30 m από τον ομιλητή, η στάθμη του απ' ευθείας ήχου της φωνής του ομιλητή θα έχει μειωθεί κατά 30 dB, δηλαδή πρακτικά μόλις που θα ακούγεται.

Πρακτικός κανόνας:

Σε αίθουσες ακρόασης ομιλίας, η **μέγιστη** αποδεκτή **απόσταση** ομιλητή - ακροατών είναι τα **20 m**.

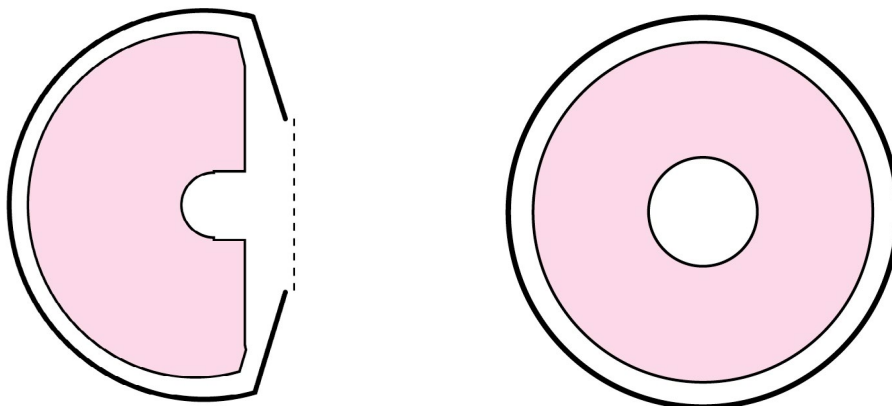
Τεχνικές σχεδιασμού:

- Μείωση της χωρητικότητας της αίθουσας.
- Χρήση αβαθών εξωστών που φιλοξενούν περισσότερο κοινό χωρίς να αυξάνονται οι αποστάσεις ομιλητή-ακροατών.

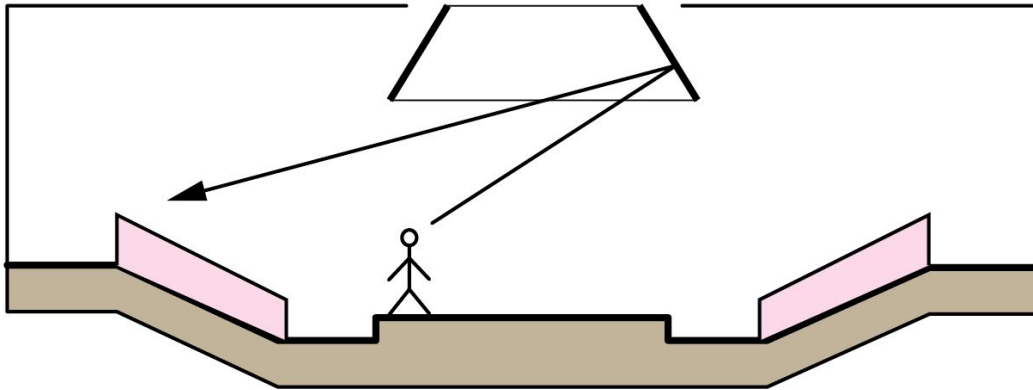


Σχήμα 3.7 Κλασική ορθογωνική διάταξη

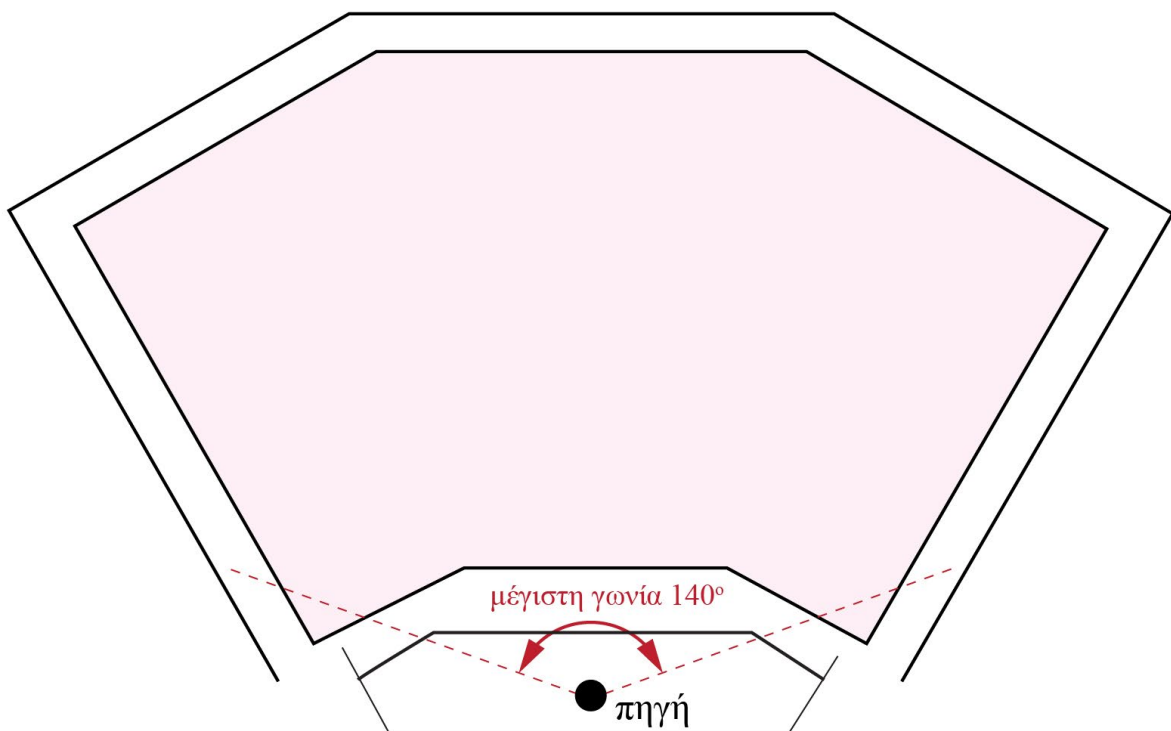
- Χρήση αμφιθεατρικής ή κυκλικής διάταξης του κοινού περί τα δρώμενα. Έτσι φιλοξενείται περισσότερο κοινό χωρίς να αυξάνονται οι αποστάσεις ομιλητή - ακροατών.



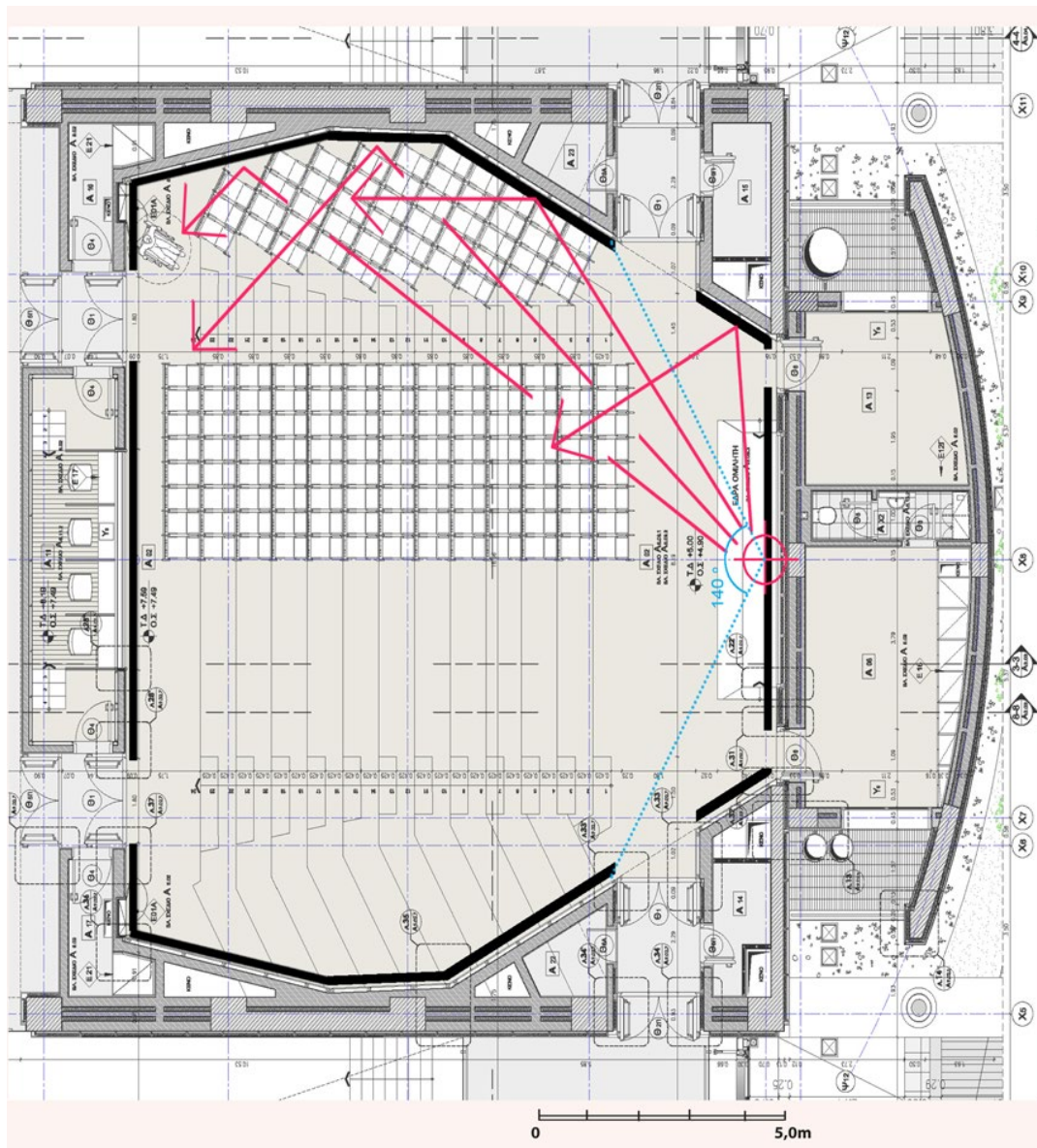
Σχήμα 3.8 (αριστερά) Αμφιθεατρική διάταξη, (δεξιά) Κυκλική διάταξη



Σχήμα 3.9 Τομή αίθουσας κυκλικής διάταξης. Οι ανακλαστήρες προβάλλουν τη φωνή του ομιλητή στο ακροατήριο που ευρίσκεται σε δυσμενή περιοχή, δηλαδή πίσω από τον ομιλητή.



Σχήμα 3.10 Κάτοψη αίθουσας διαλέξεων αμφιθεατρικής διάταξης. Το ακροατήριο είναι διατεταγμένο εντός γωνίας 140° ως προς τον ομιλητή. Πέραν αυτής της στερεάς γωνίας η κατευθυντικότητα της ανθρώπινης φωνής είναι σημαντικά μειωμένη.



Σχήμα 3.11 Αμφιθέατρο διαλέξεων 300-θέσεων, Συνεδριακό κέντρο Σχολής Πολ. Μηχ/κων ΕΜΠ. Έτος 2010 (μελέτη), Αρχ/των: Δ. Παπαϊωάννου & Συνεργάτες, Σύμβ. ακουστικής: Α. Σωτηροπούλου. Κάτοψη εμφανίσιμα τη διάταξη του ακροατηρίου εντός της κατάλληλης στερεάς γωνίας. (Σωτηροπούλου, 2010), (© Δ. Παπαϊωάννου)

3.2.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΠΡΩΙΜΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ

3.2.3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- **Θέση ανακλαστικών επιφανειών:**

- I) Πάνω από τον ομιλητή,
- II) στην οροφή,
- III) στις πλευρικές παρειές.

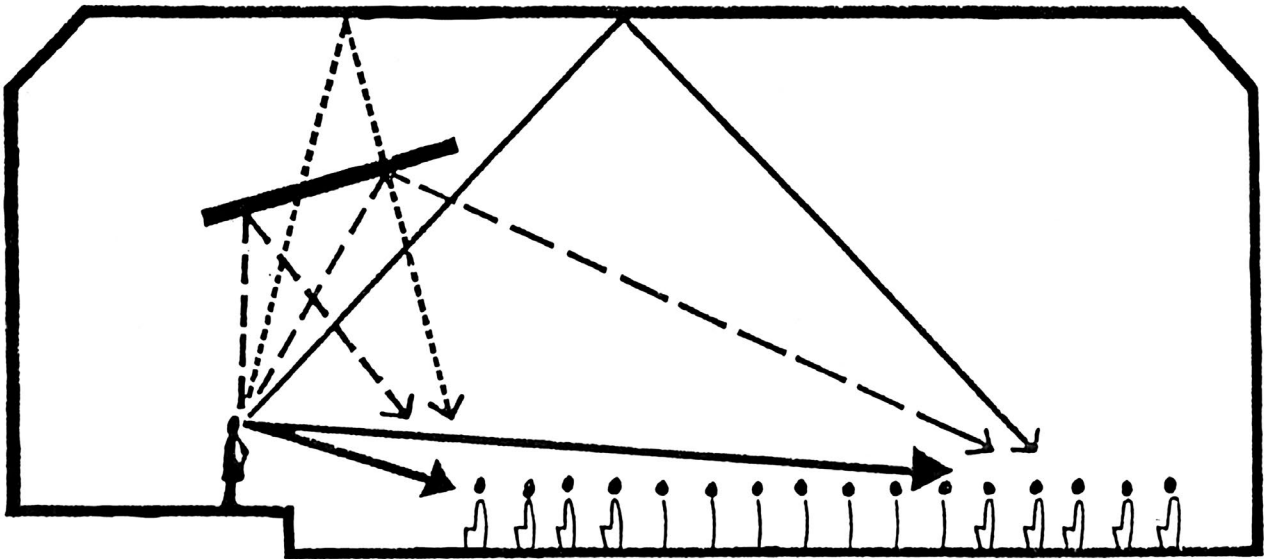
- **Διαστάσεις**

Η επιφάνεια των ανακλαστήρων να είναι σχετικά μεγάλη ως προς το μήκος κύματος του ήχου.

- **Υλικά κατασκευής**

Άκαμπτα με λείο και σκληρό τελείωμα π.χ. επίχρισμα, γυψοσανίδες, πλέξιγκλας, παχύ φύλλο ξύλου (2.5 cm), κλπ.

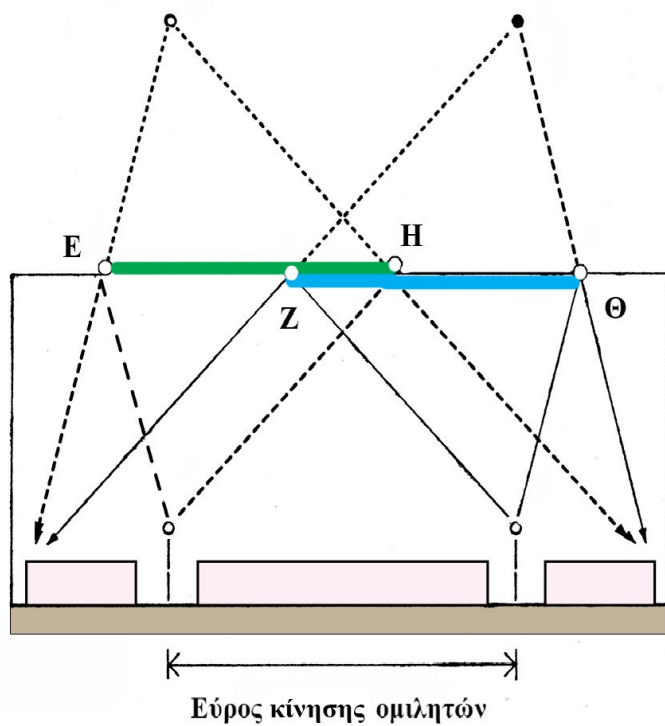
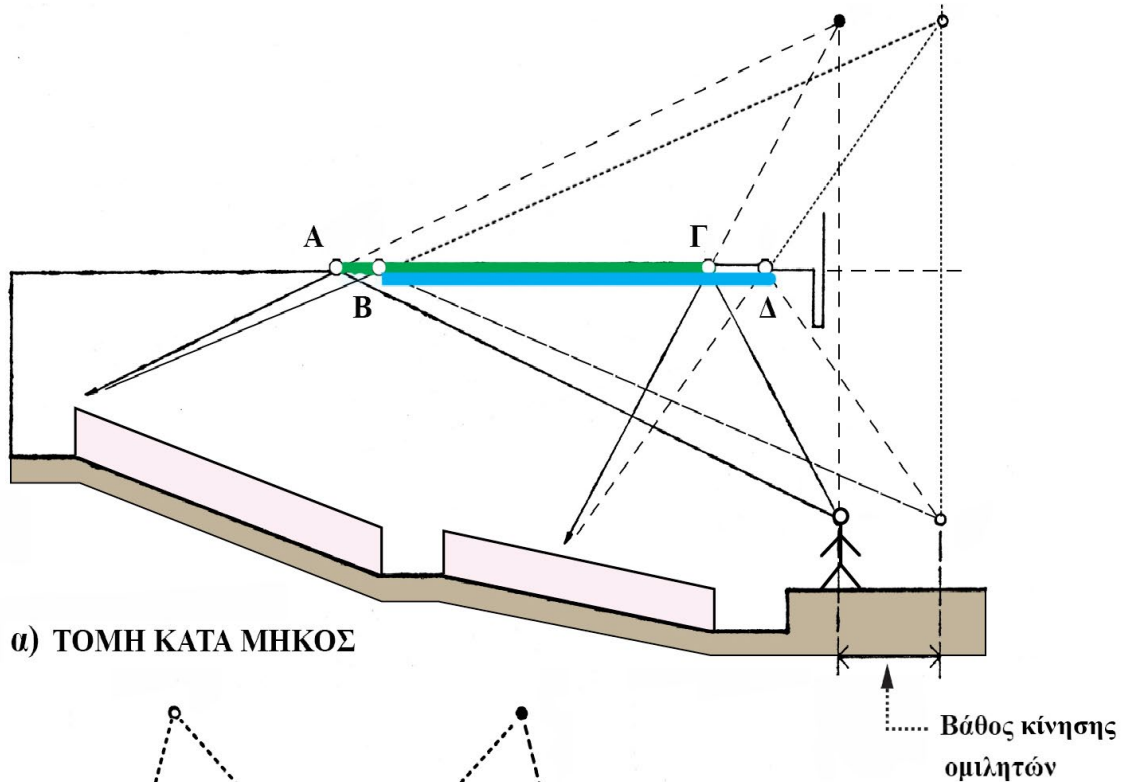
3.2.3.2. ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΟΜΙΛΗΤΗ



Σχήμα 3.12 Τομή αίθουσας διαλέξεων, με υψηλή οροφή. Ο ανακλαστήρας πάνω από την έδρα προβάλλει τον ήχο σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις από τον ομιλητή, σε αντίθεση με την περίπτωση που δεν υπάρχει ανακλαστήρας. (© IHS, αναπαρήχθη κατόπιν αδείας από το BRE DG 192, 1976)

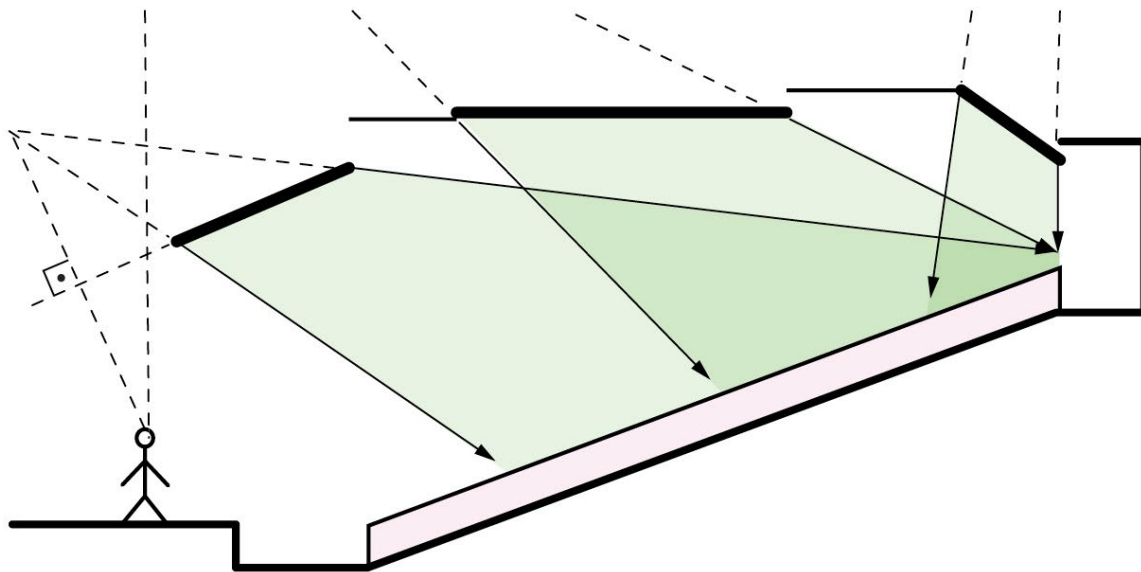
- Γυμνή ανακλαστική οροφή

Όταν η οροφή δεν είναι ιδιαίτερα υψηλή



Σχήμα 3.13 Σχηματική διάταξη εμφανίζουσα την (ενεργό) επιφάνεια της οροφής που είναι σε θέση να προβάλει στο ακροατήριο πρώιμες (χρήσιμες) ανακλάσεις

Παρατήρηση: Ένα μέρος της οριζόντιας οροφής παραμένει μη ενεργό, δηλαδή δεν προβάλλει πρώιμες (χρήσιμες) ανακλάσεις προς το ακροατήριο. ► Ανάγκη, συχνά, για ανακλαστική ψευδοροφή.



Σχήμα 3.14 Τομή κατά μήκος τυπικής αίθουσας διαλέξεων. Οι ανακλαστικές επιφάνειες της οροφής με την κατάλληλη κλίση, προβάλλουν τον ήχο προς το ακροατήριο. Οι ανακλάσεις πυκνώνουν σταδιακά προς τα πίσω καθίσματα, εκεί δηλ. όπου ο απ' ευθείας ήχος φθάνει σχετικά εξασθενημένος λόγω αποστάσεων.

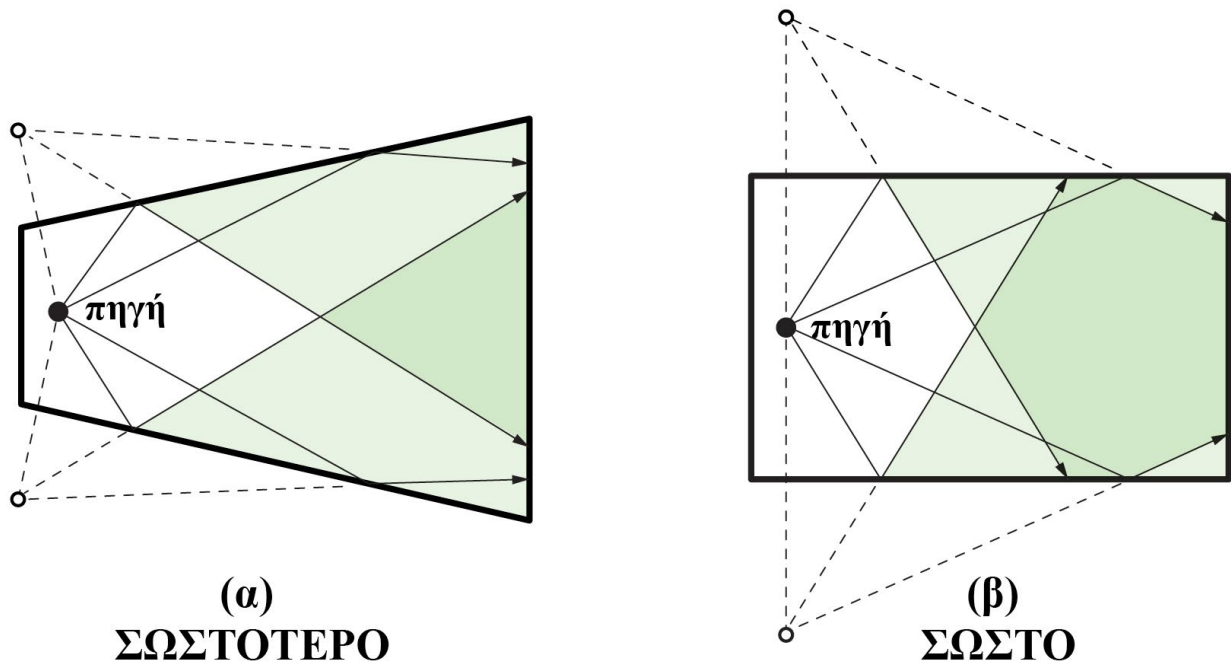
Παράδειγμα 1:



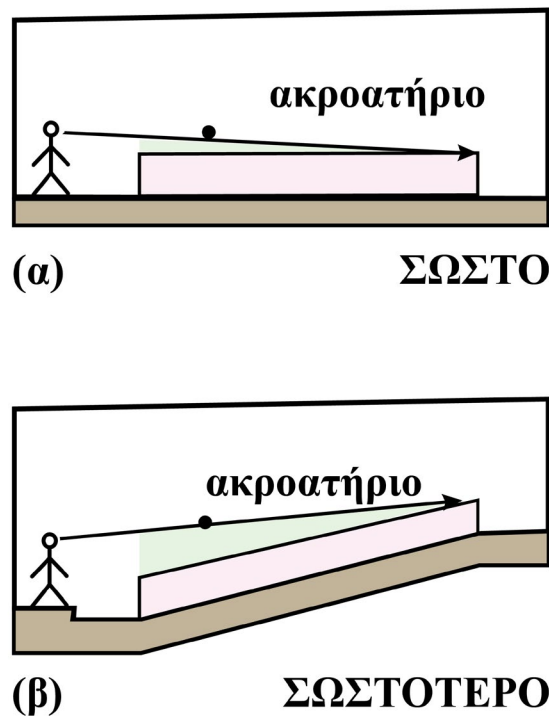
Σχήμα 3.15 Main Theater στο Triplex Center, Ν. Υόρκη. Έτος 1984, 1000 άτομα. Αρχ/των: Gaudill, Rowlett & Scott, Haines Lundberg Waehler/ Twitchell Miao, Σύμβ. ακουστ.: Peter George Ass. Inc. Άποψη προς το ακροατήριο. (© Talaske & Boner, 1986)



Σχήμα 3.16 Αμφιθέατρο διαλέξεων 300-θέσεων, Συνεδριακό κέντρο Σχολής Πολ. Μηχ/κων ΕΜΠ. α) Τομή β) Εσωτερική άποψη (© Δ. Παπαϊωάννου). Η αίθουσα φέρει ψευδοροφή κατάλληλης κλήσης από ανακλαστικές γυψοσανίδες (βλέπε «Σχήμα 3.11 Αμφιθέατρο διαλέξεων 300-θέσεων, Συνεδριακό κέντρο Σχολής Πολ. Μηχ/κων ΕΜΠ. Έτος 2010 (μελέτη), Αρχ/των: Δ. Παπαϊωάννου & Συνεργάτες, Σύμβ. ακουστικής: Α. Σωτηροπούλου. Κάτοψη εμφανίσιμα τη διάταξη του ακροατηρίου εντός της κατάλληλης στερεάς γωνίας. (Σωτηροπούλου, 2010), (© Δ. Παπαϊωάννου)»)

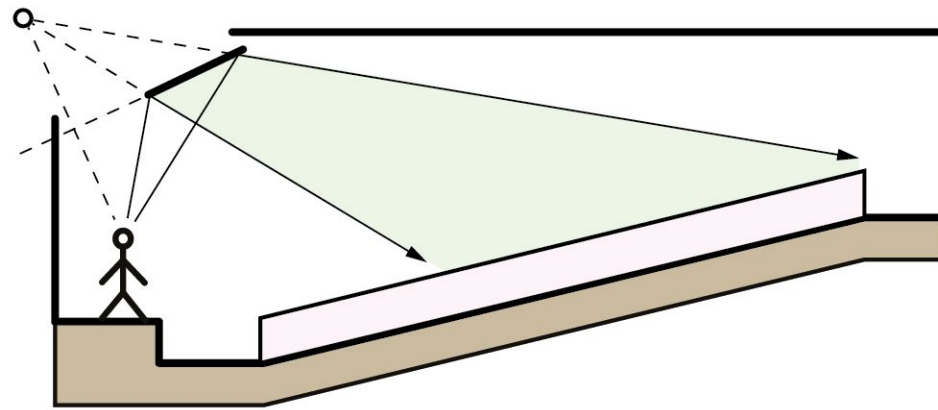


Σχήμα 3.17 Κατόψεις. Η κάτοψη σχήματος βεντάλιας (α), προτιμάται έναντι της ορθογωνικής κάτοψης (β), διότι προβάλλει τον ήχο αποτελεσματικότερα στα πίσω καθίσματα.

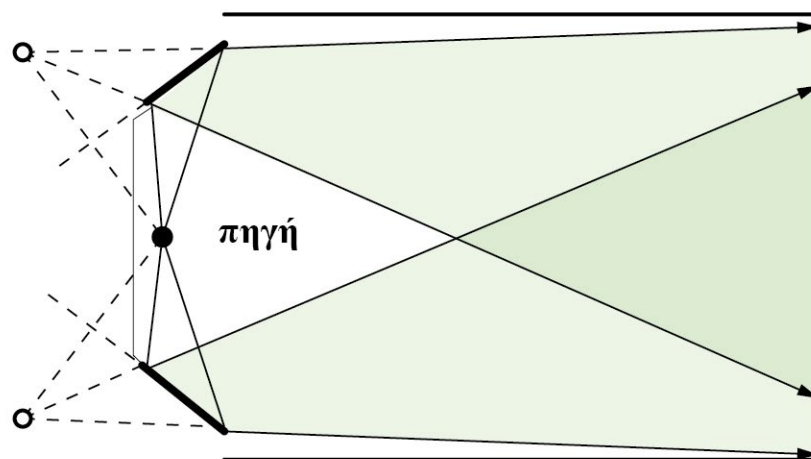


Σχήμα 3.18 Διαμήκεις τομές. Οι πλευρικές ανακλάσεις δεν είναι αποτελεσματικές στο κέντρο του ακροατηρίου, λόγω απορρόφησης κατά τη διέλευση των εφαιπτομενικά ως προς το ακροατήριο (α). Το αποτέλεσμα αυτό μετριάξει η διάταξη του ακροατηρίου επί κεκλιμένου επιπέδου (β).

Γιά επί πλέον πρώιμες ανακλάσεις συνιστάται η **διάταξη ανακλαστήρων** στο κέλυφος της αίθουσας γύρω **από τον ομιλητή**, όπως φαίνεται στα κατωτέρω σχήματα.

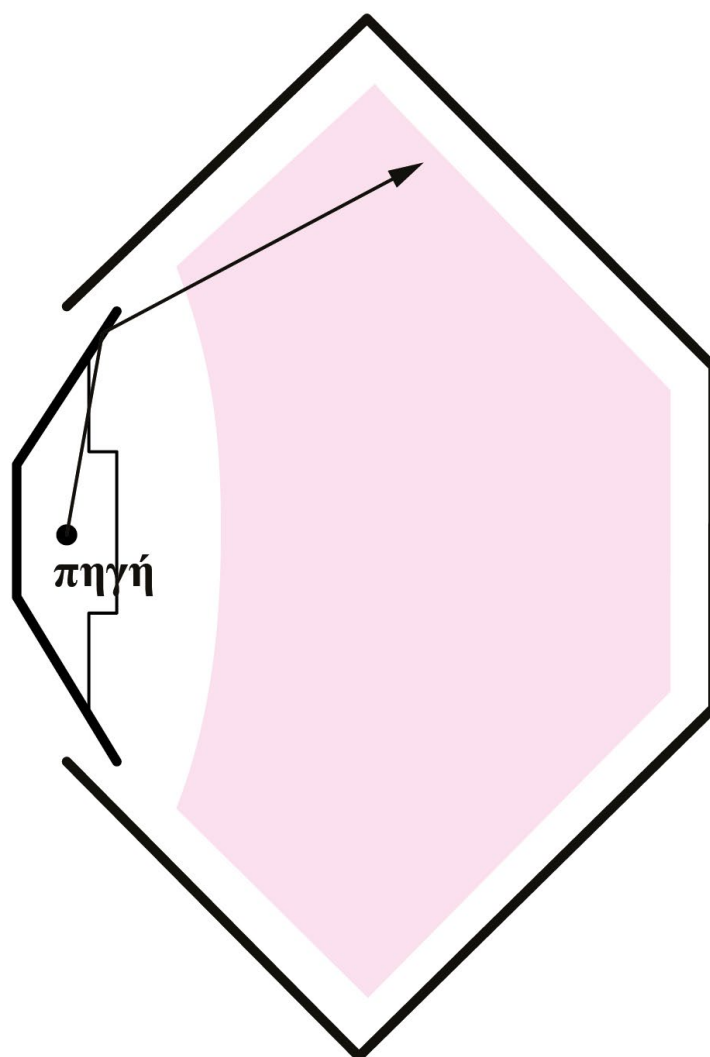


ΤΟΜΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ



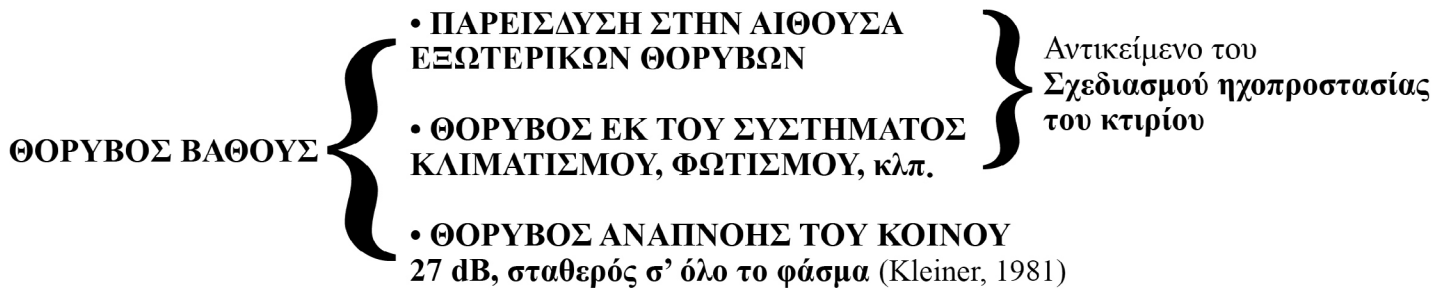
ΚΑΤΟΨΗ

Σχήμα 3.19 Σχηματική διάταξη εμφανίζουσα την κατανομή ανακλαστικών επιφανειών γύρω από τον ομιλητή



Σχήμα 3.20 Αμφιθέατρο διδασκαλίας. Κάτοψη. Χάρης στην διάταξη της κάτοψης σε σχήμα βεντάλιας, η διάταξη των ανακλαστήρων γύρω από τον ομιλητή αφομοιώνεται στο σχήμα της αίθουσας.

3.2.4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΒΑΘΟΥΣ



3.2.5. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ

Ο αλγόριθμος της ενότητας «2.1.4.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ» μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τον **βέλτιστο όγκο** αίθουσας ακρόασης ομιλίας καθώς και τα απαιτούμενα **ηχοαπορροφητικά υλικά** σε είδος και έκταση. Αυτές οι επιλογές αποτελούν την προϋπόθεση για βελτιστοποίηση του χρόνου αντήχησης.



3.2.6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΑΚΡΟΑΣΗΣ ΟΜΙΛΙΑΣ, – ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΟΔΗΓΟΣ

1ο ΒΗΜΑ :

Αρχικός (κατά προσέγγιση) **προσδιορισμός** επιθυμητού **όγκου** της αίθουσας (βλέπε ενότητα «3.1.3. ΦΥΣΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΗΠΤΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΟΜΙΛΙΑΣ, ΕΥΡΕΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ»).

2ο ΒΗΜΑ :

Σκαρίφημα αίθουσας σε **κάτοψη και τομή**.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ :

- **Κάτοψη** σχήματος **βεντάλιας** προτιμάται έναντι της ορθογωνικής (βλέπε ενότητα «3.2.3.4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΠΑΡΕΙΩΝ ΤΗΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ»), **άλλα σχήματα δεκτά** (βλέπε ενότητα «3.2.2.2. ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΟΜΙΛΗΤΗ-ΑΚΡΟΑΤΩΝ»).
- **Ελαχιστοποίηση αποστάσεων** ομιλητή-ακροατών (max απόσταση 20m) (βλέπε ενότητα «3.2.2.2. ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΟΜΙΛΗΤΗ-ΑΚΡΟΑΤΩΝ»).
- **Κεκλιμένο δάπεδο** για το ακροατήριο.
- **Εξέδρα** για τον ομιλητή.
- **Εξασφάλιση** άφθονων **πρώιμων ανακλάσεων** προς το ακροατήριο ως εξής : i) **ανακλαστήρας** πάνω από τον ομιλητή, προφίλ οροφής μορφοποιημένο, οριζόντια οροφή δεκτή (βλέπε ενότητα «3.2.3.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΤΗΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ») ii) **ανακλαστικές πλευρικές παρειές** του χώρου, ανακλαστική περιβάλλουσα της περιοχής του ομιλητή (βλέπε ενότητα «3.2.3.4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΠΑΡΕΙΩΝ ΤΗΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ»).
- **Ένταξη ηχοαπορροφητικών υλικών** στο χώρο (βλέπε ενότητα «2.1.4.3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΑΚΡΟΑΣΗΣ ΟΜΙΛΙΑΣ»).
- **Έλεγχος** στο σχεδιασμό της αίθουσας όσον αφορά στην αντιμετώπιση **ηχητικών προβλημάτων** (βλέπε ενότητα «2.2.2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΤΗΣ ΗΧΟΥΣ», «2.2.3.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΠΛΑΤΑΓΙΣΜΟΥ», «2.2.4.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΕΣΤΙΑΣΜΟΥ»).
- **Σχεδιασμός ηχοπροστασίας** της αίθουσας (βλέπε ενότητα «2.2.5. ΠΑΡΕΙΣΔΥΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΚΑΙ ΚΡΑΔΑΣΜΩΝ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ»).

3ο ΒΗΜΑ:

Υπολογιστικός προσδιορισμός **είδους και έκτασης ηχοαπορροφητικών υλικών και (τελικού) όγκου αίθουσας** (βλέπε ενότητα «2.1.4.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ», «3.1.3. ΦΥΣΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΛΗΠΤΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΟΜΙΛΙΑΣ, ΕΥΡΕΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ», «4.2.3.1.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΙΘΟΥΣΑΣ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ - ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ»).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- ANSI / ASA (1997). American National Standards Method for Calculation of the Speech Intelligibility Index. *American National Standards Institute / Acoust. Soc. Am. S 3.5 (R 2012)*.
- BRE Digest (1976). The acoustics of rooms for speech. *Building Research Establishment, Digest 192*.
- Barron, M. (1988). Subjective study of British symphony concert halls. *Acustica*, 66, pp. 1-14.
- Bradley, J.S. (1986). Predictors of speech intelligibility in rooms. *J. Acoust. Soc. Am.*, 80(3), pp. 837-845.
- Cremer, L., Müller, H.A. & Schultz, T.J. (1982). *Principles and Applications of Room Acoustics. Vol. I, II*. London and New York: Applied Science Publ., Stuttgart: S. Hirzel Verlag GmbH.
- French, N.R. & Steinberg, J.C. (1947). Factors governing the intelligibility of speech sounds. *J. Acoust. Soc. Am.*, pp. 90-119.
- Hawkes, R.J. (1985). Criteria for noise criteria. *5th FASE Symposium*. Thessalonica, Greece: FASE.
- Houtgast, T., Steeneken H.J.M. & Plomp, P. (1980 a). Predicting speech intelligibility in rooms from the modulation transfer function. I: General room acoustics. *Acustica*, 46, pp.60-72.
- Houtgast, T., Steeneken H.J.M. & Plomp, P. (1980 b). Predicting speech intelligibility in rooms from the modulation transfer function. II: Mirror image computer model applied to rectangular rooms. *Acustica*, 46, pp.73-85.
- Kleiner, M. (1981). Speech intelligibility in real and simulated sound fields. *Acustica*, 47, pp. 55-71.
- Talaska, R.H. & Boner, R.E. (Eds.) (1986). *Theaters for Drama Performances; Recent experiences in acoustical design*. New York: Am. Inst. Physics press for the Acoust. Soc. Am.
- Thiele, R. (1953). Directional distribution and sequence of sound reflections in rooms. *Acustica*, 3, pp. 291-302.
- Παυσανίας. *Ελλάδος Περιηγήσεις / Κορινθιακά*. Βικιθήκη.
- Σωτηροπούλου, Α. (2010). Συνεδριακό Κέντρο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών· ακουστικός σχεδιασμός μεγάλου αμφιθεάτρου. *5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο 'ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2010', 4-6 Οκτωβρίου 2010* (σσ. 117-124). Αθήνα: ΕΛΙΝΑ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΑΚΡΟΑΣΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι χώροι ακρόασης μουσικής περιλαμβάνουν ευρύ φάσμα χρήσεων, όπως αίθουσες κλασικής μουσικής (ήτοι, συμφωνικής μουσικής, μουσικής δωματίου, λυρικού θεάτρου), αίθουσες μουσικού θεάτρου, μουσικής pop, rock, jazz, disco, μουσικής διδασκαλίας και άσκησης, studio μουσικών ηχογραφήσεων, αίθουσες σύγχρονης μουσικής (contemporary music), κλπ. Οι περισσότερες από τις χρήσεις αυτές περιλαμβάνουν εξ ορισμού, ηλεκτροακουστικά μέσα, π.χ. αίθουσες μουσικής pop, rock, μουσικού θεάτρου, disco, κλπ. ενώ μόλις πρόσφατα ο ακουστικός σχεδιασμός των αντίστοιχων χώρων άρχισε να γίνεται αντικείμενο επιστημονικής διερεύνησης (Sotiropoulou, Savvopoulou, Karagiannis & Tzouvadakis, 2011; Sotiropoulou, Karagiannis, Tzouvadakis & Savvopoulou, 2013).

Από τα ελάχιστα, σχεδόν αποκλειστικό είδος όπου το κέλυφος του χώρου εξ ορισμού καλείται να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της ακουστικής αυτοδύναμα, δηλ χωρίς τη βοήθεια ηλεκτροακουστικών μέσων είναι οι αίθουσες κλασικής μουσικής. Για το λόγο αυτό, ο σχεδιασμός του κελύφους αιθουσών αυτού του είδους μέχρι σήμερα έχει σχεδόν μονοπωλήσει το ενδιαφέρον της σύγχρονης επιστημονικής έρευνας και εξακολουθεί να αποτελεί αντικείμενο ενδιαφέροντος αρχιτεκτονικού πειραματισμού και αναζητήσεων. Η διερεύνηση της ακουστικής αιθουσών κλασικού ρεπερτορίου μπορεί να χρησιμεύσει και ως βάση για την αντίστοιχη διερεύνηση που αφορά σε πιο πρόσφατα μουσικά είδη και θα μας απασχολήσει κατ' αποκλειστικότητα στο παρόν κεφάλαιο.

4.2 ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ

4.2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ

4.2.1.1. ΕΩΣ ΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ 19ου ΑΙΩΝΑ

4.2.1.1.1. ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ

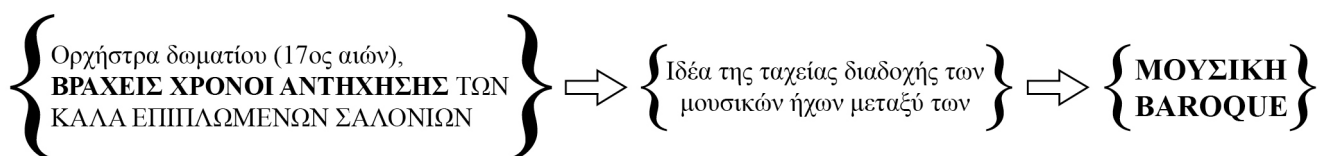
Συνεχ. (1 από 3)

- Οι πρώτες αίθουσες ακρόασης συμφωνικής μουσικής ήταν τα **ΣΑΛΟΝΙΑ ΤΩΝ ΕΥΓΕΝΩΝ**, στην Ευρώπη.

Παράδειγμα:



Σχήμα 4.1 Εσωτερική άποψη αίθουσας δεξιώσεων από το *Doges Palace, Venice* (www.flickr.com, φωτ.: Jenny Mackness)

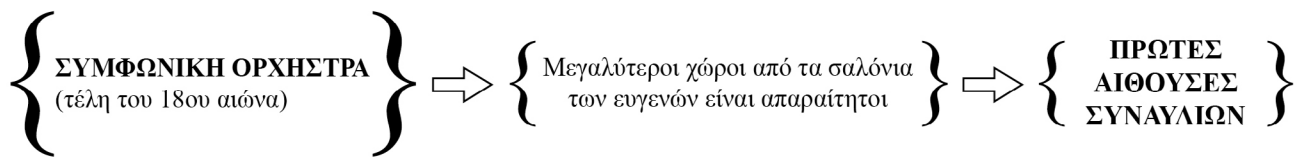




Σχήμα 4.2 Εσωτερική άποψη του καθεδρικού ναού των Παρισίων - *Notre Dame de Paris*, του 12ου αιώνα (www.flickr.com, φωτ.: *analog et admire*)



• Οι πρώτες αίθουσες συναυλιών



Παράδειγμα:



Σχήμα 4.3 Αίθουσα συναυλιών του *Altes Gewandhaus*, Λειψία. Έτος 1780, ≈ 400 άτομα. Αρχ/των: J. Dauthe. (en. wikipedia.org)

Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά:

- Ορθογωνικό σχήμα, όπως τα σαλόνια των ευγενών,
- πλούσιος διάκοσμος,
- διάταξη ακροατηρίου αντικρυστά οι μεν στους δε.

• Οι κλασικές αίθουσες συναυλιών

Η κλασική μουσική παύει να
είναι το προνόμιο των ολίγων



Ανάγκη για μεγαλύτερες αίθουσες

Παράδειγμα 1:



Σχήμα 4.4 Αίθουσα συναυλιών του *Neues Gewandhaus*, Λειψία. Έτος 1886, ≈ 1560 άτομα. Αρχ/των: M.K.P Gropius, H. Schmieden. (www.flickr.com, φωτ.: Janwillemssen). Κατέρρευσε στη διάρκεια του 2ου παγκοσμίου πολέμου.



Σχήμα 4.5 Musikvereinsaal, Βιέννη. Έτος 1870, ≈ 1700 άτομα. Αρχ/των: T.R. von Hansen. (de.wikipedia.org). Αίθουσα γνωστή από την καθιερωμένη πρωτοχρονιάτικη συναυλία της συμφωνικής ορχήστρας της Βιέννης.

Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά :

• ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟ ΣΧΗΜΑ

• ΑΒΑΘΗΣ ΕΞΩΣΤΗΣ στις τρεις πλευρές της αίθουσας

• ΠΛΟΥΣΙΟΣ ΔΙΑΚΟΣΜΟΣ

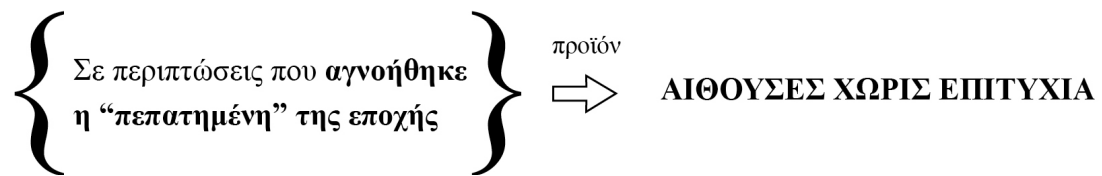
ΠΡΟΤΥΠΟ
ΜΕΤΑΓΕΝΕΣΤΕΡΩΝ
ΑΙΘΟΥΣΩΝ

Η τάση να αντιγράφει η μία
αίθουσα την άλλη στέφθηκε
με επιτυχία

προϊόν

ΚΛΑΣΙΚΗ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ
ΑΙΘΟΥΣΑ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ

• Αίθουσες συναυλιών χωρίς επιτυχία



Παράδειγμα:



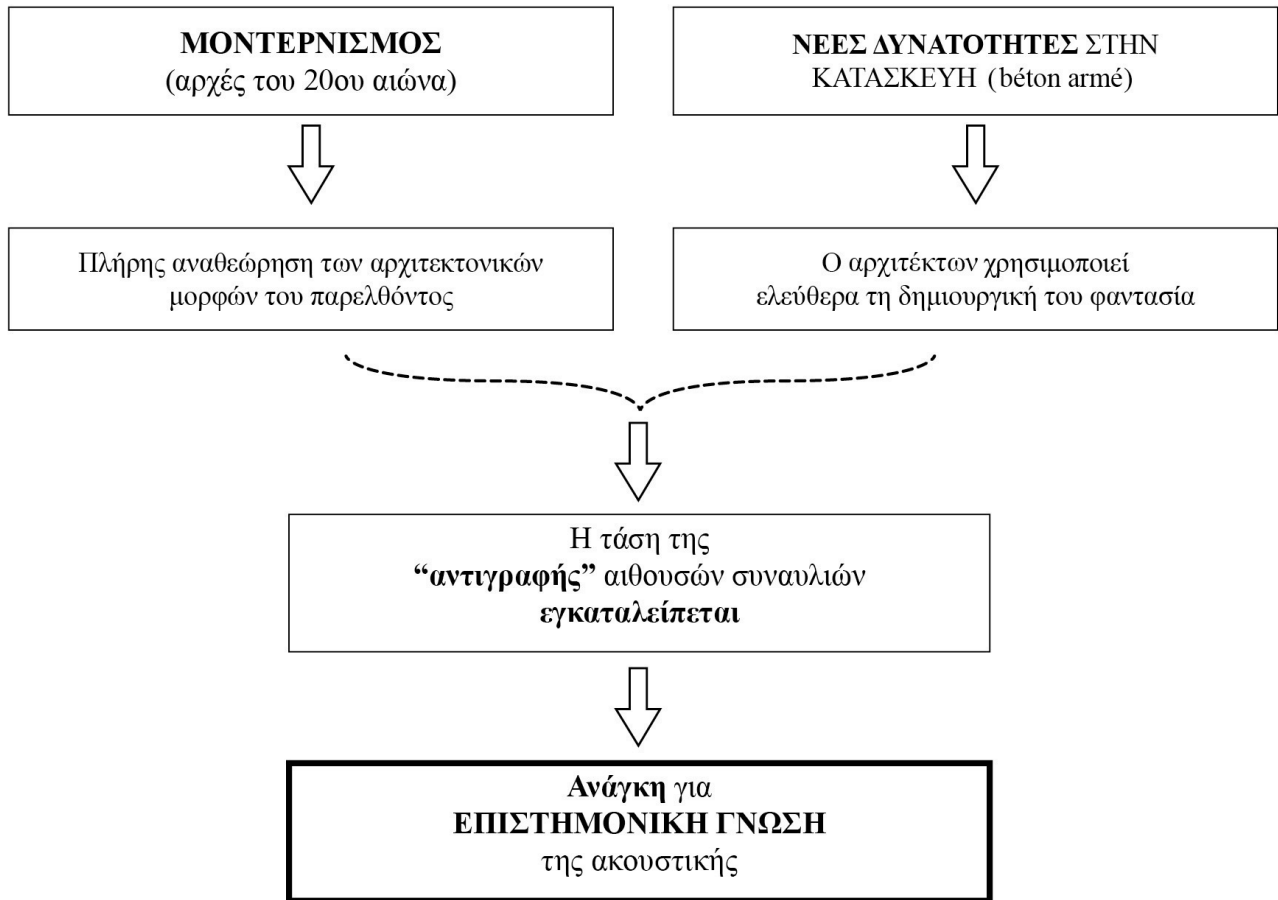
Σχήμα 4.6 *Royal Albert Hall, Λονδίνο. Έτος 1871, ≈ 6080 άτομα. Αρχ/των: Capt. F. Fawkes, Lt. Col. H.Y.D. Scott. α) Εσωτερική άποψη (en.wikipedia.org), β) Εξωτερική άποψη (www.flickr.com, φωτ.: Garry Knight)*

Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του Royal Albert Hall:

- $\left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{Ελλειψοειδές σχήμα κάτοψης} \\ \bullet \text{Τρουλλοειδής στέψη} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Ακατάλληλα για αίθουσες συναυλιών}$

4.2.1.2. ΠΡΩΤΟ ΗΜΙΣΥ ΤΟΥ 20ου ΑΙΩΝΑ

4.2.1.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ



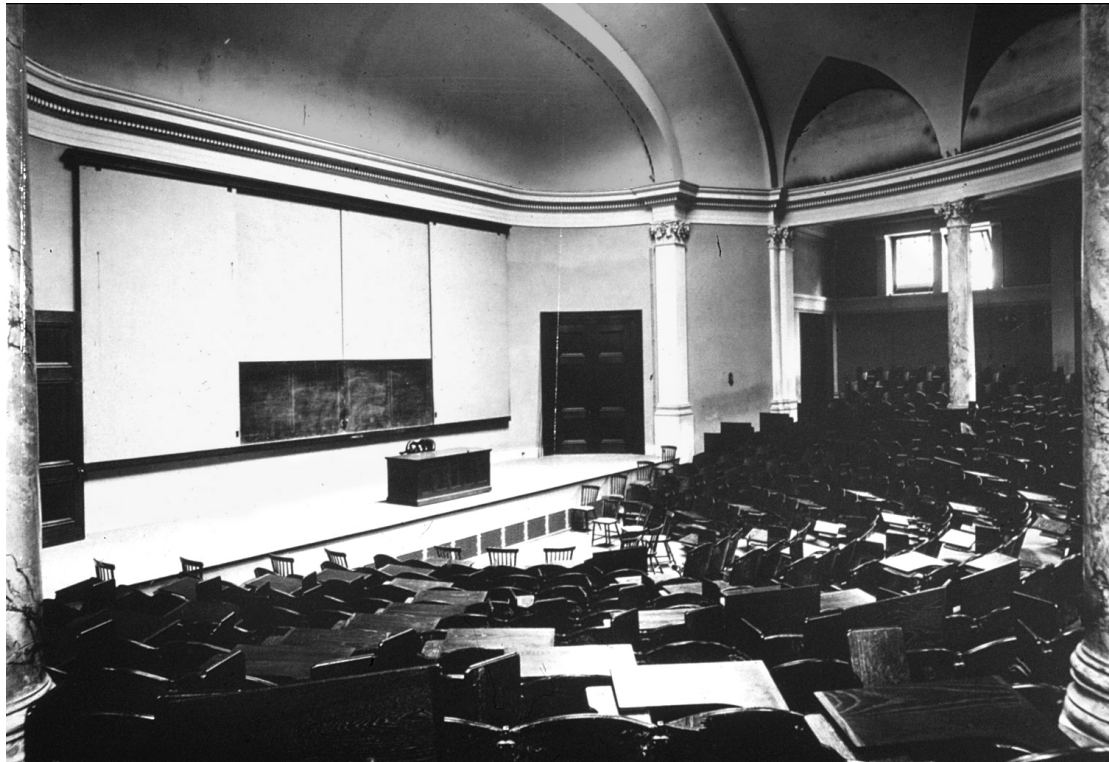
ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ➡ **ΟΡΓΑΝΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

Εμφάνιση του WALLACE CLEMENT SABINE
πατέρα της αρχιτεκτονικής ακουστικής
(Sabine, 1922)

4.2.1.2.2. Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ SABINE ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ

Συνεχ. (1 από 4)

- Στον **Sabine**, -νεαρό καθηγητή στο παν/μιο του Harvard στα **τέλη του 19ου αιώνα** ανετέθη να βελτιώσει την ακουστική του **αμφιθεάτρου διαλέξεων του μουσείου Fogg Art** στο **Cambridge, USA**.



