

# ΗΛΕΚΤΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗ

## 9. ΗΧΗΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ – ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ

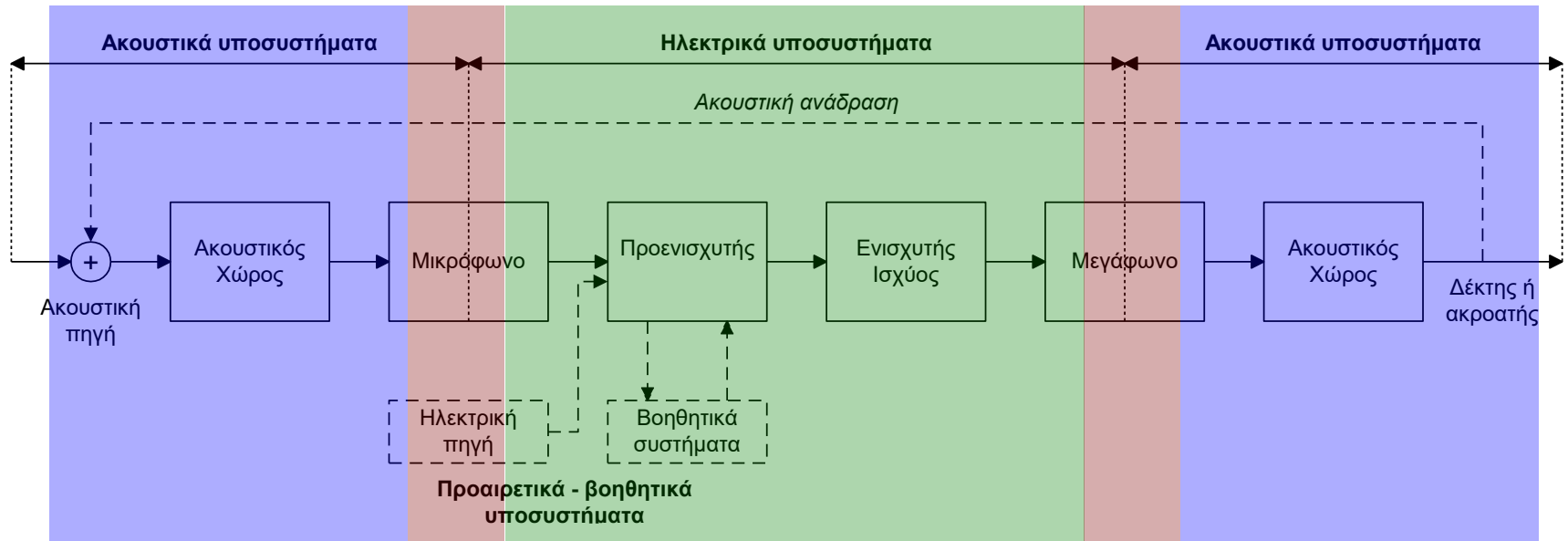
Γιάννης Μουρτζόπουλος



ΟΜΑΔΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΗΧΟΥ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΝΣΥΡΜΑΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

[www.wcl.ece.upatras.gr/audiogroup/](http://www.wcl.ece.upatras.gr/audiogroup/)