Σχήμα 4.7 Αμφιθέατρο, Fogg Art Museum, Cambridge, USA. Εσωτερική άποψη του 1898 (© Fogg Art Museum, Harvard University)

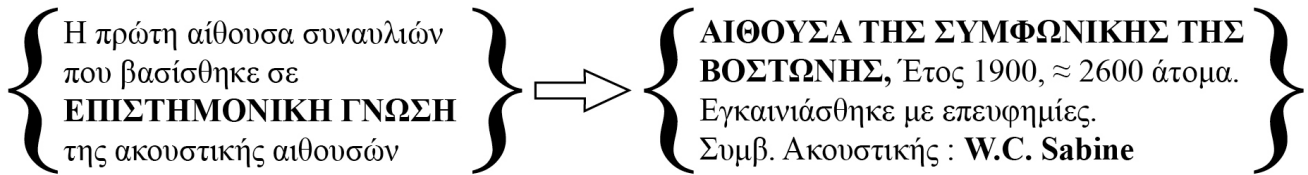
- Η γνώση της εποχής ήταν πενιχρή και ο Sabine **πειραματίστηκε στο Sander's Theater**, -αμφιθέατρο του παν/μίου του Harvard, που **είχε καλή ακουστική**, χάρις στα **παχειά μαξιλάρια** των εδράνων του όπως ο ίδιος παρατήρησε.



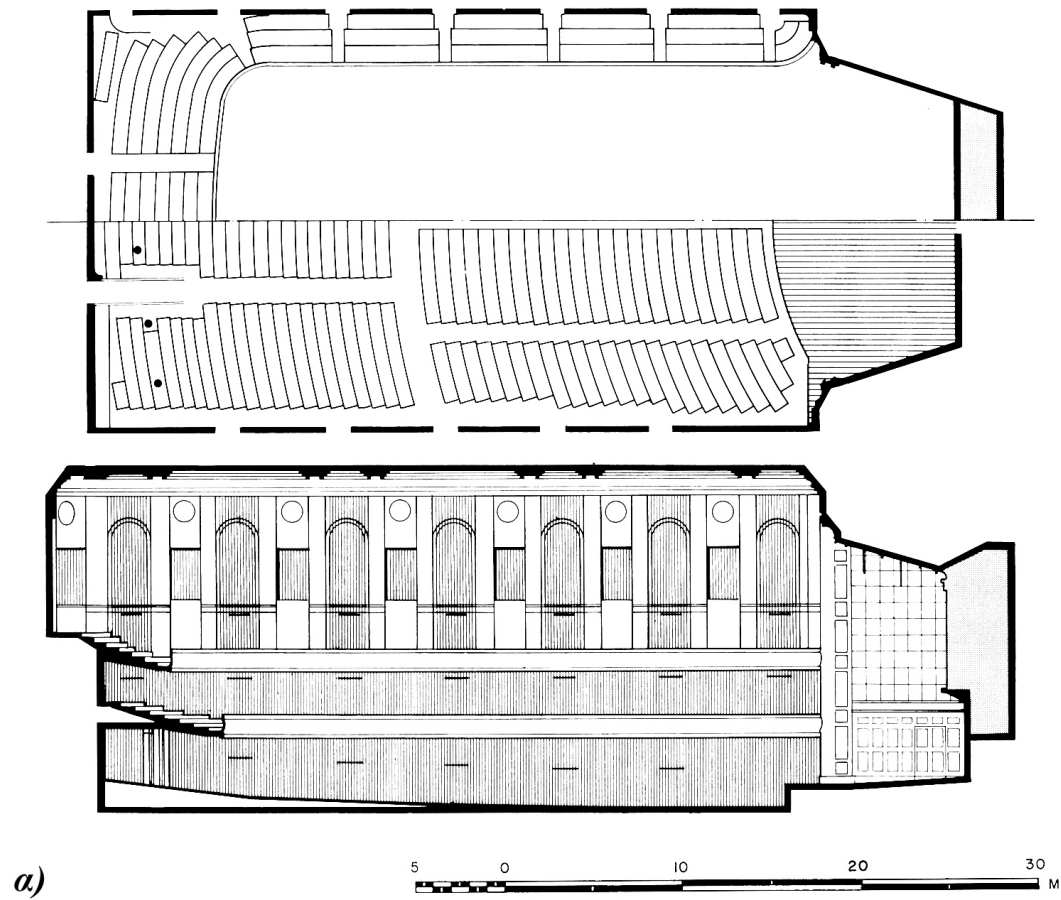
Σχήμα 4.8 Sander's Theater, Cambridge, USA. $\approx$ 1000 άτομα. α) Εξωτερική άποψη (www.en.wikipedia.org), **β)** Εσωτερική άποψη (www.commons.wikimedia.org)

- Τα πειράματα οδήγησαν στη διατύπωση της περίφημης **κλασικής θεωρίας της αντήχησης** η οποία εξακολουθεί μέχρι σήμερα να είναι **η βάση της αρχιτεκτονικής ακουστικής**. (Βλέπε ενότητα "2.1.4.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ").

• Η πρώτη αίθουσα συναυλιών επιστημονικά τεκμηριωμένη



Ο Sabine προέβλεπε ότι ο χρόνος αντήχησης δεν αποτελεί πανάκεια. Έτσι η αίθουσα της συμφωνικής της Βοστώνης δανείστηκε τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά της δοκιμασμένης αίθουσας του Neues Gewandhaus, όμως επειδή η νέα αίθουσα είχε μεγαλύτερη χωρητικότητα από το πρωτότυπό της, για τον υπολογισμό του όγκου χρησιμοποιήθηκε η θεωρία της αντήχησης. (βλέπε "Σχήμα 4.4 Αίθουσα συναυλιών του Neues Gewandhaus, Λειψία. Έτος 1886, ≈ 1560 άτομα. Αρχ/των: M.K.P Gropius, H. Schmieden. (www.flickr.com, φωτ.: Janwillemssen). Κατέρρευσε στη διάρκεια του 2ου παγκοσμίου πολέμου.")



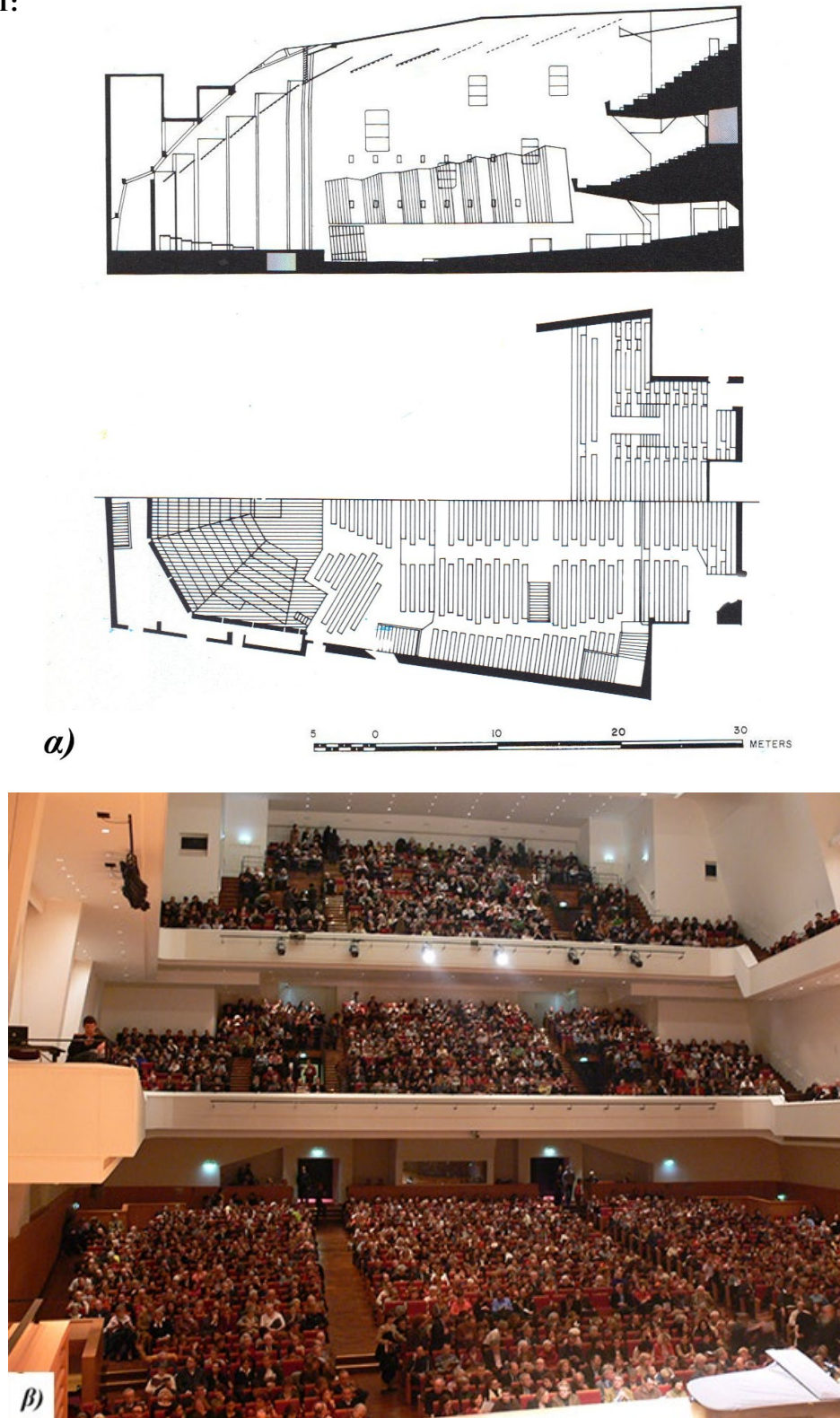
Σχήμα 4.9 Αίθουσα συναυλιών της συμφωνικής της Βοστώνης. α) Κάτοψη & τομή (© Beranek 1996), **β)** Εξωτερική άποψη. (βλέπε "Σχήμα 2.6 Αίθουσα συναυλιών της συμφωνικής της Βοστώνης, Mass USA. Έτος 1900, ≈ 2600 άτομα. Αρχ/των: McKim, Mead, White, Σύμβ. ακουστικής: W.C. Sabine. Εσωτερική άποψη της αίθουσας με εμφανή τα στοιχεία διάχυσης όπως παραστάδες, στηθαία εξωστών, εσοχές με διακοσμητικά γλυπτά κλπ.")

4.2.1.2.3. ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΣΥΝΑΓΛΙΩΝ ΤΟΥ 20ΟΥ ΑΙΩΝΑ

Συνεχ. (1 από 6)

Μέχρι τα μέσα του 20^{ου} αιώνα οι ειδικοί (κακώς) πίστευαν ότι ο χρόνος αντήχησης αποτελεί το μοναδικό σημαντικό ακουστικό κριτήριο αιθουσών. Αυτό οδήγησε στη δημιουργία αιθουσών με πρωτοποριακές μεν μορφές για την εποχή, που όμως **το πλήρωσαν ακριβά**.

Παράδειγμα 1:



Σχήμα 4.10 Salle Pléyel, Παρίσι. Έτος 1927, ≈ 2400 άτομα. Αρχ/των: G. Lyon (αρχικά), M. de Portzamparc (ανακαίνιση), Σύμβ. ακουστικής: A.Y. Υι (ανακαίνιση). **α)** Κάτοψη & τομή της αίθουσας (μετά την ανακαίνιση) (© Beranek 1996), **β)** Άποψη προς το ακροατήριο (μετά την ανακαίνιση) (commons.wikimedia.org). Αρχικά, εγκαινιάστηκε χωρίς επιτυχία. Λίγο αργότερα καταστράφηκε από πυρκαγιά, ξαναφτιάχτηκε και πολύ αργότερα ανακαίνισθηκε.

• **Η ΟΡΟΦΗ ΠΡΟΒΑΛΛΕΙ ΤΟΝ ΗΧΟ ΚΑΤ' ΕΥΘΕΙΑΝ ΠΡΟΣ ΤΟ ΑΚΡΟΑΤΗΡΙΟ** (μορφοποιημένη οροφή)

κατ' αναλογίαν προς τον σχεδιασμό αιθουσών για ομιλία

ΕΛΛΕΙΨΗ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ

(ο μουσικός ήχος απορροφάται αμέσως στο ακροατήριο)

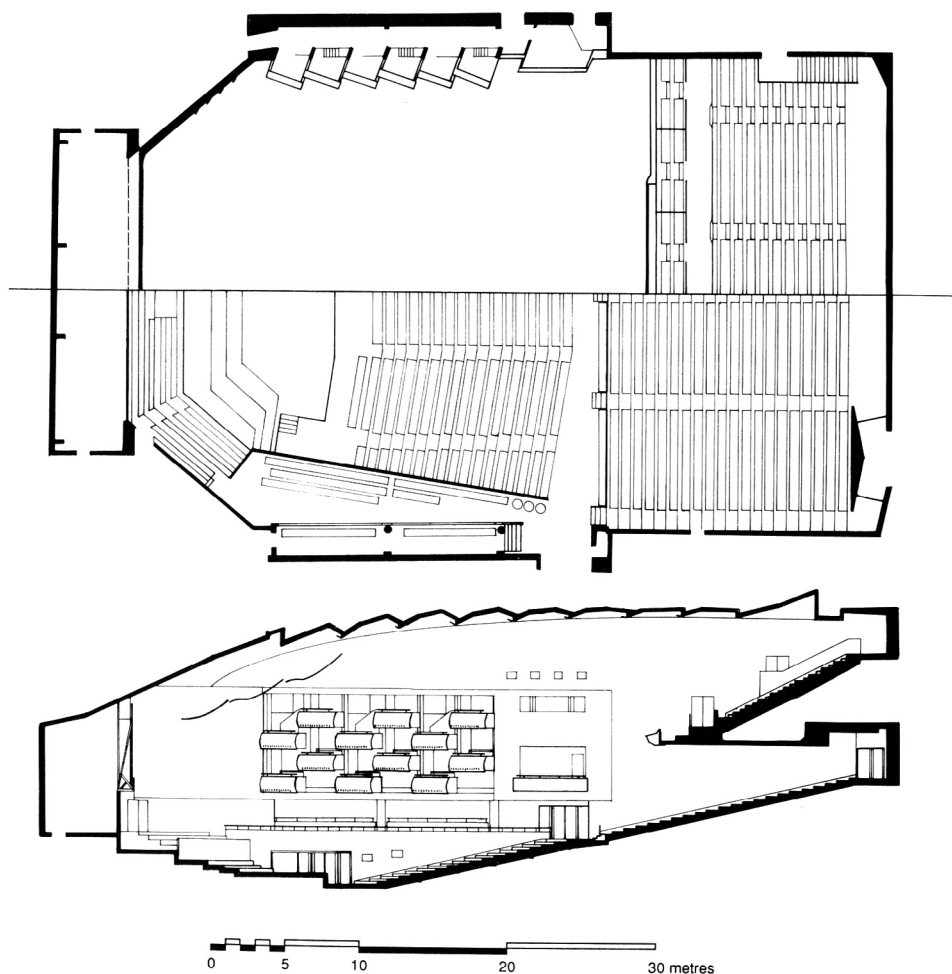
• **ΚΑΤΟΨΗ ΣΕ ΣΧΗΜΑ ΒΕΝΤΑΛΙΑΣ**

ΕΛΛΕΙΨΗ ΠΡΩΙΜΩΝ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ

προς το ακροατήριο

Παρ' όλα αυτά, η Salle Pléyel έχει εξαιρετική διαύγεια ήχου που την κάνει κατάλληλη τουλάχιστον για την απόδοση μουσικής του 20ου αιώνα.

Παράδειγμα 2:





Σχήμα 4.11 Royal Festival Hall, London. Έτος 1951, ~3000 άτομα. Αρχ/των: R.H. Mathews, J.L Martin, E. Williams, P.M. Moto, Σύμβ. ακουστικής: H. Bagenal with BRE. α) Κάτοψη & τομή (© Barron, 1993), β) Εσωτερική άποψη (© Beranek 1996), γ) Εξωτερική άποψη (www.commonswikimedia.org). Κτίστηκε στη θέση του Queen's Hall που είχε καταστραφεί στη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου πολέμου. Γνήσιο προϊόν του μοντερνισμού, σύμβολο του ανανεωτικού πνεύματος στο μεταπολεμικό Λονδίνο.

Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά της αίθουσας Royal Festival Hall, London:

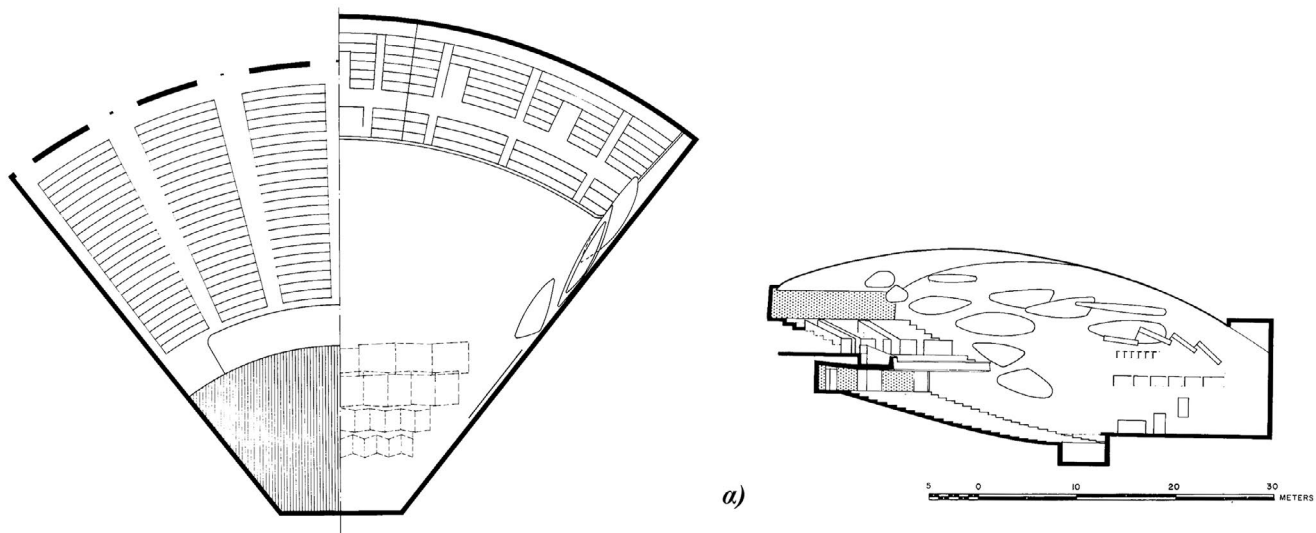
- “ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΟΡΟΦΗ” αποτέλεσμα ήταν ο χρόνος αντήχησης να προκύψει βραχύτερος από τον προβλεφθέντα.
- ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕΓΑΛΟ ΠΛΑΤΟΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ - αποτέλεσμα είναι το ακροατήριο στο κέντρο να στερείται των (ευεργετικών) πρώιμων πλευρικών ανακλάσεων.

Παρ' όλα αυτά, η αίθουσα έχει εξαιρετική διαύγεια και είναι κατάλληλη για μουσική του 20ου αιώνα.

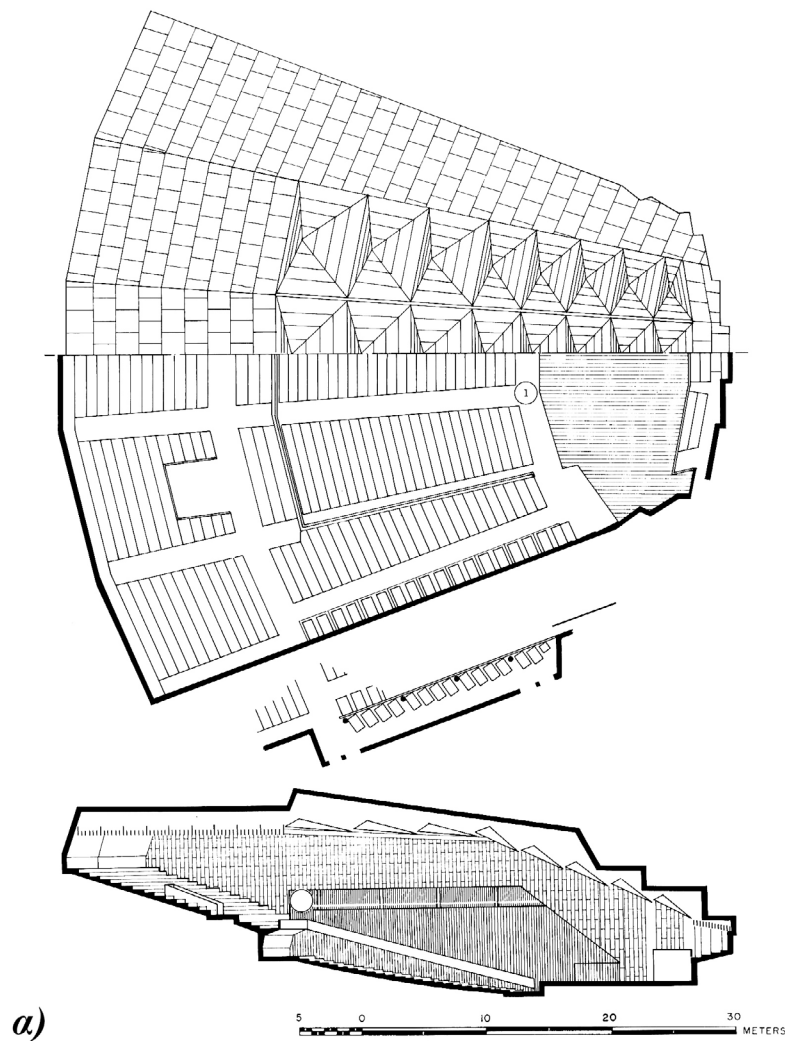
Άλλες αίθουσες της αυτής γενιάς που υποφέρουν απο παρόμοια σφάλματα είναι:

Συνεχ. (4 από 6)

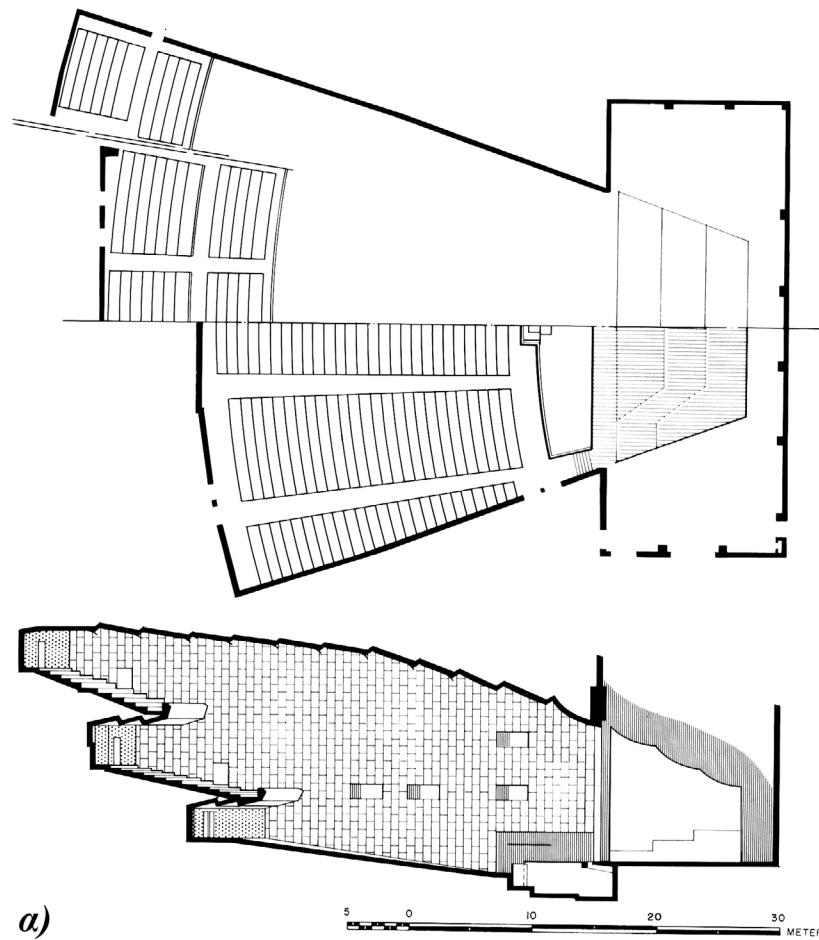
Παράδειγμα 3:



Σχήμα 4.12 *Aula Magna Caracas, Βενεζουέλα. Έτος 1954, $\approx$ 2660 άτομα. Αρχ/των: C.R. Villanueva, Σύμβ. ακουστικής: Bolt, Beranek, Newman. α) Κάτοψη & τομή, β) Εσωτερική άποψη. (© Beranek, 1996)*

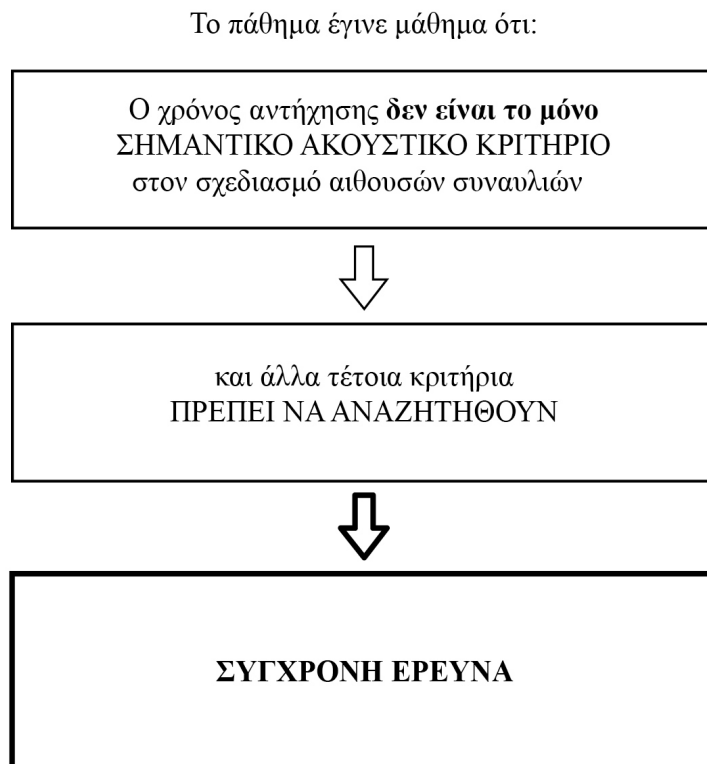
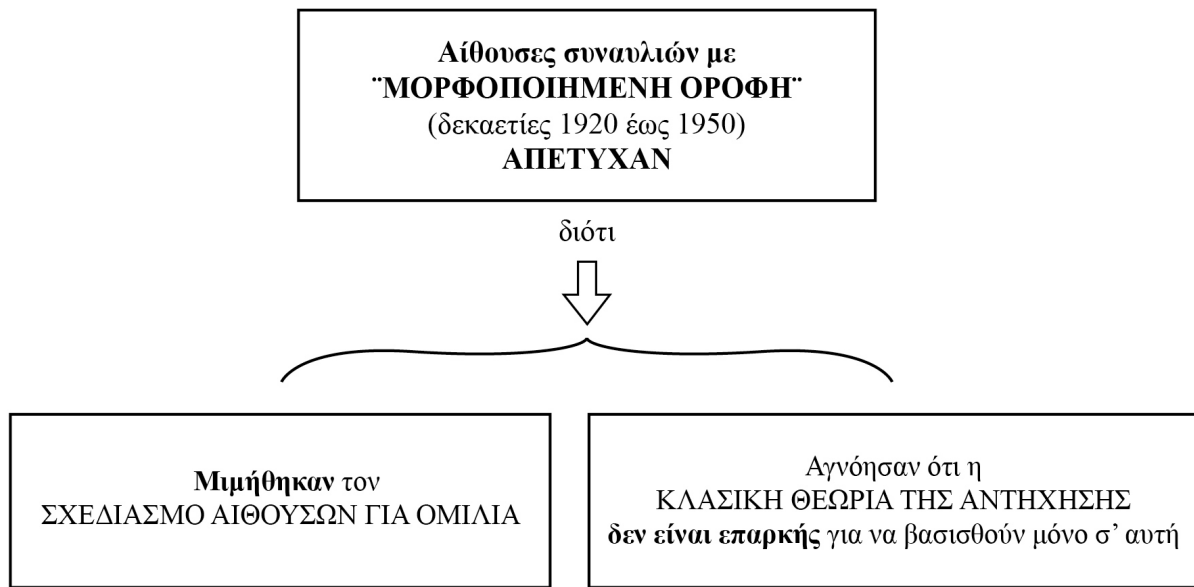


Σχήμα 4.13 Αίθουσα *Frederick Mann*, Τελ Αβίβ. Έτος 1957, ≈ 2715 άτομα. Αρχ/των: Z. Rechter, D. Karmi, Σύμβ. ακουστικής: Bolt, Beranek, Newman. α) Κάτοψη & τομή, β) Εσωτερική άποψη. (© Beranek, 1996)



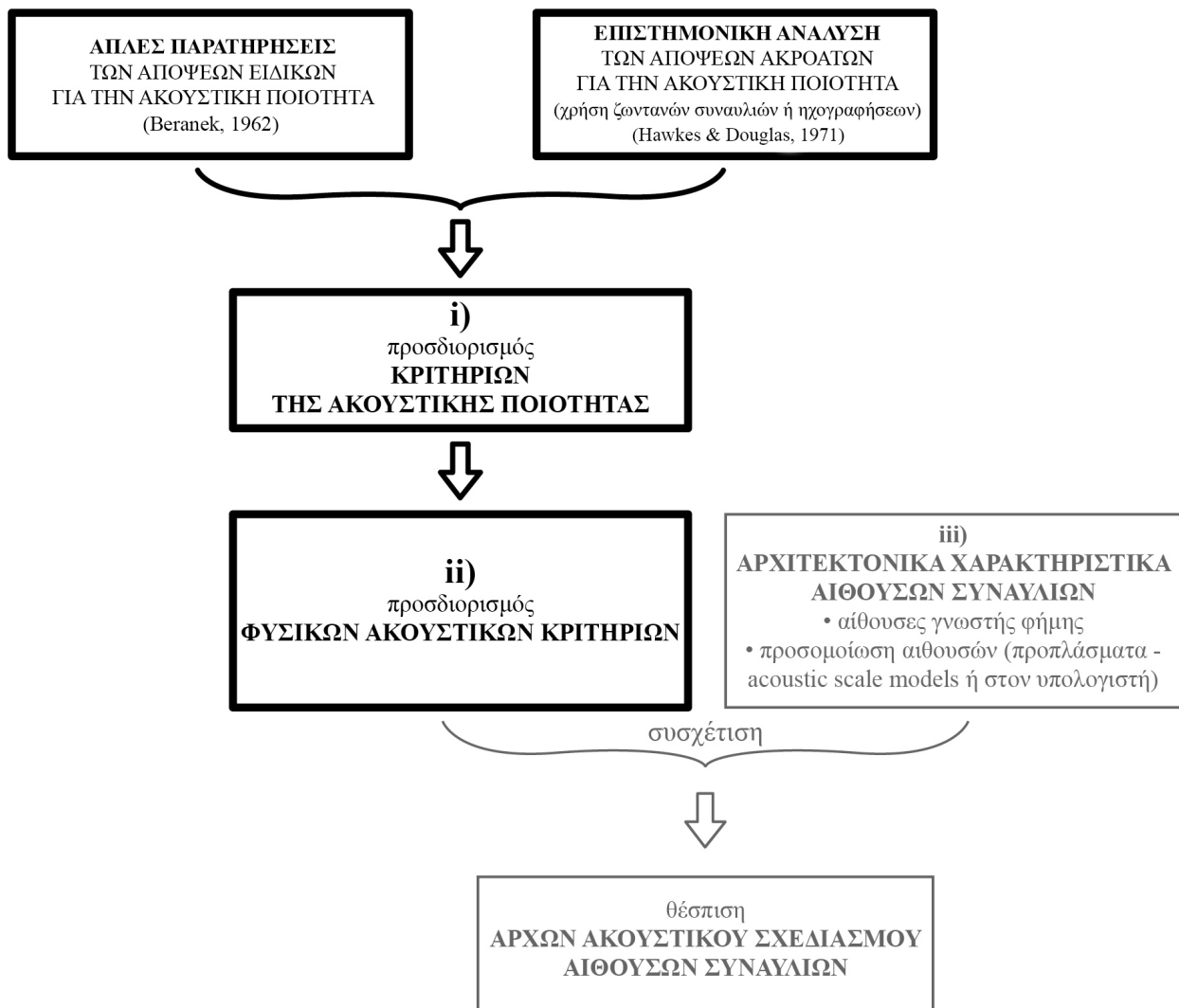
Σχήμα 4.14 Δίδυμες αίθουσες Alberta Jubilee στο Edmonton και Calgary, του Καναδά. Έτος 1957, ≈ 2731 άτομα έκαστη. Αρχ/των: R. Clarke, Σύμβ. ακουστικής: T.D. Northwood, E.J. Stevens. α) Κάτοψη & τομή, β) Εσωτερική άποψη.
(© Beranek, 1996)

4.2.1.2.4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



4.2.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ

4.2.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ



4.2.2.2.1. Η ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ BERANEK (1962)

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ ΚΑΤΑ BARANEK (1962)	
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ
(1) ΕΓΓΥΤΗΤΑ (Intimacy)	- Χρονικό διάστημα μεταξύ απ' ευθείας ήχου και πρώτης ανάκλασης
(2) ΖΩΝΤΑΝΙΑ (Liveness)	- Μεγάλος χρόνος αντήχησης
(3) ΖΕΣΤΑΣΙΑ (Warmth)	- Σχετικά μεγάλος χρόνος αντήχησης στις χαμηλές συχνότητες
(4) ΕΝΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΠ' ΕΥΘΕΙΑΣ ΗΧΟΥ	--
(5) ΕΝΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΟΥ ΗΧΟΥ	- Συνολική απορρόφηση της αίθουσας
(6) ΕΥΚΡΙΝΕΙΑ (Definition or Clarity)	- Δομή των πρώιμων ανακλάσεων - Χρόνος αντήχησης - Απόσταση από την πηγή - Όγκος της αίθουσας
(7) ΣΤΙΑΠΝΟΤΗΤΑ (Brilliance)	- Σχετικά μεγάλος χρόνος αντήχησης στις υψηλές συχνότητες - Χρονική διαφορά μεταξύ απ' ευθείας ήχου και πρώτης ανάκλασης - Παρουσία κατάλληλων ανακλαστικών επιφανειών - Απόσταση από την πηγή
(8) ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΔΙΑΧΥΣΗ (Subjective diffusion)	- Μεγάλος χρόνος αντήχησης - Αφθονία επιφανειών διάχυσης
(9) ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ (Balance)	- Ανακλαστικές επιφάνειες γύρω από την ορχήστρα - Τρόπος ερμηνείας της μουσικής
(10) ΑΝΑΜΙΞΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ (Blend)	- Ανακλαστικές επιφάνειες γύρω από την ορχήστρα - Διάταξη της ορχήστρας
(11) ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ (Ensemble)	- Ανακλαστικές επιφάνειες γύρω από την ορχήστρα - Βαθμός διασποράς της ορχήστρας
(12) ΜΕ ΑΜΕΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ (Immediacy of response)	- Καθυστερήση των πρώιμων ανακλάσεων από την αίθουσα προς την ορχήστρα
(13) ΥΦΗ (Texture)	- Κατανομή της έντασης και καθυστέρησης των ανακλάσεων
(14) ΑΠΟΥΣΙΑ ΗΧΟΥΣ	- Απουσία ακατάλληλων ανακλαστικών επιφανειών
(15) ΑΠΟΥΣΙΑ ΘΟΡΥΒΟΥ	--
(16) ΕΥΡΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ (Dynamic range)	- Το αντίστροφο του θορύβου βάθους - Το αντίστροφο της συνολικής απορρόφησης του χώρου
(17) ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ (Tonal quality)	- Επιλεκτική απορρόφηση σε κάποιες ζώνες συχνοτήτων, Πλαταγισμός, Κουδούνισμα κάποιων αυλών του εκκλησιαστικού οργάνου, κλπ.
(18) ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΟΑΤΗΡΙΟ (Uniformity over the seating area)	--

- **Σημασία**

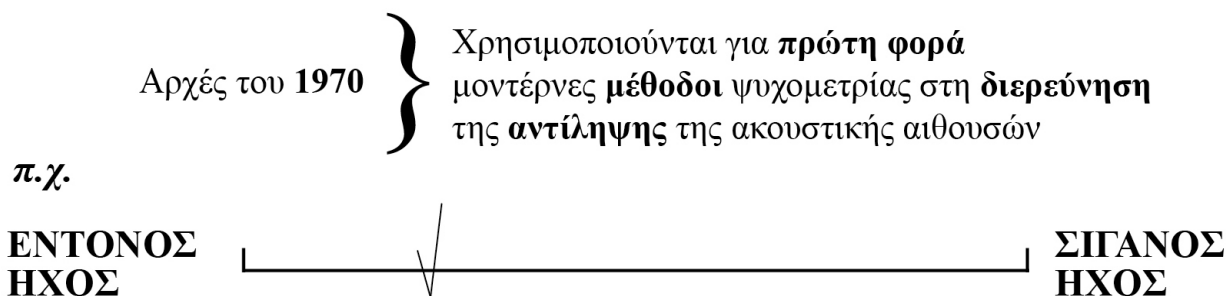
(2 από 2)

Εργασία πρώτη στο είδος της συνεισέφερε σημαντικά στην **προσπάθεια ταξινόμησης των διαφόρων χαρακτηρισμών της ποιότητας του ήχου** κλασικών **αιθουσών** συναυλιών.

- **Περιορισμοί**

Είναι **εμπειρική**, δηλαδή βασίζεται στην εμπειρία του συγγραφέα και σε παρατηρήσεις / απόψεις άλλων ειδικών (όχι σε επιστημονικώς τεκμηριωμένα ευρήματα).

- **Σημειολογική κλίμακα μέτρησης της αντίληψης (semantic rating scale)** (Osgood, Suci & Tannenbaum, 1957)



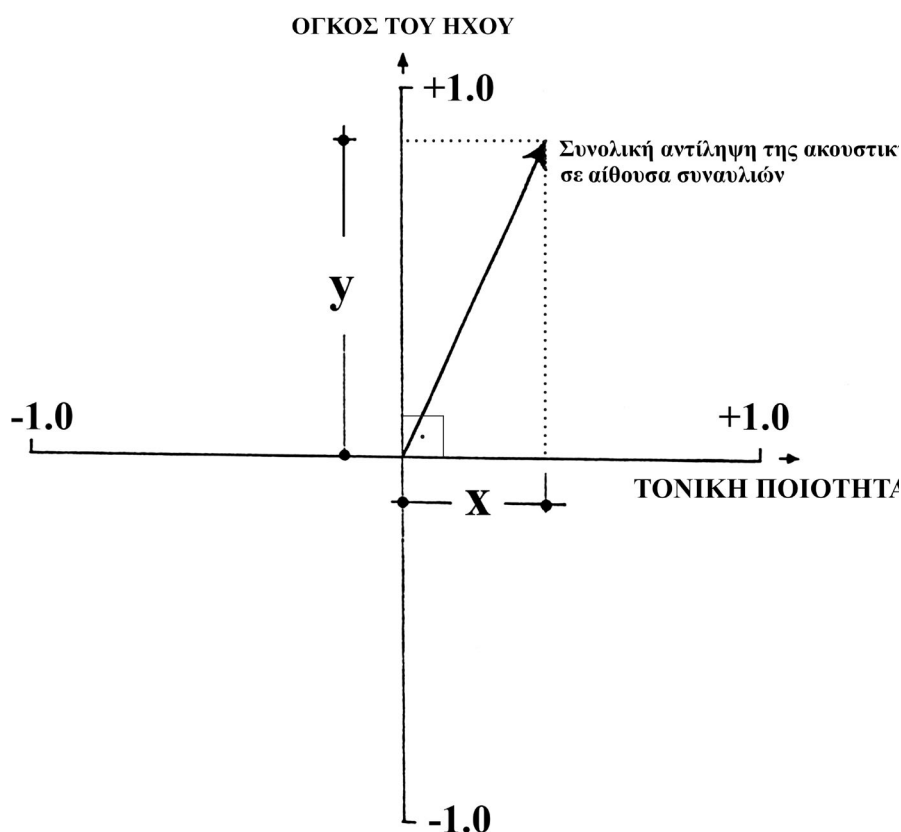
- Η γραμμή παριστά μια συνεχή εξέλιξη από τον ένα πόλο στον άλλο, του μεγέθους που περιγράφουν τα δύο επίθετα.
- Ίσα διαστήματα στη γραμμή αντιστοιχούν σε ισόποση μεταβολή του υποκειμενικού μεγέθους που αποτιμάται.
- Οι ακροαταί σημειώνουν σε κατάλληλη απόσταση από τους πόλους της κλίμακας την εκτίμησή τους για το μέγεθος που αποτιμάται.

- Η θεωρία της σημειολογικής διαφορικής ανάλυσης (semantic differential theory)

Σημειολογική διαφορική ανάλυση: Η εκτίμηση των ακροατών για την ακουστική της αίθουσας με τη χρήση μιας σειράς σημειολογικών κλιμάκων αποτίμησης της αντίληψης.

Αξίωμα: Η αντίληψη οιασδήποτε έννοιας (concept) συγκροτείται ψυχολογικά κατά μήκος ενός μικρού αριθμού **ανεξαρτήτων** διαστάσεων (orthogonal dimensions).

Παράδειγμα:



Σχήμα 4.15 Σημειολογικός ηχητικός χώρος αίθουσας συναυλιών (semantic acoustic space)

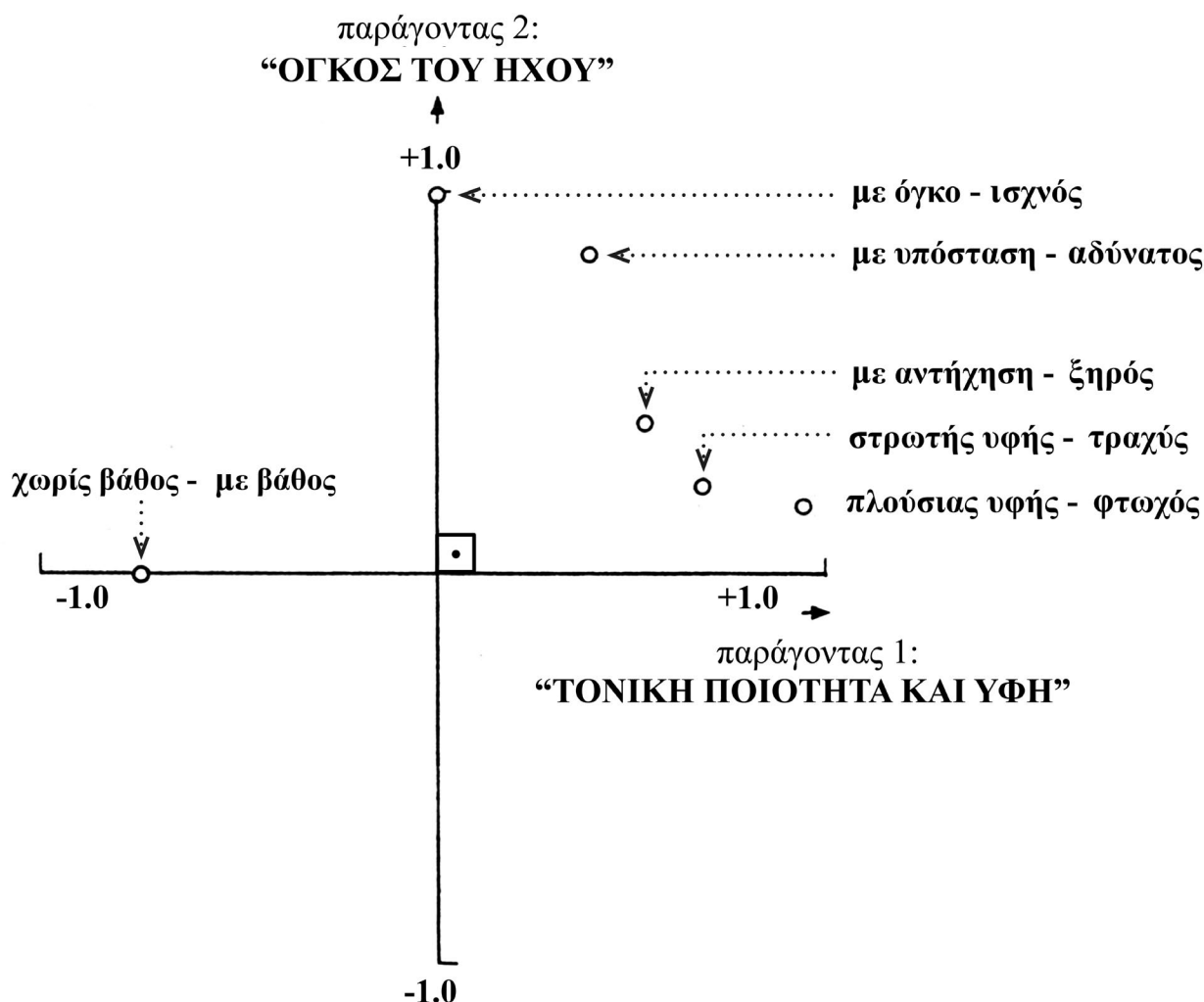
• Προσδιορισμός των διαστάσεων του σημειολογικού χώρου (semantic acoustic factors)

Οι διαστάσεις του σημειολογικού χώρου (π.χ. του χώρου της αντίληψης της ακουστικής αιθουσών συναυλιών - semantic acoustic space) είναι δυνατό να προσδιορισθούν, αν ζητηθεί στους ακροατές να κρίνουν τον ήχο χρησιμοποιώντας μια σειρά από σημειολογικές κλίμακες μέτρησης και αναλύοντας κατάλληλα τις απαντήσεις.

Ανάλυση κατά παράγοντες (factor analysis) (Nie, Hadlai, Jenkins, Steinbrenner & Bent, 1975): Το μαθηματικό αυτό μοντέλο, με βάση τις συσχετίσεις (correlations) μεταξύ των κλιμάκων μέτρησης τις κατατάσσει σε ένα μικρό αριθμό ανεξαρτήτων ομάδων, τους παράγοντες (factors).

Το όνομα του κάθε παράγοντα παίρνει από τις κλίμακες μέτρησης που έχουν σχετικά μεγάλη προβολή στον άξονα του (αυτές έχουν και υψηλό βαθμό συσχέτισης μεταξύ των). Όμως, η ακριβής ταυτότητα κάθε παράγοντα συνάγεται μόνο από τη συνολική εικόνα των κλιμάκων μέτρησης και των προβολών τους στον παράγοντα.

Παράδειγμα:



Σχήμα 4.16 Προσδιορισμός των παραγόντων του σημειολογικού ηχητικού χώρου αιθουσών συναυλιών.