# ένα ηχητικό σύστημα



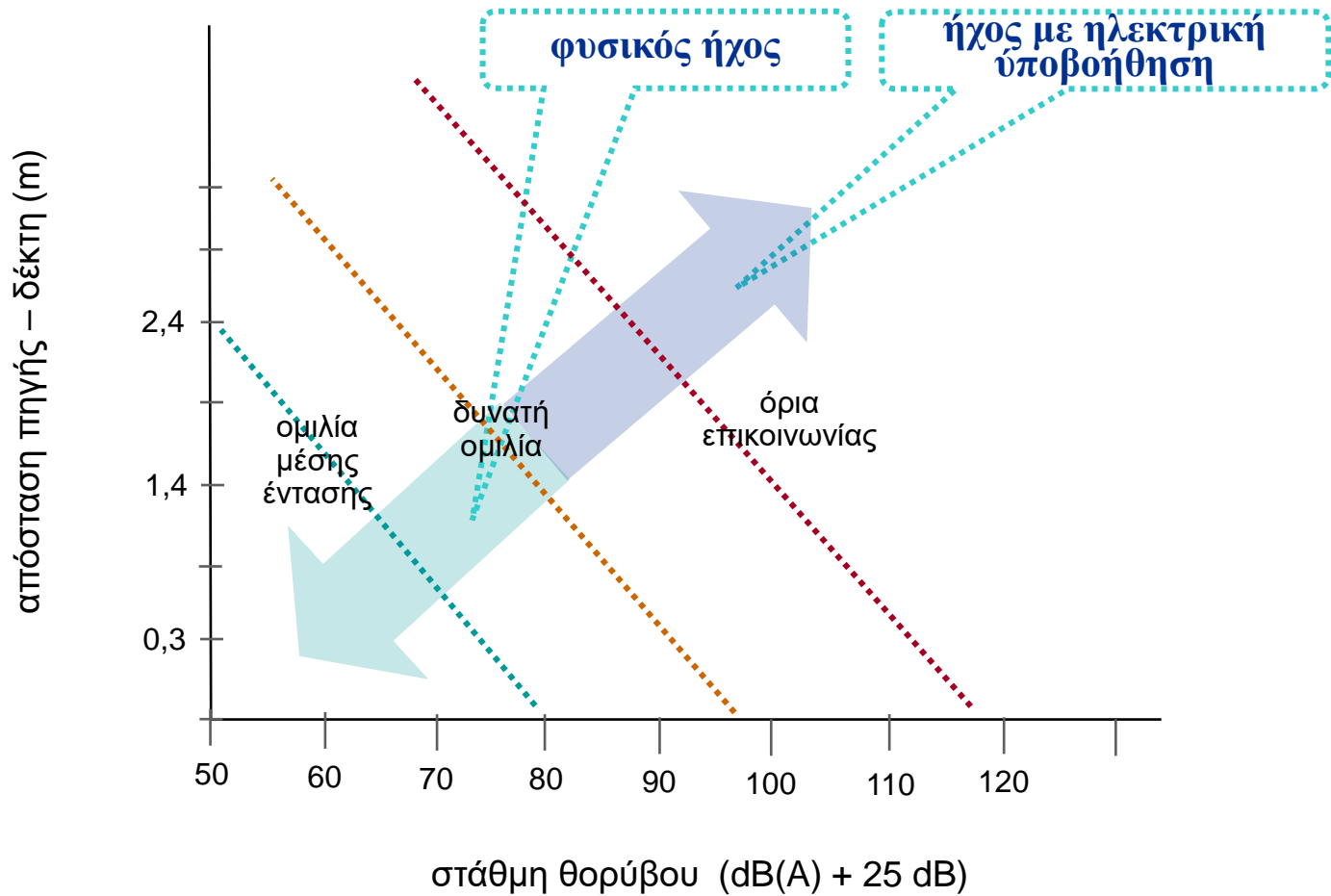
# ΤΥΠΙΚΑ ΗΧΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ



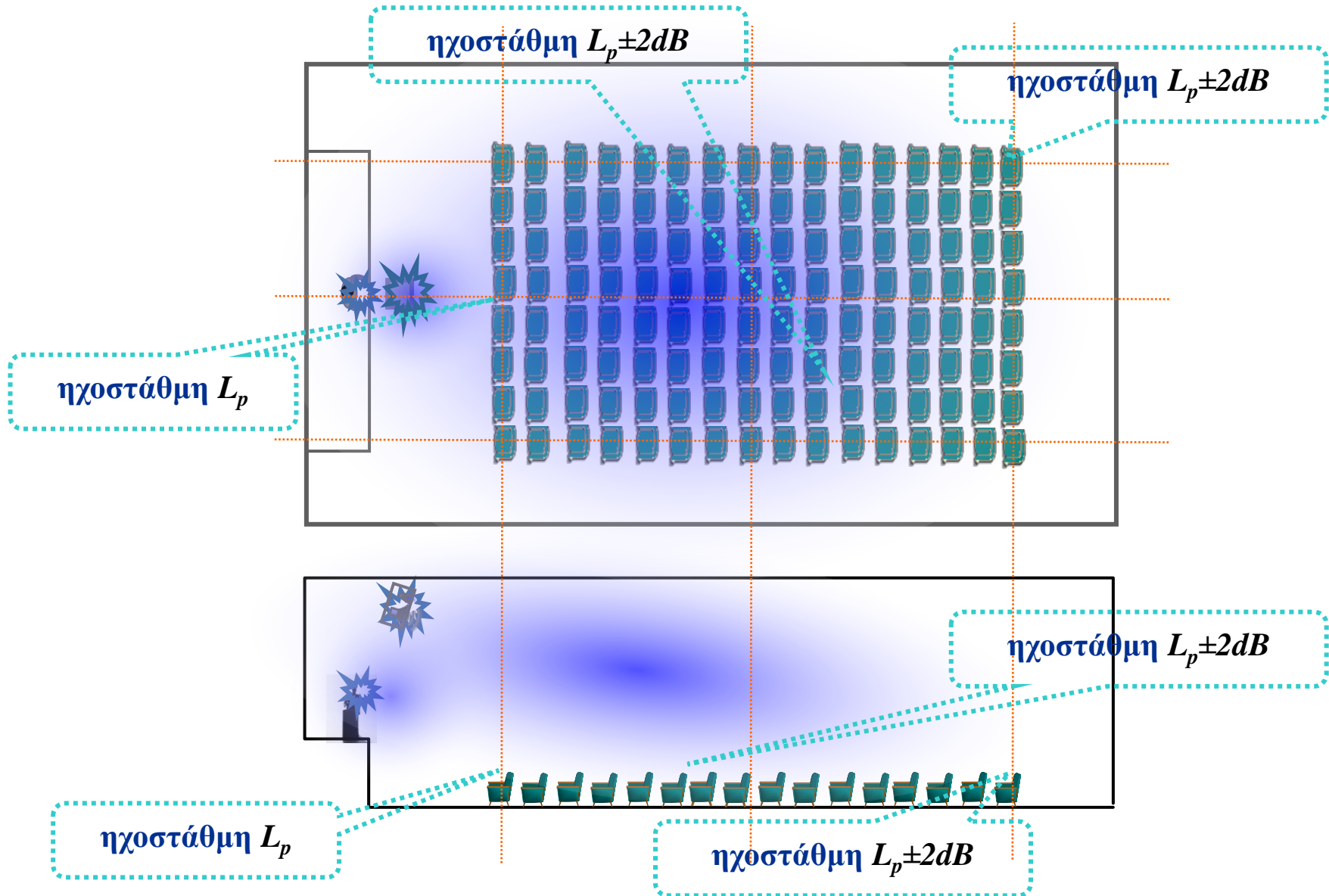
# ελάχιστες απαιτήσεις από ηχητικό σύστημα

- ο ήχος πρέπει να φτάνει στον δέκτη με **στάθμη 25 dB** πάνω από τη στάθμη του θορύβου
  - η **καταληπτότητα** της ομιλίας πρέπει να διασφαλίζεται σε χώρους με αντήχηση
  - το **φάσμα** του σήματος στον δέκτη πρέπει να προσεγγίζει αυτό της πηγής
-

# Πότε το ηχητικό σύστημα είναι αναγκαίο



# απαιτήσεις κάλυψης



## Ομοιογένεια ηχητικής κάλυψης

- οι παράμετροι κάλυψης σε όλα τα σημεία του ακροατηρίου θα πρέπει να εμφανίζουν περιορισμένο όριο διακύμανσης σε σχέση με την επιθυμητή τιμή
- π.χ. η συνολική ηχοστάθμη σε όλα τα σημεία του ακροατηρίου θα πρέπει να εμφανίζει  $\pm 2$  dB ή  $\pm 3$  dB διακύμανση σε σχέση με την επιθυμητή ηχοστάθμη
- αντίστοιχα, να είναι περιορισμένη η χωρική διακύμανση της στάθμης απευθείας εκπεμπόμενου σήματος
- ... η απόκριση συχνότητας
- ... η καταληπτότητα ομιλίας

## η επιλογή ηχείων και τοποθέτησης, εξαρτάται από εφαρμογή και χώρο

- για συναυλιακή χρήση, απαιτείται ευρεία απόκριση συχνότητας, υψηλή ηχοστάθμη, δυνατότητα rapping πηγών (τουλάχιστο 2 απομακρυσμένα ηχεία)
- για συνεδριακή χρήση και διαλέξεις, κυρίως ενδιαφέρει η καταληπτότητα ομιλίας (ελάχιστα ή καθόλου τα παραπάνω)
- για χρήση σε ανοιχτούς χώρους, είναι καθοριστική παράμετρος η μέγιστη απόσταση του ακροατηρίου από τη θέση των ηχείων
- για χρήση σε κλειστούς χώρους, πέρα από αυτή την απόσταση, είναι σημαντικά τα χαρακτηριστικά, η γεωμετρία, διάταξη του χώρου και το διαθέσιμο ύψος για ανάρτηση ηχείων