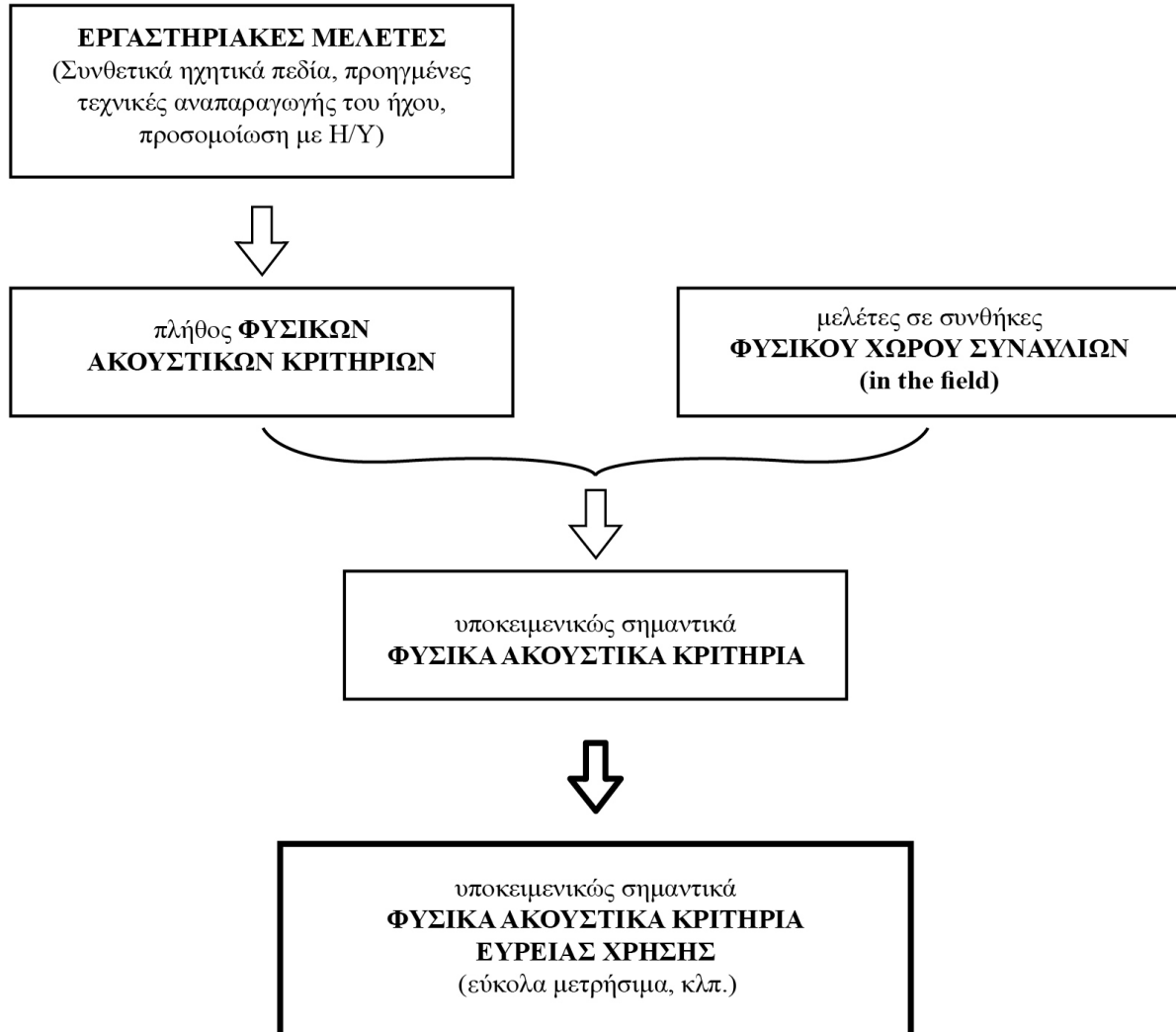
4.2.2.2.3. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ ΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ· ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Η αντίληψη της ακουστικής αιθουσών συναυλιών δεν είναι μονοδιάστατη εμπειρία – αποτελείται από μικρό αριθμό ανεξάρτητων κριτηρίων

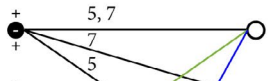
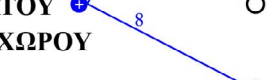
ΜΕΡΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΗΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ ΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ:	
ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	ΕΠΙΘΕΤΙΚΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΙ
1) ΟΓΚΟΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ¹ (Body, Stärke und Ausdehnung)	• “με όγκο” (voluminus-thin) • “με υπόσταση” (full bodied-thin) • “ηχηρός” (sonorous-thin) • “γεμάτος” (full-empty) • “με όγκο” (gross-klein) • “δυνατός” (stark-schwach) • “έντονος” (laut-leise) • “σθεναρός (Kräftig-gedämpft) • “που αντηχεί” (hallig-trocken)
2) ΕΥΚΡΙΝΕΙΑ¹ (Clarity, Deutlichkeit)	• “καθαρός” (clear-muddy) • “ευκρινής” (distinct-blurred) • “διαυγής” (clear-hazy) • “λαμπρός” (bright-dim) • “στιλπνός” (brilliant-dull) • “καθαρός” (deutlich-undeutlich) • “διαυγής” (klar-verschwommen)
3) ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΥΦΗ¹ (Tonal quality, Klangfarbe)	• “στρωτής υφής” (of smooth tone-of harsh tone) • “στρωτός” (smooth-rough) • “με βάθος” (warm-cold) • “πλούσιας υφής” (of rich tone-of poor tone) • “όχι οξύς” (rund-spitz) • “βελούδινος” (weich-hart) • “χωρίς τονισμένες τις υψηλές νότες” (nicht höhenbetont-höhenbetont) • “βαθύς” (dunkel-hell)
4) ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΕΓΓΥΤΗΤΑ¹ (Proximity)	• “κοντινός” (near-distant) • “όχι απόμακρος” (near-remote) • “πολύ εγγύς” (intimate-non intimate)
5) ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΤΟΥ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΗΧΗΤΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ² (Spatial impression, Spaciousness, Ambience κλπ.)	• “τρισδιάστατος” (spacious) • “που σε περιβάλλει” (ambient, enveloping)
Σημειώσεις : ¹ Στη δεξιά στήλη παρατίθενται αντιπροσωπευτικοί επιθετικοί προσδιορισμοί που χρησιμοποιεί ο μέσος ακροατής όταν αναφέρεται στο αντίστοιχο κριτήριο της ποιότητας του ήχου (Sotiropoulou, Hawkes & Fleming, 1995; Wilkens, 1977) ² Επίθετα που χρησιμοποιούν οι ειδικοί για να περιγράψουν αυτή τη συνιστώσα της ποιότητας του ήχου (Barron & Marshall, 1981)	

4.2.2.3 ΦΥΣΙΚΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ

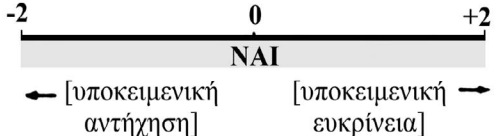
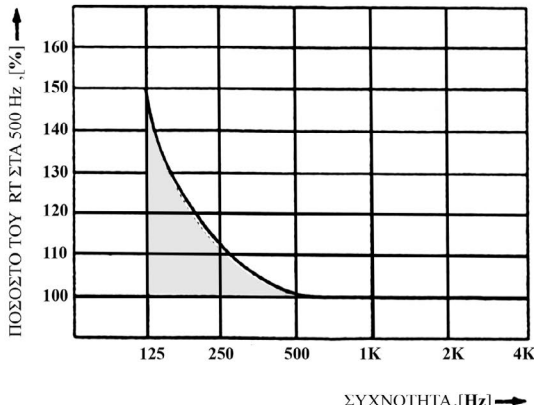
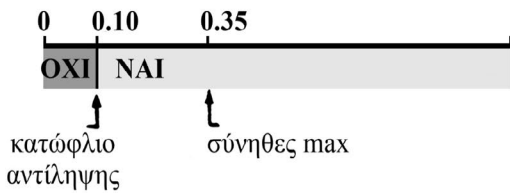
4.2.2.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ



4.2.2.3.2. ΦΥΣΙΚΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ, ΕΥΡΕΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΗΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ ΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ	ΦΥΣΙΚΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ
ΟΓΚΟΣ  ΕΥΚΡΙΝΕΙΑ  ΒΑΘΜΟΣ ΕΓΓΥΤΗΤΑΣ  ΑΝΤΙΛΗΨΗ ΤΟΥ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΗΧΗΤΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ  ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΥΦΗ 	• ΣΤΑΘΜΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ • ΛΟΓΟΣ ΤΩΝ ΠΡΩΙΜΩΝ - ΠΡΟΣ - ΤΙΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΜΕΝΕΣ ΑΝΑΚΛΑΣΕΙΣ² • ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ • ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΩΙΜΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ³ • ΚΛΑΣΜΑ ΤΩΝ ΠΡΩΙΜΩΝ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ⁴ • Σχέση χαμηλών-προς-μεσαίες συχνότητες
Σημειώσεις: ¹ Το πρόσημο αναφέρεται στη συσχέτιση (correlation) κριτηρίων της ποιότητας του ήχου και φυσικών ακουστικών κριτηρίων ² 80 ms Early- to- late sound index, “E-to-L sound index“ $\text{E-to-L sound index} = 10 \log \frac{(\text{Ηχητική ενέργεια που φθάνει στον ακροατή πριν τα } 80 \text{ ms}^9)}{(\text{Ηχητική ενέργεια που φθάνει στον ακροατή μετά τα } 80 \text{ ms}^9)} \quad [\text{dB}]$ ³ Early decay time, “EDT“ πρώιμες ανακλάσεις εδώ είναι εκείνες που αντιστοιχούν στα πρώτα 10 dB της απόσβεσης ⁹ ⁴ 80 ms Early lateral energy fraction, “L_f“ $L_f = \frac{(\text{Πλευρική ηχητική ενέργεια που φθάνει στον ακροατή πριν τα } 80 \text{ ms}^9)}{(\text{Συνολική ηχητική ενέργεια που φθάνει στον ακροατή πριν τα } 80 \text{ ms}^9)}$ ⁵ (Lehmann & Wilkens, 1980) ⁶ (Barron, 1988) ⁷ (Sotiropoulou & Fleming, 1995) ⁸ (Barron, 1993) ⁹ Έναρξη χρόνου είναι η στιγμή άφιξης στον ακροατή του απ’ ευθείας ήχου	

4.2.2.3.3. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ

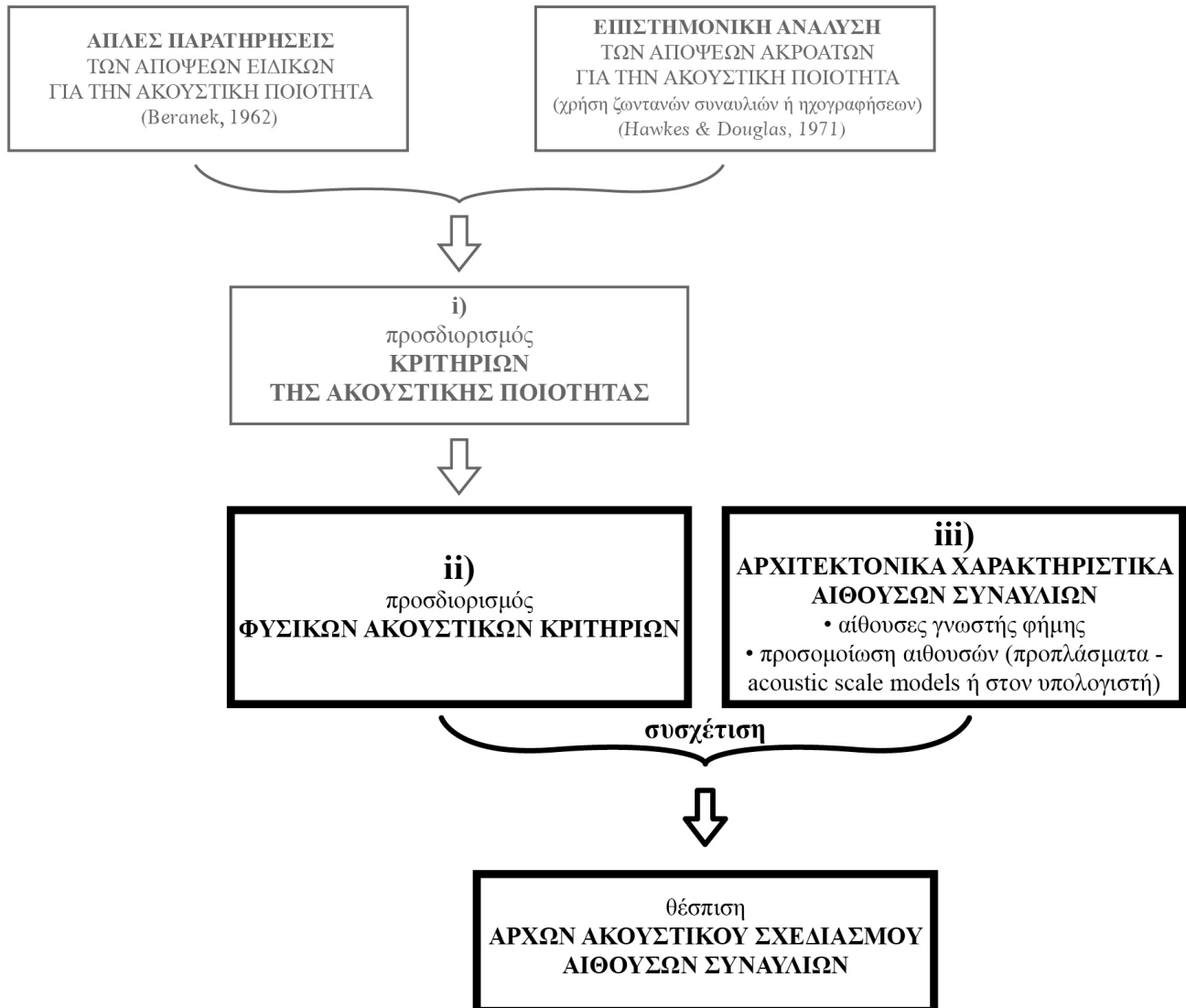
ΦΥΣΙΚΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ										
• ΣΤΑΘΜΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ • ΛΟΓΟΣ ΤΩΝ ΠΡΩΙΜΩΝ-ΠΡΟΣ-ΤΙΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΜΕΝΕΣ ΑΝΑΚΛΑΣΕΙΣ • ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ (RT)	> 0 dB, ως προς τον απ'ευθείας ήχο 10 m απο την πηγή  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Είδος μουσικής</th><th>RT¹* [s]</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Εκκλησιαστικό όργανο</td><td>> 2.5</td></tr> <tr> <td>Κλασική, Ρομαντική</td><td>1.8 ~ 2.2</td></tr> <tr> <td>Προκλασική</td><td>1.6 ~ 1.8</td></tr> <tr> <td>Μουσική δωματίου</td><td>1.4 ~ 1.7</td></tr> </tbody> </table> ¹ Μεσαίες συχνότητες * Αίθουσα με ακροατήριο  Επιθυμητή φασματική κατανομή του χρόνου αντήχησης (Όπως στον χρόνο αντήχησης ανωτέρω) 	Είδος μουσικής	RT ¹ * [s]	Εκκλησιαστικό όργανο	> 2.5	Κλασική, Ρομαντική	1.8 ~ 2.2	Προκλασική	1.6 ~ 1.8	Μουσική δωματίου	1.4 ~ 1.7
Είδος μουσικής	RT ¹ * [s]										
Εκκλησιαστικό όργανο	> 2.5										
Κλασική, Ρομαντική	1.8 ~ 2.2										
Προκλασική	1.6 ~ 1.8										
Μουσική δωματίου	1.4 ~ 1.7										
• ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΩΙΜΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ • ΚΛΑΣΜΑ ΤΩΝ ΠΡΩΙΜΩΝ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ											
Σημείωση: ¹ (Barron, 1993)											

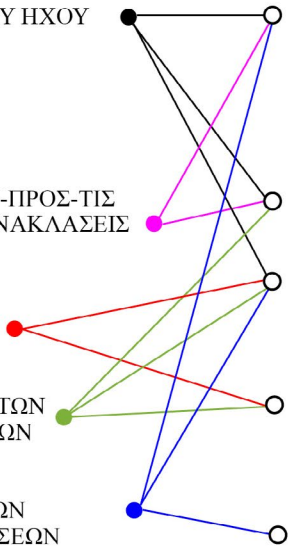
4.2.3. ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ

4.2.3.1. ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΟ ΑΚΡΟΑΤΗΡΙΟ

4.2.3.1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Συνεχ. (1 από 2)



ΦΥΣΙΚΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
ΣΤΑΘΜΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΛΟΓΟΣ ΤΩΝ ΠΡΩΙΜΩΝ-ΠΡΟΣ-ΤΙΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΜΕΝΕΣ ΑΝΑΚΛΑΣΕΙΣ ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΩΙΜΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ ΚΛΑΣΜΑ ΤΩΝ ΠΡΩΙΜΩΝ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ 	• ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΠ' ΕΥΘΕΙΑΣ ΗΧΟΥ i) ΑΠΡΟΣΚΟΠΤΗ ΠΟΡΕΙΑ ii) ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ ΟΡΧΗΣΤΡΑΣ - ΑΚΡΟΑΤΩΝ (max απόσταση από την ορχήστρα για ορθογώνια αίθουσα: 40 m max ακροατήριο: 3000 άτομα) • ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΡΩΙΜΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ • ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ (οδηγεί αβίαστα και στην επιθυμητή αύξηση του χρόνου αντήχησης στις χαμηλές συχνότητες) • ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΟΓΚΟΥ ΑΙΘΟΥΣΑΣ (εν γένει απαιτείται τεράστιος όγκος) • ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΡΩΙΜΩΝ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ • ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΕΠΑΡΚΟΥΣ ΒΑΘΜΟΥ ΔΙΑΧΥΣΗΣ
Σημείωση : Οι ζεύξεις δηλώνουν συσχετίσεις μεταξύ αρχών σχεδιασμού και φυσικών ακουστικών κριτηρίων	

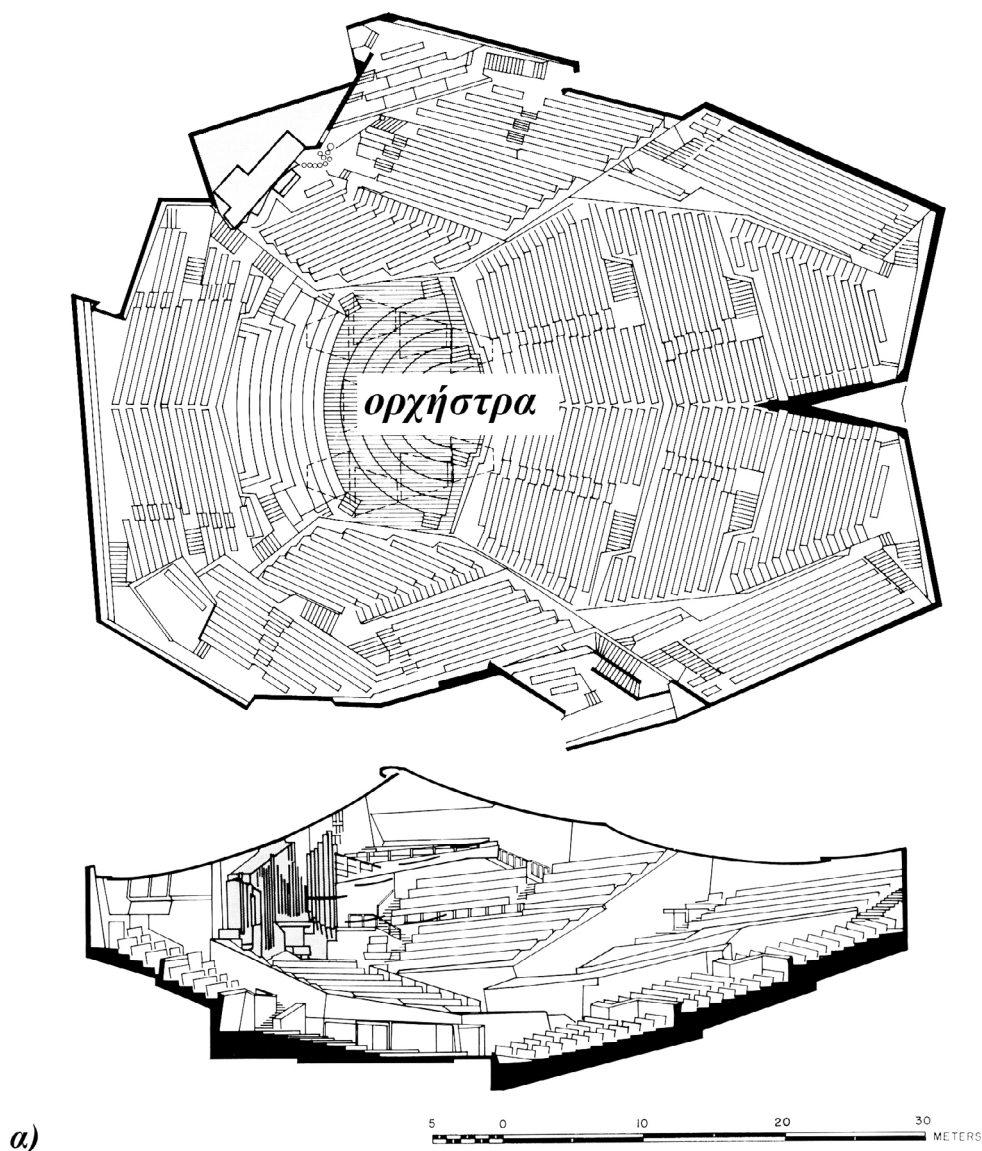
- Ελαχιστοποίηση αποστάσεων ορχήστρας - ακροατών (παλαιά αρχή σχεδιασμού· κλασικά Ελληνικά αμφιθέατρα, κυκλικές Ρωμαϊκές αρένες)

ι) ΚΥΚΛΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΑΚΡΟΑΤΗΡΙΟΥ (SURROUND HALLS)

Εγγενής περιορισμός: Ο απ' ευθείας ήχος πίσω από την ορχήστρα δεν φθάνει ζυγισμένος λόγω της κατευθυντικότητας των μουσικών οργάνων.

Τεχνική μετρίασης του περιορισμού: Οροφή που ανακλά τον ήχο της ορχήστρας πίσω από αυτήν καθώς και εμπρός.

Παράδειγμα:



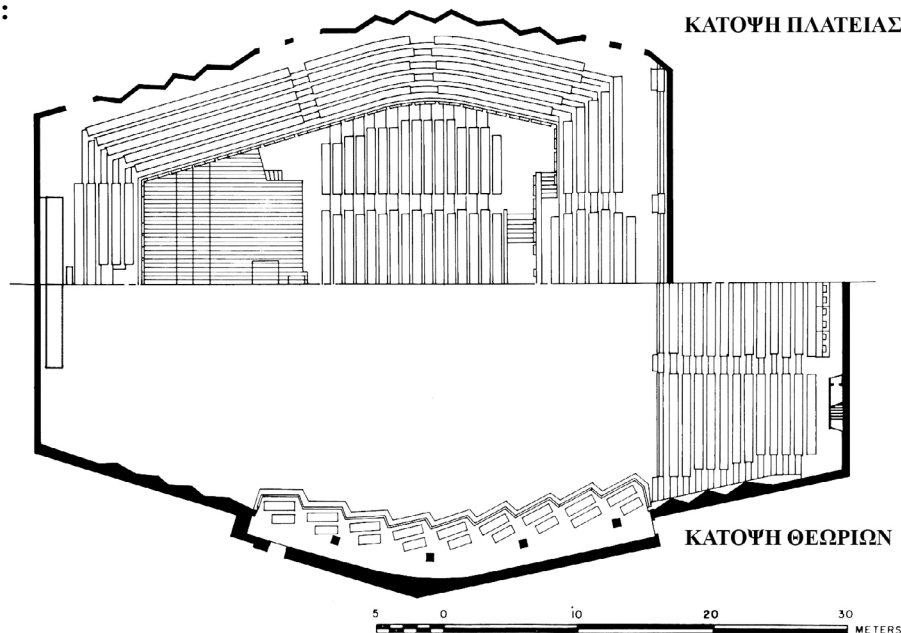


Σχήμα 4.17 Αίθουσα συναυλιών της φιλαρμονικής του Βερολίνου. Έτος 1962, ≈ 2200 άτομα. Αρχ/των: H. Scharoun, Σύμβ. ακουστικής: L. Cremer: **α)** Κάτοψη & τομή (© Beranek, 1996), **β)** Εσωτερική άποψη (www.commons.wikimedia.org)

ii) ΑΜΦΙΘΕΑΤΡΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΑΚΡΟΑΤΗΡΙΟΥ (SEMI-SURROUND HALLS)

Ο ήχος φθάνει ζυγισμένος σχεδόν σε όλο το ακροατήριο, ενώ η εντύπωση της κυκλικής διάταξης διατηρείται χάρις στις λίγες σειρές καθισμάτων πίσω από την ορχήστρα που ενίοτε φιλοξενούν και τη χορωδία.

Παράδειγμα 1:



Σχήμα 4.18 Μεγάλη αίθουσα συναυλιών (Grote Zaal) του συγκροτήματος De Doelen, Rotterdam. Κάτοψη (© Beranek, 1996). (βλέπε "Σχήμα 2.5 Μεγάλη αίθουσα συναυλιών "Grotte Zaal" του συγκροτήματος de Doelen, Rotterdam, Netherlands. Έτος 1966, ≈ 2250 άτομα. Αρχ/των: E.H. & H.M. Kraaijvanger, R.H. Fledderus, Σύμβ. ακουστικής: C.W. Kosten & P.A. De Lange. Εσωτερική άποψη της αίθουσας με εμφανή την επιφάνεια διάχυσης που φέρει ανάγλυφο γεωμετρικό μοτίβο από μάρμαρο (© Beranek, 1996)")



Σχήμα 4.19 Αίθουσα συναυλιών Roy Thomson, Toronto. Έτος 1982, ≈ 2800 άτομα. Αρχ/των: A. Erickson & Mathers, Haldenby Ass. Architects, Σύμβ. ακουστικής: Bolt, Beranek, Newman. Εσωτερική άποψη (© Beranek, 1996)



Σχήμα 4.20 Αίθουσα "Χρήστος Λαμπράκης" του μεγάρου μουσικής Αθηνών. Έτος 1991, ≈ 1960 άτομα. Αρχ/των: Εμ. Βουρέκας, Ηλ. Σκουρμπέλος, Σύμβ. ακουστικής: H. Keilholz, H.A. Müller BBM. Άποψη προς την ορχήστρα (commons.wikimedia.org), (© OMMA)

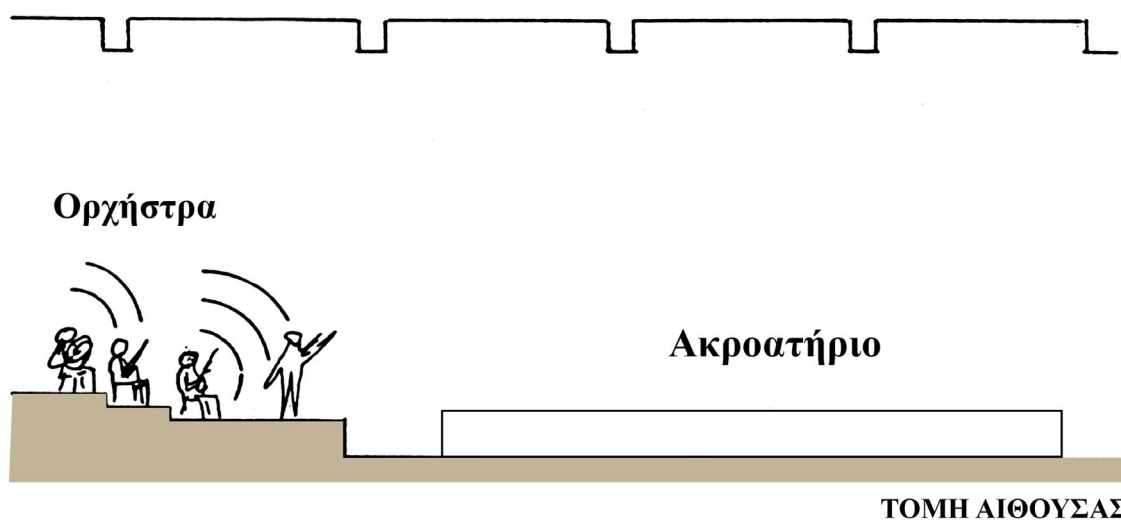
ι) ΚΛΙΣΗ ΣΤΟ ΔΑΠΕΔΟ ΤΟΥ ΑΚΡΟΑΤΗΡΙΟΥ

Ο απ' ευθείας ήχος φθάνει στον ακροατή χωρίς να διανύσει εφαπτομενικά το προκαθήμενο ακροατήριο.

Παράδειγμα:

Βλέπε "Σχήμα 4.17 Αίθουσα συναυλιών της φιλαρμονικής του Βερολίνου. Έτος 1962, ≈ 2200 άτομα. Αρχ/των: H. Scharoun, Σύμβ. ακουστικής: L. Cremer. α) Κάτοψη & τομή (© Beranek, 1996), β) Εσωτερική άποψη (www.commons.wikimedia.org)". Τα κεκλιμένα ανισοϋπή επιπέδα του ακροατηρίου, εξασφαλίζουν θέα προς την ορχήστρα, απαλλαγμένη από το προκαθήμενο κοινό, κάτι που επιτείνει την αίσθηση εγγύτητας προς τα δρώμενα.

ii) ΑΝ ΕΠΙΛΕΓΕΙ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΔΑΠΕΔΟ, ΕΠΙΒΑΛΛΕΤΑΙ ΤΟΥΛΑΧΙΣΤΟΝ ΧΡΗΣΗ ΕΞΕΔΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΡΧΗΣΤΡΑ (συμβιβαστική λύση, οι πρώτες σειρές της ορχήστρας επισκιάζουν τον απ' ευθείας ήχο των πίσω οργάνων ακόμη κι όταν χρησιμοποιούνται βαθμίδες)



Σχήμα 4.21 Σχηματική διάταξη οριζοντίου επιπέδου για το ακροατήριο με χρήση βαθμιδωτής εξέδρας για την ορχήστρα

4.2.3.1.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΠΡΩΙΜΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ ΙΔΙΑΙΤΕΡΑ ΑΠΟ ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

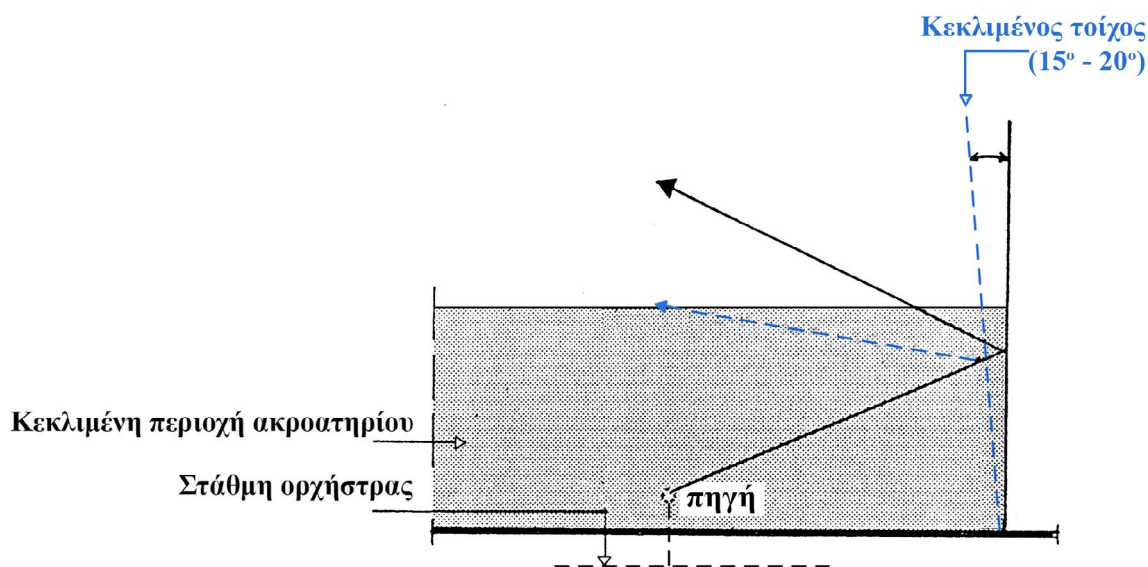
Συνεχ. (1 από 8)

Η χρήση ανακλαστήρα στην ΟΡΟΦΗ και ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΟΡΧΗΣΤΡΑ, που κατευθύνει πρώιμες ανακλάσεις μετωπικά προς το ακροατήριο, είναι **ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ** για αίθουσες συναυλιών (βλέπε "Σχήμα 2.12 Σχηματική απεικόνιση μορφοποιημένης οροφής σε αίθουσα ακροατηρίου"). Για επί πλέον προβλήματα που είναι δυνατόν να συνεπάγεται αυτού του είδους η ανακλαστική οροφή στην περίπτωση αιθουσών συναυλιών, βλέπε ενότητα "4.2.3.1.5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΕΠΑΡΚΟΥΣ ΒΑΘΜΟΥ ΔΙΑΧΥΣΗΣ".

Οι πρώιμες ανακλάσεις που φθάνουν στον ακροατή από πλευρικές κατευθύνσεις είναι ασύγκριτα πλεονεκτικές για την ακρόαση του μουσικού ήχου.

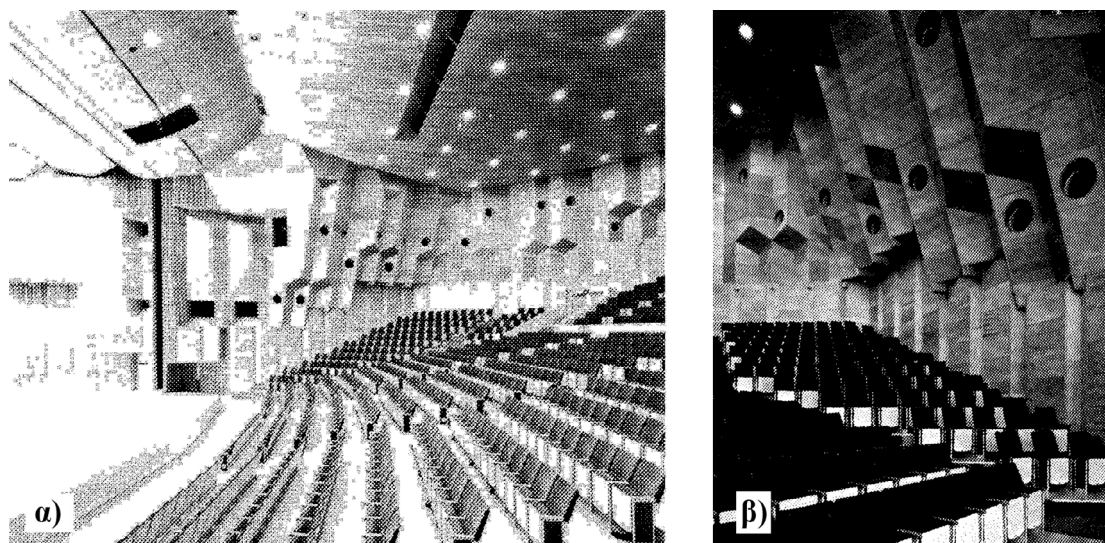
• Τεχνική παροχής πλευρικών ανακλάσεων, 1:

ΕΛΑΦΡΑ ΚΛΙΣΗ ($15^\circ - 20^\circ$) στις πλευρικές παρειές (προαπαιτείται κεκλιμένο δάπεδο)



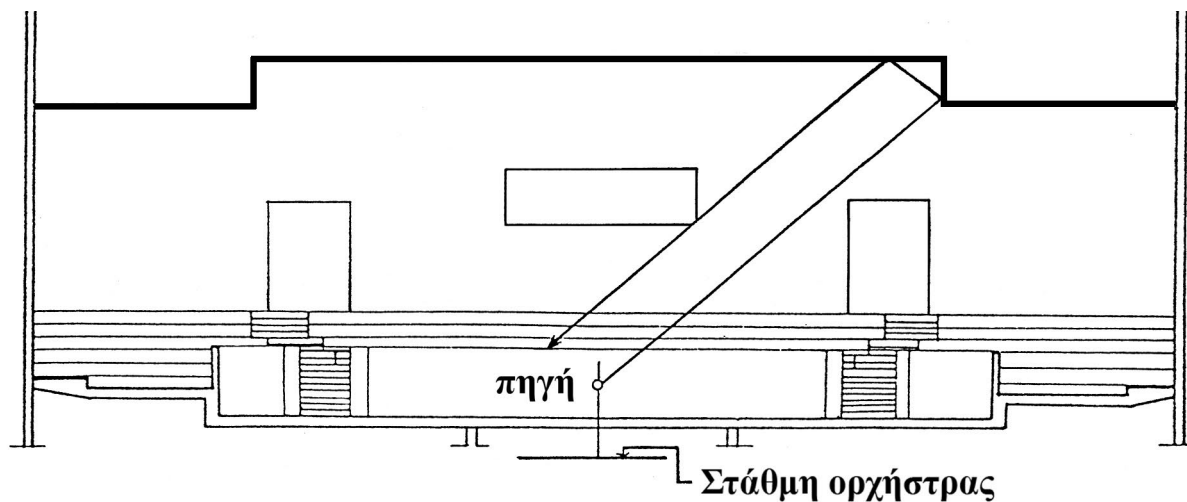
Σχήμα 4.22 Αίθουσα συναυλιών. Εγκάρσια τομή όπου φαίνεται η σχετικά πλεονεκτική ανάκλαση από τον κεκλιμένο τοίχο προς την περιοχή του ακροατηρίου.

Παράδειγμα



Σχήμα 4.23 Bach Saal του Musashino κολλεγίου μουσικής, Iruma, Saitama, Ιαπωνία. Έτος 1979. ≈ 1200 άτομα. Αρχι/των: T. Mizogushi, Σύμβ. ακουστικής: M. Nagata & Ass. α) Πλευρική άποψη της αίθουσας, β) Λεπτομέρεια των κεκλιμένων ηχοανακλαστικών στοιχείων του τοίχου. (© Talaske, Wetherill & Cavanaugh, 1982)

Ορθογωνική κάτοψη (οδοντώσεις στην οροφή σε περίπτωση πλατειάς εγκάρσιας τομής). Η ορθογωνική κάτοψη κληρονομήθηκε στον 20ο αιώνα από τις κλασικές αίθουσες του 19ου αιώνα, που έχουν πλάτος $< 23.00\text{ m}$ και στενή εγκάρσια τομή. Όμως στις σύγχρονες αίθουσες (αυξανόμενο μουσικό κοινό) χρειάστηκε να διευρυνθεί ο χώρος μεταξύ των πλευρικών παρειών με αποτέλεσμα στη μέση του ακροατηρίου οι πλευρικές ανακλάσεις να είναι ανύπαρκτες. Για την παροχή πρώιμων πλευρικών ανακλάσεων ένας τρόπος είναι η δημιουργία οδοντώσεων στην οροφή όπως φαίνεται κατωτέρω:

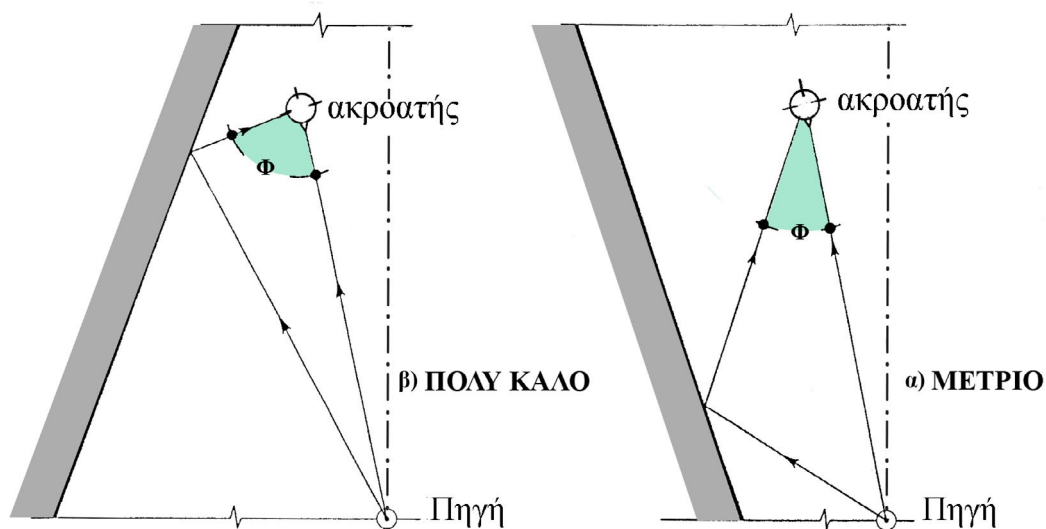


Σχήμα 4.24 Εγκάρσια τομή αίθουσας όπου οι οδοντώσεις στην οροφή συνεισφέρουν σχετικά πλευρικές πρώιμες ανακλάσεις στο ακροατήριο (© Fleming)

• Τεχνική παροχής πλευρικών ανακλάσεων, 3:

Συνεχ. (3 από 8)

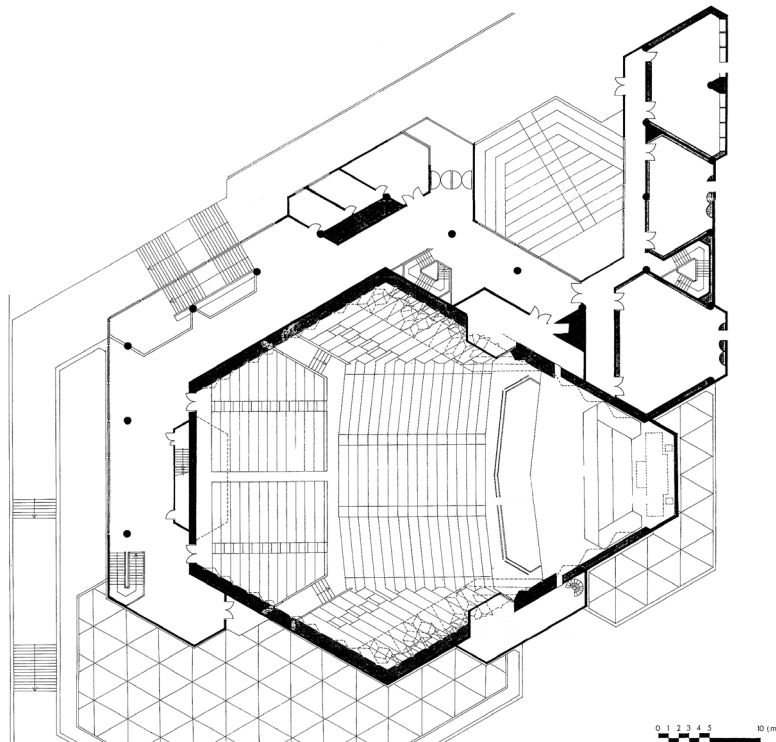
Κάτοψη σχήματος βεντάλιας. Η κάτοψη σχήματος βεντάλιας είναι δανεισμένη από αίθουσες ακρόασης ομιλίας. Υιοθετήθηκε στο πρώτο ήμισυ του 20ου αιώνα από αίθουσες συναυλιών, **χωρίς επιτυχία, διότι ελαχιστοποιεί τις πρώιμες πλευρικές ανακλάσεις στο ακροατήριο.**



Σχήμα 4.25 α) Αίθουσα σχήματος βεντάλιας. Η γωνία Φ (που σχηματίζει η πλευρική ανάκλαση με το επίπεδο συμμετρίας της κεφαλής του ακροατή που διέρχεται από την πηγή) είναι σχετικά μικρή. **β)** Αίθουσα σχήματος ανεστραμμένης βεντάλιας. Η γωνία Φ είναι σχετικά μεγάλη ► ο ήχος είναι υποκειμενικά πολύ καλύτερος.

Μια κάτοψη σε σχήμα **ανεστραμμένης βεντάλιας** θα ήταν προβληματική (πολύ πλατειά) στο πρόσθιο τμήμα της. Γι' αυτό η ανεστραμμένη βεντάλια συνιστάται **για το πίσω μέρος της κάτοψης μόνο.**

Παράδειγμα:



Σχήμα 4.26 Bach Saal του Musashino κολλεγίου μουσικής, Iruma, Saitama, Ιαπωνία. Κάτοψη (© Talaske, Wetherill & Cavanaugh, 1982). (βλέπε "Σχήμα 4.23 Bach Saal του Musashino κολλεγίου μουσικής, Iruma, Saitama, Ιαπωνία. Έτος 1979. ≈ 1200 άτομα. Αρχι/των: T. Mizogushi, Σύμβ. ακουστικής: M. Nagata & Ass. α) Πλευρική άποψη της αίθουσας, β) Λεπτομέρεια των κεκλιμένων ηχοανακλαστικών στοιχείων του τοίχου. (© Talaske, Wetherill & Cavanaugh, 1982)").

• Τεχνική παροχής πλευρικών ανακλάσεων, 4:

Συνεχ. (4 από 8)

Σε περίπτωση κάτοψης κυκλικής διάταξης (surround halls): Τεμαχισμός της περιοχής του ακροατηρίου σε κεκλιμένα ανισοϋψή επίπεδα (Οι πλευρικές παρειές του χώρου απαλείφονται, οι κατακόρυφες βαθμίδες που δημιουργούνται αποτελούν σημαντικές επιφάνειες για πλευρικές ανακλάσεις).

Παράδειγμα (η τεχνική υιοθετείται για πρώτη φορά):



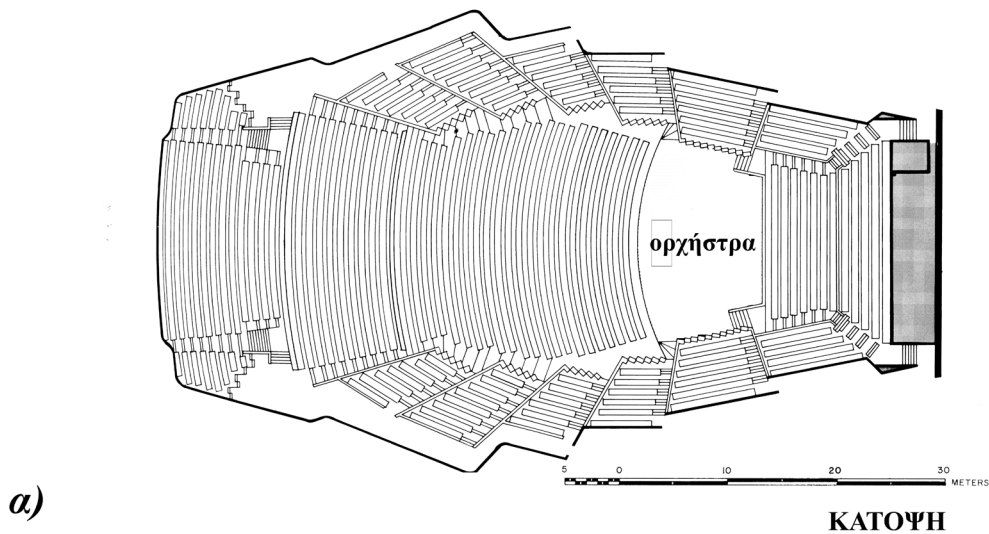
Σχήμα 4.27 Αίθουσα συναυλιών της φιλαρμονικής του Βερολίνου. α) Εξωτερική άποψη του κτιρίου. Οι γλυπτικές ωραιότητας μορφές εκφράζουν πιστά τα σχήματα του εσωτερικού χώρου - σημαντικό δείγμα ΕΞΠΡΕΣΙΟΝΙΣΜΟΥ (en. wikipedia.org), β) Άποψη του FOYER κάτω από την αίθουσα (commons.wikimedia.org). Αποκαλύπτει κομμάτι τις μορφές των ανισοϋψών επιπέδων του ακροατηρίου από επάνω (βλέπε "Σχήμα 4.17 Αίθουσα συναυλιών της φιλαρμονικής του Βερολίνου. Έτος 1962, ≈ 2200 άτομα. Αρχ/των: H. Scharoun, Σύμβ. ακουστικής: L. Cremer. α) Κάτοψη & τομή (© Beranek, 1996), β) Εσωτερική άποψη (www.commonswikimedia.org)").

Ο τεμαχισμός της περιοχής του ακροατηρίου κοινωνιολογικά εκφράζει **το άτομο στην επικράτεια του μέσα σε ένα ισορροπημένο κοινωνικό πλαίσιο** (μέσα στη δημοκρατία). Αυτή η άποψη διαφέρει εντελώς από την κλασική που υπαινίσσεται για το άτομο κάποιο βαθμό αυξημένης ή μειωμένης προτεραιότητας.

• Τεχνική παροχής πλευρικών ανακλάσεων, 5:

Σε περίπτωση κάτοψης αμφιθεατρικής διάταξης (semi-surround halls). Η τεχνική του τεμαχισμού της περιοχής του ακροατηρίου εφαρμόζεται και εδώ εξ' ίσου επιτυχώς.

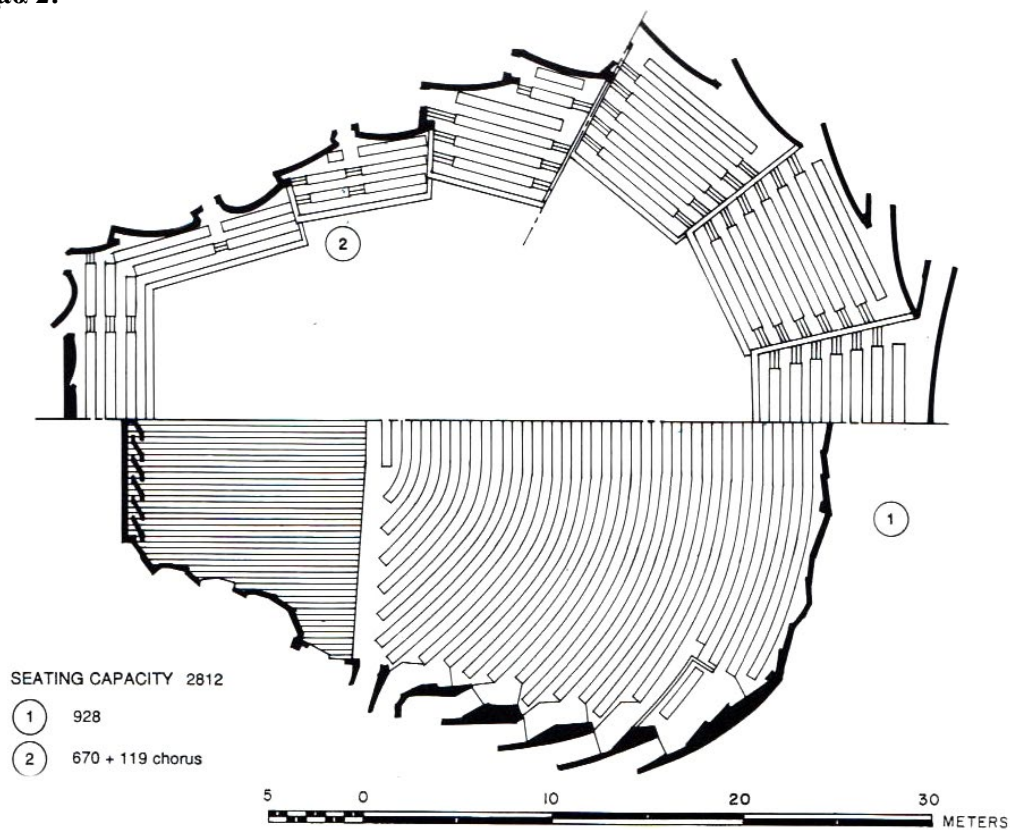
Παράδειγμα 1:



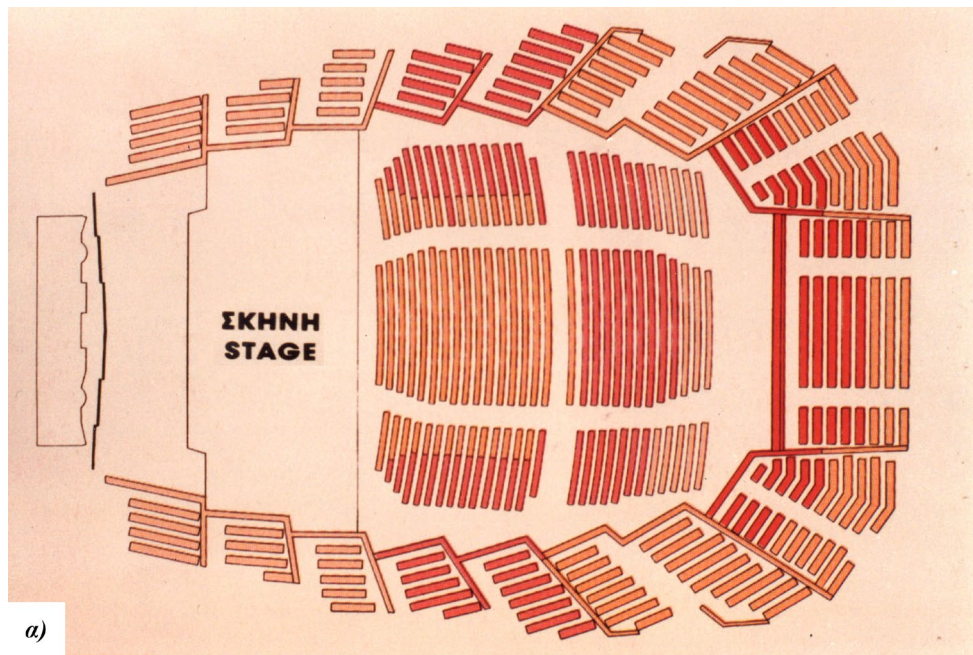


Σχήμα 4.28 Αίθουσα συναυλιών του *Sydney Opera House*. Έτος 1973, ≈ 2700 άτομα. Αρχ/των: J. Utzon, Σύμβ. ακουστικής: V.L and N.V Jordan. α) Κάτοψη (© Beranek, 1996), β) Εσωτερική άποψη (en.wikipedia.org), γ) Εξωτερική άποψη (commons.wikimedia.org)

Παράδειγμα 2:



Σχήμα 4.29 Αίθουσα συναυλιών *Roy Thomson, Toronto*. Κάτοψη (© Beranek, 1996). (βλέπε "Σχήμα 4.19 Αίθουσα συναυλιών Roy Thomson, Toronto. Έτος 1982, ≈ 2800 άτομα. Αρχ/των: A. Erickson & Mathers, Haldenby Ass. Architects, Σύμβ. ακουστικής: Bolt, Beranek, Newman. Εσωτερική άποψη (© Beranek, 1996)")



Σχήμα 4.30 Αίθουσα "Χρήστος Λαμπράκης" του μεγάρου μουσικής Αθηνών. α) Σχηματοποιημένη κάτοψη β) Εξωτερική άποψη. (© ΟΜΜΑ). (βλέπε "Σχήμα 4.20 Αίθουσα "Χρήστος Λαμπράκης" του μεγάρου μουσικής Αθηνών. Έτος 1991, ≈ 1960 άτομα. Αρχ/των: Εμ. Βουρέκας, Ηλ. Σκουρμπέλος, Σύμβ. ακουστικής: H. Keilholz, H.A. Müller BBM. Άποψη προς την ορχήστρα (commons.wikimedia.org), (© ΟΜΜΑ)"



Σχήμα 4.31 *Walt Disney Concert Hall, Los Angeles Ca, USA. Έτος 2003. $\approx$ 2275 άτομα. Αρχ/των: F. O Gehry, Σύμβ. ακουστικής: Y. Toyota of Nagata Acoustics Tokyo. α) Εσωτερική άποψη (www.flickr.com, φωτ.: Liam Keane), β) Εξωτερική άποψη. (en.wikipedia.org)*

4.2.3.1.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΟΓΚΟΥ

Συνεχ. (1 από 2)

ΑΙΘΟΥΣΑΣ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ - ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

• ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΑΤΑ C.W. KOSTEN (1966)

Χρησιμοποιείται στο αρχικό στάδιο των υπολογισμών, αλλά με ικανοποιητική ακρίβεια.

Παραδοχή (ρεαλιστική): η ηχοαπορρόφηση σε μια αίθουσα συναυλιών είναι ελάχιστη, εκτός από την ηχοαπορρόφηση του ακροατηρίου (και των ερμηνευτών).

$$RT = \frac{0.16 V}{S_A \alpha_{eq}}, \quad [s]$$

όπου:

RT: επιθυμητός χρόνος αντήχησης (Βλέπε ενότητα "2.1.4.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ")

V: βέλτιστος όγκος αίθουσας, [m³]

α_{eq} : συντελεστής ισοδύναμης ηχοαπορρόφησης της αίθουσας, [Sab]

($\alpha_{eq} = 1,07$ για μεσαίες συχνότητες και αίθουσα πλήρη)

S_A : προσανυζόμενη ηχοαπορροφητική επιφάνεια ακροατηρίου (και ερμηνευτών), [m²].

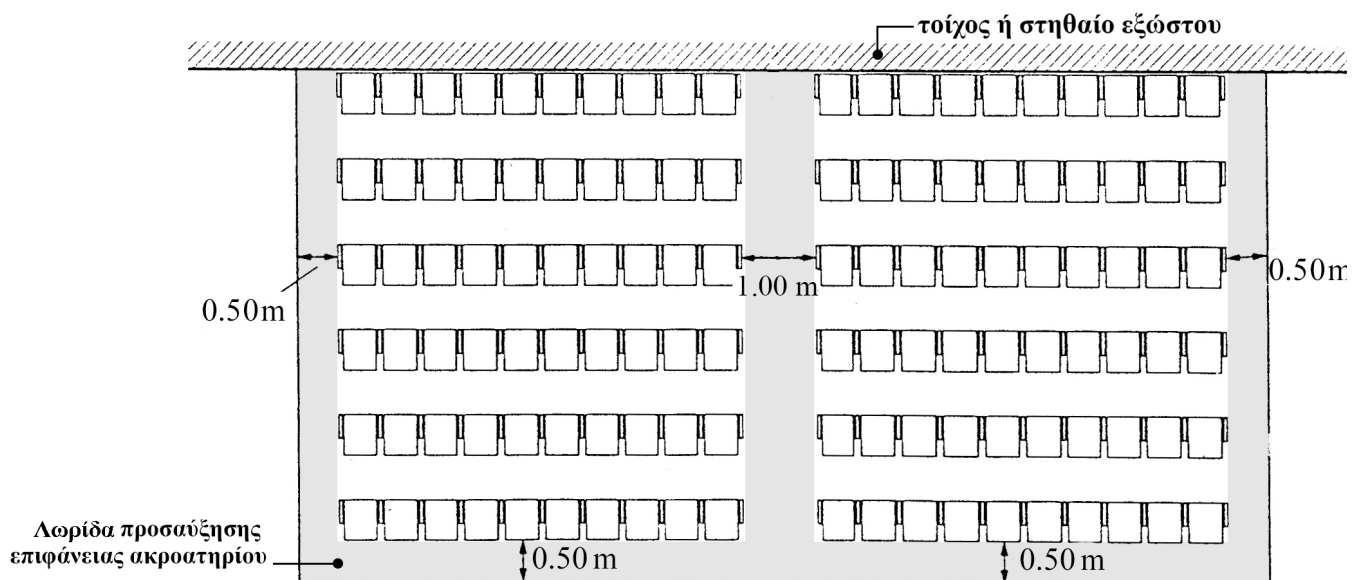
$$S_A = (N \times E) + \Pi, \quad [m^2]$$

όπου :

N: πλήθος ακροατηρίου (και ερμηνευτών) στην αίθουσα

E: εμβαδό ανά άτομο, [m²] (• E=0.57 m²/ άτομο, για κανονικό επίπεδο άνεσης ακροατηρίου, • E=1.50 m² / άτομο, για την ορχήστρα, • E=0.50 m² / άτομο, για την χορωδία)

Π : προσανύζηση εμβαδού (αναφέρεται στην τρισδιάστατη φύση των ατόμων και καθισμάτων)



Σχήμα 4.32 Προσανυζόμενη επιφάνεια ακροατηρίου " S_A ", που προκύπτει από την προσθήκη λωρίδας εύρους 0,50 m στην περίμετρο της πραγματικής επιφάνειας ακροατηρίου (© Barron, 1993)

Σημείωση: Αν ο διάδρομος μεταξύ δύο περιοχών ακροατηρίου έχει εύρος μικρότερο από 1.00 m η λωρίδα προσανύζησης εκεί έχει εύρος ίσο με το πραγματικό εύρος του διαδρόμου· αν ο διάδρομος έχει εύρος μεγαλύτερο από 1.00 m η λωρίδα προσανύζησης έχει εύρος ίσο με 1.00 m.

• ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ

(2 από 2)

Για τις τελικές ρυθμίσεις (των υλικών) στην αίθουσα, ο πλήρης υπολογισμός βάσει του τύπου του **Sabine** με αναλυτικά τα ηχοαπορροφητικά υλικά, είναι απαραίτητος. (βλέπε ενότητα "2.1.4.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ")

Η εκούσια εισαγωγή ηχοαπορροφητικών δεν συνιστάται. Όμως ενίοτε, η χρήση υλικών όπως στοιχείων διάχυσης, ανακλαστικών στοιχείων, διακοσμητικών κλπ. εισάγει αναπόφευκτα κάποια ηχοαπορρόφηση. Εν γένει για την ελαχιστοποίηση της ηχοαπορρόφησης συνιστάται **οι παρειές να είναι από συμπαγή υλικά. Τυχόν επένδυση (π.χ. ξύλο) να εφάπτεται στερεού υποστρώματος**, διαφορετικά, δηλ. αν παρεμβάλεται κενό, η επένδυση να έχει ελάχιστο πάχος 2.5 cm.

• ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

No	ΥΛΙΚΑ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΑΙ [Sab/ m ²] Οκταβικές ζώνες [Hz]					
		125	250	500	1000	2000	4000
1	Ακροατήριο ²	0.39	0.57	0.80	0.94	0.92	0.92
2	Ντυμένα με στόφα καθίσματα, μη κατειλημένα ²	0.32	0.50	0.73	0.87	0.85	0.85
3	Δερμάτινα καθίσματα, μη κατειλημένα ²	0.12	0.20	0.28	0.34	0.34	0.34
4	Επίχρισμα ή παχύ ξύλο 2.5 cm με κενό ²	0.19	0.14	0.09	0.06	0.06	0.05
5	Επίχρισμα επι beton ²	0.12	0.09	0.07	0.05	0.05	0.05
6	beton ²	0.02	0.02	0.02	0.04	0.05	0.05
7	Επένδυση λεπτού ξύλου ²	0.42	0.21	0.10	0.08	0.06	0.06
8	Κουρτίνα (βελούδο με πτυχές) ²	0.06	0.31	0.44	0.80	0.75	0.75
9	Αέρας ³	-	-	-	0.003 ⁴	0.007 ⁴	0.02 ⁴
10	Επίχρισμα 3 cm επι πλέγματος μεταλλικού ¹	0.14	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03
11	Γυψοσανίδα, 2 στρώσεις 3.2 cm ¹	0.28	0.12	0.10	0.17	0.13	0.09
12	Υαλοπίνακες ¹	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
13	Τσιμεντένιο δάπεδο ¹	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
14	Πλαστικό δάπεδο	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
15	Ξύλινο παρκέ επί τσιμεντένιας βάσης ¹	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07
16	Σανίδι επί δοκίδων ¹	0.15	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10
17	Μοκέτα παχειά επί τσιμεντένιας βάσης ¹	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65
18	Μοκέτα παχειά με λαστιχένιο υπόστρωμα ¹	0.08	0.24	0.57	0.69	0.71	0.73
19	Μοκέτα λεπτή επί τσιμεντένιας βάσης ¹	0.02	0.04	0.08	0.20	0.35	0.40

Σημειώσεις:

¹(Beranek, 1996)

²(Barron, 1993)

³(Parkin & Humphreys, 1969)

⁴Οι συντελεστές ηχοαπορρόφησης δίδονται ανά m³ αέρα

Η χρήση ελαφράς διάχυσης συνιστάται για όλες τις ανακλαστικές επιφάνειες μιας αίθουσας, είτε αυτές παρέχουν πρώιμες ανακλάσεις είτε καθυστερημένες.

• **Ηχητικά προβλήματα που αποτρέπει η εισαγωγή διάχυσης:**

- i) **Πρώιμες ανακλάσεις**
(πολύ έντονες, μικρής καθυστέρησης ≤ 20 ms)

ΨΕΥΔΑΙΣΘΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ
ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

π.χ.: Όταν ο τρομπετίστας στοχεύει σε ανακλαστική επιφάνεια είτε πλευρική είτε στην οροφή, ο ακροατής εισπράτει την ανάκλαση από εκεί η οποία είναι εντονότερη από τον απ' ευθείας ήχο· αυτό είναι έτσι διότι η τρομπέτα έχει έντονη κατευθυντικότητα μετωπικά και ιδιαίτερα στις υψηλές συχνότητες (2 kHz). Κάτω από αυτές τις συνθήκες (Haas effect), ο ακροατής έχει την ψευδαίσθηση ότι ο τρομπετίστας ευρίσκεται στην κατεύθυνση της ανάκλασης και όχι στην σκηνή. Επί πλέον, η εν λόγω έντονη ανάκλαση επιλεκτικής περιοχής του φάσματος μπορεί να οδηγήσει και σε χρωματική αλλοίωση του ήχου που εισπράτει ο ακροατής.

- ii) **Καθυστερημένες ανακλάσεις σχετικά έντονες ► ΗΧΩ (βλέπε ενότητα "2.2.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ")**

• **Παραδείγματα εφαρμογής:**

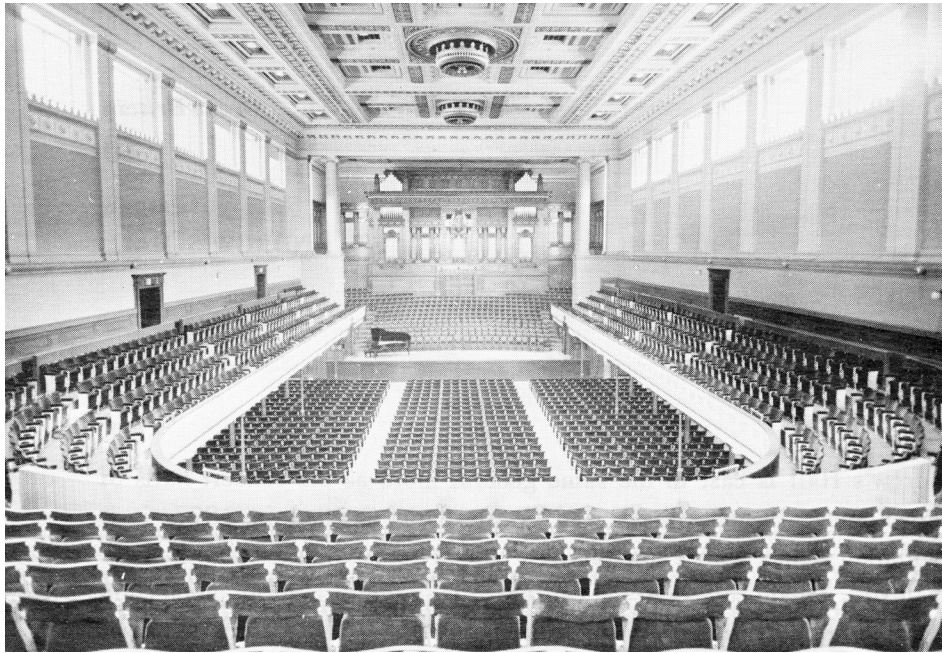
Παράδειγμα διάχυσης στις πλευρικές παρειές:



Σχήμα 4.33 *Queen Elizabeth Hall, Λονδίνο Έτος 1967, ≈ 1100 άτομα. Αρχ/των: Greater London Council. Εσωτερική Αποψη (© Barron, 1993). ΑΒΑΘΕΙΣ ΟΔΟΝΤΩΣΕΙΣ (0.40 m) ανά 1.70 m στις πλευρικές παρειές, προκαλούν διάχυση γύρω στο 1 kHz. ΣΧΙΣΜΕΣ εύρους 8.0 cm επί της οδοντωτής παρειάς εμπλουτίζουν τη διάχυση στα 4 kHz.*

Παράδειγμα διάχυσης στην οροφή, 1:

(2 από 2)



Σχήμα 4.34 *St. Andrew's Concert Hall, Γλασκώβη. Έτος 1877, ≈ 2200 άτομα. Αρχ/των: J. Cunningham. Άποψη της αίθουσας με τη ΦΑΤΝΩΜΑΤΙΚΗ ΟΡΟΦΗ (© Beranek, 1962)*

Παράδειγμα διάχυσης στην οροφή, 2:



Σχήμα 4.35 *Fairfield Hall, Croydon, Λονδίνο. Έτος 1962, ≈ 1750 άτομα. Αρχ/των: R. Atkinson and Partners, Σύμβ. ακουστικής: H. Bagenal. Εσωτερική άποψη. Την οροφή διασχίζουν εγκαρσίως δοκοί αβαθείς (0.75 m) ανά 2.50 m.*

Παράδειγμα διάχυσης μέσω εξωστών:

Αίθουσα Συναυλιών του Neues Gewandhaus, Λειψία. Στην αίθουσα δεσπόζει ο αβαθός εξώστης (βλέπε "Σχήμα 4.4 Αίθουσα συναυλιών του Neues Gewandhaus, Λειψία. Έτος 1886, ≈ 1560 άτομα. Αρχ/των: M.K.P Gropius, H. Schmieden. (www.flickr.com, φωτ.: Janwillemssen). Κατέρρευσε στη διάρκεια του 2ου παγκοσμίου πολέμου.")

Αρχή σχεδιασμού:

Για την εξασφάλιση καθυστερημένων ανακλάσεων προς το ακροατήριο απ' όλες τις κατευθύνσεις ► **Απρόσκοπτη πορεία προς το ακροατήριο, των καθυστερημένων ανακλάσεων**, π.χ. πάνω από το ακροατήριο να υπάρχει άπλετος ελεύθερος χώρος και όχι πρόβολοι εξωστών.

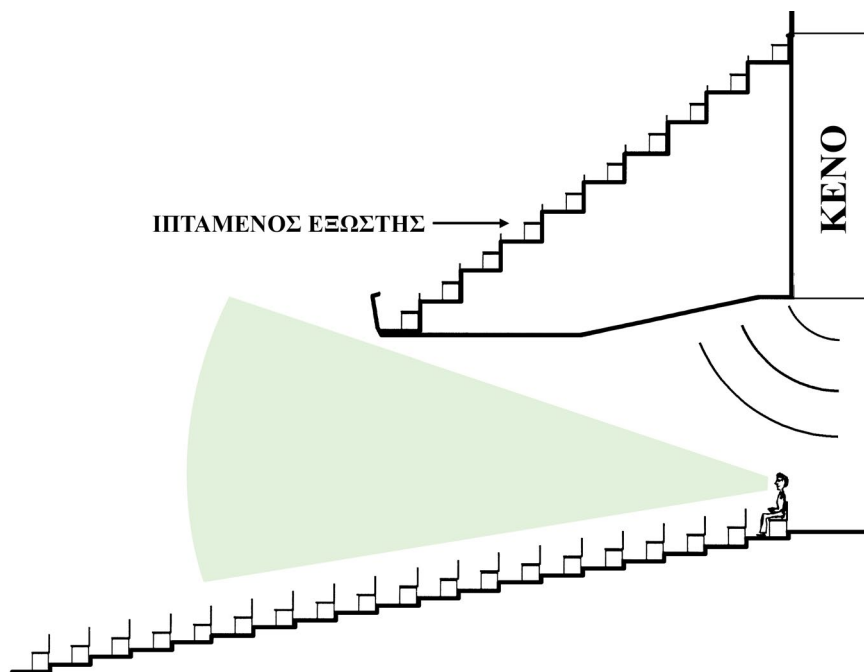
Εφαρμογές

- **ΑΠΟΦΥΓΗ ΕΝΤΟΝΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΣΤΟ ΔΑΠΕΔΟ ΤΟΥ ΑΚΡΟΑΤΗΡΙΟΥ**

Η έντονη κλίση περιορίζει τις καθυστερημένες ανακλάσεις από τα νώτα, αφού οι ακροαταί έχουν ουσιαστικά στα νώτα τους μια απορροφητική έκταση.

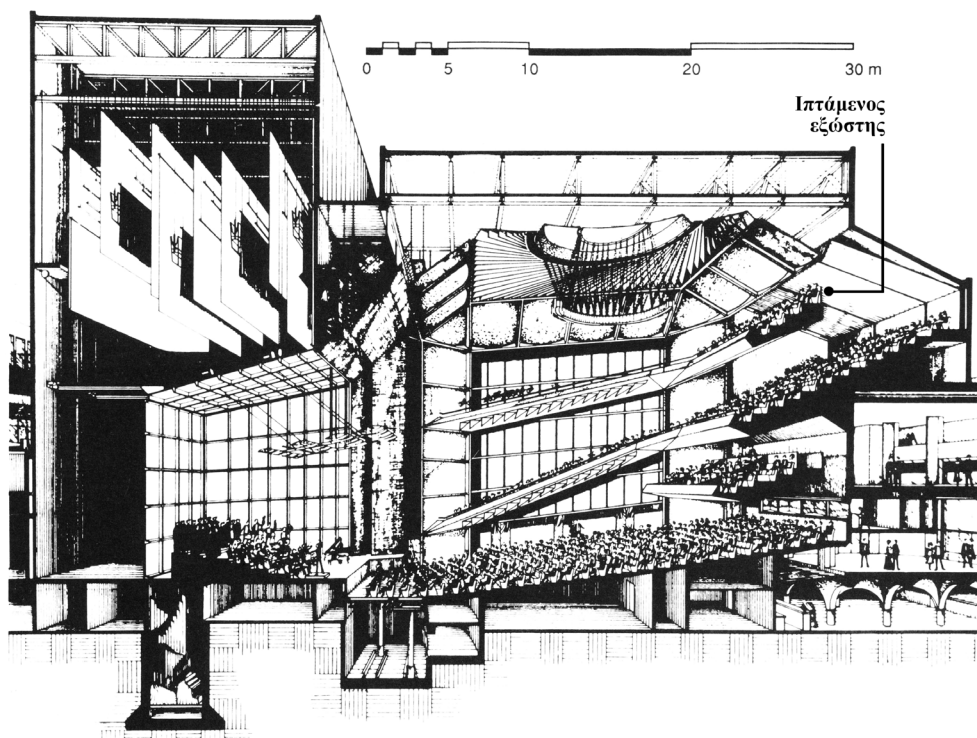
Ικανοποιητική κλίση < 25%.

- **ΕΞΩΣΤΕΣ**

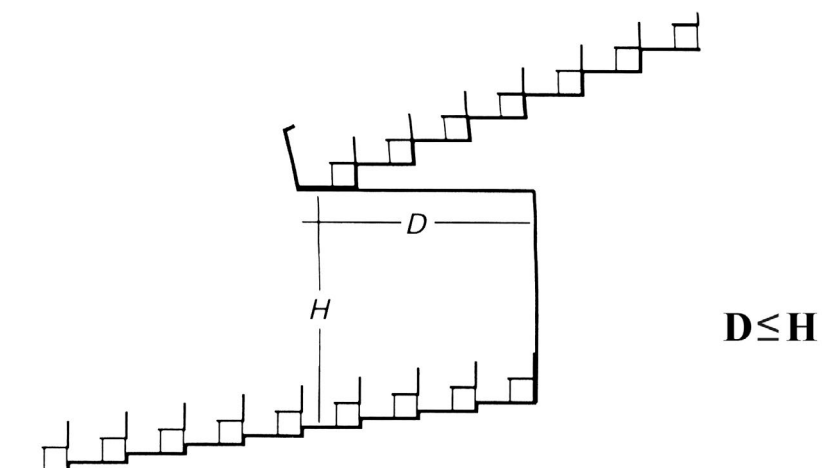


Σχήμα 4.36 Εξώστης βαθύς (μέτρια λύση) (© Barron, 1993). Η γωνία υποδοχής των καθυστερημένων ανακλάσεων ελαττώνεται όσο βαθύτερος είναι ο εξώστης. Συνιστάται η εφαρμογή κενού («ιπτάμενος εξώστης») για την ενστάλαξη διάχυτου καθυστερημένου ήχου στο βάθος κάτω από τον εξώστη.

Παράδειγμα:



Σχήμα 4.37 Αίθουσα Uihlein του Milwaukee Krannert Center, USA. Έτος 1969, ≈ 2300 άτομα. Αρχ/των: H. Weese, Σύμβ. ακουστικής: Bolt, Beranek, Newman. Προοπτική τομή, διακρίνεται ο "ιπτάμενος εξώστης". (© Barron, 1993)



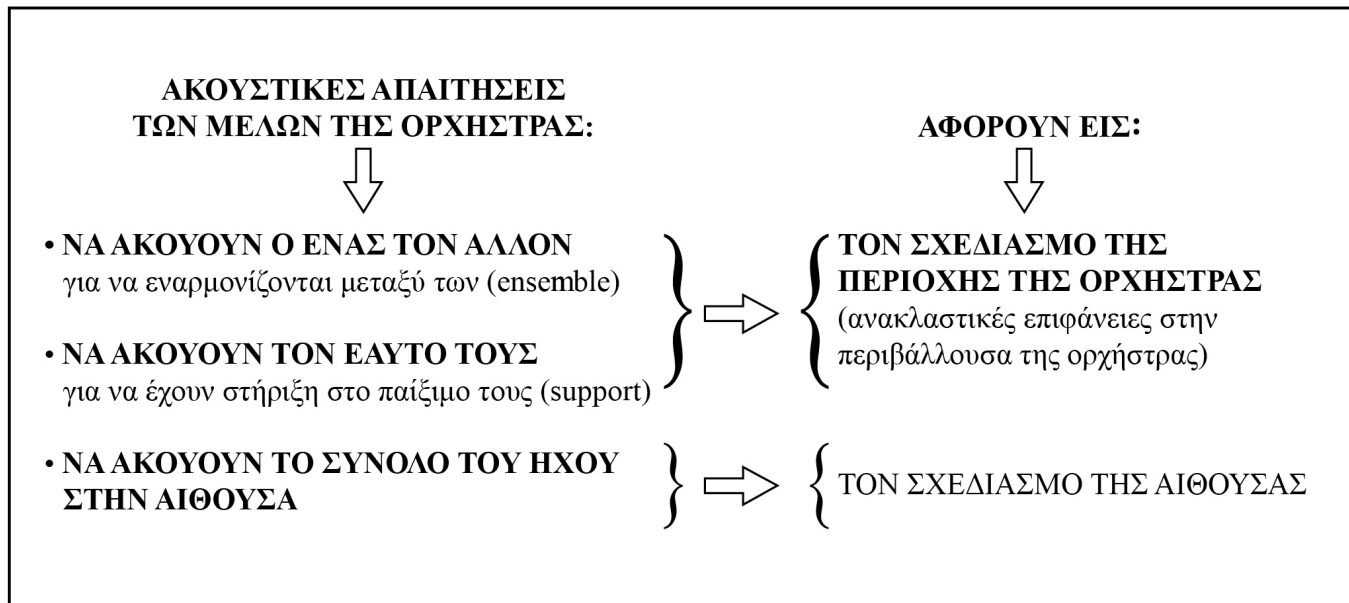
Σχήμα 4.38 Εξώστης αβαθής (ιδανική λύση) (© Barron, 1993)

Παράδειγμα:

Βλέπε "Σχήμα 4.5 Musikvereinsaal, Βιέννη. Έτος 1870, ≈ 1700 άτομα. Αρχ/των: T.R. von Hansen. (de.wikipedia.org). Αίθουσα γνωστή από την καθιερωμένη πρωτοχρονιάτικη συναυλία της συμφωνικής ορχήστρας της Βιέννης."

4.2.3.2. ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΕΡΜΗΝΕΥΤΕΣ

4.2.3.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ



4.2.3.2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΞΕΔΡΑΣ ΣΥΜΦΩΝΙΚΗΣ ΟΡΧΗΣΤΡΑΣ (PLATFORM)

Συνεχ. (1 από 2)

• ΕΜΒΑΔΟΝ ΕΞΕΔΡΑΣ:

Μέση τιμή μονάδος: (περιλαμβάνει διαδρόμους, χώρο για solistes κλπ.), **1.90 m² / μουσικό.** (Τα μέλη πλήρους συμφωνικής ορχήστρας είναι συνήθως ≈ 100).

• ΣΧΗΜΑ ΕΞΕΔΡΑΣ:

i) Όχι πολύ βαθιά (max βάθος: **11.00 m**).

ii) Όχι πολύ ευρεία (max εύρος: **17.00 m**) (ώστε η χρονική καθυστέρηση του ήχου μεταξύ απομακρυσμένων οργάνων να μην είναι υπερβολική και εμποδίζει το εναρμονισμένο παίξιμο).

• ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΕΔΡΑΣ:

0.50 m $\leq$ Σ < 1.20 m, όπου Σ : Στάθμη ως προς το δάπεδο του προσκειμένου ακροατηρίου.

• ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΞΕΔΡΑΣ:

Σανίδι πάχους 2.5 cm, επι δοκίδων ανά 0.60 m ώστε το δάπεδο να είναι ηχητικά ζωντανό αλλά και δομικά στερεό.

• ΒΑΘΜΙΔΕΣ ΕΞΕΔΡΑΣ:

i) Συμβάλλουν ώστε, **αδύνατα όργανα** (π.χ. 2α βιολιά) **να μην επισκιάζονται** από τα προκαθήμενα όργανα.

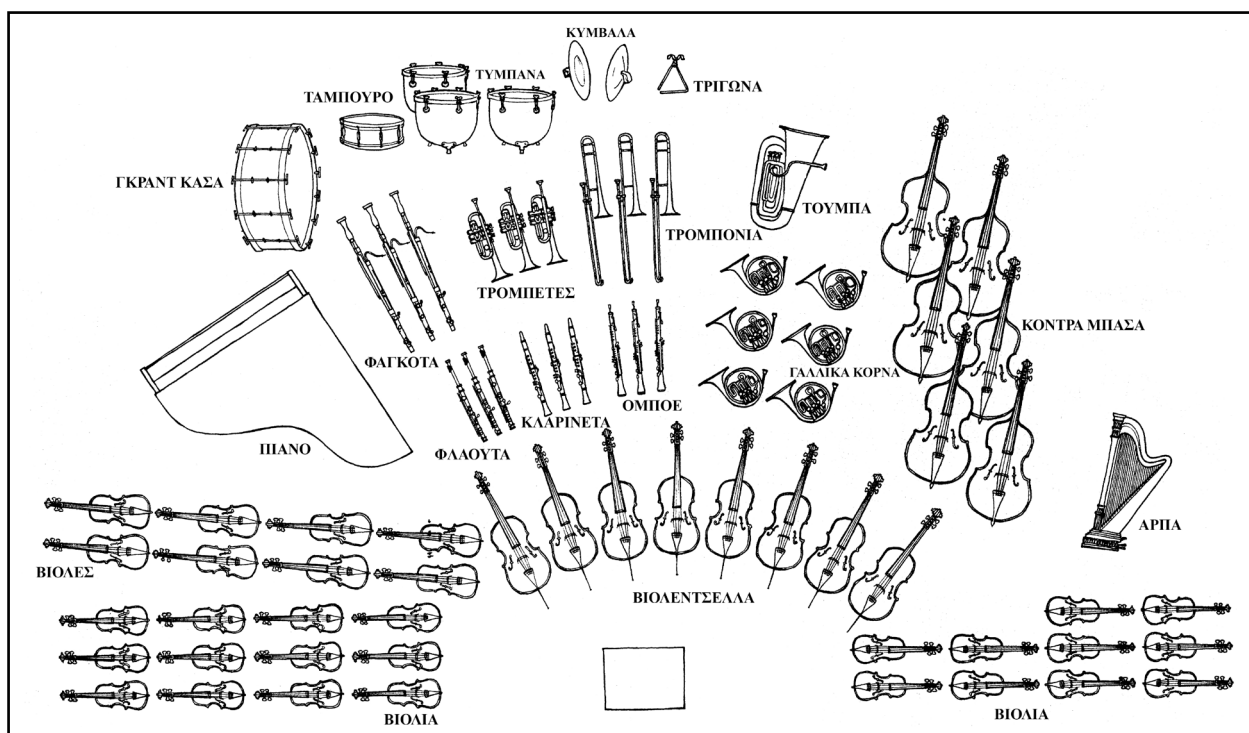
ii) Συνήθως τέσσερις στάθμες με βαθμιδόν προς το βάθος αυξανόμενο εύρος.

ii) Ύψος βαθμίδων: 0.10 m, βαθμιδόν προς το βάθος αυξανόμενο ελαφρώς.

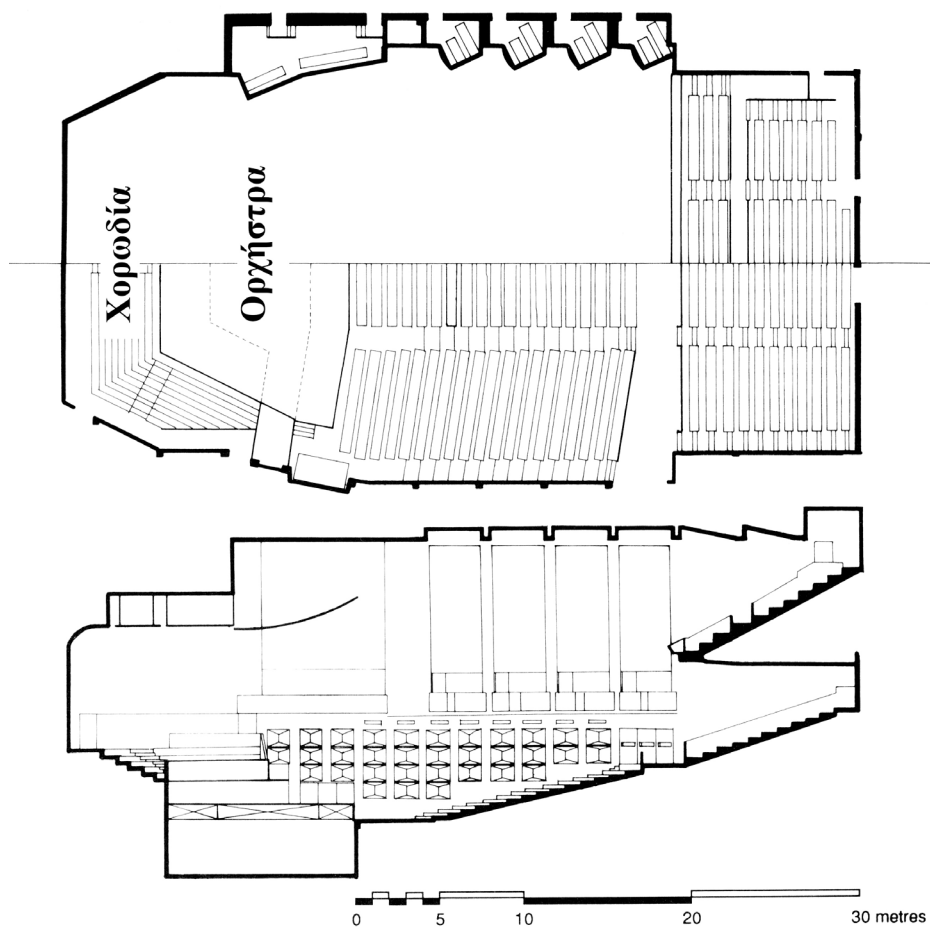
• ΧΟΡΩΔΙΑ:

i) Χώρος συνήθως ανεξάρτητος, πίσω από την ορχήστρα, διατεταγμένος σε βαθμίδες.

ii) 0.50 m² ανά χορωδό.

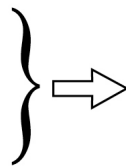


Σχήμα 4.39 Τυπική διάταξη σύγχρονης συμφωνικής ορχήστρας (© Gammond, 1970)



Σχήμα 4.40 *Fairfield Hall, Croydon, Λονδίνο. Κάτοψη & τομή (© Barron, 1993). (βλέπε "Σχήμα 4.35 Fairfield Hall, Croydon, Λονδίνο. Έτος 1962, ≈ 1750 άτομα. Αρχ/των: R. Atkinson and Partners, Σύμβ. ακουστικής: H. Bagenal. Εσωτερική άποψη. Την οροφή διασχίζουν εγκάρσιως δοκοί αβαθείς (0.75 m) ανά 2.50 m.").*

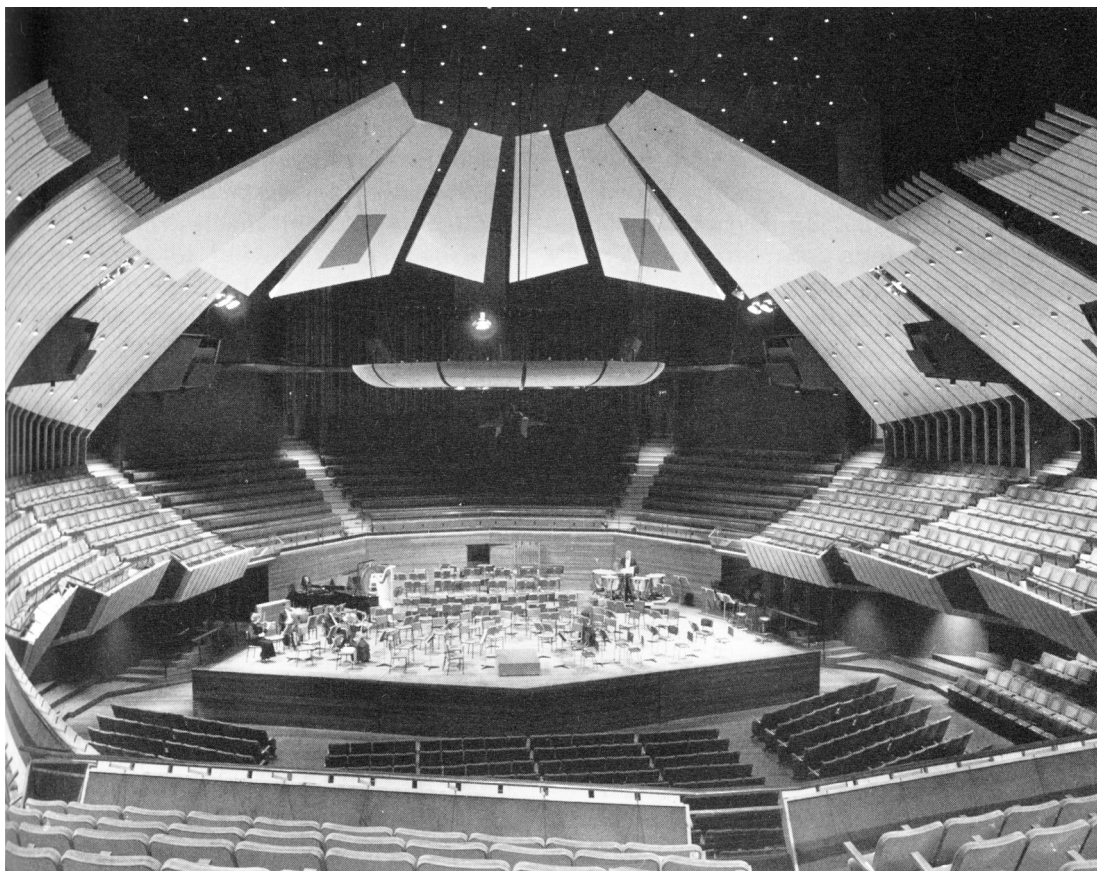
Τεχνικές σχεδιασμού για την εξασφάλιση απρόσκοπτης πορείας πρώιμων ανακλάσεων προς την ορχήστρα



ΕΛΑΦΡΑ ΚΛΙΣΗ στο άνω τμήμα των παρειών (ή στηθαίων εξωστών) που περιβάλλουν την ορχήστρα

ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΕΞΩΣΤΩΝ, η οροφή των οποίων σε συνδυασμό με τον προσκείμενο τοίχο, παρέχουν χρήσιμες ανακλάσεις στην προσκείμενη ορχήστρα

Παράδειγμα 1:



Σχήμα 4.41 *Christchurch Town Hall, Ν. Ζηλανδία. Έτος 1972, ≈ 2700 άτομα. Αρχ/των: Warren and Mahoney, Σύμβ. ακουστικής: A.H. Marshall. Άποψη της ορχήστρας και των περίξ εξωστών με ελαφρώς κεκλιμένα στηθαία (© Barron, 1993)*



a)



β)

Σχήμα 4.42 Fairfield Hall, Croydon, Λονδίνο. α) Πρόσθια όψη εμφανίζουσα την περιβάλλουσα της ορχήστρας β) Λεπτομέρεια της περιβάλλουσας την ορχήστρα ανακλαστικής επιφάνειας από υλικά συμπαγή, τουλάχιστον $20 \text{ kg} / \text{m}^2$. (βλέπε "Σχήμα 4.35 Fairfield Hall, Croydon, Λονδίνο. Έτος 1962, ≈ 1750 άτομα. Αρχ/των: R. Atkinson and Partners, Σύμβ. ακουστικής: H. Bagenal. Εσωτερική άποψη. Την οροφή διασχίζουν εγκάρσιως δοκοί αβαθείς (0.75 m) ανά 2.50 m.")

4.2.3.2.4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΟΡΧΗΣΤΡΑ

Συνεχ. (1 από 2)

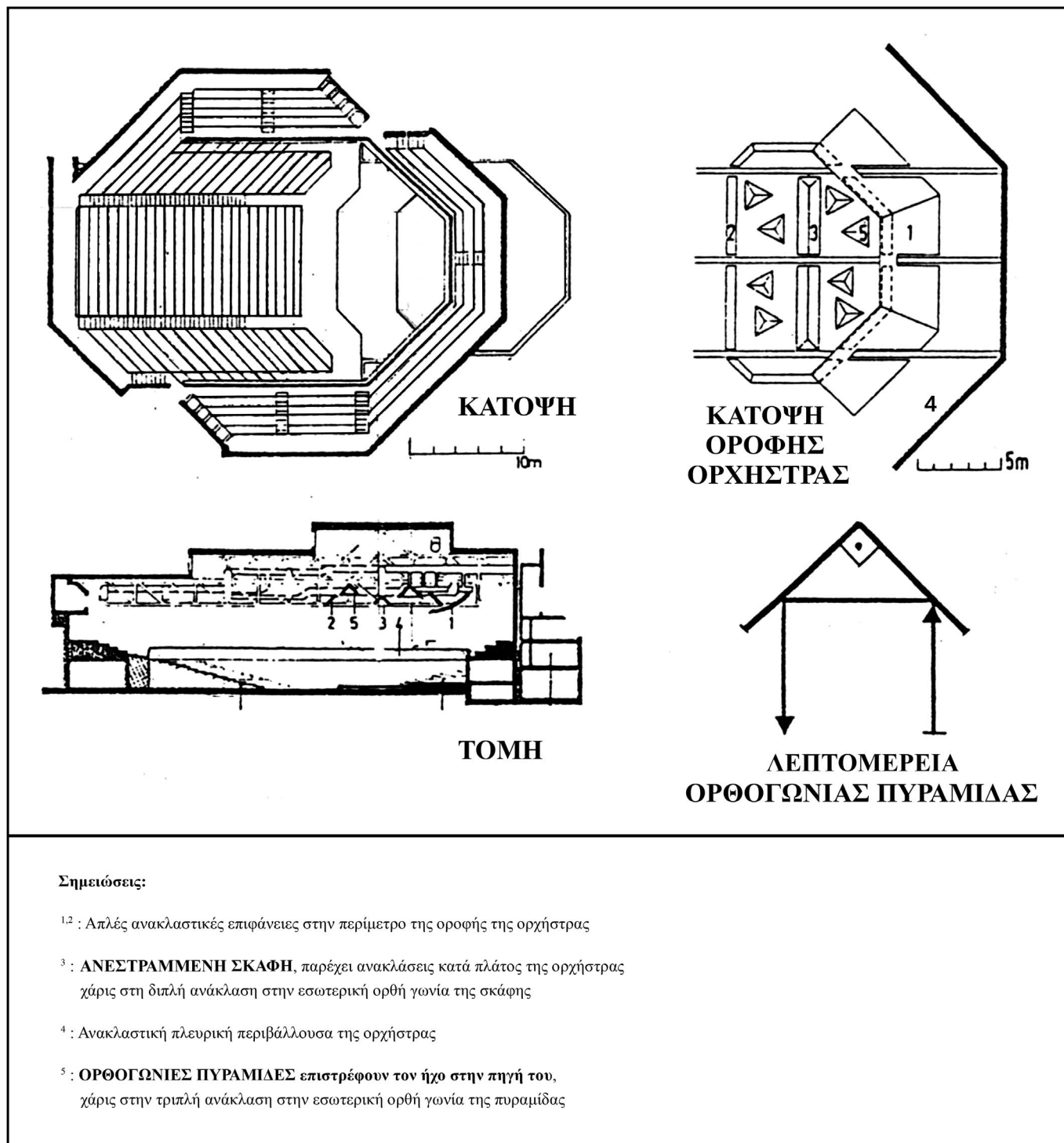
Χρησιμοποιείται για την **παροχή πρώιμων (χρήσιμων) ανακλάσεων προς την ορχήστρα** (όχι προς το ακροατήριο), όταν η πλευρική περιβάλλουσα της ορχήστρας δεν είναι επαρκής

Χαρακτηριστικά ανακλαστήρα:

- ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ: 6.00 ~ 8.00 m
- ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΑ προς την οροφή

• Παράδειγμα επωφελούς χρήσης ανακλαστήρα, 1:

Αίθουσα Συναυλιών Roy Thomson, Toronto. Άποψη της ορχήστρας και του υπερκείμενου ανακλαστήρα. Ο ανακλαστήρας αποτελείται από πολλά ελεύθερα αναρτημένα κομμάτια. (βλέπε "Σχήμα 4.19 Αίθουσα συναυλιών Roy Thomson, Toronto. Έτος 1982, ≈ 2800 άτομα. Αρχ/των: A. Erickson & Mathers, Haldenby Ass. Architects, Σύμβ. ακουστικής: Bolt, Beranek, Newman. Εσωτερική άποψη (© Beranek, 1996)")



Σχήμα 4.43 Butterworth Hall, University of Warwick Arts Centre. Έτος 1981, ~ 1300 άτομα. Αρχ/των: R. Howard, W. Levin, Σύμβ. ακουστικής: J. Charles, D.B. Fleming, J. Miller: (Charles, Fleming & Miller, 1985), (© Fleming)

• Παράδειγμα άσκοπης έως και επιζήμιας χρήσης ανακλαστήρα:

Royal Festival Hall, London. Ακατάλληλη διάταξη ανακλαστήρα πάνω από την ορχήστρα προβάλλει τον μουσικό ήχο προς το ακροατήριο, το οποίο είναι άσκοπο έως και επιζήμιο. (βλέπε "Σχήμα 4.11 Royal Festival Hall, London. Έτος 1951, ~3000 άτομα. Αρχ/των: R.H. Mathews, J.L. Martin, E. Williams, P.M. Moto, Σύμβ. ακουστικής: H. Bagenal with BRE. α) Κάτοψη & τομή (© Barron, 1993), β) Εσωτερική άποψη (© Beranek 1996), γ) Εξωτερική άποψη (www.commonswikimedia.org). Κτίστηκε στη θέση του Queen's Hall που είχε καταστραφεί στη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου πολέμου. Γνήσιο προϊόν του μοντερνισμού, σύμβολο του ανανεωτικού πνεύματος στο μεταπολεμικό Λονδίνο.")

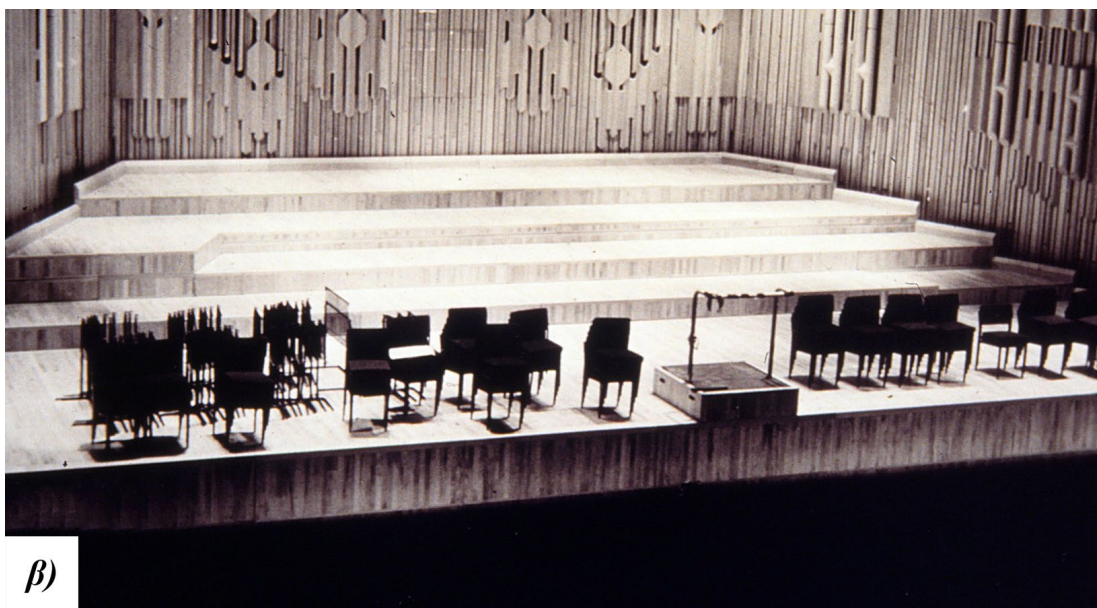
4.2.3.2.5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑ ΤΗΣ ΟΡΧΗΣΤΡΑΣ

Οι ανακλαστικές επιφάνειες που περιβάλλουν την ορχήστρα πρέπει να διαθέτουν ελαφρό βαθμό διάχυσης για την αποφυγή ηχητικών προβλημάτων, όπως χρωματική αλλοίωση του ήχου κ.ά.

Παράδειγμα 1:

Αίθουσα Συναντιών Roy Thomson, Toronto. Άποψη της ορχήστρας και του υπερκείμενου ανακλαστήρα. Ο τεμαχισμός του ανακλαστήρα σε πολλά ελεύθερα τμήματα εισάγει αυτομάτως αρκετή διάχυση. (βλέπε "Σχήμα 4.19 Αίθουσα συναυλιών Roy Thomson, Toronto. Έτος 1982, ≈ 2800 άτομα. Αρχ/των: A. Erickson & Mathers, Haldenby Ass. Architects, Σύμβ. ακουστικής: Bolt, Beranek, Newman. Εσωτερική άποψη (© Beranek, 1996)")

Παράδειγμα 2:



Σχήμα 4.44 Αίθουσα συναυλιών του Barbican Arts Centre, Λονδίνο. Έτος 1982, ≈ 2026 άτομα. Αρχ/των: Chamberlain, Powell, Bon, Σύμβ. ακουστικής: H. Creighton. α) Άποψη προς την ορχήστρα, (www.geograph.org.uk) β) Λεπτομέρεια του κελύφους της ορχήστρας. Το κέλυφος φέρει επένδυση ξύλου με λαξευμένα διακοσμητικά στοιχεία διάχυσης.

4.2.3.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ, -ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΟΔΗΓΟΣ

1ο ΒΗΜΑ:

Αρχικός υπολογισμός βέλτιστου όγκου αίθουσας (βλέπε ενότητα "4.2.3.1.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΙΘΟΥΣΑΣ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ - ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ").

2ο ΒΗΜΑ:

Σκαρίφημα αίθουσας, σε κάτοψη και τομή.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ:

- Δογματικές οδηγίες για το **σχήμα του χώρου** δεν έχουν σήμερα πλέον θέση (κλασικό ορθογωνικό σχήμα με στενή εκάρσια τομή, δεκτό).
- Max χωρητικότητα ≈ 3000 άτομα.
- **Ελαχιστοποίηση αποστάσεων** ορχήστρας-ακροατών (max βάθος για αίθουσες ορθογωνικές: 40m).
- **Κεκλιμένο δάπεδο** για το ακροατήριο (βλέπε ενότητα "4.2.3.1.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΠ' ΕΥΘΕΙΑΣ ΗΧΟΥ" και "4.2.3.1.5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΕΠΑΡΚΟΥΣ ΒΑΘΜΟΥ ΔΙΑΧΥΣΗΣ").
- **Εξασφάλιση** άφθονων **πρώιμων ανακλάσεων** κυρίως από πλευρικές κατευθύνσεις, σε όλο το ακροατήριο (βλέπε ενότητα "4.2.3.1.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΠΡΩΙΜΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ ΙΔΙΑΙΤΕΡΑ ΑΠΟ ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ").
- **Χρήση ελαφράς διάχυσης** επί εκτεταμένων ανακλαστικών επιφανειών (βλέπε ενότητα "4.2.3.1.5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΕΠΑΡΚΟΥΣ ΒΑΘΜΟΥ ΔΙΑΧΥΣΗΣ").
- Εξώστες αβαθείς (βλέπε ενότητα "4.2.3.1.5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΕΠΑΡΚΟΥΣ ΒΑΘΜΟΥ ΔΙΑΧΥΣΗΣ").
- **Αποφυγή** εκούσιας εισαγωγής ηχοαπορροφητικών.
- Χρήση **εξέδρας με βαθμίδες** για την **ορχήστρα** (βλέπε ενότητα "4.2.3.2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΞΕΔΡΑΣ ΣΥΜΦΩΝΙΚΗΣ ΟΡΧΗΣΤΡΑΣ (PLATFORM)").
- Πέριξ και πάνω από την ορχήστρα, **χρήση ανακλαστήρων για την ορχήστρα** (ΟΧΙ για το ακροατήριο) (βλέπε ενότητα "4.2.3.2.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΤΗΣ ΟΡΧΗΣΤΡΑΣ" και "4.2.3.2.4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΟΡΧΗΣΤΡΑ").
- **Όχι** **μορφοποιημένη ανακλαστική οροφή** (βλέπε ενότητα "4.2.3.1.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΠΡΩΙΜΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ ΙΔΙΑΙΤΕΡΑ ΑΠΟ ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ"), αλλά διάχυση στην οροφή.
- **Έλεγχος** στον σχεδιασμό της αίθουσας όσον αφορά στην αντιμετώπιση **ηχητικών προβλημάτων** (βλέπε ενότητα "2.2.2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΤΗΣ ΗΧΟΥΣ", "2.2.3.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΠΛΑΤΑΓΙΣΜΟΥ" και "2.2.4.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΕΣΤΙΑΣΜΟΥ").
- Σχεδιασμός **προστασίας** της αίθουσας από **θορύβους και κραδασμούς** (βλέπε ενότητα "2.2.5. ΠΑΡΕΙΣΛΥΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΚΑΙ ΚΡΑΔΑΣΜΩΝ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ").

3ο ΒΗΜΑ:

Αναλυτικός υπολογισμός όγκου αίθουσας / Υπολογιστικός έλεγχος ελαχιστοποίησης ηχοαπορροφητικών (βλέπε ενότητα "4.2.3.1.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΑΙΘΟΥΣΑΣ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ - ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ").

4.3. ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΛΥΡΙΚΟΥ ΘΕΑΤΡΟΥ (OPERA)

4.3.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΛΥΡΙΚΟΥ ΘΕΑΤΡΟΥ

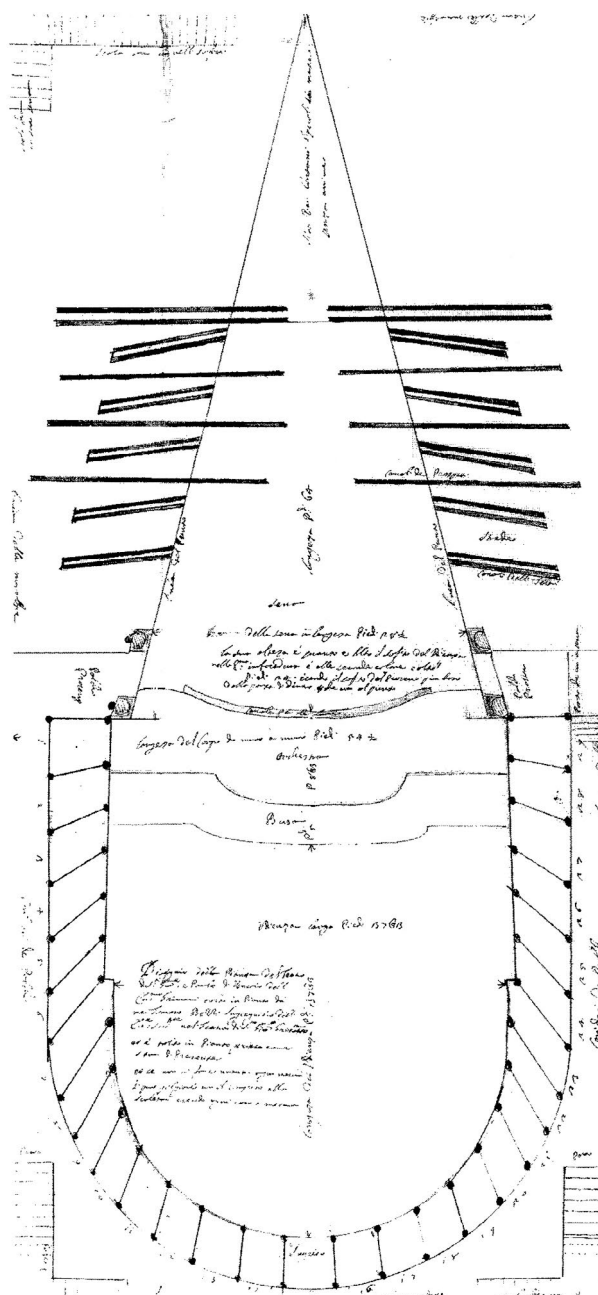
4.3.1.1. Λυρικά θέατρα μορφής Baroque (Baroque theatre form)

Συνεχ. (1 από 2)

• Οι πρώτες λυρικές παραστάσεις (Opera) εδίδοντο στα παλάτια των Ιταλών ευγενών (court surroundings- τέλη 15ου - αρχές 16ου αιώνα)

• Πρώτο λυρικό θέατρο:

“Theatro San Cassiano” Βενετία, 1637 ► Ακολούθησαν πολλά στην ίδια μορφή ► παραδοσιακή μορφή Baroque



Σχήμα 4.45 *Teatro SS. Giovanni e Paolo, Βενετία. Έτος 1654. Κάτοψη* (© Barron, 1993). Ένα από τα πρώτα λυρικά θέατρα που δείχνει από πόσο νωρίς η παραδοσιακή μορφή θεάτρου Baroque είχε καθιερωθεί στην opera

• **Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά αιθουσών:**

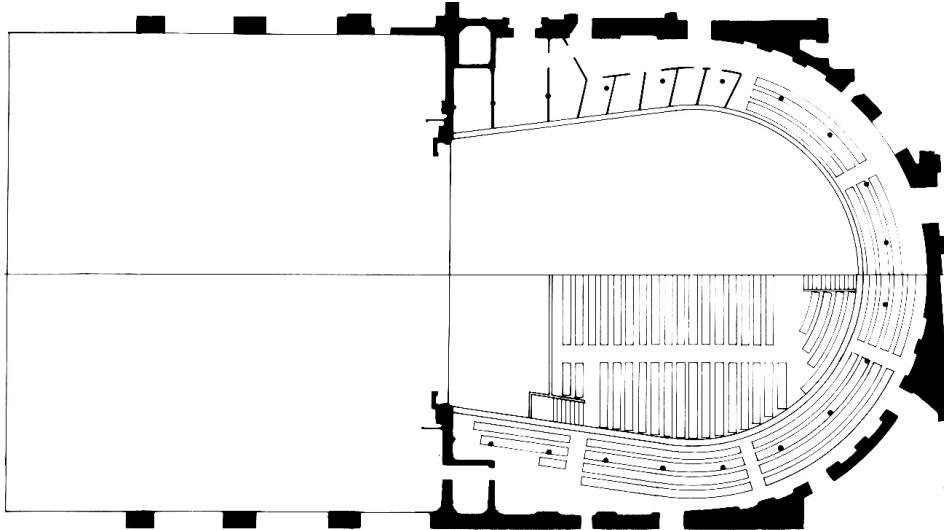
Συνεχ. (2 από 3)

- Τοποθέτηση /διάταξη της ορχήστρας εμπρός και κάτω από τη σκηνή.
- Χρήση ανοίγματος προσκηνίου (**presceniū opening**) δηλ. διαχωριστική (νοητή) επιφάνεια μεταξύ σκηνής και ακροατηρίου).
- **Σκηνή μεγάλης έκτασης**, για δραματικά σκηνικά "effets".
- **Κάτοψη σε U-σχήμα** ή παραλλαγές αυτού (πεταλοειδές, ελλειψοειδές, κωδωνοειδές). Τα εστιακά σημεία των **καμπύλων επιφανειών** ευρίσκονται εκτός επιπέδου ακρόασης για κεκλιμένο δάπεδο ακροατηρίου, άλλως **αμαυρώνουν την ακουστική**.
- Παρουσία **θεωρείων σε πολλαπλά επίπεδα** (για να βλέπουν οι θεαταί ο ένας τον άλλον).
- **Χρήση τρούλλου ενίοτε, ακατάλληλη** διότι στερεί χρήσιμων πρώιμων ανακλάσεων το ακροατήριο καθώς εστιάζει τον ήχο. Ενίοτε χρησιμοποιήθηκαν τρούλλοι (*trompe d'oeil*) ζωγραφισμένοι σε επίπεδη οροφή.
- Χρόνος αντήχησης: ≈ 1.30 s.

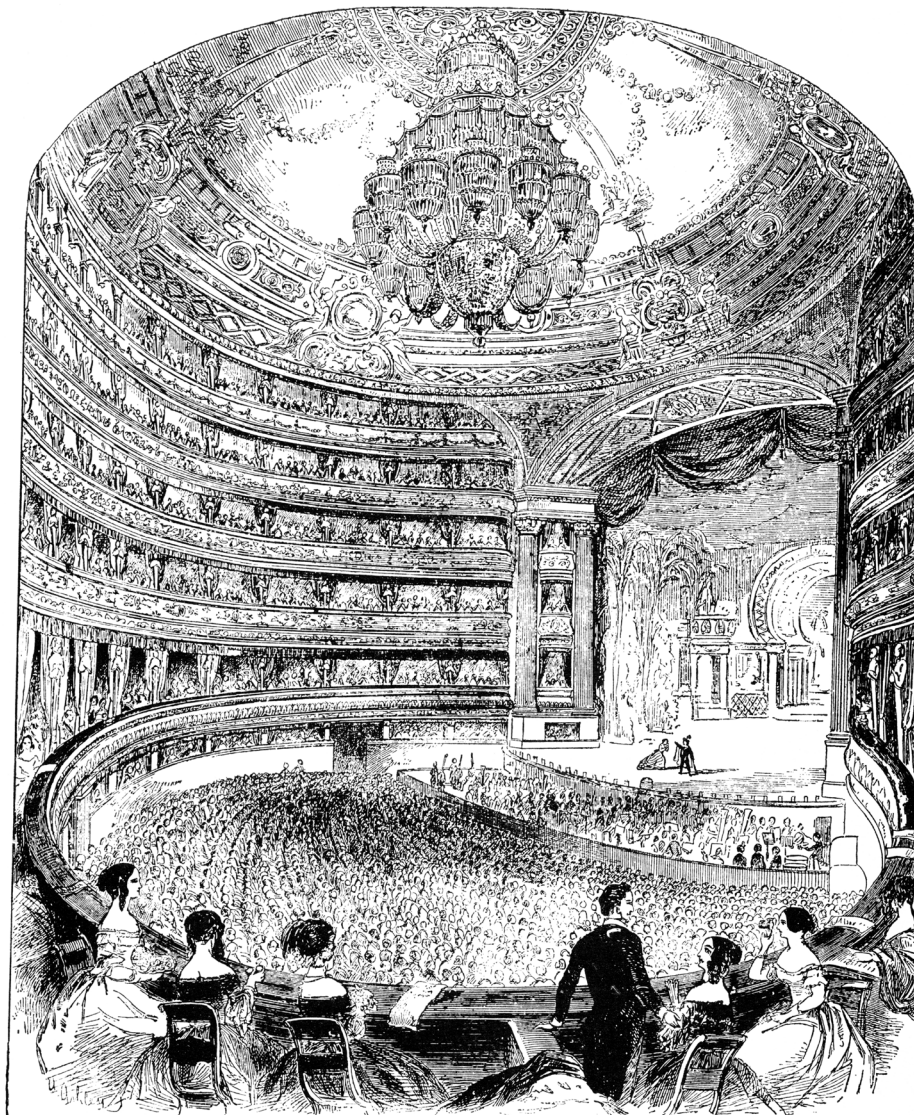
• **Κριτική:**

Παρ' όλες τις ατέλειες στην ακουστική, **η επιτυχία των λυρικών θεάτρων μορφής Baroque, οφείλεται στην αυξημένη αίσθηση «εγγύτητας» (intimacy)** προς το μουσικό αλλά και κοινωνικό γεγονός.

(α)



(β)

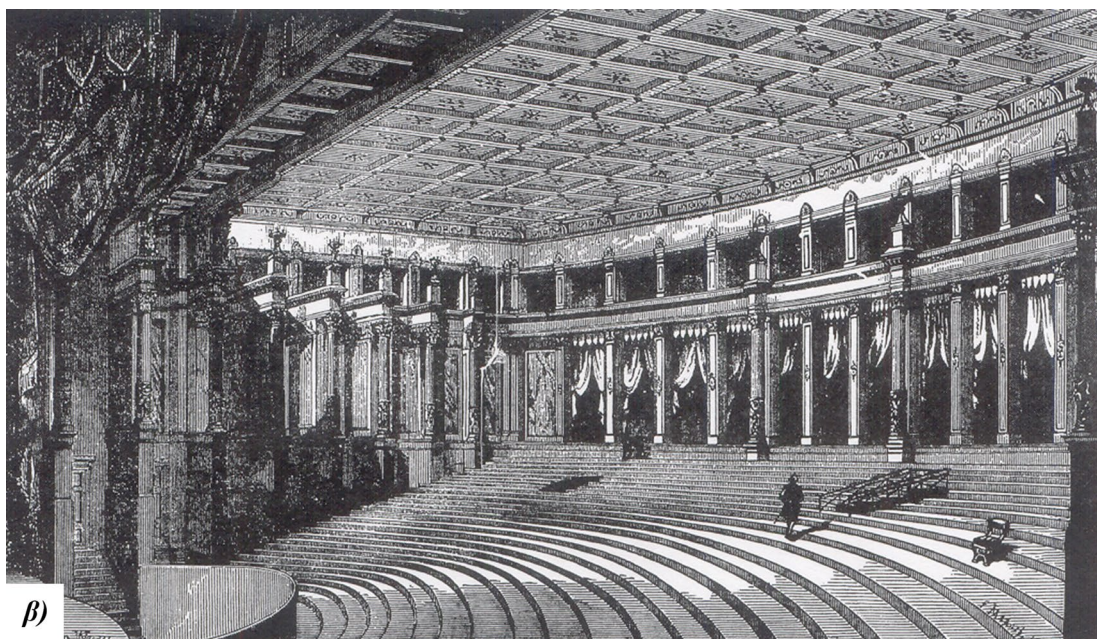
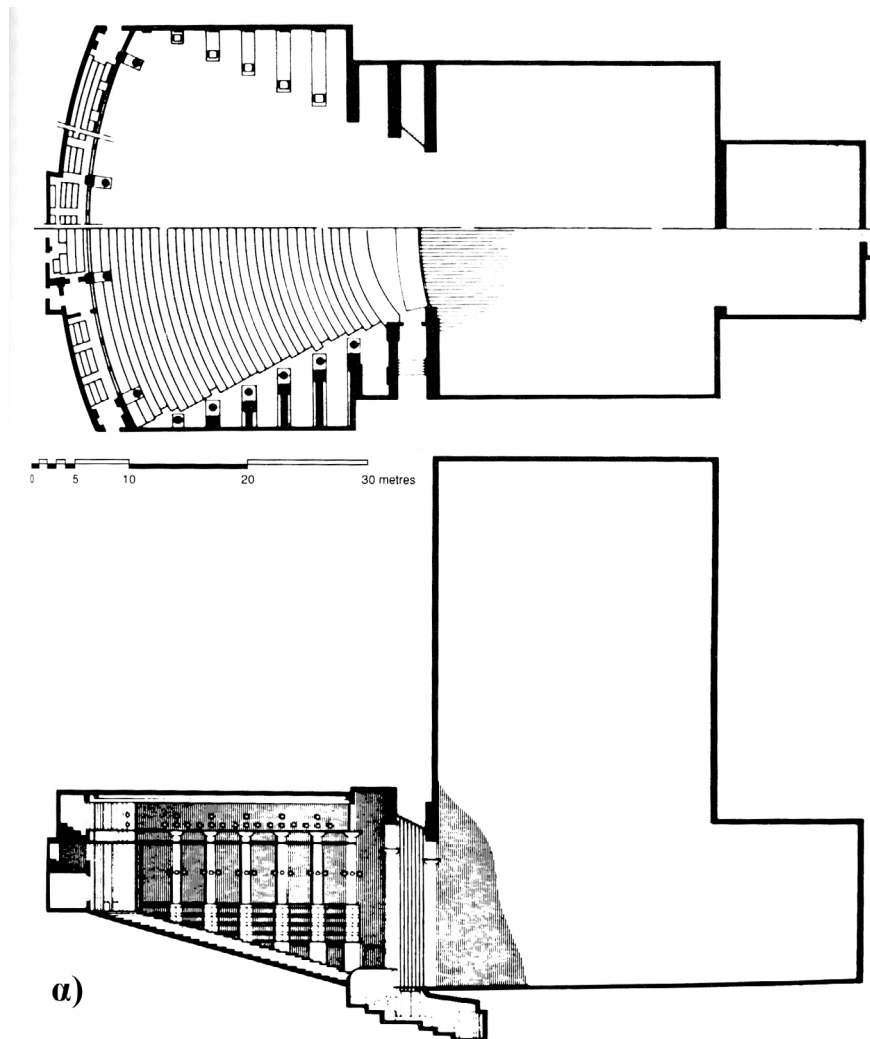


Σχήμα 4.46 *Royal Opera House, Covent Garden, Λονδίνο. Έτος 1858, $\approx$ 2.180 άτομα. Αρχ/των: E.M. Barry. α) Κάτοψη (© Barron, 1993), β) Εσωτερική άποψη της αίθουσας (© Parkin & Humphreys, 1969)*

4.3.1.2. ΤΟ ΛΥΡΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ ΤΟΥ WAGNER

Συνεχ. (1 από 2)

Επανάσταση στη μορφή Baroque απέτέλεσε για την εποχή του το λυρικό θέατρο του **Wagner - Bayreuth Fiestspielhaus**.



Σχήμα 4.47 Bayreuth Fiestspielhaus, Γερμανία. Έτος 1876, $\approx$ 1800 άτομα. Αρχ/των: O. Brückwald. **α)** Κάτοψη & τομή (© Barron, 1993), **β)** Εσωτερική άποψη (de.wikipedia.org). Σχεδιασμένο από τον Wagner αποκλειστικά για όπερες του ίδιου.

• **Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του λυρικού θεάτρου του Wagner:**

(2 από 2)

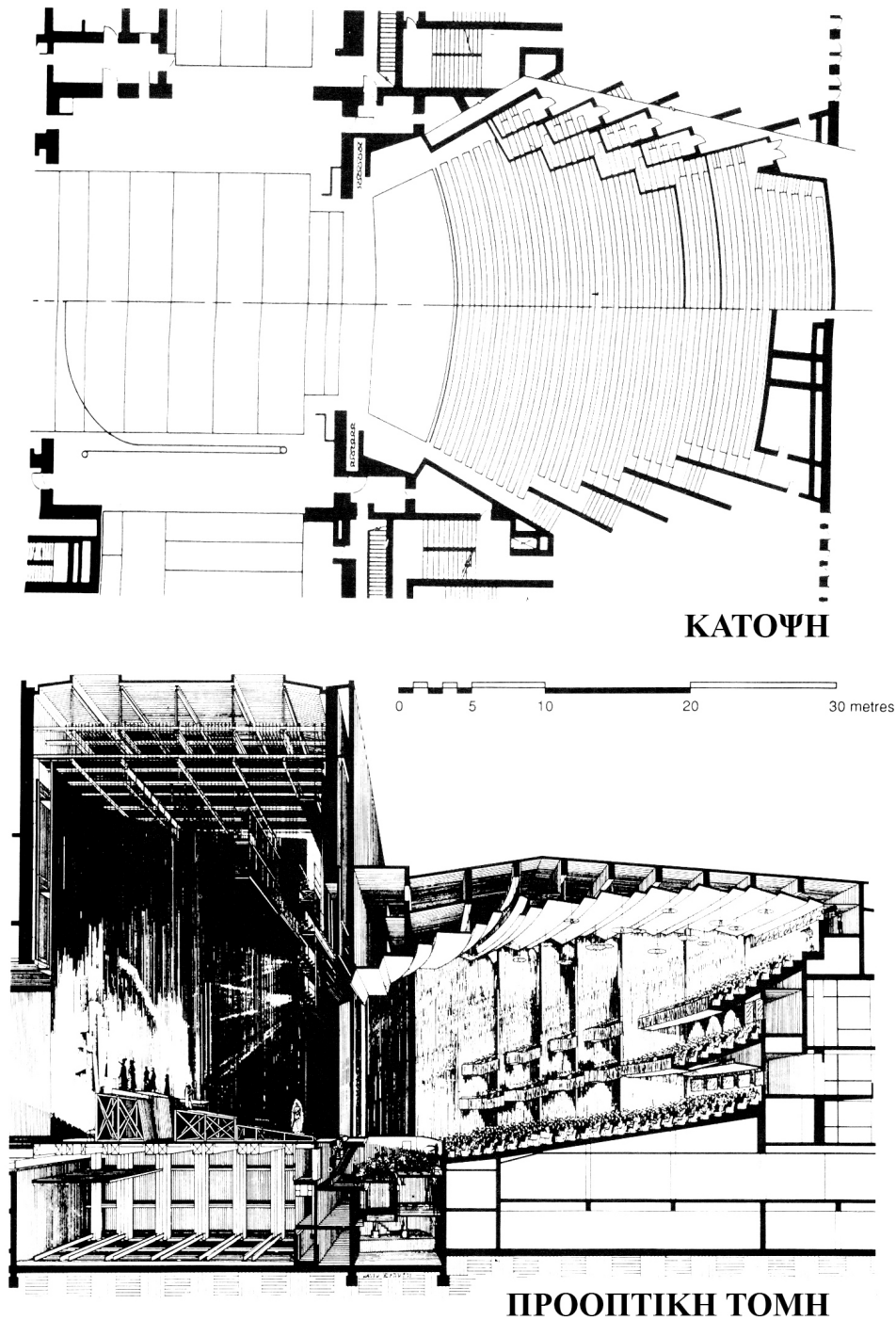
- Εσοχή της **ορχήστρας** σχεδόν **εξ' ολοκλήρου κάτω από τη σκηνή** για να καταπραΰνει τους έντονους ορχηστρικούς ήχους και να προσδίδει μυστικιστικό χαρακτήρα,
- **Αμφιθεατρική διάταξη κάτοψης** κατά τα αρχαία Ελληνικά και Ρωμαϊκά πρότυπα,
- Χρόνος αντήχησης 1,55 s, μεγαλύτερος από ότι στην παραδοσιακή όπερα.

• **Κριτική:**

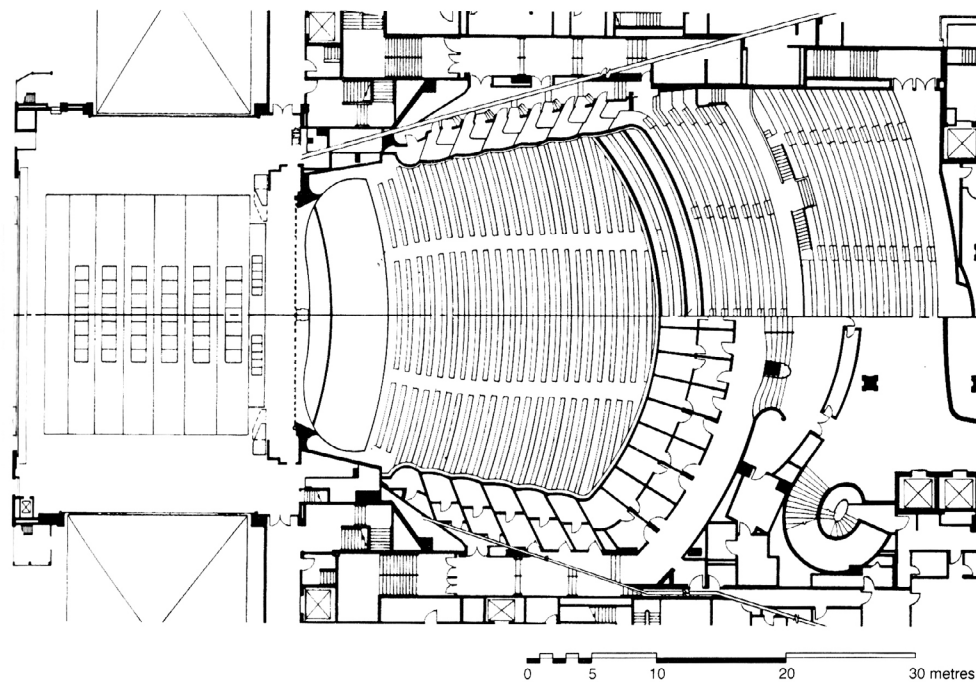
Η μορφή Wagner διορθώνει τα μειονεκτήματα της παραδοσιακής μορφής Baroque. Την μορφή αυτή ακολούθησαν και άλλα λυρικά θέατρα όπως Prinzregententheater, Munich, Έτος 1900.

Η ακριβής αντιγραφή κλασικών μορφών του 19ου αιώνα σχεδόν παραμερίζεται μολονότι η επιστημονική γνώση της ακουστικής λυρικών θεάτρων εισέτι δεν είναι επαρκής.

Παράδειγμα 1:



Σχήμα 4.48 Deutsche Oper Berlin. Έτος 1962, $\approx$ 1900 άτομα. Αρχ/των: F. Bornemann. Σύμβ. ακουστικής: Cremer, Nutsch, Zenke. Εξαιρετικής ακουστικής - στοιχεία της μορφής Wagner. Κάτοψη & προοπτική τομή (© Barron, 1993)



Σχήμα 4.49 Metropolitan Opera House, New York. Έτος 1966, ≈ 3800 άτομα. Αρχ/των: W.K. Harrison, Σύμβ. ακουστικής: V.L. Jordan and C.M Harris. Κάτοψη (© Barron, 1993). Επιβεβαιώνεται ότι η μορφή Baroque, με την άρση των ατελειών της ως προς την ακουστική μπορεί να επιζήσει ακόμη και σε σύγχρονες αίθουσες τεράστιας χωρητικότητας

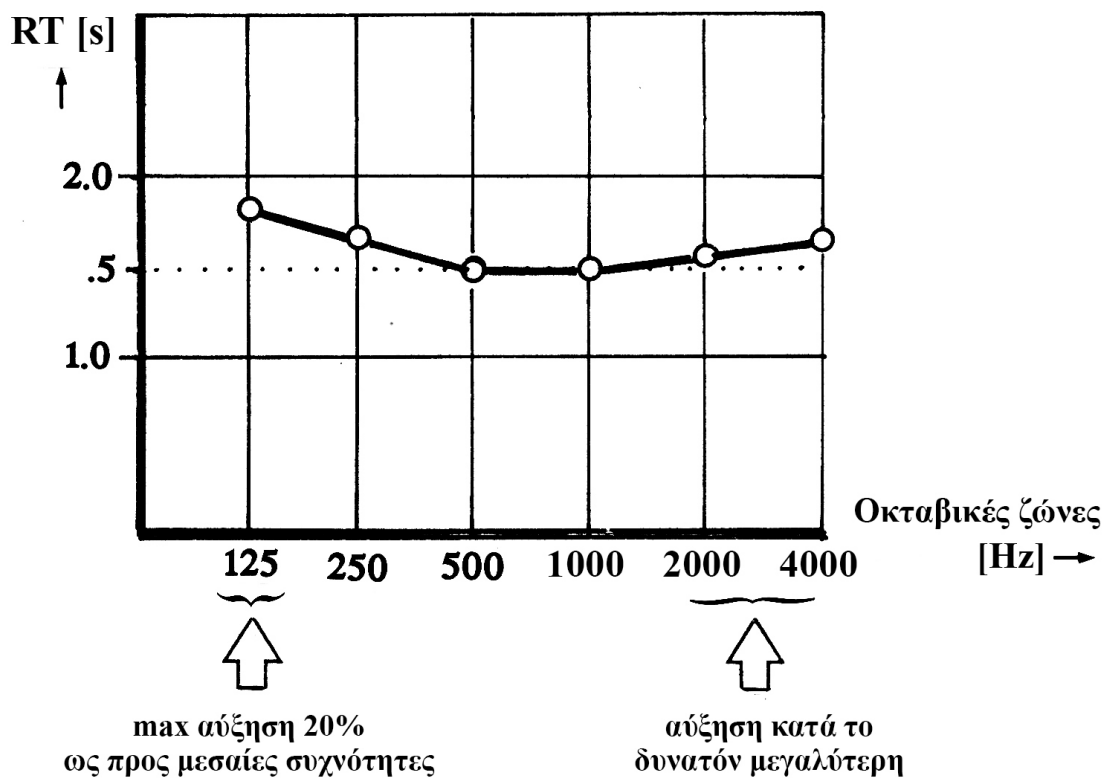
4.3.2. Ο ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ

- Η επιλογή του χρόνου αντήχησης:

Μουσική περίοδος	χρόνος αντήχησης [s] (μεσαίες συχν., πλήρης αίθουσα)
Mozart όπερα	≈ 1.00
Wagner και μεταγενέστερη ρομαντική όπερα	$> 1.00 \sim 1.80$

Σε σύγχρονα λυρικά θέατρα όπως και με τις αίθουσες συναυλιών ο χρόνος αντήχησης είναι το αποτέλεσμα συγκερασμού των απαιτήσεων ρεπερτορίου διαφορετικών μουσικών εποχών.

Συγκερασμός τιμών
χρόνου αντήχησης
(αναλόγως της προτίμησης) } $1.30 \sim 1.80$



Σχήμα 4.50 Επιθυμητή φασματική κατανομή του χρόνου αντήχησης σε λυρικά θέατρα.

4.3.3. ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΛΥΡΙΚΟΥ ΘΕΑΤΡΟΥ

4.3.3.1. ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΟ ΑΚΡΟΑΤΗΡΙΟ

4.3.3.1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για το λυρικό θέατρο οι αρχές σχεδιασμού είναι βασικά οι ίδιες με εκείνες των αιθουσών συναυλιών, εκτός δύο **σημαντικών διαφορών**:



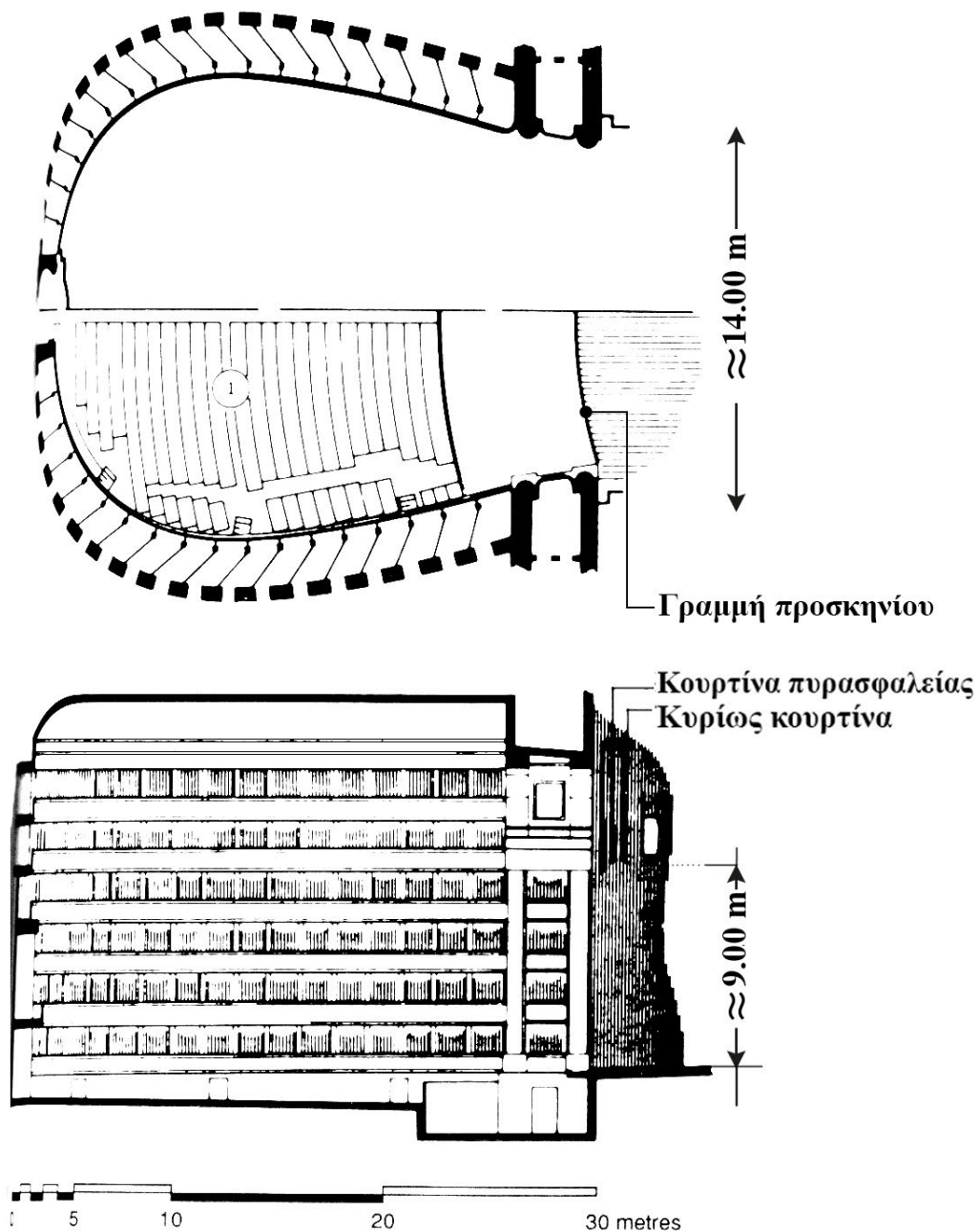
Οι πηγές του ήχου είναι δύο
(τραγούδι, ορχήστρα)

Η οπτική επαφή με τα δρώμενα
είναι σημαντικότερη

• Διαχωρισμός σκηνής και ακροατηρίου:

Απαραίτητο στοιχείο της κάτοψης λυρικών θεάτρων είναι ο διαχωρισμός σκηνής και ακροατηρίου (proscenium opening). Το εύρος του ανοίγματος του προσκηνίου ποικίλει από περίπου 10.00 m για μικρές αίθουσες έως την ακραία τιμή των 18.00 m, το τυπικό εύρος για grand opera είναι 14.00 m και το ύψος γενικά 9.00 m.

Παράδειγμα:



Σχήμα 4.51 *Teatro alla Scala, Milano*. Έτος 1778, $\approx$ 2289 άτομα. Αρχ/των: G. Piermarini. Κάτοψη & τομή (© Barron, 1993)

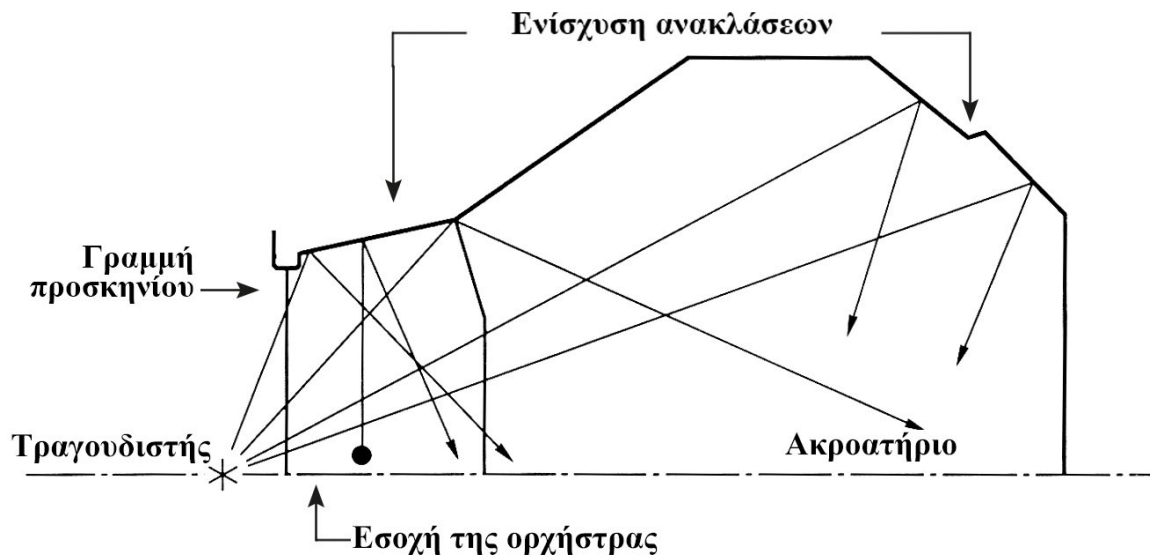
• ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΤΟΥ ΦΩΝΗΤΙΚΟΥ ΗΧΟΥ (ΤΡΑΓΟΥΔΙ):

(2 από 2)

Το σχήμα της κάτοψης μεταξύ άλλων εκφράζει επιλογή ανακλαστικών επιφανειών και εδώ αποσκοπεί στην ανάδειξη του φωνητικού ήχου (τραγουδι) σε σχέση με τον ήχο της ορχήστρας.

Τεχνική σχεδιασμού 1:

Ελαφρά κλίση στο τμήμα των πλευρών της αίθουσας εγγύς στο προσκήνιο.



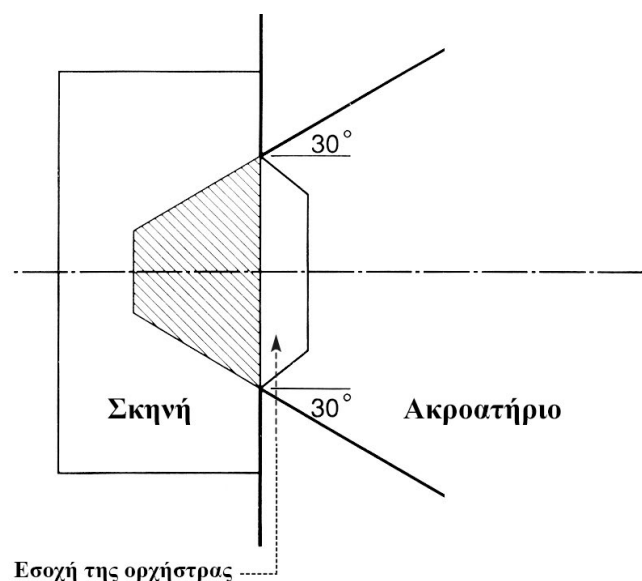
Σχήμα 4.52 Συμμετρικό ήμισυ κάτοψης λυρικού θεάτρου (© Barron, 1993)

Παράδειγμα:

Βλέπε "Σχήμα 4.48 Deutsche Oper Berlin. Έτος 1962, ≈ 1900 άτομα. Αρχ/των: F. Bornemann. Σύμβ. ακουστικής: Cremer, Nutsch, Zenke. Εξαιρετικής ακουστικής - στοιχεία της μορφής Wagner. Κάτοψη & προοπτική τομή (© Barron, 1993)"

Τεχνική σχεδιασμού 2:

Σχεδόν σε όλες τις αίθουσες λυρικού θεάτρου οι πλευρές έχουν ελαφρώς σχήμα βεντάλιας. Για καλή ορατότητα προς τη σκηνή η κλίση των πλευρών δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 30° . Η απουσία πλευρικών ανακλάσεων που συνεπάγεται αυτό το σχήμα στο πίσω κεντρικό τμήμα του ακροατηρίου, μπορεί να καλυφθεί από κατάλληλη μορφολογία του απώτερου τμήματος των πλευρών.



Σχήμα 4.53 Σχηματική απεικόνιση κάτοψης λυρικού θεάτρου (© Barron, 1993)

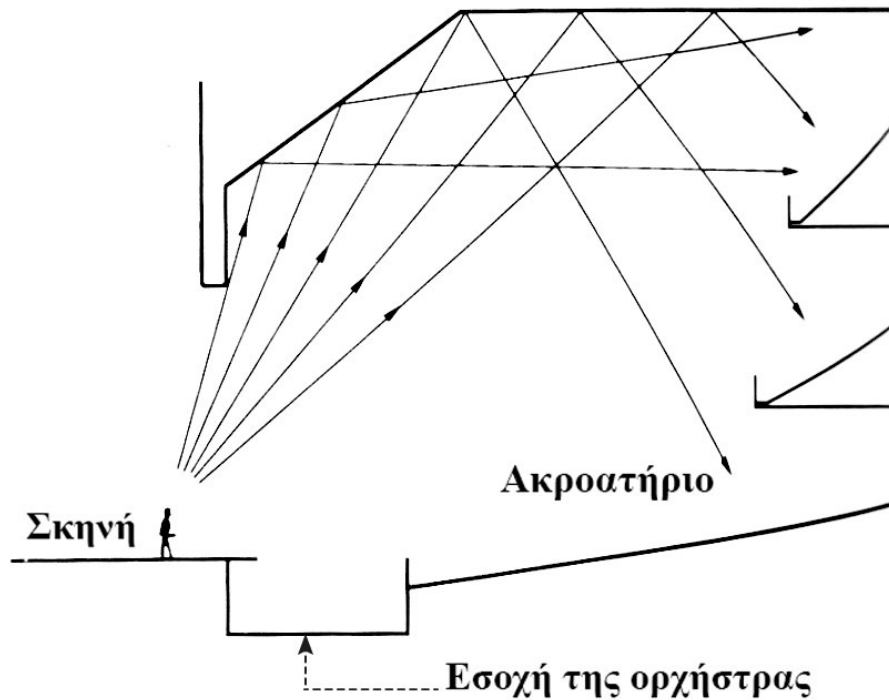
4.3.3.1.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ

Συνεχ. (1 από 3)

Σε αντίθεση με τις αίθουσες συναυλιών, στην όπερα η οροφή αποτελεί χρήσιμη ανακλαστική επιφάνεια για την ανάδειξη του φωνητικού ήχου σε σχέση με τον ήχο της ορχήστρας.

- Τεχνική σχεδιασμού 1:

Κλίση στο τμήμα της οροφής εγγύς στο προσκήνιο, για παροχή πρώιμων ανακλάσεων προς τους εξώστες.

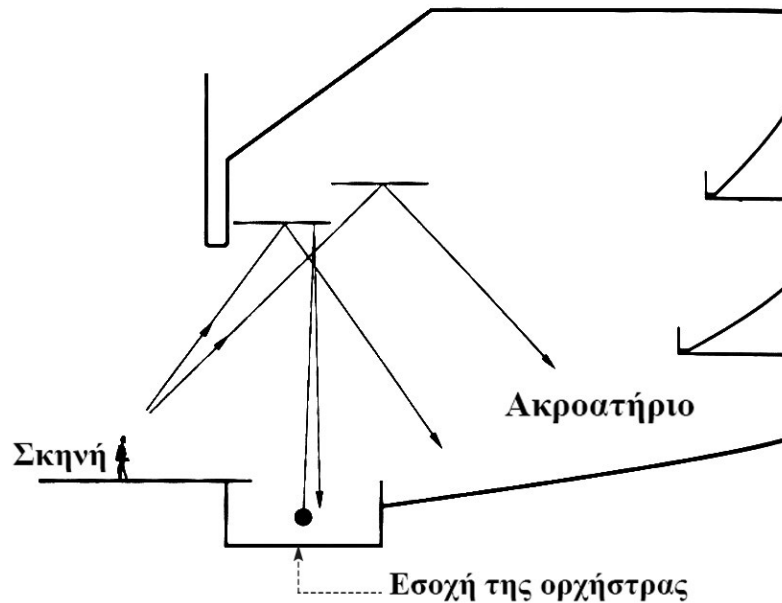


Σχήμα 4.54 Σχηματική απεικόνιση τομής λυρικού θεάτρου (© Barron, 1993)

• Τεχνική σχεδιασμού 2:

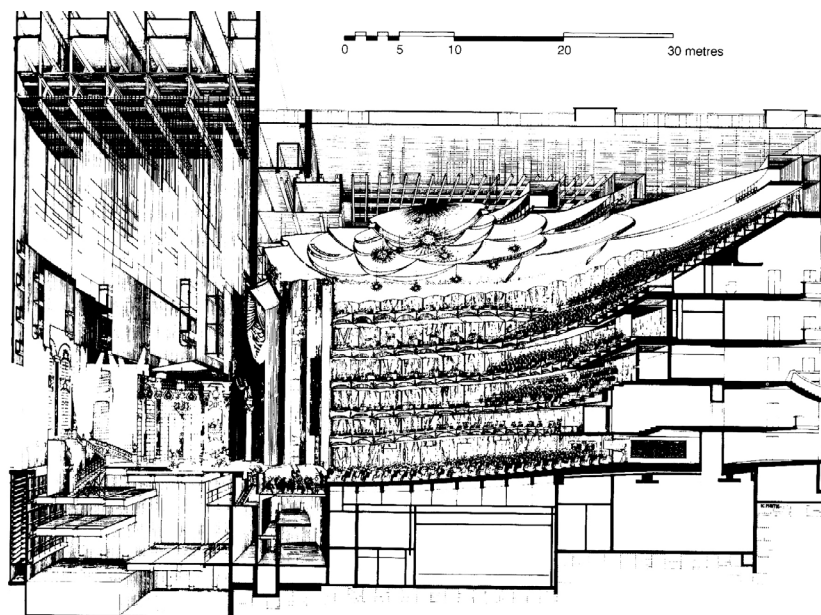
Συνεχ. (2 από 3)

Χρήση σειράς επιπέδων ανακλαστήρων εμπρός και πάνω από τη σκηνή, για παροχή πρώιμων ανακλάσεων προς την πλατεία (ακροατήριο) αλλά και προς την ορχήστρα



Σχήμα 4.55 Σχηματική απεικόνιση τομής λυρικού θεάτρου (© Barron, 1993). Αν η αίθουσα έχει μεγάλο ύψος, για την αποφυγή ηχούς συνιστάται η χρήση ελαφράς διάχυσης

Παράδειγμα:



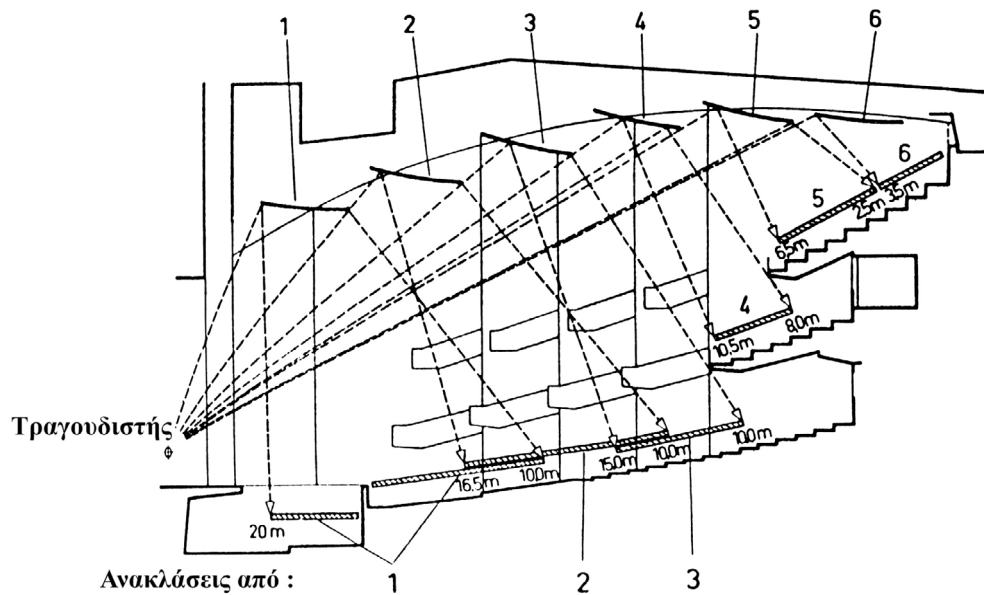
Σχήμα 4.56 *Metropolitan Opera House, New York*. Προοπτική τομή (© Barron, 1993). (βλέπε "Σχήμα 4.49 *Metropolitan Opera House, New York*. Έτος 1966, ≈ 3800 άτομα. Αρχ/των: W.K. Harrison, Σύμβ. ακουστικής: V.L. Jordan and C.M Harris. Κάτοψη (© Barron, 1993). Επιβεβαιώνεται ότι η μορφή Baroque, με την άρση των ατελειών της ως προς την ακουστική μπορεί να επιζήσει ακόμη και σε σύγχρονες αίθουσες τεράστιας χωρητικότητας")

• Τεχνική σχεδιασμού 3:

(3 από 3)

Εναλλακτική λύση για παροχή πρώιμων ανακλάσεων προς την πλατεία αλλά και προς την ορχήστρα είναι η χρήση σειράς ανακλαστήρων στην οροφή με κλίση ανεστραμμένη.

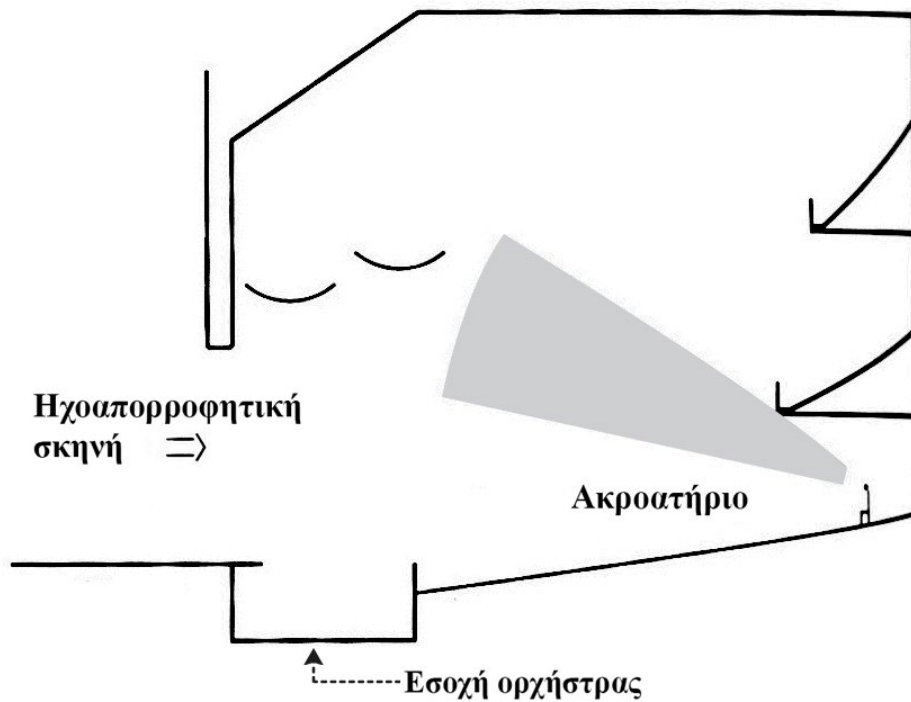
Παράδειγμα:



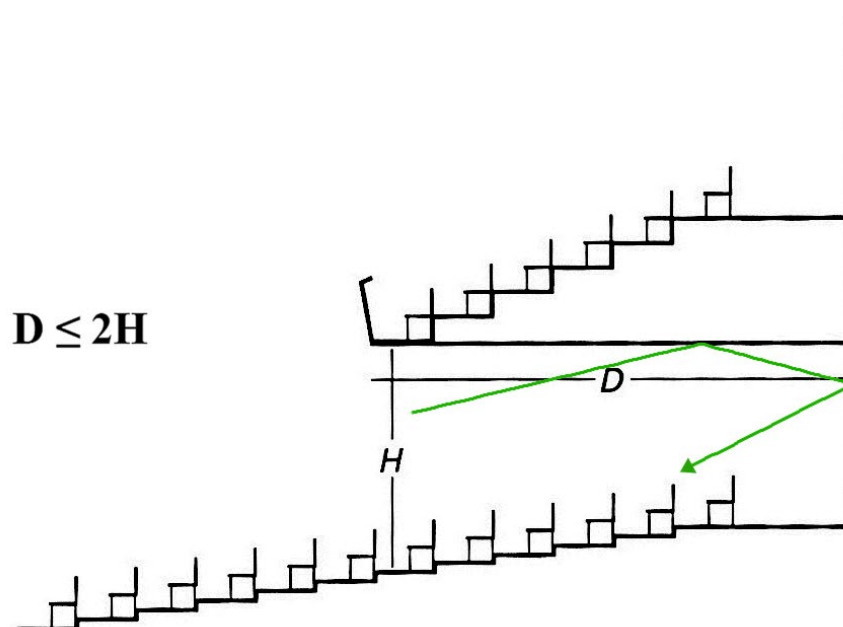
Σχήμα 4.57 Deutsche Oper Berlin. Τομή (© Barron, 1993). (βλέπε "Σχήμα 4.48 Deutsche Oper Berlin. Έτος 1962, ≈ 1900 άτομα. Αρχ/των: F. Bornemann. Σύμβ. ακουστικής: Cremer, Nutsch, Zenke. Εξαιρετικής ακουστικής - στοιχεία της μορφής Wagner. Κάτοψη & προοπτική τομή (© Barron, 1993)")

4.3.3.1.4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΩΣΤΩΝ

Η στερεά γωνία υποδοχής του καθυστερημένου ήχου κάτω από τους εξώστες περιορίζεται εισέτι από την απέναντι ηχοαπορροφητική σκηνή. Αυτό για τον φωνητικό ήχο (τραγούδι) δεν έχει ιδιαίτερη σημασία. Γι' αυτό σχετικά βαθείς εξώστες ($D \leq 2H$) θεωρούνται αποδεκτοί.



Σχήμα 4.58 Σχηματική απεικόνιση τομής λυρικού θεάτρου (© Barron, 1993)



Σχήμα 4.59 Σχηματική απεικόνιση εξώστου λυρικού θεάτρου (© Barron, 1993). Συνιστάται η ενίσχυση των πρώιμων ανακλάσεων από την οροφή του προβόλου και τον πίσω τοίχο.

4.3.3.1.5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ

Ο βέλτιστος όγκος υπολογίζεται από τον βέλτιστο χρόνο αντήχησης (Βλέπε ενότητα "4.3.2. Ο ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ") και καθορίζει τις οριζόντιες διαστάσεις του χώρου.

Οδηγός για τον καθορισμό του ύψους ενός λυρικού θεάτρου δεν είναι ο χρόνος αντήχησης, σε αντίθεση με τις αίθουσες ακρόασης ομιλίας και μουσικής. Εδώ το ύψος καθορίζουν η εγκατάσταση φωτισμού σκηνής και η ανάγκη εξασφάλισης χρήσιμων πρώιμων ανακλάσεων από την οροφή.

Η ανάγκη για σχετικά αυξημένο χρόνο αντήχησης στις υψηλές συχνότητες (2000, 4000 Hz - συνιστώσες soprani) υπαγορεύει **πορώδη ηχοαπορροφητικά (π.χ. κουρτίνες) να χρησιμοποιούνται με εξαιρετική φειδώ**. Εξ άλλου η ανάγκη για ελαφρά μόνο αυξημένο χρόνο αντήχησης στις χαμηλές συχνότητες επιτρέπει την **ελαφρά εισαγωγή στο χώρο ηχοαπορροφητικών μεμβρανών π.χ. επένδυση ξύλου - λεπτό φύλλο**.

4.3.3.2. ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΕΡΜΗΝΕΥΤΕΣ

4.3.3.2.1. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΚΗΝΗΣ

Το περιβάλλον της σκηνής (μέσα από τη γραμμή προσκηνίου) **χρειάζεται να είναι σχετικά ηχοανακλαστικό** για να παρέχει στήριξη (support) προς τους ερμηνευτές (τραγούδι).

Τεχνική σχεδιασμού:

Τα υλικά για τα περιβάλλοντα τη σκηνή πετάσματα να είναι σχετικά ηχοανακλαστικά π.χ. ξύλο και όχι πάνινα που είναι συνήθως· η ελαφρά ηχοαπορρόφηση που εισάγουν αναπόφευκτα τα (ηχοαπορροφητικά) σκηνικά γύρω από τη σκηνή είναι δεκτή.

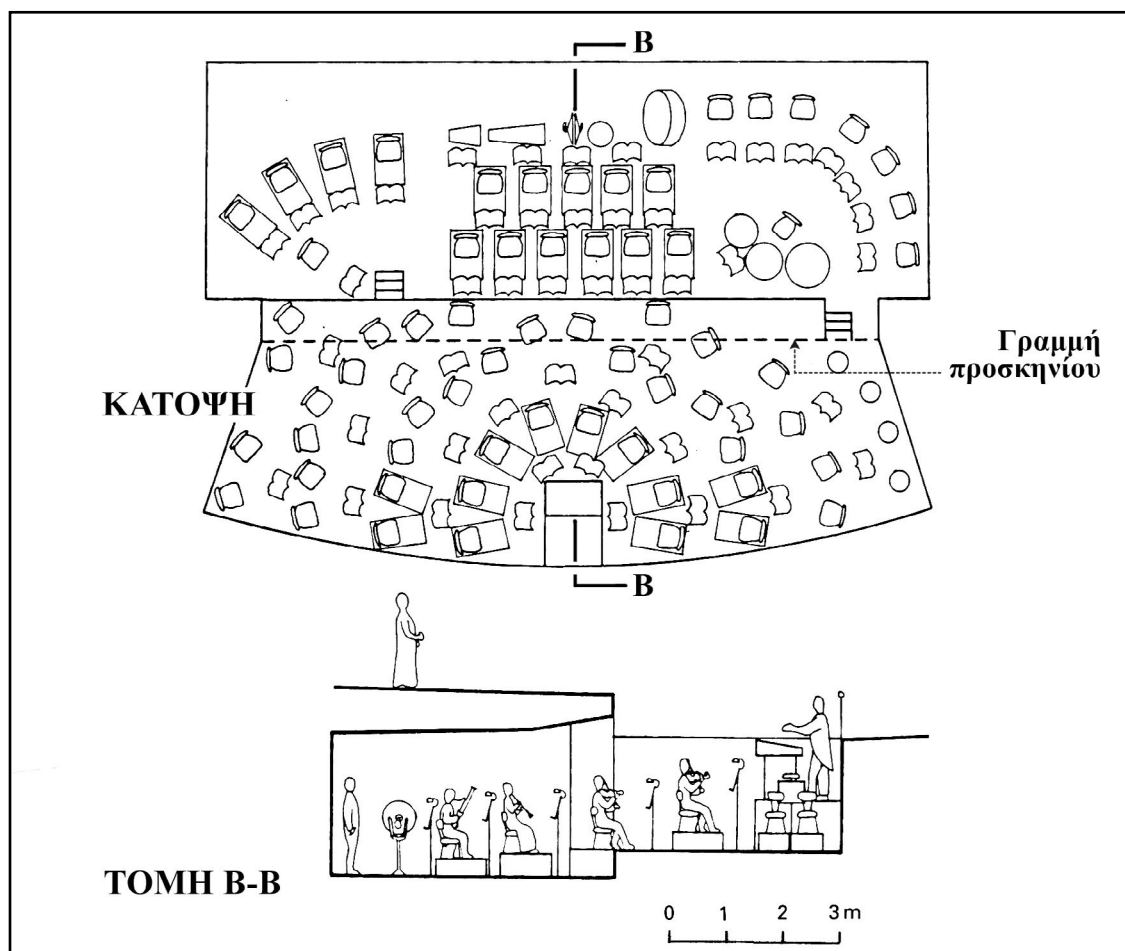
Στόχος του σχεδιασμού

Ζύγισμα του ήχου της ορχήστρας
ως προς (και υπέρ) του τραγουδιού

Εξασφάλιση κατάλληλων συνθηκών
για του μουσικούς ερμηνευτές

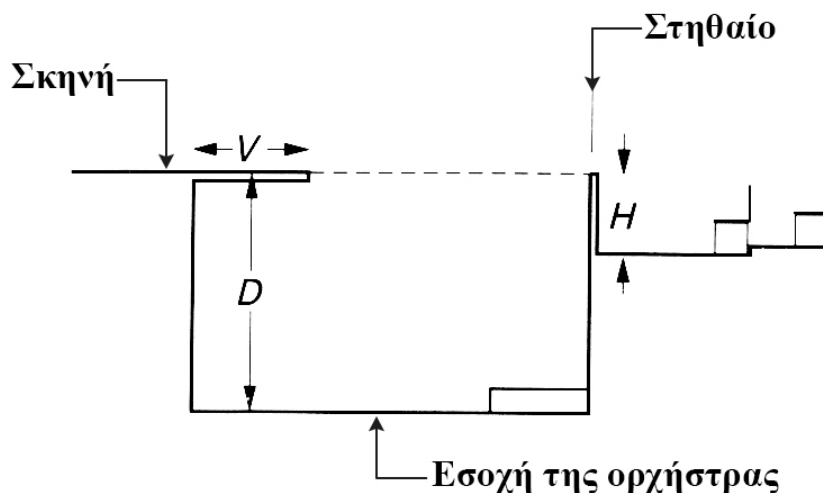
• Τεχνική σχεδιασμού 1:

Χρήση εσοχής για την ορχήστρα, εν μέρει σκεπαστής. Περιορίζει τον έντονο ήχο της ορχήστρας υπέρ των τραγουδιστών. Καταλαμβάνει σχετικά περιορισμένο χώρο από τις «ακριβές» πρώτες σειρές του ακροατηρίου.



Σχήμα 4.60 Σχηματική κάτοψη και τομή σκηνής λυρικού θεάτρου (© Barron, 1993)

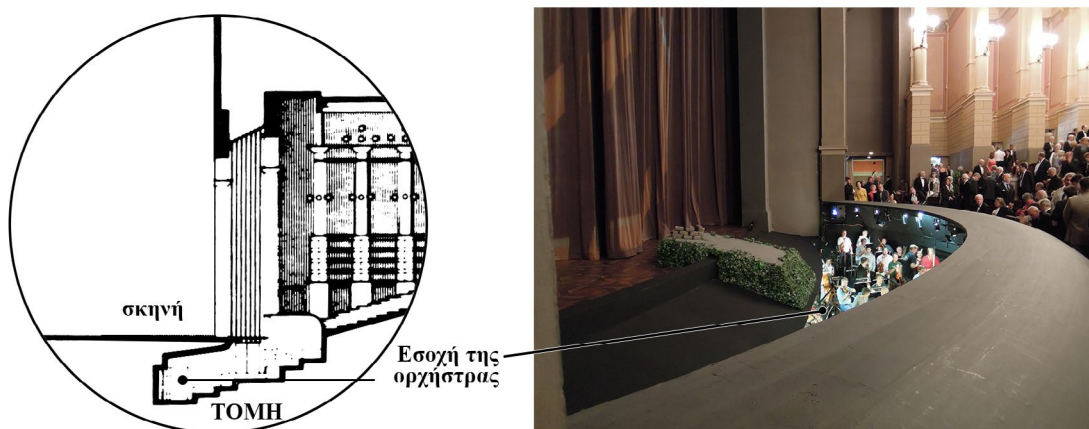
Τυπικές διαστάσεις της εσοχής της ορχήστρας έχουν ως εξής



Σχήμα 4.61 Σχηματική τομή στην εσοχή της ορχήστρας λυρικού θεάτρου (© Barron, 1993)

ΤΟ ΒΑΘΟΣ (V) του ανωτέρω προβόλου κατά κανόνα είναι 1.0m - 2.0m, μολονότι σε μεγάλες αίθουσες ενίοτε υπερβαίνει τα 4.0 m. Αναλόγως του μουσικού είδους είναι δυνατόν να απαντηθεί και σχεδόν ολική επικάλυψη π.χ.: στο Bayreuth Fiestspielhaus.

Πάντως η αύξηση του βάθους του προβόλου, εν γένει εμποδίζει εκεί την επιστροφή του ήχου από την αίθουσα (βραχύτεροι χρόνοι αντήχησης τοπικά), κάτι που δυσχεραίνει την ερμηνεία των μουσικών.



Σχήμα 4.62 Bayreuth Fiestspielhaus, Γερμανία. Λεπτομέρεια εσοχής της ορχήστρας, **αριστερά:** (© Barron, 1993), **δεξιά:** (de.wikipedia.org). (βλέπε "Σχήμα 4.47 Bayreuth Fiestspielhaus, Γερμανία. Έτος 1876, $\approx$ 1800 άτομα. Αρχ/των: O. Brückwald. α) Κάτοψη & τομή (© Barron, 1993), β) Εσωτερική άποψη (de.wikipedia.org). Σχεδιασμένο από τον Wagner αποκλειστικά για όπερες του ίδιου.")