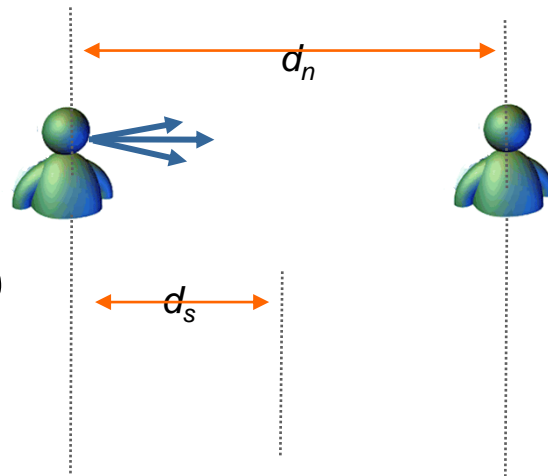
**σχέσεις ακουστικού κέρδους**



# απαιτούμενο ακουστικό κέρδος

«ικανοποιητική» ακρόαση χωρίς Η/Α εγκατάσταση

ηχητική στάθμη  
πηγής  $L_s$  (dB) στο 1m  
απόσταση

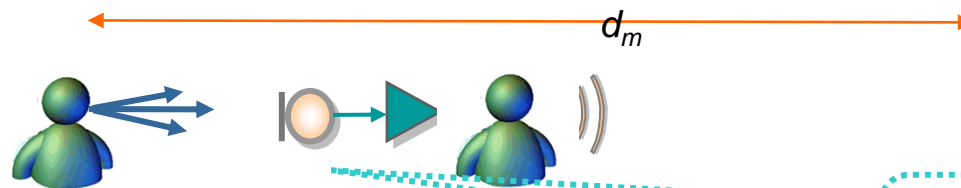


$$L_s \text{ dB } (r=1m)$$

$$L_{pn(r)} = L_s - 20 \log d_n \text{ dB}$$

καταληπτή φυσική  
επικοινωνία

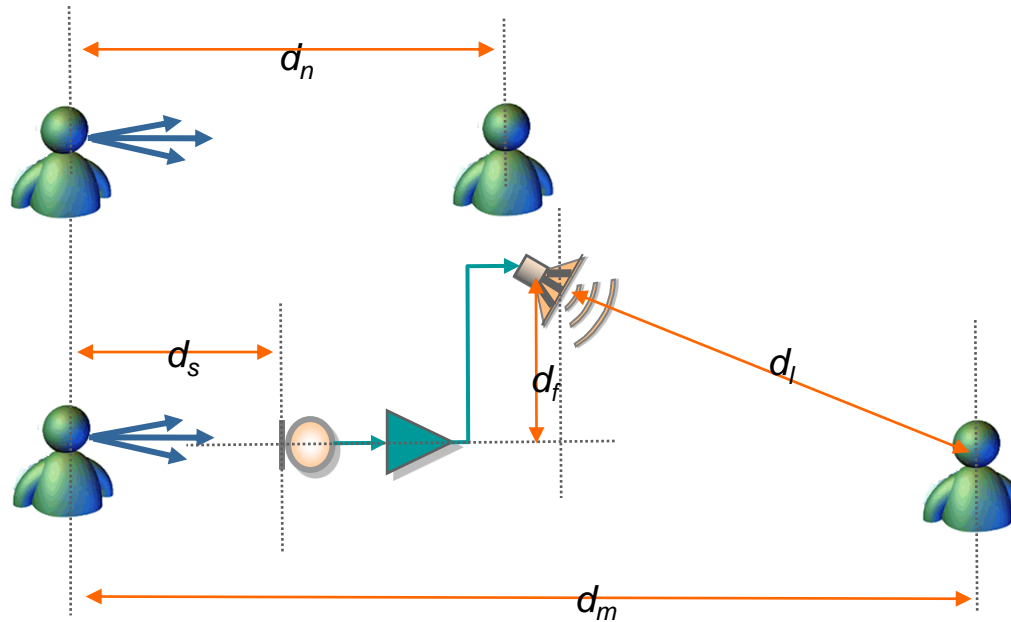
π.χ. η πιο  
απομακρυσμένη θέση  
για ακρόαση χωρίς Η/Α  
σύστημα



$$N_{ag} = 20 \log \frac{d_m}{d_s} - 20 \log \frac{d_n}{d_s} = 20 \log \frac{d_m}{d_n}$$