ΤΟ ΥΨΟΣ (D) της εσοχής της ορχήστρας είναι 2.5 -3.5 m, για να επιτρέπει σχετική οπτική επαφή με την αίθουσα.

ΤΟ ΥΨΟΣ ΣΤΗΘΑΙΟΥ (H) είναι 1.0 m

ΤΟ ΕΜΒΑΔΟΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΡΧΗΣΤΡΑ είναι: $1.5 \text{ m}^2/\text{ερμηνευτή}$ για να επιτρέπει ευρυχωρία. Χρήση βαθμίδων ενίοτε στο δάπεδο της ορχήστρας αναλόγως του μουσικού είδους

ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΚΑΤΟΨΗΣ ΤΗΣ ΕΣΟΧΗΣ έχει: (Εύρος) $< 4 \times$ (Βάθος)

• Τεχνική σχεδιασμού 3:

(3 από 3)

Η εσοχή της ορχήστρας διαθέτει ελαφρά ηχοαπορρόφηση κυρίως για να καταπραΰνει τις πολύ υψηλές στάθμες του ήχου υπέρ των μελών της ορχήστρας, που ενίοτε αγγίζουν επικίνδυνα όρια (90 dBA).

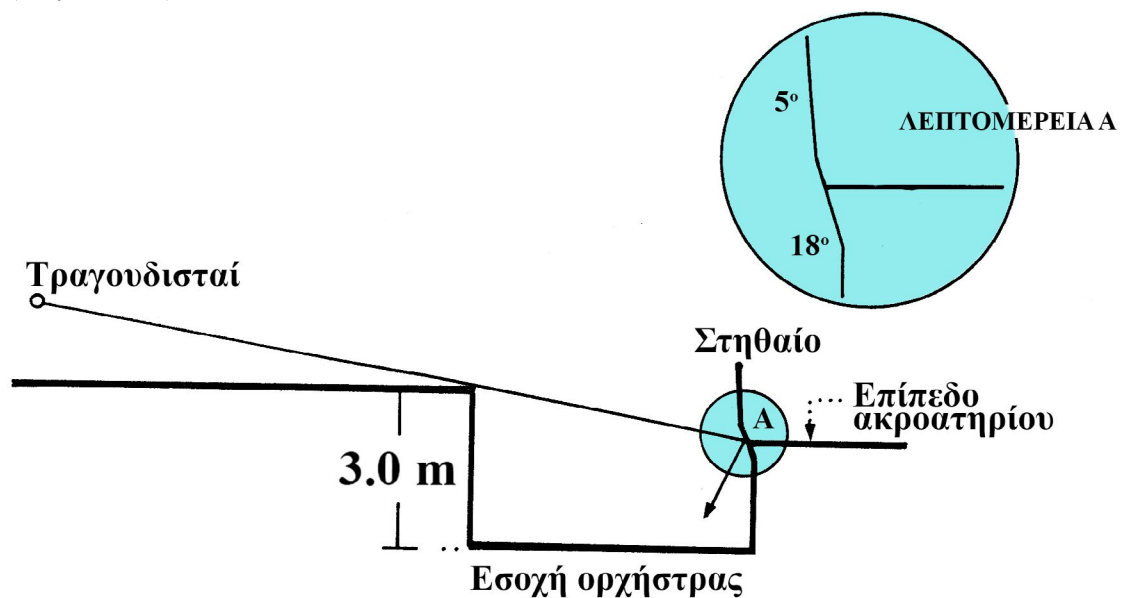
• Τεχνική σχεδιασμού 4:

Το ύψος του στηθαίου της ορχήστρας είναι συγκερασμός της:



• Τεχνική σχεδιασμού 5:

Προφίλ του στηθαίου. Αν το ύψος της εσοχής της ορχήστρας υπερβαίνει τα 3.0 m, **συνιστάται ειδικό προφίλ στηθαίου για την παροχή ανακλάσεων προς την ορχήστρα ιδιαίτερα από τραγουδιστές στο βάθος της σκηνής** (Meyer, 1988).



Σχήμα 4.63 Σχηματική τομή στην εσοχή της ορχήστρας λυρικού θεάτρου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Barron, M. (1988). Subjective study of British symphony concert halls. *Acustica*, 66, pp. 1-14.
- Barron, M. (1993). *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. London: E & FN Spon. Also 2nd ed. (2010) e-book, London, New York: Spon press.
- Barron, M. & Marshall, A.H. (1981). Spatial impression due to early lateral reflections in concert halls: The derivation of a physical measure. *J. Sound Vib.*, 77 (2), pp. 211-232.
- Beranek, L.L. (1962). *Music, Acoustics and Architecture*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Beranek, L.L. (1996). *Concert and Opera Halls, How they sound*. New York: Am. Inst. Physics press for the Acoust. Soc. Am.
- Charles, J., Fleming, D.B. & Miller, J. (1985). The hall of the University of Warwick. *Applied Acoustics*, 18, pp. 195-234.
- Fleming, D.B. (προσωπική επικοινωνία).
- Gammond, P. (1968). *The Meaning and Magic of Music*. London and New York: P. Hamlyn,
- Hawkes, R.J. & Douglas, H. (1971). Subjective acoustic experience in concert auditoria. *Acustica*, 24, pp. 235-250.
- Kosten, C.W. (1966). New methods for the calculation of the reverberation time of halls for public assembly. *Acustica*, 16, pp. 325-330.
- Lehmann, P. & Wilkens, H. (1980). Zusammenhang subjectiver Beurteilungen von Konzertsälen mit raumakustischen Kriterien. *Acustica*, 45, pp. 256-268.
- Meyer, J. (1988). Some aspects of opera house acoustics. *Conference of the IOA, April 1988* (Proceedings IOA 10(2), pp.237-244). Cambridge: IOA
- Nie, N.H., Hadlai Hull, C., Jenkins, J.G., Steinbrenner, K. & Bent, D.H. (1975). *Statistical package for the social sciences. 2nd ed.*, New York: Mc Graw-Hill Book Co.
- Osgood, C.E., Suci, G.J. & Tannenbaum, P.H. (1957). *The measurement of meaning*. Urbana, Chicago and London: Univ. of Illinois Press.
- Parkin, P.H. & Humphreys, H.R. (1969). *Acoustics Noise and Buildings*. London: Faber.
- Sabine, W.C. (1922). *Collected papers on acoustics*. Cambridge Mass: Harvard Univ. Press.
- Sotiropoulou, A.G.. & Fleming, D.B. (1995). Concert Hall Acoustic Evaluations by Ordinary Concert Goers: II, Physical Room Acoustic Criteria Subjectively Significant. *Acustica*, 81, pp. 10-19.
- Sotiropoulou, A.G., Hawkes, R.J. & Fleming, D.B. (1995). Concert Hall Acoustic Evaluations by Ordinary Concert-Goers: I, Multidimensional Description of Evaluations. *Acustica*, 81, pp. 1-9.
- Sotiropoulou, A.G., Savvopoulou, A., Karagiannis, J. & Tzouvadakis, J. (2011). Subjective Evaluation of Acoustics in Jazz Clubs. *Acoustics Bulletin*, 36(5), pp. 24-31.
- Sotiropoulou, A., Karagiannis, J., Tzouvadakis, J. & Savvopoulou, A. (2013). Subjective Acoustic Evaluations in Rock Music Halls. *International Conference 'EchoPolis-Days of Sound', 29 September - 3 October 2013* (<http://event2013.sd-med.org>). Athens: SDMed Observation.
- Talaske, R. H., Whetherill, E.A. & Cavanaugh, W.J. (Eds.) (1982). *Halls for music performance. Two decades of experience 1962-1982*. New York: Am. Inst. Physics press for the Acoust. Soc. Am.
- Talaske, R.H. & Boner, R.E. (Eds.) (1986). *Theaters for Drama Performances: Recent experiences in acoustical design*. New York: Am. Inst. Physics press for the Acoust. Soc. Am.
- Wilkens, H. (1977). Meehridimensionale Beschreibung subjektiver Beurteilungen Akustik von Konzertsälen. *Acustica*, 37, pp. 10-23.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΟΛΥΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΑΙΘΟΥΣΕΣ – ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΕΥΕΛΙΚΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

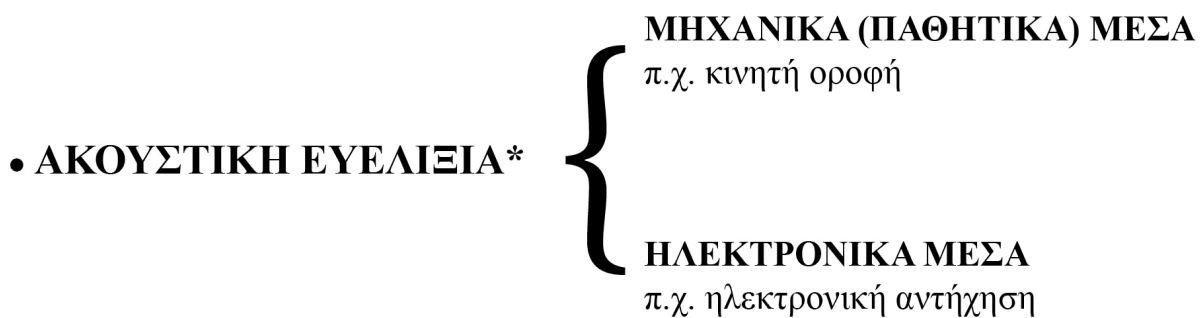
Ο συνειδητός σχεδιασμός μιας αίθουσας με στόχο την πολυλειτουργικότητα είναι **προϊόν των τελευταίων δεκαετιών**.

• Αίτια που οδήγησαν στην ανάγκη πολυλειτουργικών αιθουσών ευέλικτης ακουστικής:

i) Πνεύμα της σύγχρονης οικονομίας:

Εκτός από τα μεγάλα αστικά κέντρα, στην περιφέρεια σε εκπαιδευτικά ιδρύματα κλπ. η αυτή αίθουσα καλείται να στεγάσει ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών.

ii) Αυξημένη ευαισθησία του κοινού στην ποιότητα του ήχου.



* Για μικρές πολυλειτουργικές αίθουσες (έως 500 ατόμων) όταν η ακουστική ευελιξία είναι ανέφικτη, επιλέγεται ο χρόνος αντήχησης ≈ 1.20 s

5.2. ΗΧΗΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΑ ΜΕ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΕΣΑ

5.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ευέλικτη ακουστική  **Ευελιξία στο ΧΡΟΝΟ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ**

Μεταβλητότητα ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ

{ Εισαγωγή ηχοαπορρόφησης (δεν συνιστάται, μειώνει τη στάθμη έντασης του ήχου)

{ **Μεταβλητότητα του
ΟΓΚΟΥ ΤΗΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ**

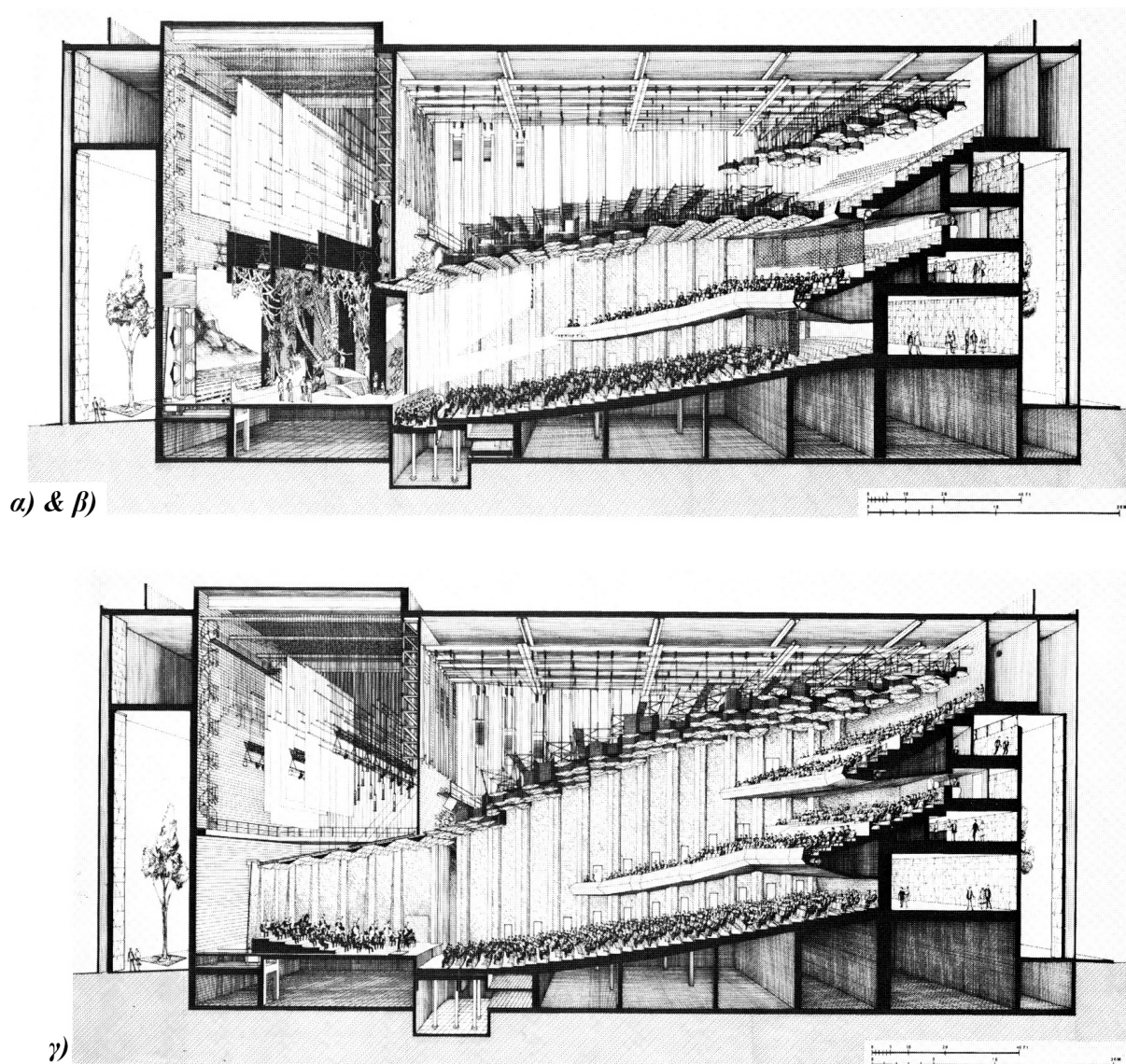
5.2.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΜΙΑΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ

Συνεχ. (1 από 3)

• Τεχνική Σχεδιασμού 1:

Κινητή οροφή* (G.C. Izenour, δεκαετία 1960):

Παράδειγμα (Forsyth, 1985):



Σχήμα 5.1 *Jesse Jones Hall for the Performing Arts, Houston, Texas USA*. Έτος 1966, $\approx 1.800 \sim 3000$ άτομα. Αρχ/των: Coudill, Rowlett, Scott Σύμβ. ακουστικής: Bolt, Beranek & Newman, Σύμβ. θεάτρου: G.C. Izenour. Η αίθουσα μετασχηματίζεται σε: **α)** Αίθουσα συναυλιών, **β)** Λυρικό θέατρο (απόσυρση του κελύφους της ορχήστρας και εισαγωγή ηχοαπορροφητικών πετασμάτων από την ψευδοροφή), **γ)** Αίθουσα θεατρικών παραστάσεων (Μετακίνηση της οροφής προς τα κάτω για μείωση του όγκου και εισαγωγή ηχοαπορροφητικών πετασμάτων από την ψευδοροφή). (s-media-cache-ak0.pinimg.com), (© Houston First Corporation and City of Houston)

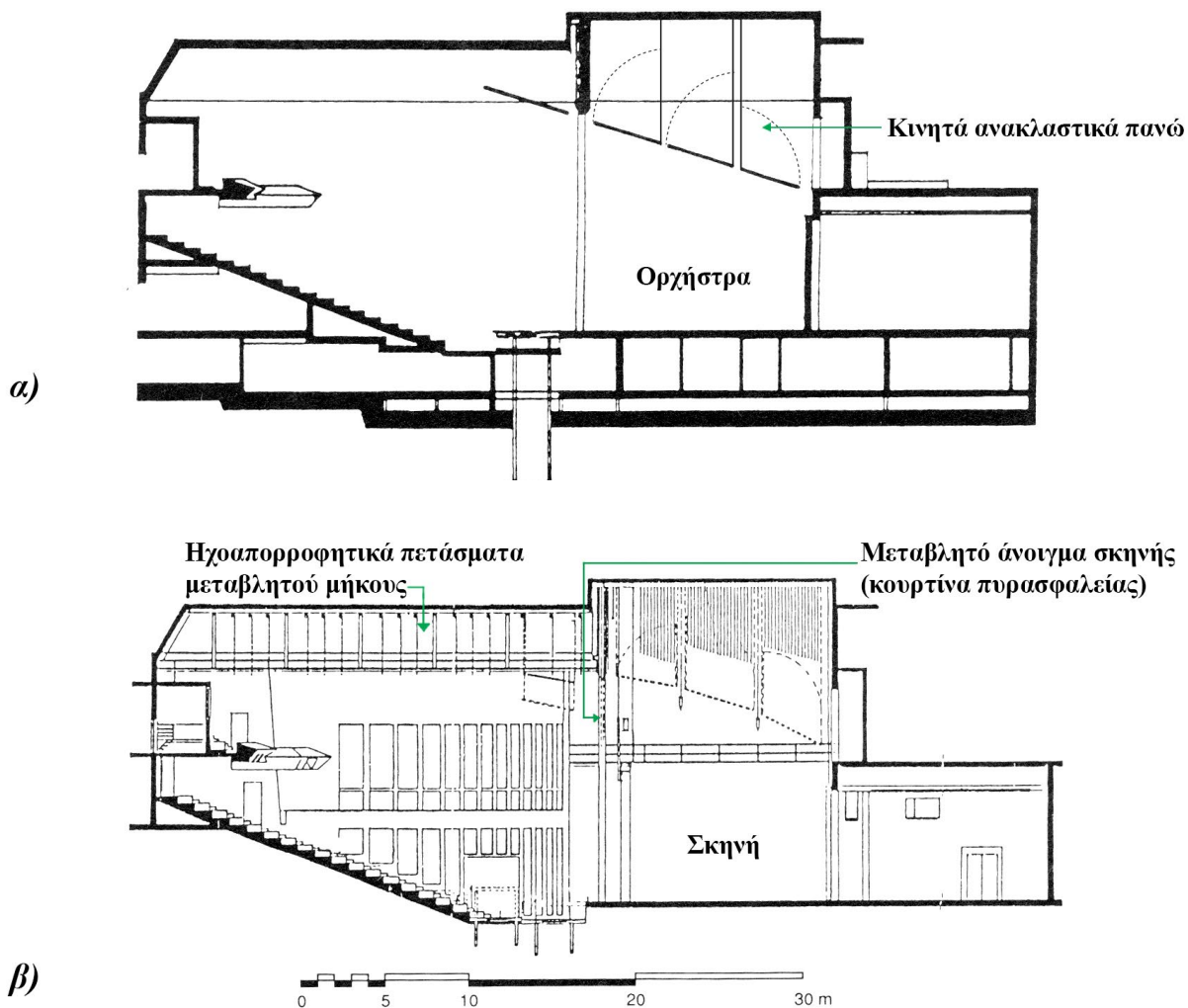
*Η τεχνική χρήζει προσοχής σχετικά με θέματα στατικής επάρκειας.

• Τεχνική Σχεδιασμού 2:

Συνεχ. (2 από 3)

Αξιοποιεί τον πύργο σκηνής (κλειδί της επιτυχίας: γενναιόδωρη διεύρυνση ανοίγματος σκηνής)

Παράδειγμα:



Σχήμα 5.2 Αίθουσα “De Maaspoort”, Venlo, Κάτω Χώρες. Έτος 1986, ≈ 750 άτομα. Akoestisch Advies bureau Peutz, Netherlands. **α) Αίθουσα συναυλιών** (Χρόνος αντήχησης: 1.30 s). Το άνοιγμα σκηνής διευρύνεται εισάγοντας στο χώρο αρκετό από τον όγκο του πύργου σκηνής, **β) Αίθουσα θεατρικών παραστάσεων** (Χρόνος αντήχησης: 1.00 s), με την εισαγωγή ηχοαπορροφητικών πετασμάτων μεταβλητού μήκους και τη μείωση του όγκου (Μείωση του ανοίγματος της σκηνής). (© Barron, 1993)

• Τεχνική Σχεδιασμού 3:

(3 από 3)

Σχεδιασμός ευέλικτων παρειών (ηχοαπορροφητικών / ηχοανακλαστικών) και ευέλικτου όγκου αίθουσας.

Παράδειγμα:



Σχήμα 5.3 Ακαδημία παραστατικών τεχνών στην Αθήνα. Έτος 2015, ≈ 300 άτομα. **α)** Αίθουσα μουσικών εκδηλώσεων, **β)** Αίθουσα θεάτρου / διαλέξεων. (Παπαιωάνου & Μονγκάση, 2015· Sotiropoulou et al., 2015). Ευέλικτα «modules» απαρτίζουν τις παρειές της αίθουσας με επιλέξιμη είτε την ηχοαπορροφητική είτε την ηχοανακλαστική / ηχοδιαχυτική όψη των, αναλόγως του ακροάματος. Όταν ανοίγει η εσοχή της ορχήστρας ο extra όγκος συμβάλλει στην αύξηση του χρόνου αντήχησης. $RT_{mid, min/max} = 1.00 / 1.50$ s (με ακροατήριο).

5.2.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΜΙΑΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ

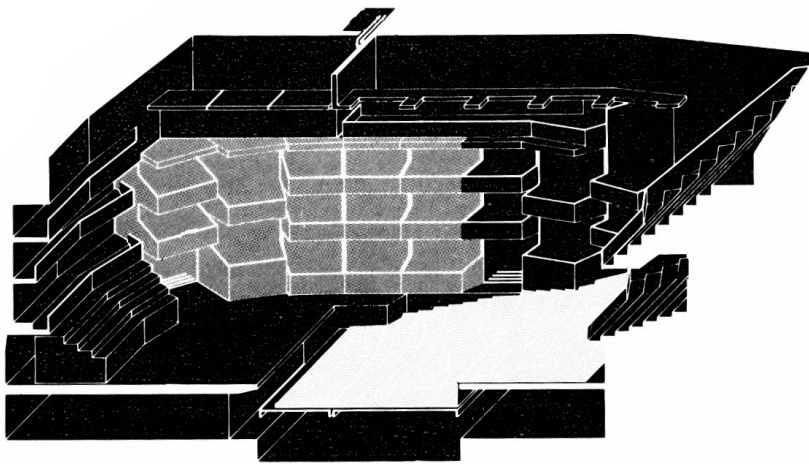
Συνεχ. (1 από 3)

Τεχνολογία μηχανικής μεταβλητότητας: Air-casters (Τα κινητά στοιχεία είναι π.χ. περιοχές καθισμάτων, τμήματα του κελύφους της αίθουσας, κλπ. και κινούνται βάσει της αρχής του “hovercraft”, με απλούς χειρισμούς)

Παράδειγμα:

Σχηματισμός Ι (1400 άτομα)

- Αίθουσα συμφωνικής μουσικής
- Αίθουσα rock μουσικής (εισαγωγή ηχοαπορροφητικών πετασμάτων)



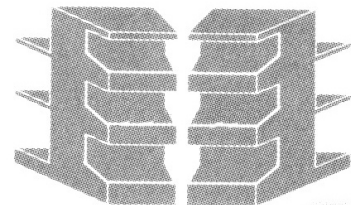
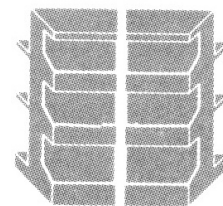
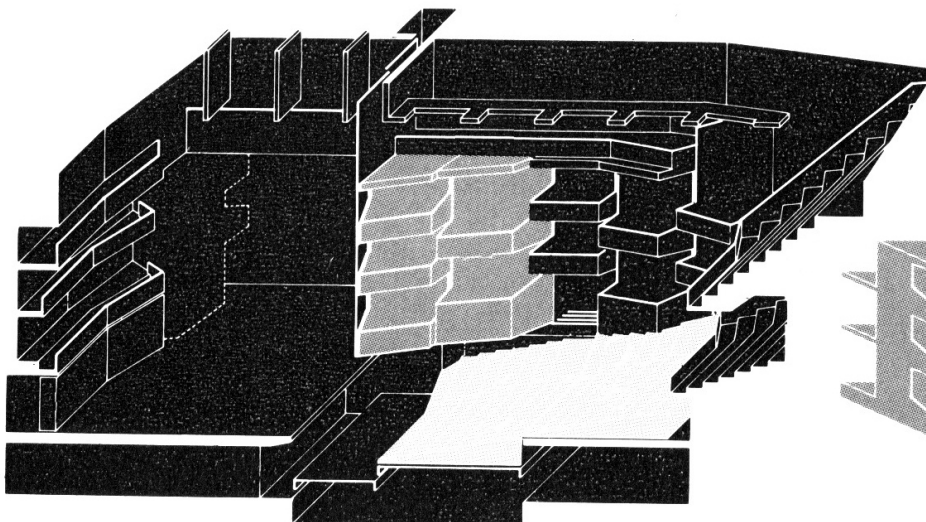
κινητά
ηχοαπορροφητικά
πετάσματα



ΤΟΜΗ ΣΤΑ ΘΕΩΡΕΙΑ

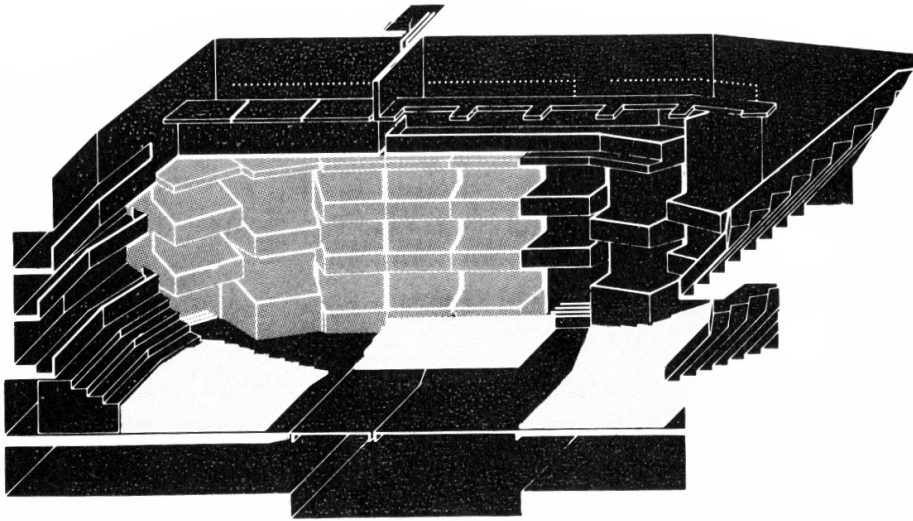
Σχηματισμός ΙΙ (1100 άτομα)

- Λυρικό θέατρο



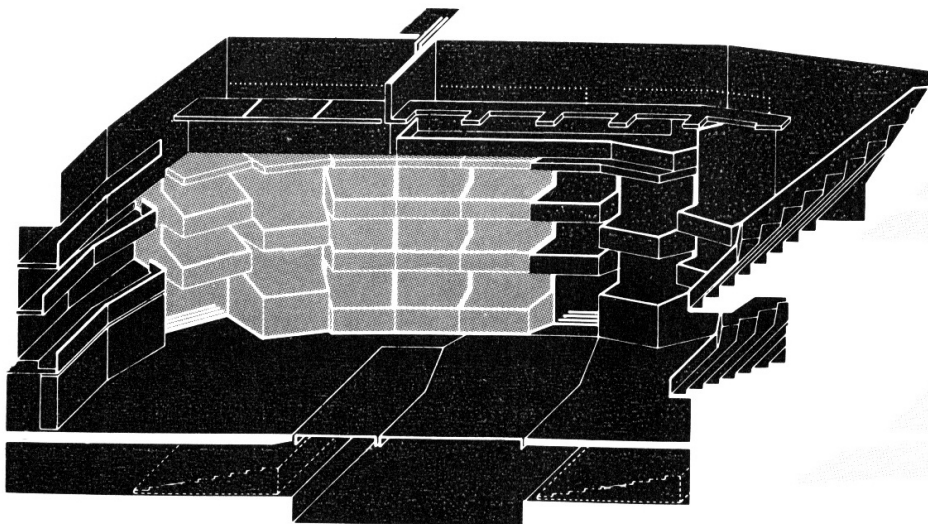
Σχηματισμός III (1500 άτομα)

- Αρένα

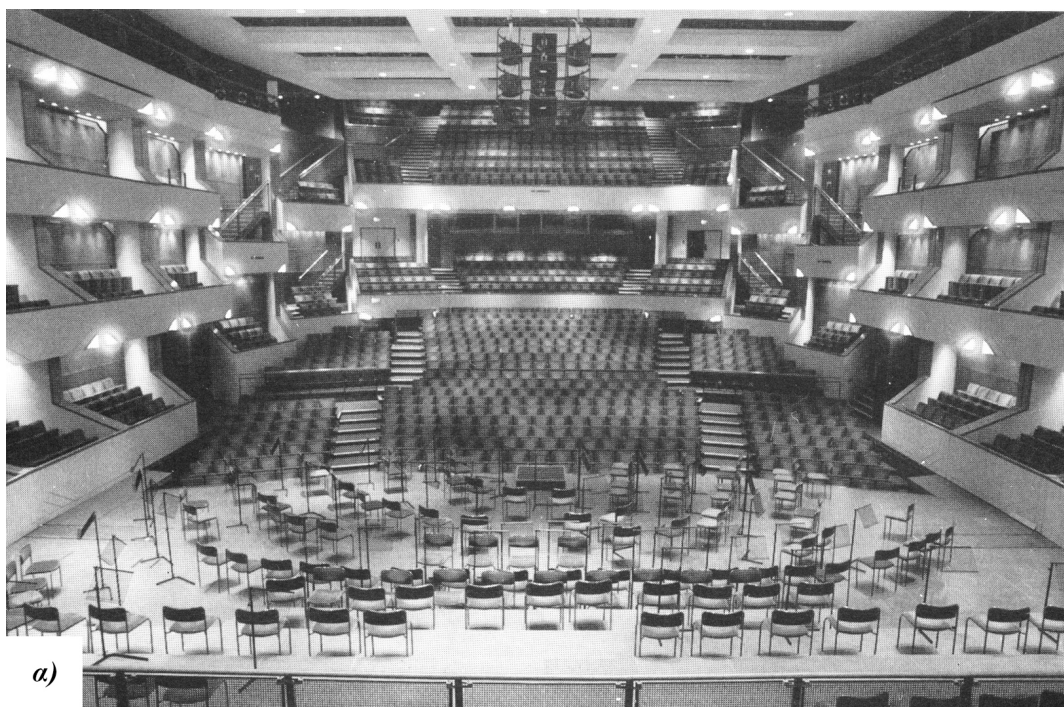


Σχηματισμός IV (650 m²)

- Οριζόντιο δάπεδο (δεξιώσεις, δείπνα, χοροί, κλπ.)



Σχήμα 5.4 Αίθουσα του Derngate Centre, Northampton, Αγγλία. Έτος: Αρχές δεκαετίας 1980. Αρχ/των: R. Howard, W. Levin. Αξονομετρικά συμμετρικά ημίσεως της αίθουσας, Σχηματισμοί I, II, III, IV. (© Barron, 1993)



Σχήμα 5.5 Αίθουσα του Derngate Centre, Northampton, Αγγλία. α) Άποψη της αίθουσας συναυλιών (Σχηματισμός I) προς το ακροατήριο, β) Άποψη της αίθουσας συναυλιών προς την ορχήστρα. (© Barron, 1993). (βλέπε «Σχήμα 5.4 Αίθουσα του Derngate Centre, Northampton, Αγγλία. Έτος: Αρχές δεκαετίας 1980. Αρχ/των: R. Howard, W. Levin. Αξονομετρικά συμμετρικά ημίσεως της αίθουσας, Σχηματισμοί I, II, III, IV. (© Barron, 1993)»)

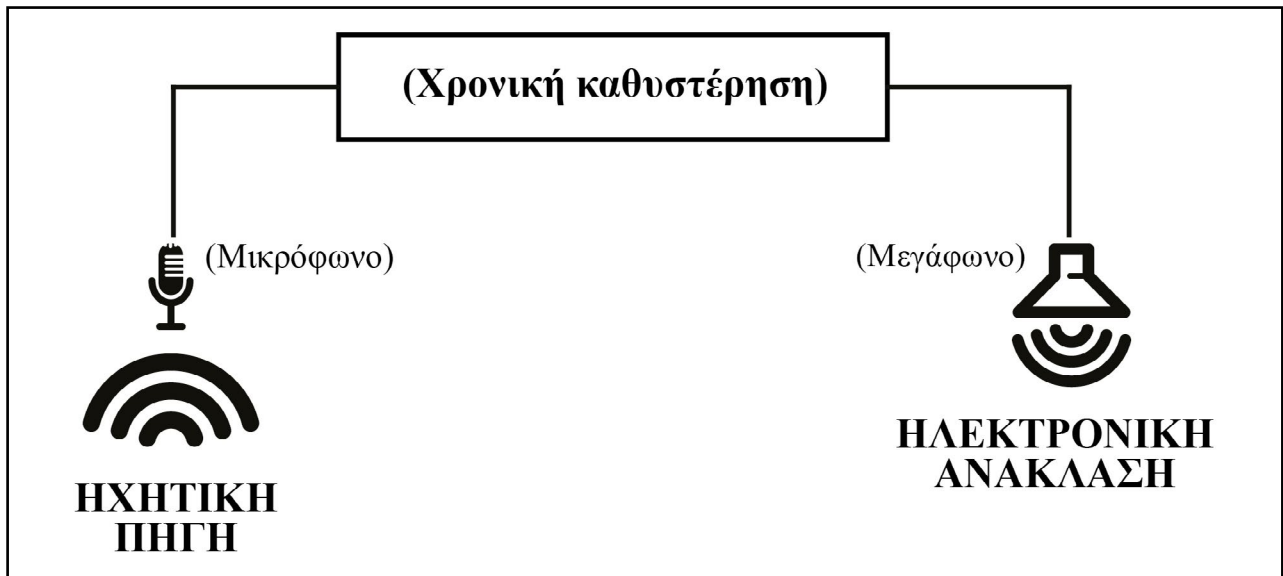
5.3. ΗΧΗΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΜΕΣΑ

5.3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όταν η μεταβλητότητα του κελύφους του χώρου δεν είναι εφικτή η ηχητική μεταβλητότητα επιτυγχάνεται με ηλεκτρονικά μέσα.

5.3.2. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΑΝΑΚΛΑΣΕΙΣ

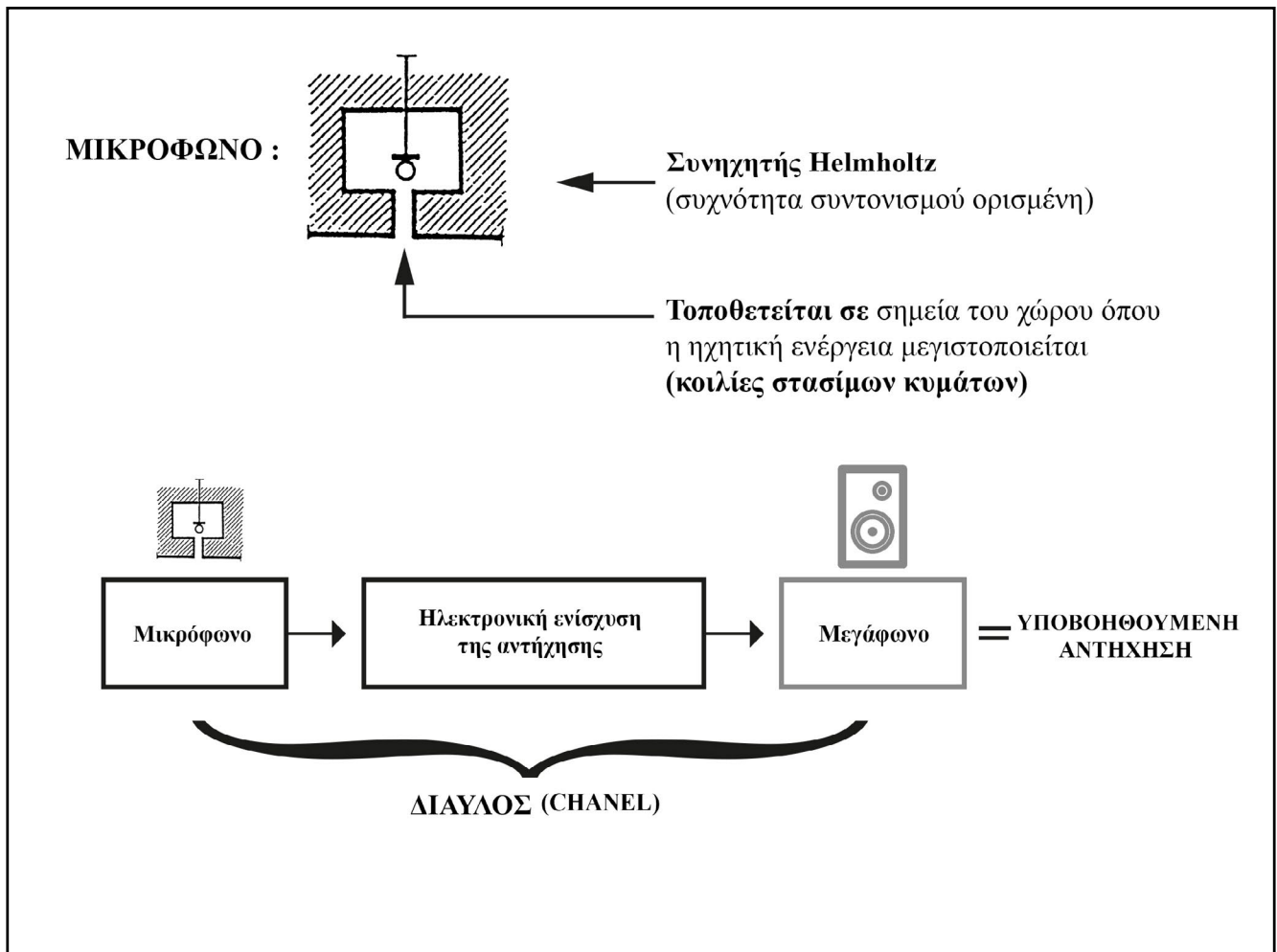
Όταν οι επιφάνειες του χώρου δεν επαρκούν για να παρέχουν χρήσιμες πρώιμες ανακλάσεις είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρονικές ανακλάσεις.



Σχήμα 5.6 Σχηματική απεικόνιση ηλεκτρονικής ανάκλασης

5.3.3.1. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΒΟΗΘΟΥΜΕΝΗΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ (Assisted Resonance)

- Εφευρέτης: Peter Parkin (Building Research Establishment, Watford, Αγγλία, αρχές δεκαετίας 1960)
- Περιγραφή του συστήματος:



Σχήμα 5.7 Σχηματική απεικόνιση διαύλου του συστήματος της υποβοηθούμενης αντήχησης. Για να καλυφθούν οι συχνότητες του φάσματος που ενδιαφέρει ανά μικρά διαστήματα, μεγάλος αριθμός διαύλων εγκαθίσταται στην αίθουσα.

- Χαρακτηριστικά του συστήματος:

i) Δυνατότητα αύξησης του χρόνου αντήχησης { έως 50% (υψηλότερες συχνότητες)
κατά 100% (χαμηλές συχνότητες)

ii) (Φυσικός) χρόνος αντήχησης εκκίνησης: 1.3 - 1.4 s

iii) Συντήρηση: Επισταμένη (ευαισθησία του συστήματος στις θερμοκρασιακές μεταβολές κλπ.)

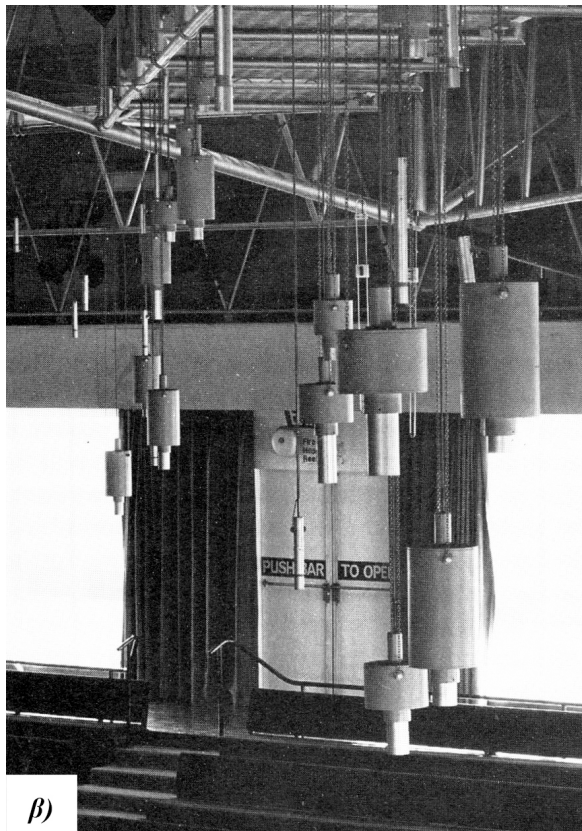
iv) Χρόνος εγκατάστασης: Μεγάλος

v) Κόστος εγκατάστασης: Ανάλογο του πλήθους των διαύλων. Συνήθως 10% του προϋπολογισμού του κτιρίου

- Πειραματική εφαρμογή:

Royal Festival Hall, London. Στα μέσα της δεκαετίας του 1960 εγκαταστάθηκε στην αίθουσα το σύστημα της υποβοηθούμενης αντήχησης. Βελτιώθηκε σημαντικά ο βραχύς φυσικός χρόνος αντήχησης της αίθουσας (από 1,35 s σε 1,80 s, στις μεσαίες συχνότητες σε πλήρη αίθουσα). 172 διάλυτοι, από 58-700 Hz. (βλέπε «Σχήμα 4.11 Royal Festival Hall, London. Έτος 1951, ≈3000 άτομα. Αρχ/των: R.H. Mathews, J.L Martin, E. Williams, P.M. Moto, Σύμβ. ακουστικής: H. Bagenal with BRE. α) Κάτοψη & τομή (© Barron, 1993), β) Εσωτερική άποψη (© Beranek 1996), γ) Εξωτερική άποψη (www.commonswikimedia.org). Κτίστηκε στη θέση του Queen's Hall που είχε καταστραφεί στη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου πολέμου. Γνήσιο προϊόν του μοντερνισμού, σύμβολο του ανανεωτικού πνεύματος στο μεταπολεμικό Λονδίνο.»)

- Πρώτη εμπορική εφαρμογή (Parkin, 1974):



Σχήμα 5.8 Central Hall, York University, Αγγλία. Έτος 1968 ≈ 1064 άτομα. Αρχ/των: R. Matthew, Johnson - Marshall. α) Εσωτερική άποψη, β) Λεπτομέρεια των αναρτημένων μικροφώνων του συστήματος. (© Barron, 1993). Η αίθουσα έχει φυσικό χρόνο αντήχησης 0.80 s και αρχικά εχρησιμοποιείτο ως αίθουσα διαλέξεων. Αργότερα χρησιμοποιήθηκε και για μουσικές εκδηλώσεις και χρειάστηκε να αυξηθεί ο φυσικός χρόνος αντήχησης μέσω του συστήματος της υποβοηθούμενης αντήχησης κατά 40% στις χαμηλές συχνότητες.



Σχήμα 5.9 *Hexagon Theatre, Reading* Αγγλία. Έτος 1977, ≈ 1500 άτομα. Αρχ/των: R. Matthew, Johnson - Marshall. Εσωτερική άποψη (© Barron, 1993). Χρησιμοποιείται για θεατρικές παραστάσεις, καθώς και για συμφωνική μουσική.

5.3.3.2. ΑΛΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ

- **Κύριο χαρακτηριστικό:**

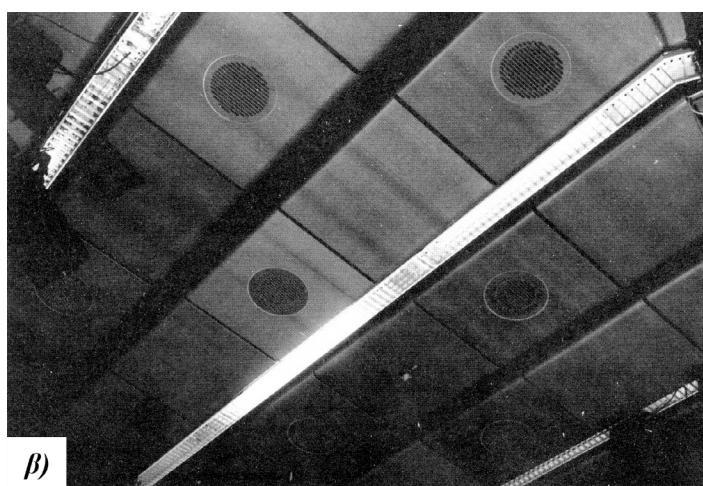
Κύριο χαρακτηριστικό αυτών των συστημάτων είναι ότι παρέχουν επίσης ενίσχυση της στάθμης του ήχου στο χώρο. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων είναι:

- i) Πολυκάναλο σύστημα αντήχησης (multiple channel reverberation) "MCR",
- ii) Ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου της ακουστικής (Acoustical control system).

- **Συντήρηση:**

Όλα τα συστήματα ηλεκτρονικής αντήχησης χρειάζονται **επισταμένη συντήρηση** και χειρισμό από **ειδικά καταρτισμένους τεχνικούς** - υποβοηθούμενη αντήχηση (AIRO Ltd), πολυκάναλο σύστημα αντήχησης (Philips).

- **Παράδειγμα εφαρμογής του MCR: Austrian Centre, Βιέννη.**



Σχήμα 5.10 Austrian Centre, Βιέννη. Εσωτερική άποψη εμφανίσεως **α)** τα μικρόφωνα, **β)** τα ενσωματωμένα μεγάφωνα στην ψευδοροφή, από το σύστημα MCR. (© Barron, 1993)

5.4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αίθουσες διαλέξεων που έχουν περιορισμένο όγκο και χαμηλό φυσικό χρόνο αντήχησης **μπορούν να αυξήσουν την αντήχηση των** και να χρησιμοποιηθούν για την ακρόαση συμφωνικής μουσικής **χάρις στα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρονικής αντήχησης**. Η εφαρμογή αυτών των συστημάτων πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν στο στάδιο του σχεδιασμού του χώρου.

Τα συστήματα ακουστικής μεταβλητότητας ενός χώρου, **τόσο τα ηλεκτρονικά όσο και τα παθητικά** υπόσχονται **ενδιαφέρουσες εξελίξεις** στα επόμενα χρόνια, για να υπηρετήσουν την ανάγκη της πολυλειτουργικότητας που προβάλλει για τις περισσότερες των αιθουσών ακροατηρίου σήμερα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Barron, M. (1993). *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. London: E & FN Spon. Also 2nd ed. (2010) e-book, London, N.Y.: Spon press.
- Beranek, L.L. (1996). *Concert and Opera Halls, How they sound*. New York: Am. Inst. Physics press for the Acoust. Soc. Am.
- Forsyth, M. (1985). *Buildings for music*. Cambridge Mass: The MIT Press.
- Parkin, P.H. (1974). Assisted resonance at the central hall of York University. *The Architects Journal*, 160, pp. 237-300.
- Sotiropoulou, A., Papaioannou, M., Mougkasi, N., Nikolaou, D., Vasilatos, P. & Panagiotou, S. (2015). The Athens Academy of Performing Arts: Acoustic Design of the 300-seat Multipurpose Auditorium. 9th *International Conference on Auditorium Acoustics, 29-31 October 2015* (Proceedings IOA 37(3), pp. 536-543). Paris: IOA.
- Παπαϊωάννου, Μ. & Μουγκάση, Ν. (2015). *Ακαδημία παραστατικών τεχνών στην Αθήνα*. (επί διπλώματι εργασίας). Επίβλεψη: επ. καθ. Δ. Νικολάου, Σύμβ.: επ. καθ. Π. Βασιλάτος, αν. καθ. Α. Σωτηροπούλου. Σχολή Αρχιτεκτόνων ΕΜΠ, Αθήνα.

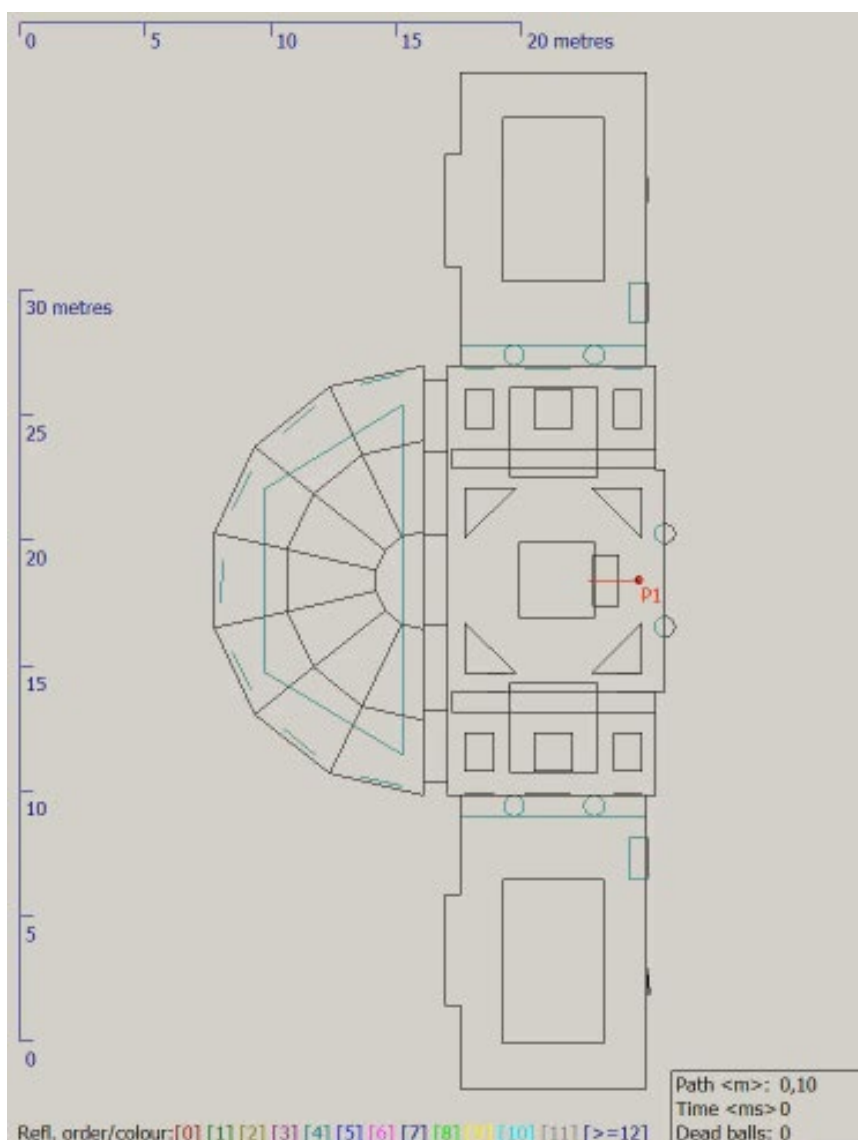
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΟΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΑΚΡΟΑΤΗΡΙΟΥ

Επιμέλεια: Ιωάννης Καραγιάννης

ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΟΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΑΚΡΟΑΤΗΡΙΟΥ

Ένα σύγχρονο εργαλείο για το σωστό σχεδιασμό χώρων ακροατηρίου είναι η κατασκευή ψηφιακών μοντέλων και η προσομοίωση της ακουστικής τους συμπεριφοράς με τη χρήση λογισμικού. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να προβλέψουμε με μεγάλη ακρίβεια τα ακουστικά χαρακτηριστικά μιας αίθουσας που σχεδιάζουμε ή την επίδραση που θα έχουν στην ακουστική μιας υφιστάμενης αίθουσας, μετατροπές όπως εισαγωγή νέων υλικών αλλαγή γεωμετρίας κλπ.

Κατά την κατασκευή του ψηφιακού ακουστικού μοντέλου εισάγουμε στον υπολογιστή τη γεωμετρία του χώρου και στη συνέχεια δηλώνουμε για κάθε επιφάνεια της αίθουσας το υλικό, δίνοντας τους συντελεστές ηχοαπορρόφησης και διάχυσης, αντίστοιχα. Στη συνέχεια καθορίζουμε το είδος και τη θέση της πηγής του ήχου καθώς και τα σημεία του χώρου στα οποία θέλουμε να γίνουν οι ακουστικές μετρήσεις. Μέσω του λογισμικού, το ηχητικό κύμα που εκπέμπεται από την πηγή προσομοιάζεται με ένα σύνολο χιλιάδων ακτίνων οι οποίες ταξιδεύουν στον οριζώντιο χώρο με την ταχύτητα του ήχου και ανακλώνται κάθε φορά που συναντούν μια επιφάνεια του χώρου. Η ενέργειά τους μειώνεται λόγω της ηχοαπορρόφησης αφ' ενός του αέρα και αφ' ετέρου των επιφανειών στις οποίες προσπίπτουν. Όταν οι ακτίνες διέρχονται από τα σημεία που έχουμε δηλώσει ως σημεία μέτρησης, το πρόγραμμα καταγράφει τα χαρακτηριστικά τους και έτσι εξάγονται οι ζητούμενες ακουστικές παράμετροι. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εξαρτάται από τη λεπτομέρεια της γεωμετρίας του μοντέλου και από τη σωστή εισαγωγή των στοιχείων (data) των υλικών. Η ανωτέρω διαδικασία απεικονίζεται και οπτικά σε δύο και τρεις διαστάσεις στα παρακάτω video. Το μοντέλο που παρουσιάζεται είναι από την αίθουσα “Καυταντζόγλου” στο κτίριο “Αβέρωφ” του ΕΜΠ και έχει κατασκευασθεί με το λογισμικό odeon v.9.



Βίντεο 6.1 Δισδιάστατο μοντέλο της αίθουσας "Καυταντζόγλου" στο κτίριο "Αβέρωφ" του ΕΜΠ, που έχει κατασκευασθεί με το λογισμικό odeon v.9



Βίντεο 6.2 Τρισδιάστατο μοντέλο της αίθουσας "Κανταντζόγλου" στο κτίριο "Αβέρωφ" του ΕΜΠ, που έχει κατασκευασθεί με το λογισμικό odeon v.9 (βλέπε «Βίντεο 6.1 Δισδιάστατο μοντέλο της αίθουσας "Κανταντζόγλου" στο κτίριο "Αβέρωφ" του ΕΜΠ, που έχει κατασκευασθεί με το λογισμικό odeon v.9»)

Η οπτική απεικόνιση της διάδοσης του ήχου μας διευκολύνει να διακρίνουμε προβλήματα που πιθανόν να υπάρχουν στην αίθουσα όπως ηχητικές σκιές, εστιασμός, ηχώ, κλπ.

Ένα επιπλέον πολύ χρήσιμο εργαλείο που μας προσφέρει το ψηφιακό ακουστικό μοντέλο ενός χώρου είναι η **προσομοίωση της ακρόασης (auralisation)** για συγκεκριμένες θέσεις πηγής και ακροατού. Μπορούμε δηλαδή να εισάγουμε στο μοντέλο δείγματα ήχου και να ακούσουμε πώς ακριβώς επιδρά σε αυτά ο χώρος που σχεδιάζουμε. Τέτοια δείγματα μπορεί να είναι ο ήχος ενός μουσικού οργάνου, η φωνή ενός ομιλητή ή ακόμα και κάποιος θόρυβος. Τα δείγματα αυτά τα επιλέγουμε από μια βιβλιοθήκη ανηχοϊκών ηχογραφήσεων, δηλαδή ηχογραφήσεων που έχουν γίνει με τέτοιες συνθήκες ώστε να μην έχουν καταγραφεί καθόλου ανακλάσεις παρά μόνο ο απ' ευθείας ήχος της πηγής. Μπορούμε να επιλέξουμε περισσότερες από μία πηγές ώστε να προσομοιώσουμε ομάδες μουσικών οργάνων, ή ηλεκτρακουστικό σύστημα αναπαραγωγής κλπ. Το πρόγραμμα προσθέτει στο ανηχοϊκό δείγμα τις ανακλάσεις που έχουν υπολογισθεί στο ψηφιακό μοντέλο κι έτσι ο μελετητής έχει τη δυνατότητα **να ακούσει** τον ήχο σε διάφορα σημεία της υπό σχεδίαση αίθουσας πριν την κατασκευάσει.

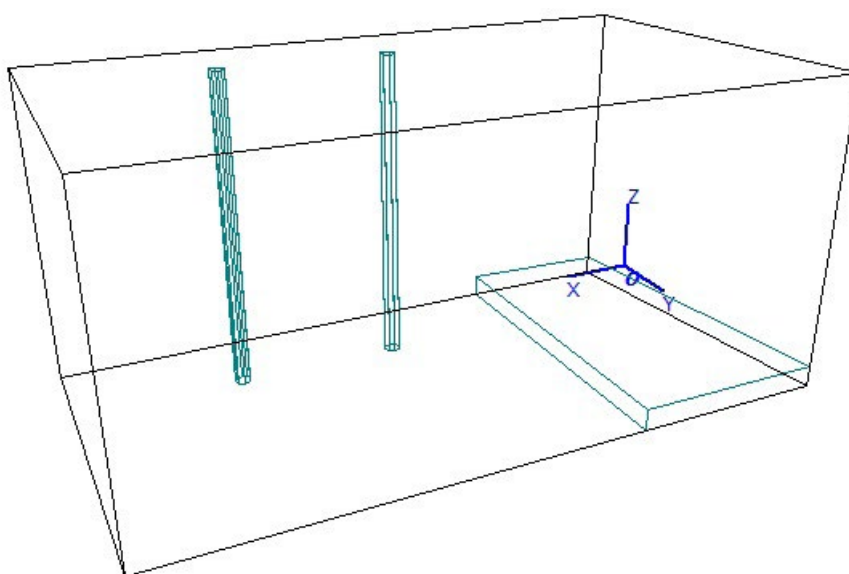
Παράδειγμα εφαρμογής:

Σχεδιασμός αίθουσας εκδηλώσεων ωδείου, 100- θέσεων (Ζουριδάκη, 2015), με τη χρήση του λογισμικού odeon v.10:

Πιο κάτω βλέπουμε το ακουστικό μοντέλο χώρου που προορίζεται για την αίθουσα εκδηλώσεων του ωδείου. Πρόκειται αρχικά για μια αίθουσα χωρίς καμμία μέριμνα για την ακουστική της ποιότητα. Τα υλικά που υπάρχουν στο χώρο είναι:

- Ξύλινο δάπεδο επί δοκίδων,
- Εμφανές μπετόν στους τοίχους και την οροφή,
- Ξύλινη σκηνή,
- Δύο κυλινδρικές κολώνες από μπετόν.

Μετά την εισαγωγή της γεωμετρίας και των υλικών στο πρόγραμμα, παίρνουμε τα αποτελέσματα των ακουστικών μετρήσεων. Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζεται η τιμή του χρόνου αντήχησης της αίθουσας ανά οκτάβα.



Σχήμα 6.1 Ψηφιακό μοντέλο της (αρχικής) αίθουσας εκδηλώσεων ωδείου, με όγκο 528.00 m³

Οκτ. ζώνες [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Χρόνος αντήχησης [s]	3,48	3,62	3,83	4,09	3,45	1,72

Πίνακας 6.1 Χρόνος αντήχησης της αρχικής αίθουσας

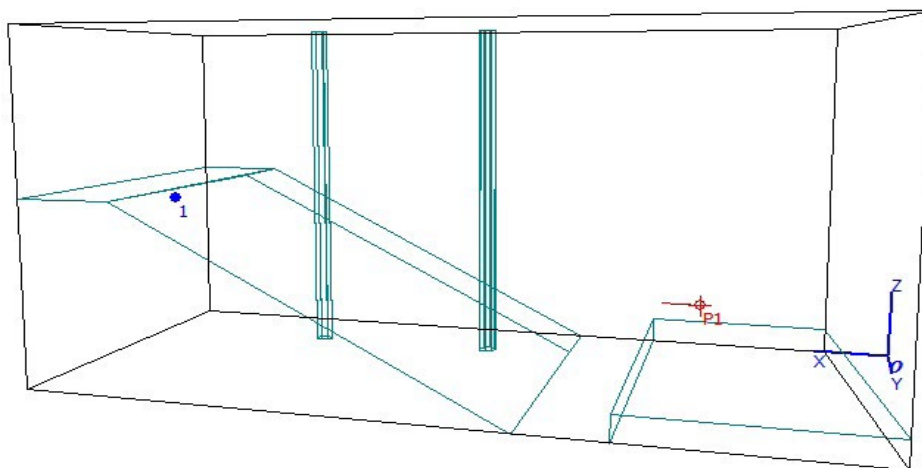
Οι τιμές του χρόνου αντήχησης είναι πολύ υψηλότερες από τις επιθυμητές, κάτι που επιβεβαιώνεται και με τη χρήση του “auralisation” («Πίνακας 6.3 Δείγματα προσομοίωσης ακροάματος στην αίθουσα πριν και μετά την παρέμβαση»).

Προκειμένου να βελτιώσουμε την ακουστική της αίθουσας προτείνουμε τις πιο κάτω μετατροπές:

- Υψηλή διάχυση στην οροφή,
- Κλίση της περιοχής του ακροατηρίου (που συνεπάγεται και μείωση του όγκου),
- Τοποθέτηση ηχοαπορροφητικών καθισμάτων,
- Διάχυση στους τοίχους (οι οποίοι παραμένουν ανακλαστικοί).

Μετά την εισαγωγή των νέων δεδομένων προκύπτει το νέο μοντέλο («Σχήμα 6.2 Ψηφιακό μοντέλο της αίθουσας εκδηλώσεων ωδείου μετά τις παρεμβάσεις, με όγκο 415.00 m³ (βλέπε «Σχήμα 6.1 Ψηφιακό μοντέλο της (αρχικής) αίθουσας εκδηλώσεων ωδείου, με όγκο 528.00 m³»)) και οι νέοι χρόνοι αντήχησης όπως μετρήθηκαν από το πρόγραμμα («Πίνακας 6.2 Χρόνος αντήχησης της αίθουσας μετά τις παρεμβάσεις»). Επίσης μπορούμε να δούμε την ανάπτυξη του ηχητικού κύματος σε δύο και τρεις διαστάσεις.

Και στα δύο μοντέλα (πριν και μετά την επέμβαση) επιλέχθηκε πανκατευθυντική πηγή στη θέση της σκη- νής, ενώ η θέση μέτρησης ορίσθηκε στο πίσω μέρος του ακροατηρίου ως δυσμενέστερη.



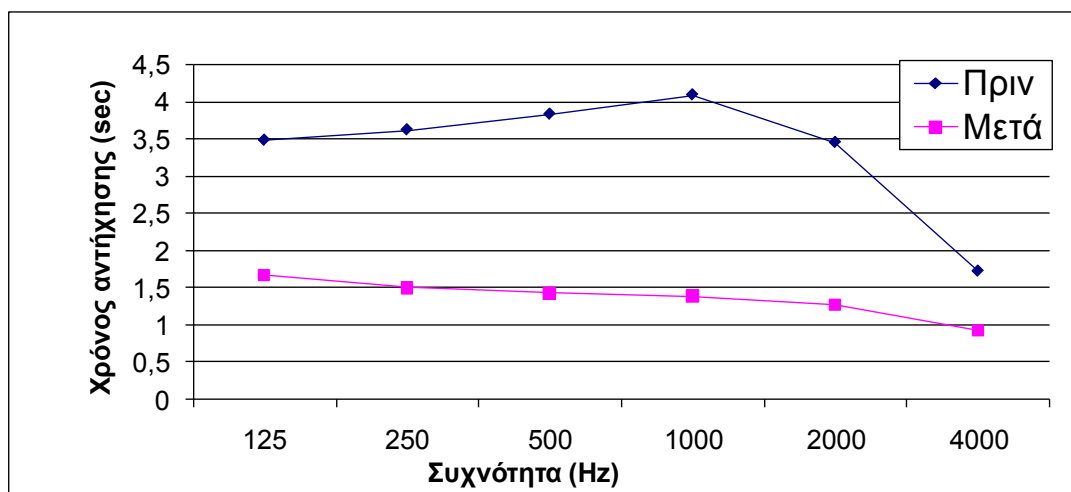
Σχήμα 6.2 Ψηφιακό μοντέλο της αίθουσας εκδηλώσεων ωδείου μετά τις παρεμβάσεις, με όγκο 415.00 m³ (βλέπε «Σχήμα 6.1 Ψηφιακό μοντέλο της (αρχικής) αίθουσας εκδηλώσεων ωδείου, με όγκο 528.00 m³»)

Οκτ. ζώνες [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Χρόνος αντήχησης [s]	1,67	1,5	1,43	1,39	1,27	0,93

Πίνακας 6.2 Χρόνος αντήχησης της αίθουσας μετά τις παρεμβάσεις

Βίντεο 6.3

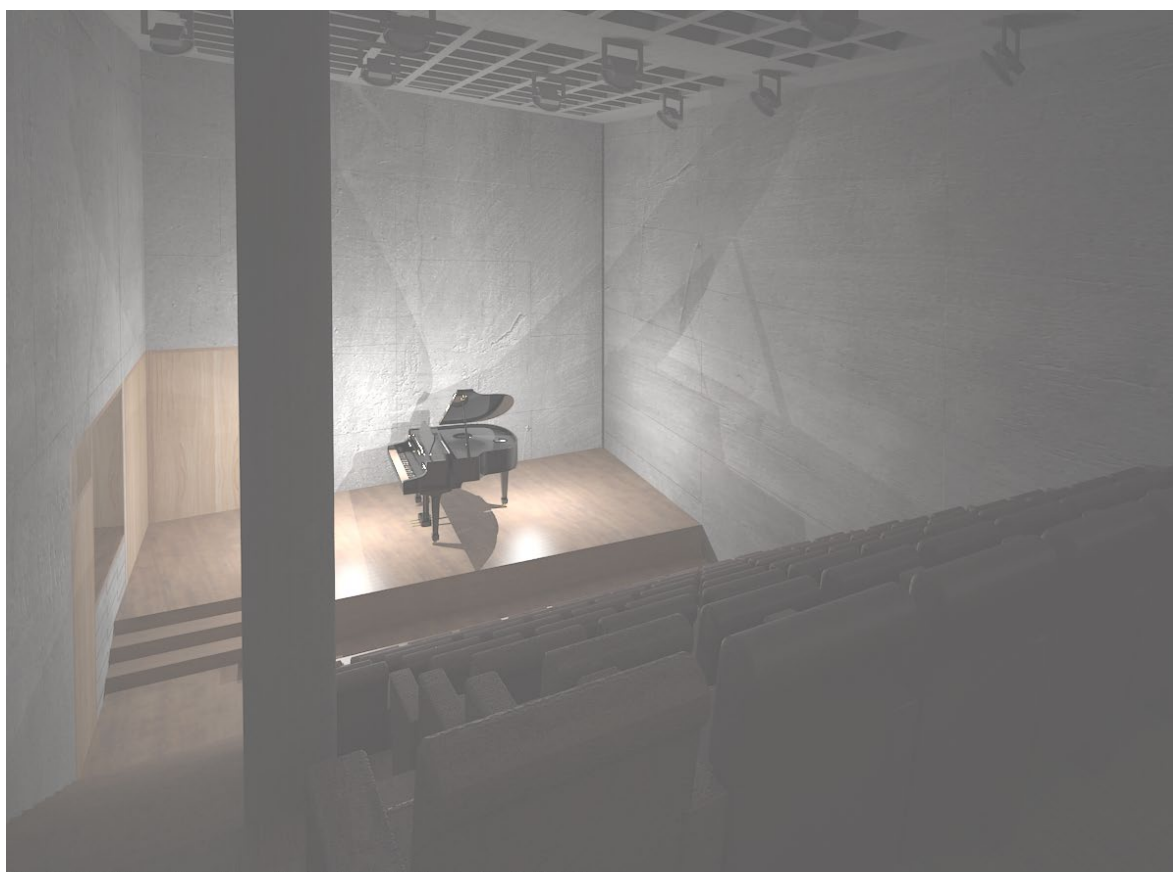
Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκριτικά οι τιμές του χρόνου αντίληψης στην αίθουσα πριν και μετά τις παρεμβάσεις, ενώ ακολουθούν δείγματα προσομοίωσης της ακρόασης (auralisation) στη θέση μέτρησης.



Σχήμα 6.3 Σύγκριση του χρόνου αντίληψης της αίθουσας πριν και μετά την παρέμβαση

ΑΚΡΟΑΜΑ	Ανηχοϊκή ηχογρά- ωση	Αίθουσα πριν	Αίθουσα μετά
Ορχήστρα			
Βιολί			
Πιάνο			

Πίνακας 6.3 Δείγματα προσομοίωσης ακροάματος στην αίθουσα πριν και μετά την παρέμβαση



Σχήμα 6.4 Φωτορεαλιστική απεικόνιση της αίθουσας εκδηλώσεων ωδείου (Ζουριδάκη, 2015). (βλέπε «Σχήμα 6.2 Ψηφιακό μοντέλο της αίθουσας εκδηλώσεων ωδείου μετά τις παρεμβάσεις, με όγκο 415.00 m³ (βλέπε «Σχήμα 6.1 Ψηφιακό μοντέλο της (αρχικής) αίθουσας εκδηλώσεων ωδείου, με όγκο 528.00 m³»)»)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ζουριδάκη, Α. (2015). *Μικρό ωδείο στη Σητεία Κρήτης*. (επί διπλώματι εργασία). Επίβλεψη: καθ. Δ. Ησαΐας, Σύμβ. ακουστικής: αν. καθ. Α. Σωτηροπούλου και Υ/Δ Ι. Καραγιάννης. Σχολή Αρχιτεκτόνων ΕΜΠ, Αθήνα.
Odeon: www.odeon.dk

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΑΚΡΟΑΣΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΟΥ 21ου ΑΙΩΝΑ

7.1. ΗΛΕΚΤΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗ, ΜΟΥΣΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ, ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ

7.1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ



7.1.2. ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΚΛΑΣΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΗΣ ΣΥΜΦΩΝΙΚΗΣ ΟΡΧΗΣΤΡΑΣ

Συνεχ. (1 από 2)

Παράδειγμα 1:

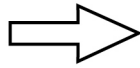
Ερμηνεία του έργου «MUSIK FÜR DIE BEETHOVENHALLE» του K. STOCKHAUSEN, 1971. Η συμφωνική ορχήστρα είναι διατεταγμένη κατά ομάδες σ' όλο το κτίριο, σύμφωνα με τον μουσουργό. Οι ερμηνευταί ακούουν ο ένας τον άλλον μέσω μεγαφώνων στο κτίριο. Οι ακροαταί καθώς κινούνται στο κτίριο εμβαπτίζονται στο μουσικό ήχο (Forsyth 1985). (Βλέπε «Σχήμα 2.30 Beethovenhalle, Βόννη, Γερμανία. Έτος 1957, ≈ 1400 άτομα. Αρχ/των: S. Wolske, Σύμβ. ακουστικής: E. Meyer. α) Τομή κατά μήκος, β) Λεπτομέρεια στοιχείων διάχυσης οροφής, γ) Εσωτερική άποψη. (© Beranek, 1962)»)

Παράδειγμα 2:

(2 από 2)

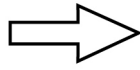
Ερμηνεία του έργου “Te Deum”, Berlioz, Διευθνές Φεστιβάλ Εδιμβούργου 1980

Ορχήστρα χορωδία



USHER HALL

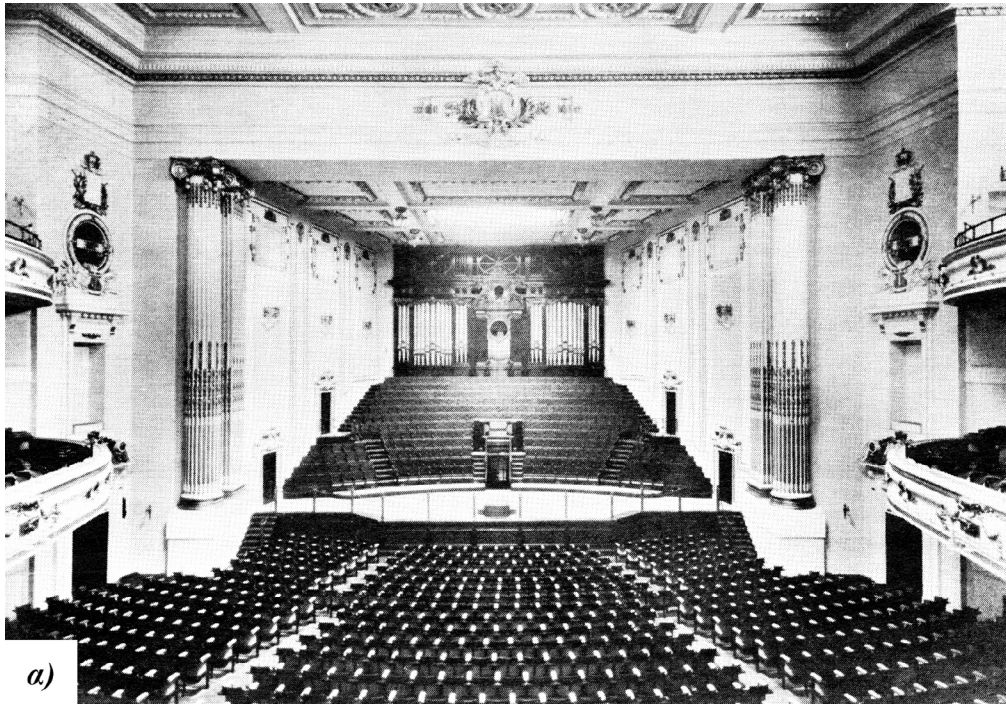
Εκκλησιαστικό όργανο



ST' MARY'S CATHEDRAL
(χιλιόμετρα μακριά)



Συναυλία μετεδίδετο
στο κοινό μέσω του
ΡΑΔΙΟΦΩΝΟΥ



α)



β)

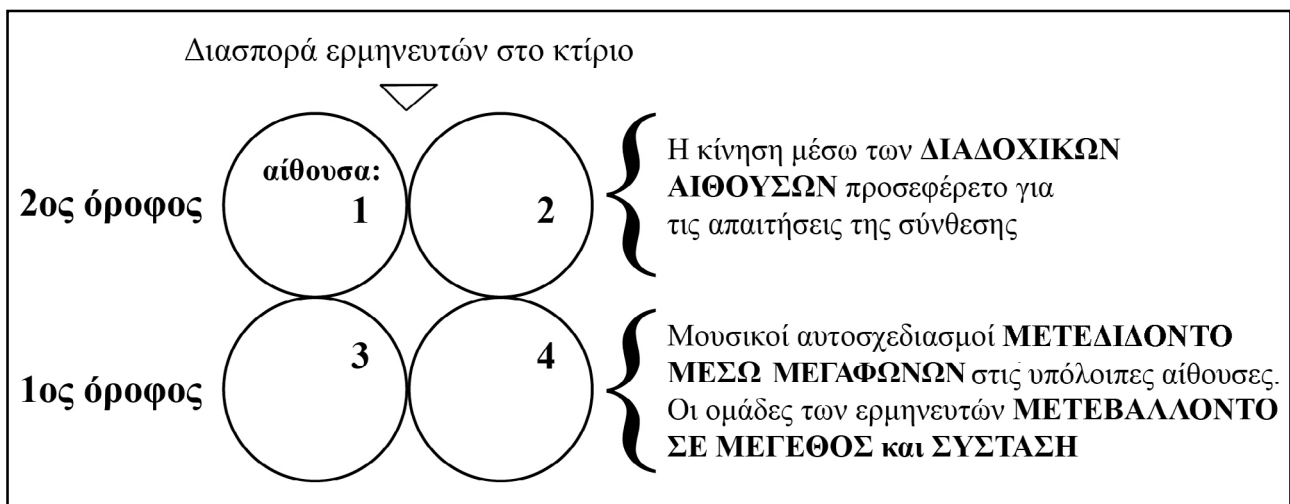
Σχήμα 7.1 Usher Hall, Εδιμβούργο. Έτος 1914, ≈ 2550 άτομα. Αρχ/των: S. Harrison & Sons, H.H. Thomson. α) Άποψη προς την ορχήστρα, β) Άποψη προς το ακροατήριο. (© Beranek, 1962)

7.1.3. ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΧΩΡΟ



Παράδειγμα 1:

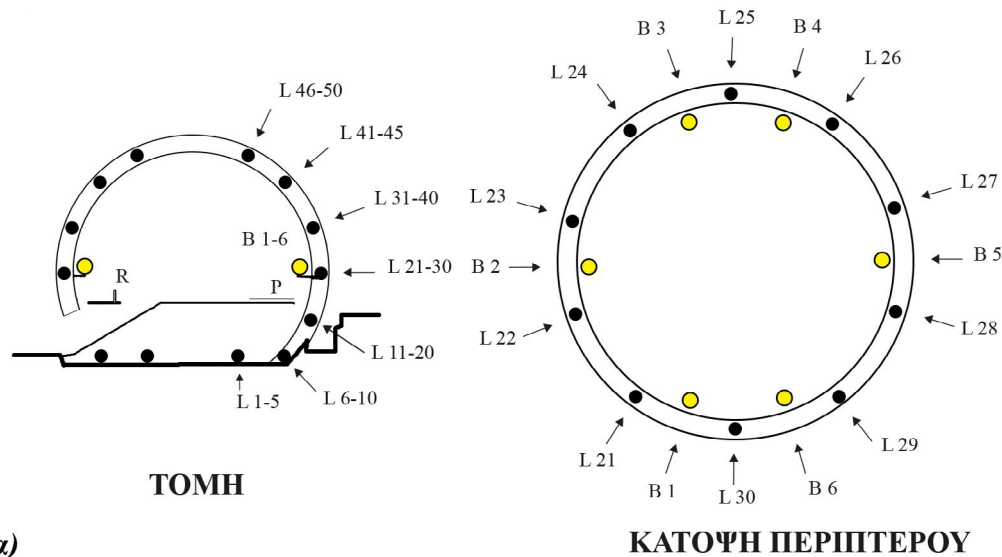
Το έργο “Musik für ein Haus”, του K. Stockhausen. Πρώτη εκτέλεση: Μασονική στοά στο Darmstadt, 1968, -Επιλογή του κτιρίου σκόπιμη:



7.1.4. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΕΠΙΤΑΓΕΣ ΤΟΥ ΜΟΥΣΟΥΡΓΟΥ

Παράδειγμα :

Το Γερμανικό Περίπτερο, στη διεθνή έκθεση στην Οζάκα, Ιαπωνία, 1972. Υλοποιήθηκε σύμφωνα με τις επιταγές του μουσουργού **K. STOCKHAUSEN**, για την ομώνυμη μουσική σύνθεσή του (Forsyth 1985).

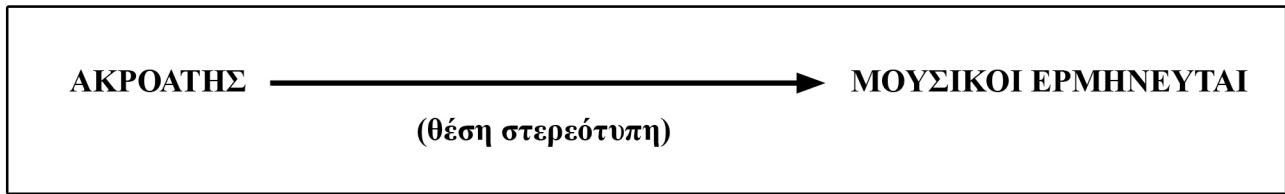


Σχημα 7.2 Γερμανικό Περίπτερο, Διεθνής Έκθεση Οζακα, Ιαπωνία 1972. ≈ 550 άτομα. **α)** Σχηματοποιημένη κάτοψη & τομή (P: Podium, B: Εξώστες ερμηνευτών, R: Κονσόλα συντονισμού (ηλεκτρονικός μύλος), L: πενήντα μεγάφωνα (διατεταγμένα σε επτά ομόκεντρους κύκλους, διακρίνονται τα μεγάφωνα στο εσωτερικό κέλυφος του χώρου, σύμφωνα με τον K. Stockhausen), **β)** Εξωτερική άποψη. (en.wikipedia.org)

Το σφαιρικό κέλυφος ενδυνάμωνε τη συμβολή του τρισδιάστατου χώρου στη μουσική σύνθεση, η κίνηση του ήχου στο χώρο κυριαρχούσε (μέσω πενήντα ηχείων στο εσωτερικό κέλυφος), - περιστροφικές ηχητικές τροχιές πολυφωνικών συνδυασμών.

7.1.5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- ΤΥΠΙΚΗ (ΚΛΑΣΙΚΗ) ΑΙΘΟΥΣΑ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ:



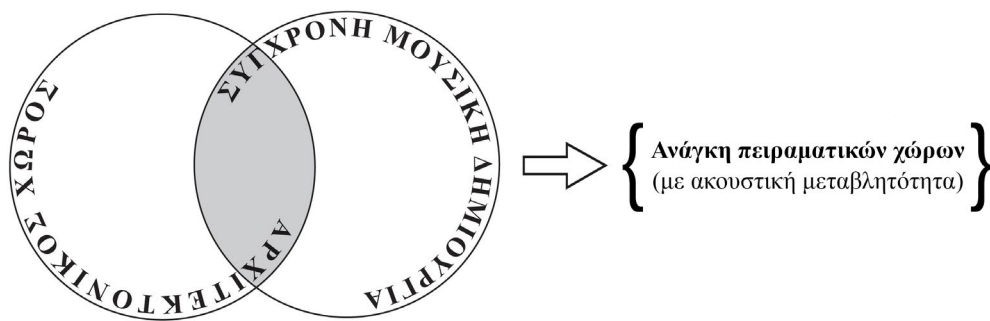
- ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΣΥΝΑΥΛΙΩΝ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΟΥ 21^{ου} ΑΙΩΝΑ:

Σχετική θέση ορχήστρας - ακροατή διαρκώς μεταβάλλεται. Νέοι ορίζοντες στην αρχιτεκτονική σύνθεση αιθουσών



7.1.6 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΙ ΧΩΡΟΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ

Συνεχ. (1 από 2)



Παράδειγμα 1:

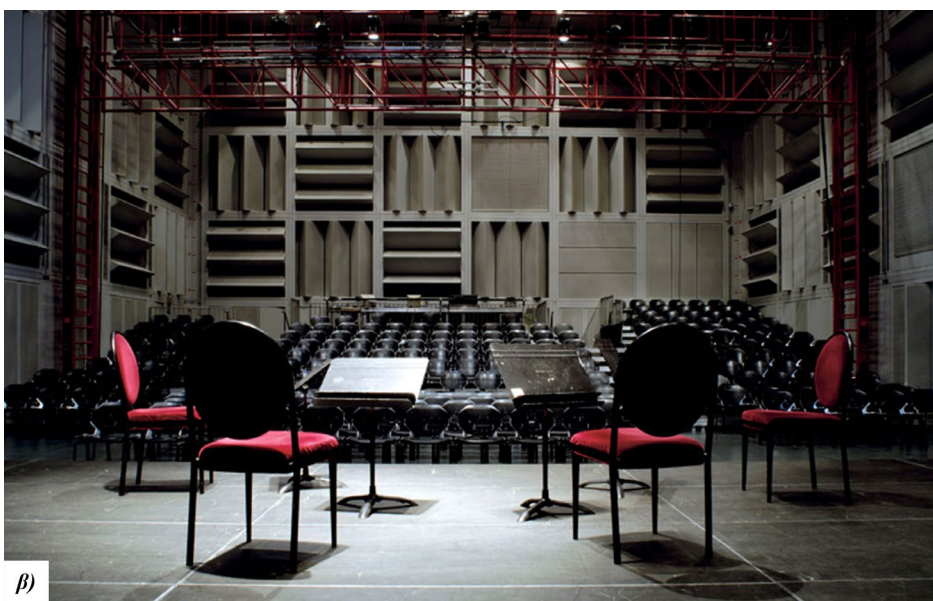
“The Cube” Σχολή Αρχιτεκτόνων MIT, USA.

Παράδειγμα 2:

“Espace De Projection”, Institut de Recherche et Cordination d’ Acoustique / Musique (IRCAM)

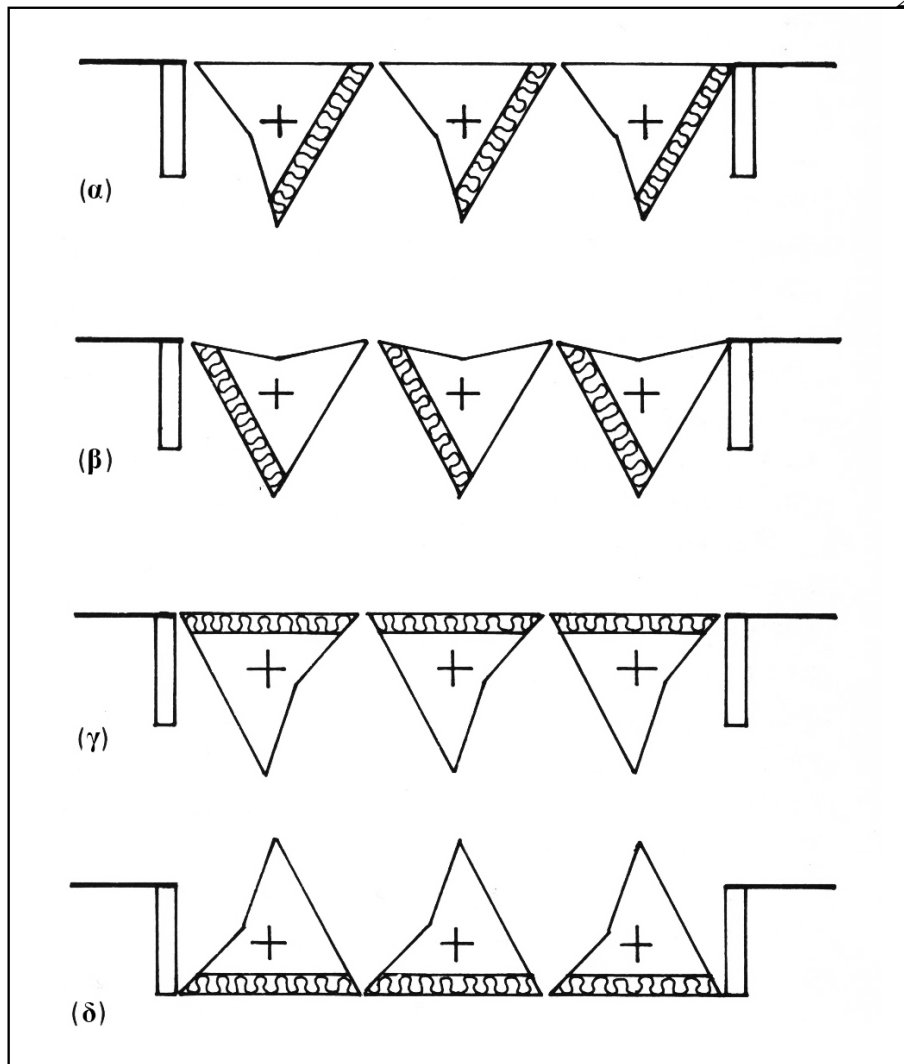


α)



β)

Σχήμα 7.3 “Espace De Projection”, (IRCAM) Παρίσι. Έτος 1978, ≈ 400 άτομα. Αρχ/των: Rogers & Piano, Σύμβ. ακουστικής: Peutz et Associé. α) Μακέτα, (IRCAM © Georges Meguerditchian), β) Espace de Projection, IRCAM, (Ιούλιος 2005 © Olivier Panier des Touches)

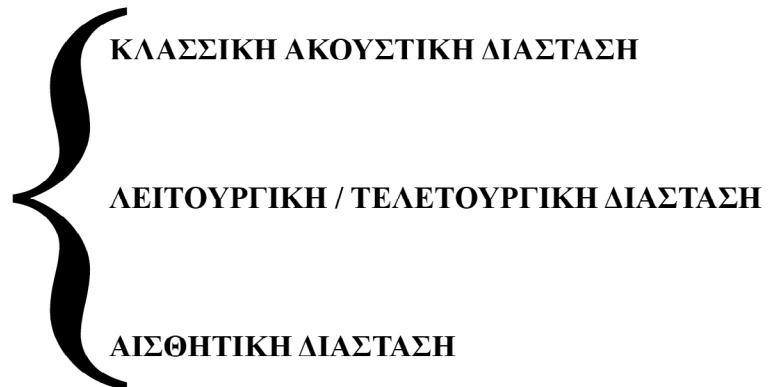


Σχήμα 7.4 Λεπτομέρεια των κινητών στοιχείων που καλύπτουν τους τοίχους και την οροφή του “Espace de Projection”, IRCAM. Ενέλικτες διατάξεις: α) Ανακλαστική επιφάνεια, β) Επιφάνεια διάχυσης, γ) Ηχοαπορροφητική επιφάνεια, δ) Επιφάνεια υψηλής διάχυσης. (© Barron, 1993). (βλέπε «Σχήμα 7.3 “Espace De Projection”, (IRCAM) Παρίσι. Έτος 1978, ≈ 400 άτομα. Αρχ/των: Rogers & Piano, Σύμβ. ακουστικής: Peutz et Associé. α) Μακέτα, (IRCAM © Georges Meguerditchian), β) Espace de Projection, IRCAM, (Ιούνιος 2005 © Olivier Panier des Touches)»)

7.2. ΟΠΤΙΚΗ ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ ΤΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΟΥ 21ου ΑΙΩΝΑ

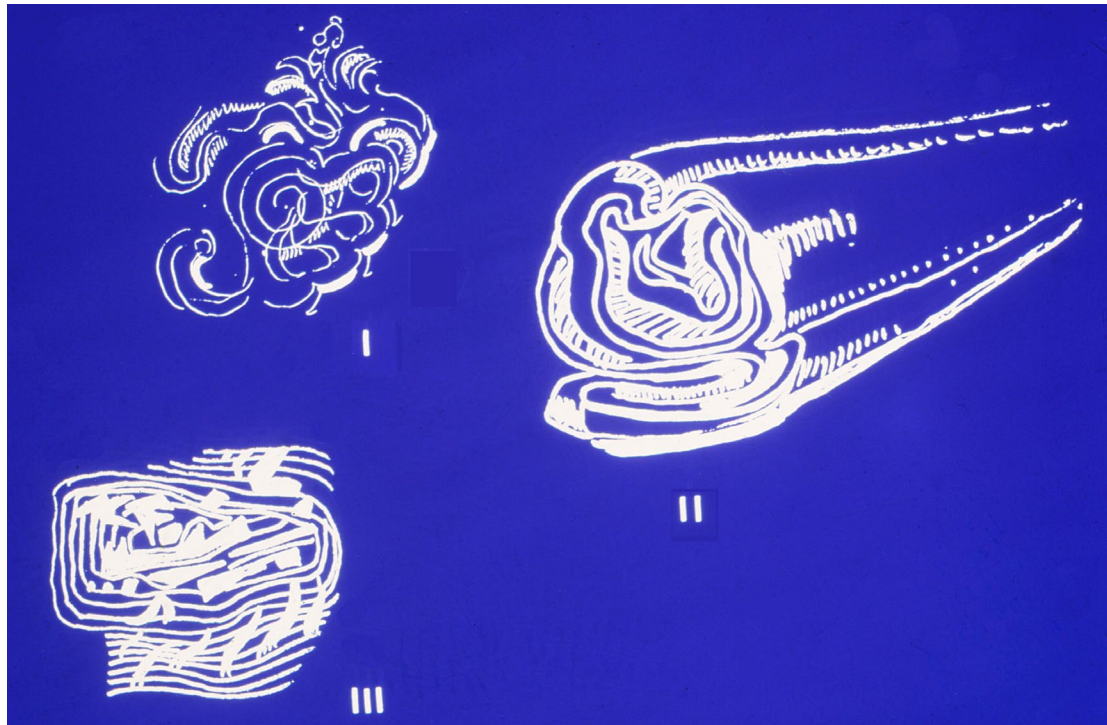
7.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ
(συμμετοχή στην παρτιτούρα)



7.2.2. Η ΟΠΤΙΚΗ ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ ΤΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ

Παράδειγμα :



Σχήμα 7.5 Οπτικές απεικονίσεις τριών μουσικών κομματιών (© Musgrove)

ΜΟΥΣΙΚΗ:

I. Mozart, συμφωνία αρ. 32, σε Σολ μείζονα, Κ. 318 (από το 1ο μέρος).

Το σκίτσο αποδίδει ήχο ανάλαφρο, σκερτσόζο.

II. Beethoven, συμφωνία αρ. 7, σε Λα μείζονα, Ορ. 92 (από το 2ο μέρος “allegretto”).

Το σκίτσο απεικονίζει ήχο με συμπαγή μάζα ο οποίος εξατμίζεται προς το άπειρο.

III. Liszt, πιάνο κονσέρτο αρ. 2 (από το «allegro deciso»)

Το σκίτσο αναφέρεται σε αιχμηρό ήχο, ταραχώδη, ιδιαίτερα ζωντανό.



7.2.3. Η ΟΠΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΗ ΦΥΣΗ

Παράδειγμα :

Επιλογή του σπηλαιίου Jeita, Λίβανος, για το έργο του K. Stockhausen «Συνθέσεις Ηλεκτρονικής Μουσικής». Πρώτη εκτέλεση 1969, $\approx$ 1200 άτομα



Σχήμα 7.6 Σπήλαιο Jeita, Λίβανος. (en.wikipedia.org). Για το έργο του K. Stockhausen τσιμεντένιος διάδρομος οδηγούσε στο εσωτερικό του σπηλαιίου μέσα από σταλακτίτες και σταλαγμίτες (διαδρομή διάρκειας 20') ενώ η μουσική ακουγόταν απαλά από 180 ηχεία κρυμμένα στους βράχους.

- **Χρόνος αντήχησης του σπηλαιίου: 8.00 s**

Ο ήχος εκεί ταξίδευε από ηχείο σε ηχείο διανύοντας εκατοντάδες μέτρα.

- **Φωτισμός σπηλαιίου:**

Ερμηνευτές φωτισμένοι με προβολείς. Σπήλαιο σκοτεινό. Υπόγειο ρυάκι φωτισμένο με προβολείς.

- **Συνολική εντύπωση του μουσικού ήχου:**

Σαν προϊστορικός ή σαν από διήγημα επιστημονικής φαντασίας

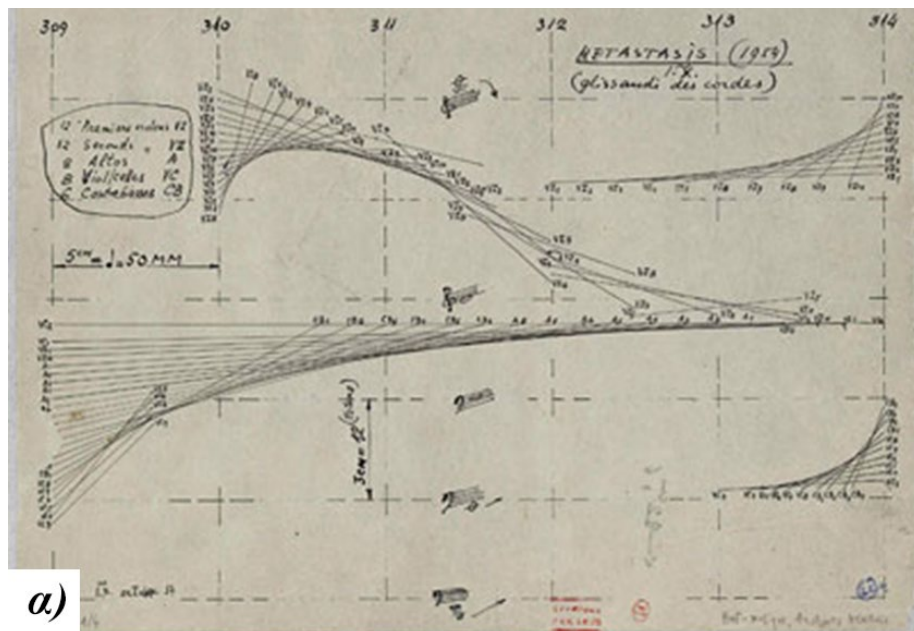
7.2.4. Η ΟΠΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ

Παράδειγμα:

Περίπτερο της Philips, Διεθνής έκθεση Βρυξελλών 1958. Αρχ/των: Le Corbusier, Ιάννης Ξενάκης (Xenakis, 1976, 1985).

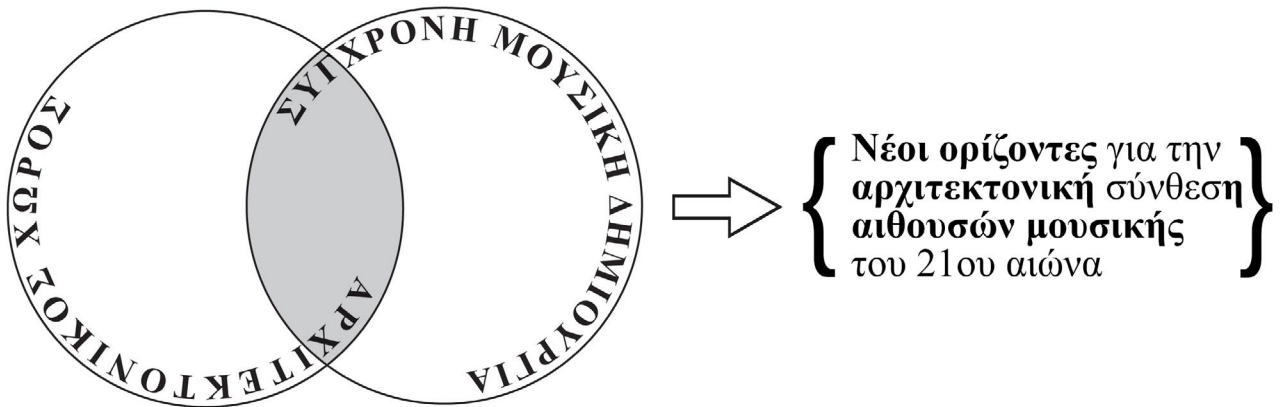
Αρχή σχεδιασμού: Μουσική και αρχιτεκτονική ενοποιούνται στο χώρο (υπαγορεύονται από κοινά μαθηματικά μοντέλα).

Βασική γεωμετρική μορφή της σύνθεσης: το υπερβολικό παραβολοειδές -εμπνευσμένο στο συνθέτη από το μουσικό έργο του «Metastasis» (σύνθεση από μουσικές επιφάνειες ηχητικά ευθειογενείς - glissandi).



Σχήμα 7.7 Περίπτερο της Philips, Διεθνής έκθεση Βρυξελλών. Έτος 1958, Αρχ/των: Le Corbusier, I. Ξενάκης. α) Από τις σημειώσεις του μουσουργού για το έργο του «METASTASIS» (www.flickr.com) β) Εξωτερική άποψη (en.wikipedia.org)

7.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Barron, M. (1993). *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. London: E & FN Spon. Also 2nd ed. (2010) e-book, London, New York: Spon press.
- Beranek, L.L. (1962). *Music, Acoustics and Architecture*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Forsyth, M. (1985). *Buildings for music*. Cambridge Mass: The MIT Press.
- Musgrove, J. (Προσωπική επικοινωνία).
- Xenakis, I. (1976). *Musique Architecture, Collection "Synthèses Contemporaines"*. 2nd ed. Belgium: Casterman.
- Xenakis, I. (1985). *Arts-Sciences: Alloys, The thesis defense of I. Xenakis*. New York: Pendagon Press.

**ΑΝΤΙ ΕΠΙΛΟΓΟΥ: ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΑΚΡΟΑ-
ΤΗΡΙΟΥ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ «ΠΟΙΗΤΙΚΗ»**

ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΑΚΡΟΑΤΗΡΙΟΥ ΚΑΙ ΑΡΧΙ- ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ «ΠΟΙΗΤΙΚΗ»

Ο τρόπος με τον οποίο οι αρχές ακουστικού σχεδιασμού, όπως αυτές αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, υιοθετούνται στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό είναι μια πολυσύνθετη επιλογή μοναδική για κάθε αρχιτεκτονικό έργο. Θεμελιώδεις για την επιτυχία αυτής της επιλογής είναι η εσωτερική συνοχή (integrated design) των τεχνικών απαιτήσεων με την αρχιτεκτονική έκφραση. Αυτή η συνοχή αποτελεί πρόκληση, ιδιαίτερα στην περίπτωση χώρων ακροατηρίου, όπου το στοιχείο του συμβολισμού έρχεται να προστεθεί στις απαιτήσεις της έκφρασης, ως εκ της λειτουργίας που διακονείται στο χώρο (Hawkes, 1996).

Παράδειγμα των παραπάνω από τη δική μας ιστορική αρχιτεκτονική κληρονομιά, αποτελεί η μορφή του αρχαίου Ελληνικού θεάτρου, με απόγειο το μνημειώδες αριστούργημα αρχιτεκτονικής και τεχνολογίας, - το αρχαίο θέατρο της Επιδαύρου «Σχήμα 3.5 Αρχαίο θέατρο της Επιδαύρου. Τέλη 4ου και μέσα 2ου π.Χ. αιώνα, ≈ 14000 άτομα. Αρχ/των: Πολύκλειτος ο νεότερος (Παυσανίας). Άποψη προς τις κερκίδες (en.wikipedia.org)». Δεν υπάρχουν ιστορικά στοιχεία που να τεκμηριώνουν τον ακουστικό σχεδιασμό των θεάτρων αυτού του είδους ως αποτέλεσμα επιστημονικής προσέγγισης. Όμως, οι ευρηματικές για την εποχή των τεχνικές σχεδιασμού, π.χ. η αμφιθεατρική διάταξη και η έντονη κλίση των κερκίδων, αποτελούν επιβεβαίωση πρωθύτερη! των σύγχρονων αρχών σχεδιασμού τέτοιου είδους χώρων. Ο ακουστικός σχεδιασμός του αρχαίου Ελληνικού θεάτρου σηματοδοτεί τη συνολική φυσιογνωμία του θεάτρου ως αρχιτεκτονικής δημιουργίας και μαρτυρά την εσωτερική συνοχή της καλλιτεχνικής πνοής με την τεχνολογική γνώση στη συνείδηση του δημιουργού του έργου (Σωτηροπούλου, 1994).

Από τη σύγχρονη αρχιτεκτονική, ανάμεσα στα επιτυχημένα παραδείγματα συνοχής τεχνικών απαιτήσεων και αρχιτεκτονικής έκφρασης είναι η αίθουσα συναυλιών Walt Disney «Σχήμα 4.31 Walt Disney Concert Hall, Los Angeles Ca, USA. Έτος 2003. ≈ 2275 άτομα. Αρχ/των: F. O Gehry, Σύμβ. ακουστικής: Y. Toyota of Nagata Acoustics Tokyo. α) Εσωτερική άποψη (www.flickr.com, φωτ.: Liam Keane), β) Εξωτερική άποψη. (en.wikipedia.org)». Γλυπτικής ωραιότητας τεράστια ανθοπεταλόσχημα φύλλα, εμπνευσμένα από την ανάγκη παροχής πρώιμων πλευρικών ανακλάσεων «4.2.3.1.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΠΡΩΙΜΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ ΙΔΙΑΙΤΕΡΑ ΑΠΟ ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ», οριοθετούν τμήματα της τεμαχισμένης περιοχής του ακροατηρίου και εξωραϊζουν τόσο την εσωτερική περιβάλλουσα του χώρου όσο και τη μορφή του μουσικού ήχου εκεί. Επί πλέον το κυρτό σχήμα στην άνω απόληξη των φύλλων συνεισφέρει στον χώρο πολύτιμο διάχυτο ήχο. Τα φύλλα αυτά σηματοδοτούν τη συνολική αρχιτεκτονική φυσιογνωμία του έργου, καθώς ελεύθερα εναγκαλίζονται και ταυτίζονται με το κτιριακό κέλυφος εξωτερικά. Με αυτόν τον τρόπο ο κοινωνικά συνειδητοποιημένος δημιουργός του έργου, διασπά τη μονολιθική έκφραση του το-πάλαι-ποτέ πολιτισμικού προμαχώνα της ανώτερης τάξης, δίδοντας στο κτίριο συναυλιών όψη προσβάσιμη ιδεολογικά από το μέσο αστό.

Συνεπώς προς τις αρχές του σύγχρονου ακουστικού σχεδιασμού και το υπόλοιπο κέλυφος της αίθουσας χαρακτηρίζεται από: i) Διάταξη κάτοψης (semi-surround), που φέρνει τον ακροατή εγγύτερα στην ορχήστρα ενισχύοντας έτσι το αίσθημα της υποκειμενικής εγγύτητας προς τα δρώμενα, οπτικά και ηχητικά «4.2.3.1.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΠ' ΕΥΘΕΙΑΣ ΗΧΟΥ», ii) Οργανικά στοιχεία της αίθουσας, όπως αβαθείς εξώστες που συμβάλλουν στην ικανοποίηση της ανάγκης αύξησης του ακροατηρίου σε δεδομένη κάτοψη και ενισχύουν την απαραίτητη διάχυση του ήχου με τα στηθαία και τους προβόλους των «4.2.3.1.5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΕΠΑΡΚΟΥΣ ΒΑΘΜΟΥ ΔΙΑΧΥΣΗΣ» και iii) Χαμηλά στηθαία στην περιβάλλουσα της ορχήστρας, οργανικά εντεταγμένα στο κέλυφος του χώρου, που παρέχουν πρώιμες ανακλάσεις στους μουσικούς ερμηνευτές: οι ανακλάσεις αυτές είναι απαραίτητες στους μουσικούς για να μπορούν να ακούουν τον ήχο της ερμηνείας. των «4.2.3.2.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΤΗΣ ΟΡΧΗΣΤΡΑΣ».

Πρόθεση του αρχιτέκτονα στο ανωτέρω παράδειγμα, είναι να αμφισβητήσει την κλασική μορφή της αίθουσας συναυλιών, η οποία είχε γίνει θεσμός και σύμβολο στο παρελθόν, επιλέγει δε αυτός να χρησιμοποιήσει τα στοιχεία του ακουστικού σχεδιασμού για να υλοποιήσει αυτή του την πρόθεση.

Βέβαια από το πάνθεον της ιστορίας της αρχιτεκτονικής αιθουσών συναυλιών δεν απουσιάζει και η εκ διαμέτρου αντίθετη πρόθεση, δηλαδή η προσήλωση στην κλασική ορθοκανονική μορφή, με αρχιτεκτονική έκφραση ενδοστρεφή και με νυγμούς δέους προς το θεσμοθετημένο περιεχόμενο του χώρου συναυλιών. Τυπικό παράδειγμα σ' αυτή την κατεύθυνση αποτελεί η αίθουσα συναυλιών της συμφωνικής της Βοστώνης η οποία βασίσθηκε στην τυπική ορθογωνική (shoe box shape) αίθουσα συναυλιών της Ευρώπης του 19ου αιώνα «Σχήμα 4.9 Αίθουσα συναυλιών της συμφωνικής της Βοστώνης. α) Κάτοψη & τομή (© Beranek 1996), β) Εξωτερική άποψη. (βλέπε «Σχήμα 2.6 Αίθουσα συναυλιών της συμφωνικής της Βοστώνης, Mass USA. Έτος 1900, ≈ 2600 άτομα. Αρχ/των: McKim, Mead, White, Σύμβ. ακουστικής: W.C. Sabine. Εσωτερική άποψη της αίθουσας με εμφανή τα στοιχεία διάχυσης όπως παραστάδες, στηθαία εξωστών, εσοχές με διακοσμητικά γλυπτά κλπ.»). Ο σχεδιασμός της αίθουσας της συμφωνικής της Βοστώνης αποτελεί πρωθύτερη επιβεβαίωση αρχών του σύγχρονου ακουστικού σχεδιασμού, π.χ. εμπλουτισμός της αίθουσας με επιφάνειες παροχής πρώιμων πλευρικών ανακλάσεων, χάρις στο διαισθητικά επιλεγέν στενόμακρο ορθογωνικό κέλυφος που είναι παρόν μέσα και έξω από το κτίριο.

Η σύνθεση στην αίθουσα συναυλιών της Βοστώνης είναι νοσταλγός του παρελθόντος και ρέπει προς πρότυπα αρχιτεκτονικής αρχαϊκά. Όμως, αμφότερες οι εκ διαμέτρου αντίθετες προσεγγίσεις που ανεφέρθησαν ανωτέρω χρησιμοποιούν κοινές τεχνικές ακουστικού σχεδιασμού π.χ. διαθέτουν επιφάνειες για πρώιμες πλευρικές ανακλάσεις, αβαθείς εξώστες, ανάγλυφα στοιχεία διάχυσης κλπ. Οι τεχνικές αυτές και στις δύο περιπτώσεις είναι μεταφρασμένες εύστοχα σε αρχιτεκτονική γλώσσα έτσι ώστε η ποιητική αρχιτεκτονική του χώρου να ευρίσκεται σε αρμονία με την καλή ακουστική απόδοση. Η διαφορά στις δύο προσεγγίσεις ανάγεται στη διαφορετική κουλτουριστική διάθεση που διαπνέει τον κάθε αρχιτέκτονα δημιουργό (Hawkes 1996).

Σύγχρονοι χώροι συναυλιών όπου η συνοχή μεταξύ τεχνικών (ακουστικών) απαιτήσεων και αρχιτεκτονικής έκφρασης δεν είναι προφανής, δεν σπανίζουν ακόμη και σε περιπτώσεις γνωστών κτιρίων υψηλής εμβελείας. Παράδειγμα από τον τόπο μας αποτελεί το μέγαρο μουσικής Αθηνών «Σχήμα 4.30 Αίθουσα «Χρήστος Λαμπράκης» του μεγάρου μουσικής Αθηνών. α) Σχηματοποιημένη κάτοψη β) Εξωτερική άποψη. (© OMMA). (βλέπε «Σχήμα 4.20 Αίθουσα «Χρήστος Λαμπράκης» του μεγάρου μουσικής Αθηνών. Έτος 1991, ≈ 1960 άτομα. Αρχ/των: Εμ. Βουρέκας, Ηλ. Σκουρμπέλος, Σύμβ. ακουστικής: H. Keilholz, H.A. Müller BBM. Άποψη προς την ορχήστρα (commons.wikimedia.org), (© OMMA)»)). Το κτίριο στεγάζει μεταξύ άλλων λειτουργιών, αίθουσα συναυλιών, -την αίθουσα “Χρήστος Λαμπράκης”. Η εσωτερική περιβάλλουσα της αίθουσας είναι όμοια με αντίστοιχες αίθουσες του Δυτικού κόσμου (Σωτηροπούλου, 1994), όπου έχουν εφαρμοσθεί πιστά οι σύγχρονες τεχνικές ακουστικού σχεδιασμού. Όμως, τα στοιχεία της εσωτερικής περιβάλλουσας στην αίθουσα αυτή «φορέθηκαν» εκ των υστέρων μέσα στο ορθοκανονικό κέλυφος του κτιρίου, που είχε ήδη υλοποιηθεί από την δεκαετία του 1970 για να στεγάσει την ορθογωνική αίθουσα του αρχικού σχεδίου. Το απέρριπτο γεωμετρικό σχήμα του κτιριακού κελύφους δεσπόζει στο Αθηναϊκό τοπίο με τον όγκο του και συγκαλύπτει τις λεπτές ισορροπίες του ήχου και των μορφών που τηρούνται στην εσωτερική περιβάλλουσα του χώρου. Η ακουστική της αίθουσας έχει κερδίσει καλές κριτικές, όμως το κτίριο δεν αποτελεί πειστική μαρτυρία περί της πρόθεσης του αρχιτέκτονα να υιοθετήσει σύγχρονες τεχνικές ακουστικού σχεδιασμού για τη δημιουργία μέγιστης “ποιητικής” τέχνης.

Η τάση για ολιστική θεώρηση στο σχεδιασμό αποτελεί πρόκληση (στοίχημα) για τη σύγχρονη αρχιτεκτονική αιθουσών ακροατηρίου. Αρωγό σε αυτή την αναζήτηση αποτελεί η σύγχρονη ψηφιακή τεχνολογία με τις θεαματικές δυνατότητες των προηγμένων λογισμικών της. Ταυτόχρονα, αναδυόμενα μουσικά είδη, όπως η σύγχρονη μουσική δημιουργία, που συμπορεύονται και υιοθετούν τον αρχιτεκτονικό χώρο ως θεμελιώδες συστατικό της παρτιτούρας ανοίγουν νέους ορίζοντες για πρωτοπορία στην αρχιτεκτονική αναζήτηση και πειραματισμό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Hawkes, D.C. (1996). The technical imagination: thoughts on the relation of technique and design in architecture. *The Journal of Architecture*, 1(4), pp. 335-346.
- Σωτηροπούλου, Α. (1994). Η Ακουστική στην Εκπαίδευση του Έλληνα Αρχιτέκτονα *Πυρφόρος*, 17, σσ. 70-73.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΑΚΡΟΑΤΗΡΙΟΥ

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΑΙΘΟΥΣΩΝ ΑΚΡΟΑΤΗΡΙΟΥ

(ο χρόνος αντήχησης αφορά σε αίθουσα με ακροατήριο εκτός αν άλλως ορίζεται)

Alberta Jubilee Auditoria, Edmonton and Calgary, Canada.

$V = 21480 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.42 \text{ s}$, (Doelle, 1972).

«Σχήμα 4.14 Δίδυμες αίθουσες Alberta Jubilee στο Edmonton και Calgary, του Καναδά. Έτος 1957, ≈ 2731 άτομα έκαστη. Αρχ/των: R. Clarke, Σύμβ. ακουστικής: T.D. Northwood, E.J. Stevens. α) Κάτοψη & τομή, β) Εσωτερική άποψη. (© Beranek, 1996)»

Altes Gewandhaus, Λειψία.

$V = 2130 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.30 \text{ s}$, (Forsyth, 1985).

«Σχήμα 4.3 Αίθουσα συναυλιών του Altes Gewandhaus, Λειψία. Έτος 1780, ≈ 400 άτομα. Αρχ/των: J. Dauthe. (en.wikipedia.org)»

Aula Magna, Caracas Βενεζουέλα.

$V = 24920 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.70 \text{ s}$, (Beranek, 1996).

«Σχήμα 4.12 Aula Magna Caracas, Βενεζουέλα. Έτος 1954, ≈ 2660 άτομα. Αρχ/των: C.R. Villannueva, Σύμβ. ακουστικής: Bolt, Beranek, Newman. α) Κάτοψη & τομή, β) Εσωτερική άποψη. (© Beranek, 1996)»

Austrian Centre, Βιέννη.

«Σχήμα 5.10 Austrian Centre, Βιέννη. Εσωτερική άποψη εμφανίζουσα α) τα μικρόφωνα, β) τα ενσωματωμένα μεγάφωνα στην ψευδοροφή, από το σύστημα MCR. (© Barron, 1993)»

Barbican Arts Centre, London; the Concert Hall.

$V = 17750$, $RT_{\text{mid}} = 1.65 \text{ s}$, (Barron, 1993).

«Σχήμα 4.44 Αίθουσα συναυλιών του Barbican Arts Centre, Λονδίνο. Έτος 1982, ≈ 2026 άτομα. Αρχ/των: Chamberlain, Powell, Bon, Σύμβ. ακουστικής: H. Creighton. α) Άποψη προς την ορχήστρα, (www.geograph.org.uk) β) Λεπτομέρεια του κελύφους της ορχήστρας. Το κέλυφος φέρει επένδυση ξύλου με λαξευμένα διακοσμητικά στοιχεία διάχυσης.»

Bayreuth Fiestspielhaus, Germany.

$V = 10300 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.50 \text{ s}$, (Forsyth, 1985).

«Σχήμα 4.62 Bayreuth Fiestspielhaus, Γερμανία. Λεπτομέρεια εσοχής της ορχήστρας, αριστερά: (© Barron, 1993), δεξιά: (de.wikipedia.org). (βλέπε «Σχήμα 4.47 Bayreuth Fiestspielhaus, Γερμανία. Έτος 1876, ≈ 1800 άτομα. Αρχ/των: O. Brückwald. α) Κάτοψη & τομή (© Barron, 1993), β) Εσωτερική άποψη (de.wikipedia.org). Σχεδιασμένο από τον Wagner αποκλειστικά για όπερες του ίδιου.»»

Beethovenhalle, Βόνη Γερμανία.

$V = 15700 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.70 \text{ s}$, (Doelle, 1972).

«Σχήμα 2.30 Beethovenhalle, Βόνη, Γερμανία. Έτος 1957, ≈ 1400 άτομα. Αρχ/των: S. Wolske, Σύμβ. ακουστικής: E. Meyer. α) Τομή κατά μήκος, β) Λεπτομέρεια στοιχείων διάχυσης οροφής, γ) Εσωτερική άποψη. (© Beranek, 1962)»

Berlin Philharmonie.

$V = 21000 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.90 \text{ s}$, (Beranek, 1996).

«Σχήμα 4.27 Αίθουσα συναυλιών της φιλαρμονικής του Βερολίνου. α) Εξωτερική άποψη του κτιρίου. Οι γλυπτικές ωραιότητες μορφές εκφράζουν πιστά τα σχήματα του εσωτερικού χώρου - σημαντικό δείγμα ΕΞ-ΠΡΕΣΙΟΝΙΣΜΟΥ (en.wikipedia.org), β) Άποψη του FOYER κάτω από την αίθουσα (commons.wikimedia.org). Αποκαλύπτει κομμάτι τις μορφές των ανισοϋπών επιπέδων του ακροατηρίου από επάνω (βλέπε «Σχήμα 4.17 Αίθουσα συναυλιών της φιλαρμονικής του Βερολίνου. Έτος 1962, ≈ 2200 άτομα. Αρχ/των: H. Scharoun, Σύμβ. ακουστικής: L. Cremer. α) Κάτοψη & τομή (© Beranek, 1996), β) Εσωτερική άποψη (www.commons.wikimedia.org)»»

Boston Symphony Hall, Mass USA.

$V = 18740 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.80 \text{ s}$, (Forsyth, 1985).

«Σχήμα 4.9 Αίθουσα συναυλιών της συμφωνικής της Βοστώνης. α) Κάτοψη & τομή (© Beranek 1996), β) Εξωτερική άποψη. (βλέπε «Σχήμα 2.6 Αίθουσα συναυλιών της συμφωνικής της Βοστώνης, Mass USA. Έτος 1900, ≈ 2600 άτομα. Αρχ/των: McKim, Mead, White, Σύμβ. ακουστικής: W.C. Sabine. Εσωτερική άποψη της αίθουσας με εμφανή τα στοιχεία διάχυσης όπως παραστάδες, στηθαία εξωστών, εσοχές με διακοσμητικά γλυπτά κλπ.»»

Central Hall, York University, England.

$RT_{\text{mid, ass. resonance on/off}} = 1.20 / 0.80 \text{ s}$, (Barron, 1993).

«Σχήμα 5.8 Central Hall, York University, Αγγλία. Έτος 1968 $\approx$ 1064 άτομα. Αρχ/των: R. Matthew, Johnson - Marshall. α) Εσωτερική άποψη, β) Λεπτομέρεια των αναρτημένων μικροφώνων του συστήματος. (© Barron, 1993). Η αίθουσα έχει φυσικό χρόνο αντήχησης 0.80 s και αρχικά εχρησιμοποιείτο ως αίθουσα διαλέξεων. Αργότερα χρησιμοποιήθηκε και για μουσικές εκδηλώσεις και χρειάστηκε να αυξηθεί ο φυσικός χρόνος αντήχησης μέσω του συστήματος της υποβοηθούμενης αντήχησης κατά 40% στις χαμηλές συχνότητες.»

Christchurch Town Hall, New Zeland.

$V = 20500 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.70 \text{ s}$, (Beranek, 1996).

«Σχήμα 4.41 Christchurch Town Hall, Ν. Ζηλανδία. Έτος 1972, $\approx$ 2700 άτομα. Αρχ/των: Warren and Mahoney, Σύμβ. ακουστικής: A.H. Marshall. Άποψη της ορχήστρας και των πέριξ εξωστών με ελαφρώς κεκλιμένα στη-
θαία (© Barron, 1993)»

De Doelen, Rotterdam Netherlands; “Grotte Zaal”.

$V = 28000 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 2.01 \text{ s}$, (Doelle, 1972).

«Σχήμα 4.18 Μεγάλη αίθουσα συναυλιών (Grote Zaal) του συγκροτήματος De Doelen, Rotterdam. Κάτοψη (© Beranek, 1996). (βλέπε «Σχήμα 2.5 Μεγάλη αίθουσα συναυλιών “Grotte Zaal” του συγκροτήματος de Doelen, Rotterdam, Netherlands. Έτος 1966, $\approx$ 2250 άτομα. Αρχ/των: E.H. & H.M. Kraaijvanger, R.H. Fledderus, Σύμβ. ακουστικής: C.W. Kosten & P.A. De Lange. Εσωτερική άποψη της αίθουσας με εμφανή την επιφάνεια διάχυσης που φέρει ανάγλυφο γεωμετρικό μοτίβο από μάρμαρο (© Beranek, 1996)»)

“De Maaspoort” Auditorium, Venlo Netherlands.

V : μεταβλητός, $RT_{\text{mid, min/max}} = 1.00 / 1.80 \text{ s}$, (Barron, 1993).

«Σχήμα 5.2 Αίθουσα “De Maaspoort”, Venlo, Κάτω Χώρες. Έτος 1986, $\approx$ 750 άτομα. Akoestisch Advies bureau Peutz, Netherlands. α) Αίθουσα συναυλιών (Χρόνος αντήχησης: 1.30 s). Το άνοιγμα σκηνής διευρύνεται εισάγοντας στο χώρο αρκετό από τον όγκο του πύργου σκηνής, β) Αίθουσα θεατρικών παραστάσεων (Χρόνος αντήχησης: 1.00 s), με την εισαγωγή ηχοαπορροφητικών πετασμάτων μεταβλητού μήκους και τη μείωση του όγκου (Μείωση του ανοίγματος της σκηνής). (© Barron, 1993)»

Deutsche Oper, Berlin.

$V = 10800 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.35 \text{ s}$, (Barron, 1993).

«Σχήμα 4.57 Deutsche Oper Berlin. Τομή (© Barron, 1993). (βλέπε «Σχήμα 4.48 Deutsche Oper Berlin. Έτος 1962, $\approx$ 1900 άτομα. Αρχ/των: F. Bornemann. Σύμβ. ακουστικής: Cremer, Nutsch, Zenke. Εξαιρετικής ακουστικής - στοιχεία της μορφής Wagner. Κάτοψη & προοπτική τομή (© Barron, 1993)»)

Doges Palace, Venice; Αίθουσα δεξιώσεων.

«Σχήμα 4.1 Εσωτερική άποψη αίθουσας δεξιώσεων από το Doges Palace, Venice (www.flickr.com, φωτ.: Jenny Mackness)»

Derngate Centre Auditorium, Northampton England.

V : μεταβλητός, $RT_{\text{mid, συναυλίες}} = 1.70 \text{ s}$, (Barron, 1993).

«Σχήμα 5.5 Αίθουσα του Derngate Centre, Northampton, Αγγλία. α) Άποψη της αίθουσας συναυλιών (Σχηματισμός I) προς το ακροατήριο, β) Άποψη της αίθουσας συναυλιών προς την ορχήστρα. (© Barron, 1993). (βλέπε «Σχήμα 5.4 Αίθουσα του Derngate Centre, Northampton, Αγγλία. Έτος: Αρχές δεκαετίας 1980. Αρχ/των: R. Howard, W. Levin. Αξονομετρικά συμμετρικά ημίσεως της αίθουσας, Σχηματισμοί I, II, III, IV. (© Barron, 1993)»)

Fairfield Hall, Croydon Λονδίνο.

$V = 15320 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.70 \text{ s}$, (Barron, 1962).

«Σχήμα 4.42 Fairfield Hall, Croydon, Λονδίνο. α) Πρόσθια όψη εμφανίζουσα την περιβάλλουσα της ορχήστρας β) Λεπτομέρεια της περιβάλλουσας την ορχήστρα ανακλαστικής επιφάνειας από υλικά συμπαγή, τουλάχιστον $20 \text{ kg} / \text{m}^2$. (βλέπε «Σχήμα 4.35 Fairfield Hall, Croydon, Λονδίνο. Έτος 1962, $\approx$ 1750 άτομα. Αρχ/των: R. Atkinson and Partners, Σύμβ. ακουστικής: H. Bagenal. Εσωτερική άποψη. Την οροφή διασχίζουν εγκαρσίως δοκοί αβαθείς (0.75 m) ανά 2.50 m.»)

Fogg Art Museum, Cambridge Mass USA; Lecture Theater.

$V = 2740 \text{ m}^3$, (Sabine, 1922).

«Σχήμα 4.7 Αμφιθέατρο, Fogg Art Museum, Cambridge, USA. Εσωτερική άποψη του 1898 (© Fogg Art Museum, Harvard University)»

Frederick Mann Auditorium, Τελ Αβίβ.

$V = 21240 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.55 \text{ s}$, (Beranek, 1996).

«Σχήμα 4.13 Αίθουσα Frederick Mann, Τελ Αβίβ. Έτος 1957, ≈ 2715 άτομα. Αρχ/των: Z. Rechter, D. Karmi, Σύμβ. ακουστικής: Bolt, Beranek, Newman. α) Κάτοψη & τομή, β) Εσωτερική άποψη. (© Beranek, 1996)»

German Pavillion, International World Fair 1972, Ozaka Japan.

«Σχήμα 7.2 Γερμανικό Περίπτερο, Διεθνής Έκθεση Ozaka, Ιαπωνία 1972. ≈ 550 άτομα. α) Σχηματοποιημένη κάτοψη & τομή (P: Podium, B: Εξώστες ερμηνευτών, R: Κονσόλα συντονισμού (ηλεκτρονικός μύλος), L: πενήντα μεγάφωνα (διατεταγμένα σε επτά ομόκεντρους κύκλους, διακρίνονται τα μεγάφωνα στο εσωτερικό κέλυφος του χώρου, σύμφωνα με τον K. Stockhausen), β) Εξωτερική άποψη. (en.wikipedia.org)»

Hexagon Theatre, Reading England.

$RT_{\text{mid, χωρίς ακροατ., ass. resonance on / off}} = 1.40 / 1.25 \text{ s}$, (Barron, 1993).

«Σχήμα 5.9 Hexagon Theatre, Reading Αγγλία. Έτος 1977, ≈ 1500 άτομα. Αρχ/των: R. Matthew, Johnson - Marshall. Εσωτερική άποψη (© Barron, 1993). Χρησιμοποιείται για θεατρικές παραστάσεις, καθώς και για συμφωνική μουσική.»

IRCAM Paris, “Espace de Projection”.

$V_{\text{min/max}} = 1700 / 6800 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid, min/max}} = 0.50 / 2.00 \text{ s}$, (Barron, 1993).

«Σχήμα 7.4 Λεπτομέρεια των κινητών στοιχείων που καλύπτουν τους τοίχους και την οροφή του “Espace de Projection”, IRCAM. Ευέλικτες διατάξεις: α) Ανακλαστική επιφάνεια, β) Επιφάνεια διάχυσης, γ) Ηχοαπορροφητική επιφάνεια, δ) Επιφάνεια υψηλής διάχυσης. (© Barron, 1993). (βλέπε «Σχήμα 7.3 “Espace De Projection”, (IRCAM) Παρίσι. Έτος 1978, ≈ 400 άτομα. Αρχ/των: Rogers & Piano, Σύμβ. ακουστικής: Peutz et Associé. α) Μακέτα, (IRCAM © Georges Meguerditchian), β) Espace de Projection, IRCAM, (Ιούνιος 2005 © Olivier Panier des Touches)»»

Jeita Lebanon, Σπήλαιο.

«Σχήμα 7.6 Σπήλαιο Jeita, Λίβανος. (en.wikipedia.org). Για το έργο του K. Stockhausen τσιμεντένιος διάδρομος οδηγούσε στο εσωτερικό του σπηλαίου μέσα από σταλακτίτες και σταλαγμίτες (διαδρομή διάρκειας 20') ενώ η μουσική ακουγόταν απαλά από 180 ηχεία κρυμμένα στους βράχους.»

Jesse Jones Hall for the Performing Arts, Houston Texas USA.

V : μεταβλητός, $RT_{\text{mid, min/max}} = 1.20 / 1,80 \text{ s}$, (Forsyth, 1985).

«Σχήμα 5.1 Jesse Jones Hall for the Performing Arts, Houston, Texas USA. Έτος 1966, $\approx 1.800 \sim 3000$ άτομα. Αρχ/των: Coudill, Rowlett, Scott Σύμβ. ακουστικής: Bolt, Beranek & Newman, Σύμβ. θεάτρου: G.C. Izenour. Η αίθουσα μετασχηματίζεται σε: α) Αίθουσα συναυλιών, β) Λυρικό θέατρο (απόσυρση του κελύφους της ορχήστρας και εισαγωγή ηχοαπορροφητικών πετασμάτων από την ψευδοροφή), γ) Αίθουσα θεατρικών παραστάσεων (Μετακίνηση της οροφής προς τα κάτω για μείωση του όγκου και εισαγωγή ηχοαπορροφητικών πετασμάτων από την ψευδοροφή). (s-media-cache-ak0.pinimg.com), (© Houston First Corporation and City of Houston)»

Kresge Auditorium, Cambridge Mass USA.

$V = 10000 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.47 \text{ s}$, (Beranek, 1962).

«Σχήμα 2.31 Kresge Auditorium, Cambridge USA. Έτος 1955, ≈ 1250 άτομα. Αρχ/των: E. Saarinen, Σύμβ. ακουστικής: Bolt, Beranek, Newman. α) Τομή κατά μήκος, β) Εσωτερική άποψη. (© Beranek, 1962). γ) Εξωτερική άποψη. (en.wikipedia.org). Το τρουλλοειδές κέλυφος δεν ταιριάζει λειτουργικά στον εσωτερικό χώρο. Είναι όμως εμπνευσμένο μονοσήμαντα από το ένστικτο του αρχιτέκτονα για καθαρές μορφές με απέρριτο χαρακτήρα.»

Metropolitan Opera House, New York.

$V = 30500 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.80 \text{ s}$, (Barron, 1993).

«Σχήμα 4.56 Metropolitan Opera House, New York. Προοπτική τομή (© Barron, 1993). (βλέπε «Σχήμα 4.49 Metropolitan Opera House, New York. Έτος 1966, ≈ 3800 άτομα. Αρχ/των: W.K. Harrison, Σύμβ. ακουστικής: V.L. Jordan and C.M Harris. Κάτοψη (© Barron, 1993). Επιβεβαιώνεται ότι η μορφή Baroque, με την άρση των ατελειών της ως προς την ακουστική μπορεί να επιζήσει ακόμη και σε σύγχρονες αίθουσες τεράστιας χωρητικότητας»)

Milwaukee Krannert Center, USA; Uihlein Auditorium.

$V = 25000 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid, συναυλίες}} = 1.90 \text{ s}$, $RT_{\text{mid, opera}} = 1.65 \text{ s}$, (Barron, 1993).

«Σχήμα 4.37 Αίθουσα Uihlein του Milwaukee Krannert Center, USA. Έτος 1969, ≈ 2300 άτομα. Αρχ/των: H. Weese, Σύμβ. ακουστικής: Bolt, Beranek, Newman. Προοπτική τομή, διακρίνεται ο «ιπτάμενος εξώστης». (© Barron, 1993)»

Musashino College of Music, Iruma Saitama Japan; Bach Saal.

$V = 10220 \text{ m}^3$, $RT_{500 \text{ Hz, χωρίς ακροατήριο}} = 1.90 \text{ s}$, (Talaske, Wetherill & Cavanaugh, 1982).

«Σχήμα 4.26 Bach Saal του Musashino κολλεγίου μουσικής, Iruma, Saitama, Ιαπωνία. Κάτοψη (© Talaske, Wetherill & Cavanaugh, 1982). (βλέπε «Σχήμα 4.23 Bach Saal του Musashino κολλεγίου μουσικής, Iruma, Saitama, Ιαπωνία. Έτος 1979. ≈ 1200 άτομα. Αρχ/των: T. Mizogushi, Σύμβ. ακουστικής: M. Nagata & Ass. α) Πλευρική άποψη της αίθουσας, β) Λεπτομέρεια των κεκλιμένων ηχοανακλαστικών στοιχείων του τοίχου. (© Talaske, Wetherill & Cavanaugh, 1982)»)

Musikvereinsaal, Βιέννη.

$V = 14600 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 2.20 \text{ s}$, (Forsyth, 1985).

«Σχήμα 4.5 Musikvereinsaal, Βιέννη. Έτος 1870, ≈ 1700 άτομα. Αρχ/των: T.R. von Hansen. (de.wikipedia.org). Αίθουσα γνωστή από την καθιερωμένη πρωτοχρονιάτικη συναυλία της συμφωνικής ορχήστρας της Βιέννης.»

Neues Gewandhaus, Λειψία.

$V = 10600 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.55 \text{ s}$, (Forsyth, 1985).

«Σχήμα 4.4 Αίθουσα συναυλιών του Neues Gewandhaus, Λειψία. Έτος 1886, ≈ 1560 άτομα. Αρχ/των: M.K.P Gropius, H. Schmieden. (www.flickr.com, φωτ.: Janwillemssen). Κατέρρευσε στη διάρκεια του 2ου παγκοσμίου πολέμου.»

Notre Dame de Paris.

«Σχήμα 4.2 Εσωτερική άποψη του καθεδρικού ναού των Παρισίων - Notre Dome de Paris, του 12ου αιώνα (www.flickr.com, φωτ.: analox et admire)»

Philips Pavillion, International World Fair 1958, Brussels.

«Σχήμα 7.7 Περίπτερο της Philips, Διεθνής έκθεση Βρυξελλών. Έτος 1958, Αρχ/των: Le Corbusier, I. Ξενάκης. α) Από τις σημειώσεις του μουσουργού για το έργο του «METASTASIS» (www.flickr.com) β) Εξωτερική άποψη (en.wikipedia.org)»

Queen Elizabeth Hall, London England.

$V = 24600 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 2.00 \text{ s}$, (Beranek, 1996).

«Σχήμα 4.33 Queen Elizabeth Hall, Λονδίνο Έτος 1967, ≈ 1100 άτομα. Αρχ/των: Greater London Council. Εσωτερική Άποψη (© Barron, 1993). ΑΒΑΘΕΙΣ ΟΔΟΝΤΩΣΕΙΣ (0.40 m) ανά 1.70 m στις πλευρικές παρειές, προκαλούν διάχυση γύρω στο 1 kHz. ΣΧΙΣΜΕΣ εύρους 8.0 cm επί της οδοντωτής παρειάς εμπλουτίζουν την διάχυση στα 4 kHz.»

Royal Albert Hall, Λονδίνο.

$V = 86600 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 2.50 \text{ s}$, (Forsyth, 1985).

«Σχήμα 4.6 Royal Albert Hall, Λονδίνο. Έτος 1871, ≈ 6080 άτομα. Αρχ/των: Capt. F. Fawkes, Lt. Col. H.Y.D. Scott. α) Εσωτερική άποψη (en.wikipedia.org), β) Εξωτερική άποψη (www.flickr.com, φωτ.: Garry Knight)»

Royal Festival Hall, London.

$V = 21950 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}}^{\text{1 kHz, ass. resonance on/off}} = 1.80 / 1.35 \text{ s}$, (Barron, 1993).

«Σχήμα 4.11 Royal Festival Hall, London. Έτος 1951, ≈ 3000 άτομα. Αρχ/των: R.H. Mathews, J.L. Martin, E. Williams, P.M. Moto, Σύμβ. ακουστικής: H. Bagenal with BRE. α) Κάτοψη & τομή (© Barron, 1993), β) Εσωτερική άποψη (© Beranek 1996), γ) Εξωτερική άποψη (www.commonswikimedia.org). Κτίσθηκε στη θέση του Queen's Hall που είχε καταστραφεί στη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου πολέμου. Γνήσιο προϊόν του μοντερνισμού, σύμβολο του ανανεωτικού πνεύματος στο μεταπολεμικό Λονδίνο.»

Royal Opera House, Covent Garden, London.

$V = 12240 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.35 \text{ s}$, (Forsyth, 1985).

«Σχήμα 4.46 Royal Opera House, Covent Garden, Λονδίνο. Έτος 1858, ≈ 2.180 άτομα. Αρχ/των: E.M. Barry. α) Κάτοψη (© Barron, 1993), β) Εσωτερική άποψη της αίθουσας (© Parkin & Humphreys, 1969)»

Roy Thomson Hall, Toronto.

$V = 28300 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.80 \text{ s}$, (Beranek, 1996).

«Σχήμα 4.29 Αίθουσα συναυλιών Roy Thomson, Toronto. Κάτοψη (© Beranek, 1996). (βλέπε «Σχήμα 4.19 Αίθουσα συναυλιών Roy Thomson, Toronto. Έτος 1982, ≈ 2800 άτομα. Αρχ/των: A. Erickson & Mathers, Haldenby Ass. Architects, Σύμβ. ακουστικής: Bolt, Beranek, Newman. Εσωτερική άποψη (© Beranek, 1996)»)

Salle Pléyel, Παρίσι.

$V = 15500 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.60 \text{ s}$, (Beranek, 1996).

«Σχήμα 4.10 Salle Pléyel, Παρίσι. Έτος 1927, ≈ 2400 άτομα. Αρχ/των: G. Lyon (αρχικά), M. de Portzamparc (ανακαίνιση), Σύμβ. ακουστικής: A.Y. Yu (ανακαίνιση). α) Κάτοψη & τομή της αίθουσας (μετά την ανακαίνιση) (© Beranek 1996), β) Άποψη προς το ακροατήριο (μετά την ανακαίνιση) (commonswikimedia.org). Αρχικά, εγκαινιάσθηκε χωρίς επιτυχία. Λίγο αργότερα καταστράφηκε από πυρκαγιά, ξαναφιάχτηκε και πολύ αργότερα ανακατασκευάστηκε.»

Sander's Theater, Cambridge Mass USA.

$V = 9300 \text{ m}^3$, (Sabine, 1922).

«Σχήμα 4.8 Sander's Theater, Cambridge, USA. ≈ 1000 άτομα. α) Εξωτερική άποψη (www.en.wikipedia.org), β) Εσωτερική άποψη (www.commonswikimedia.org)»

St. Andrew's Concert Hall, Glasgow.

$V = 23000 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.90 \text{ s}$, (Beranek, 1962).

«Σχήμα 4.34 St. Andrew's Concert Hall, Γλασκώβη. Έτος 1877, ≈ 2200 άτομα. Αρχ/των: J. Cunningham. Άποψη της αίθουσας με τη ΦΑΤΝΩΜΑΤΙΚΗ ΟΡΟΦΗ (© Beranek, 1962)»

Sydney Opera House.

$V = 24600 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 2.00 \text{ s}$, (Beranek, 1996).

«Σχήμα 4.28 Αίθουσα συναυλιών του Sydney Opera House. Έτος 1973, ≈ 2700 άτομα. Αρχ/των: J. Utzon, Σύμβ. ακουστικής: V.L and N.V Jordan. α) Κάτοψη (© Beranek, 1996), β) Εσωτερική άποψη (en.wikipedia.org), γ) Εξωτερική άποψη (commonswikimedia.org)»

Teatro alla Scala, Milano.

$V = 11250 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.20 \text{ s}$, (Forsyth, 1985).

«Σχήμα 4.51 Teatro alla Scala, Milano. Έτος 1778, ≈ 2289 άτομα. Αρχ/των: G. Piermarini. Κάτοψη & τομή (© Barron, 1993)»

Teatro SS. Giovanni e Paolo, Venice.

«Σχήμα 4.45 Teatro SS. Giovanni e Paolo, Βενετία. Έτος 1654. Κάτοψη (© Barron, 1993). Ένα από τα πρώτα λυρικά θέατρα που δείχνει από πόσο νωρίς η παραδοσιακή μορφή θεάτρου Baroque είχε καθιερωθεί στην opera»

Triplex Center, New York; Main Theater.

$V = 7261 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 0.80 \text{ s}$, (Talaske & Boner, 1986).

«Σχήμα 3.15 Main Theater στο Triplex Center, Ν. Υόρκη. Έτος 1984, 1000 άτομα. Αρχ/των: Gaudill, Rowlett & Scott, Haines Lundberg Waehler/ Twitchell Miao, Σύμβ. ακουστ.: Peter George Ass. Inc. Άποψη προς το ακροατήριο. (© Talaske & Boner, 1986)»

Usher Hall, Edingburgh.

$V = 16500 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.75 \text{ s}$, (Forsyth, 1985).

«Σχήμα 7.1 Usher Hall, Εδιμβούργο. Έτος 1914, ≈ 2550 άτομα. Αρχ/των: S. Harrison & Sons, H.H. Thomson. α) Άποψη προς την ορχήστρα, β) Άποψη προς το ακροατήριο. (© Beranek, 1962)»

Walt Disney Concert Hall, Los Angeles Ca USA.

«Σχήμα 4.31 Walt Disney Concert Hall, Los Angeles Ca, USA. Έτος 2003. ≈ 2275 άτομα. Αρχ/των: F. O Gehry, Σύμβ. ακουστικής: Y. Toyota of Nagata Acoustics Tokyo. α) Εσωτερική άποψη (www.flickr.com, φωτ.: Liam Keane), β) Εξωτερική άποψη. (en.wikipedia.org)»

Warwick University Arts Centre, England; Butterworth Hall.

$V = 12100 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.85 \text{ s}$, (Charles, Fleming & Miller, 1985).

«Σχήμα 4.43 Butterworth Hall, University of Warwick Arts Centre. Έτος 1981, ≈ 1300 άτομα. Αρχ/των: R. Howard, W. Levin, Σύμβ. ακουστικής: J. Charles, D.B. Fleming, J. Miller. (Charles, Fleming & Miller, 1985), (© Fleming)»

Αίθουσα «Καυταντζόγλου» στο κτίριο “Αβέρωφ” του ΕΜΠ.

$V = 5800 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid, χωρίς ακροατήριο}} = 3.46 \text{ s}$, (Karagiannis, Perdikari, Poulakos, Stamos & Sotiropoulou, 2015).

«Βίντεο 6.2 Τρισδιάστατο μοντέλο της αίθουσας “Καυταντζόγλου” στο κτίριο “Αβέρωφ” του ΕΜΠ, που έχει κατασκευασθεί με το λογισμικό odeon v.9 (βλέπε «Βίντεο 6.1 Δισδιάστατο μοντέλο της αίθουσας “Καυταντζόγλου” στο κτίριο “Αβέρωφ” του ΕΜΠ, που έχει κατασκευασθεί με το λογισμικό odeon v.9»)»

Αίθουσα «Χρήστος Λαμπράκης» του μεγάρου μουσικής Αθηνών.

$V \approx 19500 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.90 \text{ s}$.

«Σχήμα 4.30 Αίθουσα «Χρήστος Λαμπράκης» του μεγάρου μουσικής Αθηνών. α) Σχηματοποιημένη κάτοψη β) Εξωτερική άποψη. (© OMMA). (βλέπε «Σχήμα 4.20 Αίθουσα «Χρήστος Λαμπράκης» του μεγάρου μουσικής Αθηνών. Έτος 1991, ≈ 1960 άτομα. Αρχ/των: Εμ. Βουρέκας, Ηλ. Σκουρμπέλος, Σύμβ. ακουστικής: H. Keilholz, H.A. Müller BBM. Άποψη προς την ορχήστρα (commons.wikimedia.org), (© OMMA)»)»

Ακαδημία παραστατικών τεχνών στην Αθήνα· αίθουσα εκδηλώσεων 300-ατόμων.

$V_{\text{min/max}} = 2500 / 2570 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid, min/max}} = 1.00 / 1.50 \text{ s}$, (Sotiropoulou et al., 2015).

«Σχήμα 5.3 Ακαδημία παραστατικών τεχνών στην Αθήνα. Έτος 2015, ≈ 300 άτομα. α) Αίθουσα μουσικών εκδηλώσεων, β) Αίθουσα θεάτρου / διαλέξεων. (Παπαιωάννου & Μουγκάση, 2015· Sotiropoulou et al., 2015). Ευέλικτα «modules» απαρτίζουν τις παρειές της αίθουσας με επιλέξιμη είτε την ηχοαπορροφητική είτε την ηχοανακλαστική / ηχοδιαχυτική όψη των, αναλόγως του ακροάματος. Όταν ανοίγει η εσοχή της ορχήστρας ο extra όγκος συμβάλλει στην αύξηση του χρόνου αντήχησης. $RT_{\text{mid, min/max}} = 1.00 / 1.50 \text{ s}$ (με ακροατήριο).»

Αρχαίο θέατρο της Επιδαύρου.

$RT_{\text{mid, χωρίς ακροατήριο}} = 0.40 \text{ s}$, (Cambourakis et al., 2014).

«Σχήμα 3.5 Αρχαίο θέατρο της Επιδαύρου. Τέλη 4ου και μέσα 2ου π.Χ. αιώνα, ≈ 14000 άτομα. Αρχ/των: Πολύκλειτος ο νεότερος (Παυσανίας). Άποψη προς τις κερκίδες (en.wikipedia.org)»

Μικρό ωδείο στη Σητεία Κρήτης· αίθουσα εκδηλώσεων 100-ατόμων.

$V = 415 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.41 \text{ s}$, (Ζουριδάκη, 2015).

«Σχήμα 6.4 Φωτορεαλιστική απεικόνιση της αίθουσας εκδηλώσεων ωδείου (Ζουριδάκη, 2015). (βλέπε «Σχήμα 6.2 Ψηφιακό μοντέλο της αίθουσας εκδηλώσεων ωδείου μετά τις παρεμβάσεις, με όγκο 415.00 m^3 (βλέπε «Σχήμα 6.1 Ψηφιακό μοντέλο της (αρχικής) αίθουσας εκδηλώσεων ωδείου, με όγκο 528.00 m^3 »)»)

Νεοκλασικό αμφιθέατρο διδασκαλίας στο ΕΜΠ, 100-θέσεων.

$V = 715 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 1.00 \text{ s}$, (Sotiropoulou & Lyon, 1988).

«Σχήμα 2.33 Νεοκλασικό αμφιθέατρο διδασκαλίας στο ΕΜΠ. Εγκάρσια τομή. Χάρis στην υψηλή οροφή, τα εστιακά σημεία των θολωτών επιφανειών ευρίσκονται εκτός του επιπέδου ακρόασης. (βλέπε «Σχήμα 2.7 Νεοκλασικό αμφιθέατρο διδασκαλίας στο ΕΜΠ. ≈ 100 άτομα. Επισκευή, Τεχν. υπηρεσία ΕΜΠ, Σύμβ. ακουστικής: Α. Σωτηροπούλου. Παράδειγμα διάχυσης, με χρήση εναλλάξ ηχοαπορροφητικών και ηχοανακλαστικών πανέλων τοποθετημένων πίσω από το υφασμάτινο τελείωμα»)»

Σεβαστοπούλειος Σχολή, Αθήνα· αμφιθέατρο διαλέξεων 180-θέσεων.

$V = 590 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 0.74 \text{ s}$, (Σωτηροπούλου, 2014).

«Σχήμα 2.14 Αμφιθέατρο διαλέξεων 180 - θέσεων. Σεβαστοπούλειος σχολή, Αθήνα. Έτος 2013 (Μελέτη). Προσθήκη / επέκταση. Αρχ/των: Δ. Παπαϊωάννου & Συνεργάτες, Σύμβ. ακουστικής: Α. Σωτηροπούλου. Άποψη προς την πίσω παρειά της αίθουσας η οποία φέρει ηχοαπορροφητική επένδυση από πλάκες ξύλου MDF με ψιλή διάτρηση (Σωτηροπούλου, 2014), (© Δ.Παπαϊωάννου)»

Συνεδριακό κέντρο Σχολής Πολ. Μηχ/κών ΕΜΠ· αμφιθέατρο διαλέξεων 300-θέσεων.

$V = 925 \text{ m}^3$, $RT_{\text{mid}} = 0.75 \text{ s}$, (Σωτηροπούλου, 2010).

«Σχήμα 3.16 Αμφιθέατρο διαλέξεων 300-θέσεων, Συνεδριακό κέντρο Σχολής Πολ. Μηχ/κων ΕΜΠ. α) Τομή β) Εσωτερική άποψη (© Δ. Παπαϊωάννου). Η αίθουσα φέρει ψευδοροφή κατάλληλης κλήσης από ανακλαστικές γυψοσανίδες (βλέπε «Σχήμα 3.11 Αμφιθέατρο διαλέξεων 300-θέσεων, Συνεδριακό κέντρο Σχολής Πολ. Μηχ/κων ΕΜΠ. Έτος 2010 (μελέτη), Αρχ/των: Δ. Παπαϊωάννου & Συνεργάτες, Σύμβ. ακουστικής: Α. Σωτηροπούλου. Κάτοψη εμφανίσιμα τη διάταξη του ακροατηρίου εντός της κατάλληλης στερεάς γωνίας. (Σωτηροπούλου, 2010), (© Δ. Παπαϊωάννου)»»

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Barron, M. (1993). *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. London: E & FN Spon. Also: 2nd ed. (2010) e-book, London and New York: Spon press.
- Beranek, L.L. (1962). *Music, Acoustics and Architecture*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Beranek, L.L. (1996). *Concert and Opera Halls, How they sound*. New York: Am. Inst. Physics press for the Acoust. Soc. Am.
- Cambourakis, G., Sotiropoulou, A., Savvopoulou, A., Poulakos, G., Tzouvadakis, J. & Stamos, A. (2011). Investigation of the Acoustics of the Ancient Theatre of Epidauros. *International Conference on the Acoustics of Ancient Theatres, 18-21 September*. Patras: Univ. Patras.
- Charles, J., Fleming, D.B. & Miller, J. (1985). The hall of the University of Warwick. *Applied Acoustics*, 18, pp. 195-234.
- Doelle L.L. (1972). *Environmental Acoustics*. New York: McGraw Hill.
- Forsyth, M. (1985). *Buildings for music*. Cambridge Mass: The MIT Press.
- Karagiannis, J., Perdikari, H., Poulakos, G., Stamos, A. & Sotiropoulou, A. (2015). Remedial Acoustics of a neoclassical monumental auditorium at Tech. Univ. Athens. *9th International Conference on Auditorium Acoustics, 29-31 October 2015* (Proceedings IOA 37(3), pp. 421-430). Paris: IOA.
- Sabine, W.C. (1922). *Collected papers on acoustics*. Cambridge Mass: Harvard Univ. Press.
- Sotiropoulou, A. & Lyon, R.H. (1988). Remedial Acoustics in a Neoclassical Lecture Theatre. *Conference of the IOA, April 1988* (Proceedings IOA 10(2), pp. 304-312). Cambridge: IOA.
- Sotiropoulou, A., Papaioannou, M., Mougkasi, N., Nikolaou, D., Vasilatos, P. & Panagiotou, S. (2015). The Athens Academy of Performing Arts: Acoustic Design of the 300-seat Multipurpose Auditorium. *9th International Conference on Auditorium Acoustics, 29-31 October 2015* (Proceedings IOA 37(3), pp. 536-543). Paris: IOA.
- Talaske, R. H., Whetherill, E.A. & Cavanaugh, W.J. (Eds.) (1982). *Halls for music performance. Two decades of experience 1962-1982*. New York: Am. Inst. Physics press for the Acoust. Soc. Am.
- Talaske, R.H. & Boner, R.E. (Eds.) (1986). *Theaters for Drama Performances: Recent experiences in acoustical design*. New York: Am. Inst. Physics press for the Acoust. Soc. Am.
- Ζουριδάκη, Α. (2015). *Μικρό ωδείο στη Σητεία Κρήτης*. (Επί Διπλώματι εργασία). Επίβλεψη: καθ. Δ. Ησαΐας, Σύμβ. ακουστικής: αν. καθ. Α. Σωτηροπούλου και Υ/Δ Ι. Καραγιάννης. Σχολή Αρχιτεκτόνων ΕΜΠ, Αθήνα.
- Σωτηροπούλου, Α. (2010). Συνεδριακό Κέντρο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών· ακουστικός σχεδιασμός μεγάλου αμφιθεάτρου. *5ο Πανελλήνιο Συνέδριο 'ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2010', 4-6 Οκτωβρίου 2010* (σσ. 117-124). Αθήνα: ΕΛΙΝΑ.
- Σωτηροπούλου, Α. (2014). Σεβαστοπούλειο εκπαιδευτικό συγκρότημα στην Αθήνα· ακουστικός σχεδιασμός αμφιθεάτρου 180-θέσεων. *7ο Πανελλήνιο Συνέδριο 'ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2014', 20-21 Οκτωβρίου 2014* (<http://conferences.helina.gr/2014/gr>). Θεσσαλονίκη: ΕΛΙΝΑ.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΩΝ ΟΡΩΝ

• Acoustical control system • Assisted resonance • Auralisation • Balance • Baroque theatre form • Blend • Body, Stärke und Ausdehnung • Bright • Brilliance • Brilliant • Channel • Correlation • Definition or clarity, Deutlichkeit • Dynamic range • Early decay time • 50ms early energy fraction • 80ms early lateral energy fraction • 80ms early-to-late sound index • Ensemble • Equal loudness contours • Factor analysis • Flutter echo • Full bodied • Immediacy of response • Intimacy, proximity • Liveness • Loudness • Masking effect • Multiple channel reverberation • Open plan office • Opera • Orchestra pit • Orthogonal dimension • Platform • Proscenium opening • Reflected sound ceiling • Reverberation time • Semantic acoustic space	• (Ηλεκτρονικό) σύστημα ελέγχου της ακουστικής • Υποβοηθούμενη αντήχηση • Ψηφιακή προσομοίωση ακρόασης • Ισορροπία του ήχου • Λυρικό θέατρο μορφής Baroque • Ανάμιξη του ήχου • Όγκος • (Ηχος) λαμπρός • Στιλπνότητα • (Ηχος) στιλπνός • (Ηλεκτρονικός) διάυλος • Συσχέτιση • Ευκρίνεια • Εύρος δυναμικών • Χρόνος απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων • Κλάσμα των πρώιμων ανακλάσεων • Κλάσμα των πρώιμων πλευρικών ανακλάσεων • Λόγος των πρώιμων-προς-τις-καθυστερημένες ανακλάσεις • Συγχρονισμός • Καμπύλες ισοακουστότητας • Ανάλυση κατά παράγοντες • Πλαταγισμός • (Ηχος) με υπόσταση • Με άμεση απόκριση • Υποκειμενική εγγύτητα • Ζωντάνια • Ακουστότητα • Επικάλυψη • Πολυκάναλο σύστημα αντήχησης • Γραφείο ανοικτού τύπου • Λυρικές παραστάσεις • Εσοχή της ορχήστρας • Ανεξάρτητη συνιστώσα • Εξέδρα συμφωνικής ορχήστρας • Άνοιγμα προσκηνίου • Μορφοποιημένη οροφή • Χρόνος αντήχησης • Σημειολογικός ηχητικός χώρος
--	---

• Semantic differentiation • Semantic rating scale • Semi-surround halls • Shoe box shaped halls • Signal-to-noise ratio • Sound barrier • Sound level meter • Spatial impression, spaciousness, ambience, envelopment • Speech intelligibility • Speech transmission index • Subjective diffusion • Surround halls • Texture • Tonal quality, Klangfarbe • Useful-to-detrimental sound ratio • Voluminous • Warmth	• Σημειολογική διαφορική ανάλυση • Σημειολογική κλίμακα μέτρησης • Αίθουσες αμφιθεατρικής διάταξης • Αίθουσες ορθογωνικής μορφής • Λόγος του σήματος-προς-τον-θόρυβο • Ηχοφράκτης • Ηχόμετρο • Αντίληψη του τρισδιάστατου ηχητικού χώρου • Καταληπτότητα της ομιλίας • Δείκτης μετάδοσης ομιλίας • Υποκειμενική διάχυση • Αίθουσες κυκλικής διάταξης • Υφή • Τονική ποιότητα • Λόγος του χρήσιμου-προς-τον-επιζήμιο ήχο • (Ηχος) με όγκο • Ζεστασιά
---	---

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.7 (Καμπύλες ισοακουστότητας)

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Fletcher_munson_elc.png

Σχήμα 1.8 (Καμπύλη Α-στάθμισης)

[https://en.wikipedia.org/wiki/A-weighting#/media/File:Acoustic_weighting_curves_\(1\).svg](https://en.wikipedia.org/wiki/A-weighting#/media/File:Acoustic_weighting_curves_(1).svg)

Σχήμα 1.9 (Ανατομία του οργάνου της ακοής)

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bf/Tidens_naturl%C3%A6re_fig40.png

Σχήμα 2.31γ (Kresge auditorium, εξωτερικά)

[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Kresge_Auditorium,_MIT_\(view_with_Green_Building\).JPG](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Kresge_Auditorium,_MIT_(view_with_Green_Building).JPG)

Σχήμα 3.5 (Αρχαίο θέατρο Επιδαύρου)

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Theatre_of_Epidauros,_Greece_-_20050303.jpg

Σχήμα 4.1 (Doges Palace, Venice)

<https://flic.kr/p/qEKhXf>

Σχήμα 4.2 (Notre Dame de Paris)

<https://flic.kr/p/9SAjwn>

Σχήμα 4.3 (Altes Gewandhaus)

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Konzertsaal_Altes_Gewandhaus.jpg

Σχήμα 4.4 (Neues Gewandhaus)

<https://flic.kr/p/qvKFuG>

Σχήμα 4.5 (Musikvereinsaal Wien)

https://de.wikipedia.org/wiki/Wiener_S%C3%A4ngerknaben#/media/File:Musikverein_Wien_2009_04_30.JPG

Σχήμα 4.6α (Royal Albert Hall, εσωτερικά)

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Royal_albert_interior.jpg

Σχήμα 4.6β (Royal Albert Hall, εξωτερικά)

<https://flic.kr/p/aBJeLB>

Σχήμα 4.8α (Sanders Theater, εξωτερικά)

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Tower_with_Clocks,_Memorial_Hall,_Harvard_University.jpg

Σχήμα 4.8β (Sanders Theater, εσωτερικά)

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sanders-piano.jpg>

Σχήμα 4.10β (Salle Pléyel, εσωτερικά)

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Salle_Pleyel_3.jpg

Σχήμα 4.11γ (Royal Festival Hall, εξωτερικά)

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Royalfestivalhall.jpg>

Σχήμα 4.17β (Berlin Philharmonie, εσωτερικά)

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Berlin_Philharmonie-B%C3%BChne.JPG

Σχήμα 4.20 (Αίθουσα 'Χρήστος Λαμπράκης' MMA)

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Megaro_Mousikis_Lambrakis.jpg

(© OMMA)

Σχήμα 4.27α (Berlin Philharmonie, εξωτερικά)

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Philharmonie_1a.jpg

Σχήμα 4.27β (Berlin Philharmonie, foyer)

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Philharmonie_Berlin_Foyer.jpg

Σχήμα 4.29β (Sydney Opera House, εσωτερικά)

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Sydney_Opera_House_interior.jpg

Σχήμα 4.29γ (Sydney Opera House, εξωτερικά)

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sydney_Opera_House_Night.jpg

Σχήμα 4.31α (Walt Disney Concert Hall, εσωτερικά)

<https://flic.kr/p/5Hc8ht>

Σχήμα 4.31β (Walt Disney Concert Hall, εξωτερικά)

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Walt_Disney_Concert_Hall,_LA,_CA,_jjron_22.03.2012.jpg

Σχήμα 4.44α (Barbican Concert Hall)

<http://www.geograph.org.uk/photo/3336591>

Σχήμα 4.47β (Bayreuth Fiestspielhaus)

[https://de.wikipedia.org/wiki/Richard-Wagner-Festspielhaus#/media/File:Zuschauerraum_des_Bayreuther_Festspielhauses_\(1870s_engraving\).png](https://de.wikipedia.org/wiki/Richard-Wagner-Festspielhaus#/media/File:Zuschauerraum_des_Bayreuther_Festspielhauses_(1870s_engraving).png)

Σχήμα 4.62 δεξιά (Bayreuth Fiestspielhaus, pit)

https://de.wikipedia.org/wiki/Richard-Wagner-Festspielhaus#/media/File:Bayreuth_Festspielhaus_orchestra_pit.JPG

Σχήμα 5.1 (Jesse Jones Hall for the Performing Arts)

<https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/49/50/a9/4950a92b513d89623f3fb1ff367326ff.jpg>

(© Houston First Corporation and City of Houston)

Σχήμα 7.2β (German Pavilion)

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Osaka_Expo%2770_Korean_Pavilion.jpg

Σχήμα 7.3α (IRCAM, μακέτα)

http://www.ircam.fr/fileadmin/sites/WWW_Ircam/images/batiment/espaces/anecho/01-maquette.jpg

(IRCAM © Georges Meguerditchian)

Σχήμα 7.3β (IRCAM, Espace de projection)

http://www.ircam.fr/fileadmin/sites/WWW_Ircam/images/batiment/espaces/02-espro.jpg

(IRCAM, Ιούνιος 2005 © Olivier Panier des Touches)

Σχήμα 7.6 (Jeita Cave)

<https://en.wikipedia.org/wiki/File:Jeitag3.jpg>

Σχήμα 7.7α (Xenakis, από τις σημειώσεις του μουσουργού)

<https://flic.kr/p/9g9UgV>

Σχήμα 7.7β (Phillips Pavillion)

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Expo58_building_Philips.jpg

Σχετικά με τη συγγραφέα

Η Αλεξάνδρα Σωτηροπούλου είναι αν. καθηγήτρια στο Ε.Μ. Πολυτεχνείο και διευθύντρια του εργαστηρίου Ηχοτεχνίας της Σχολής Αρχιτεκτόνων. Διδάσκει στη Σχολή Αρχιτεκτόνων, στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών και σε διασχολικά προγράμματα μεταπτυχιακών σπουδών στο ΕΜΠ. Η διασχολική εκπαιδευτική / ερευνητική δραστηριότητα της εστιάζει στον περιβαλλοντικό σχεδιασμό κτιρίων και δομημένου χώρου με έμφαση στον ακουστικό σχεδιασμό. Έχει συντάξει μεγάλο αριθμό εργασιών στο αντικείμενο της ακουστικής χώρων ακροατηρίου, κτιριακής ακουστικής και θορύβου. Με εφαρμογές του ίδιου αντικειμένου έχει ασχοληθεί επίσης ως μελετητής και ελέγχων μηχανικός.