καταληπτή  
επικοινωνία,  
κέρδος  $N_{ag}$

# παραγόμενο ακουστικό κέρδος



πρέπει:  $P_{ag} = N_{ag}$   $P_{ag} = L_{pd(r,\theta)} - (L_s - 20\log d_l)$  dB

η ηχοστάθμη προκύπτει σαν:

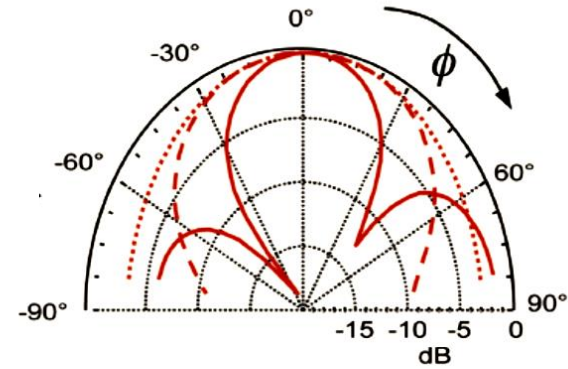
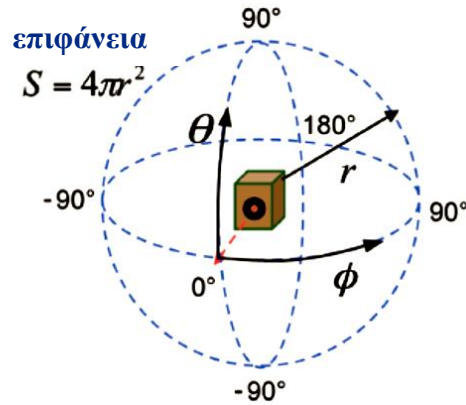
$$L_{pd(r,\theta)} = SW + 10\log W_{HA} - 20\log d_l - |b(\theta)| \quad \text{dB}$$

**όπου:** στάθμη ευαισθησίας ηχείου  $SW$  (dB/W/m)

ηλεκτρική ισχύς τροφοδοσίας  $W_{HA}$  (watt)

εξασθένιση εκτός άξονα εκπομπής ηχείου λόγω κατευθυντικότητας  $b(\theta)$  (dB)

# κατευθυντικότητα πηγών (ηχείων)



πολικό διάγραμμα  
 $b(\theta, \phi) = 20 \log H(\theta, \phi) \text{ dB}$

πίεση στο μακρινό πεδίο

$$p(r, \theta, \phi)$$

πίεση στον άξονα

$$p_{ax}(r) = p(r, \theta = 0, \phi = 0)$$

στάθμη πίεσης στον άξονα

$$Lp_{ax}(r) = 20 \log \left( \frac{p_{ax}(r)}{P_o} \right) \text{ dB}$$

$$P_o = 20 \text{ } \mu\text{Pa}$$

Λόγος Κατευθυντικότητας

$$H(\theta, \phi) = \frac{p(r, \theta, \phi)}{p_{ax}(r)}$$

Κατευθυντικότητα

$$Q = \frac{p_{ax}^2(r)}{p_s^2(r)} = \frac{S}{\int_s H(\theta, \phi)^2 dS}$$

ή  $D$

Δείκτης Κατευθυντικότητας  
(Directivity Index)

$$DI = 10 \log (Q) \text{ dB}$$

$$DI \approx Lp_{ax}(r = 0.4m) - L_{\Pi}$$

εκπομπή σε ημισφαίριο (με μπάφλα)

ακουστική ισχύς

$$\begin{aligned} \Pi &= \frac{1}{\rho_0 c_s} \int_s p(r, \theta, \phi)^2 dS \\ &= \frac{p_{ax}^2(r)}{\rho_0 c} \int_s H(\theta, \phi)^2 dS \end{aligned}$$

μέση τιμή πίεσης

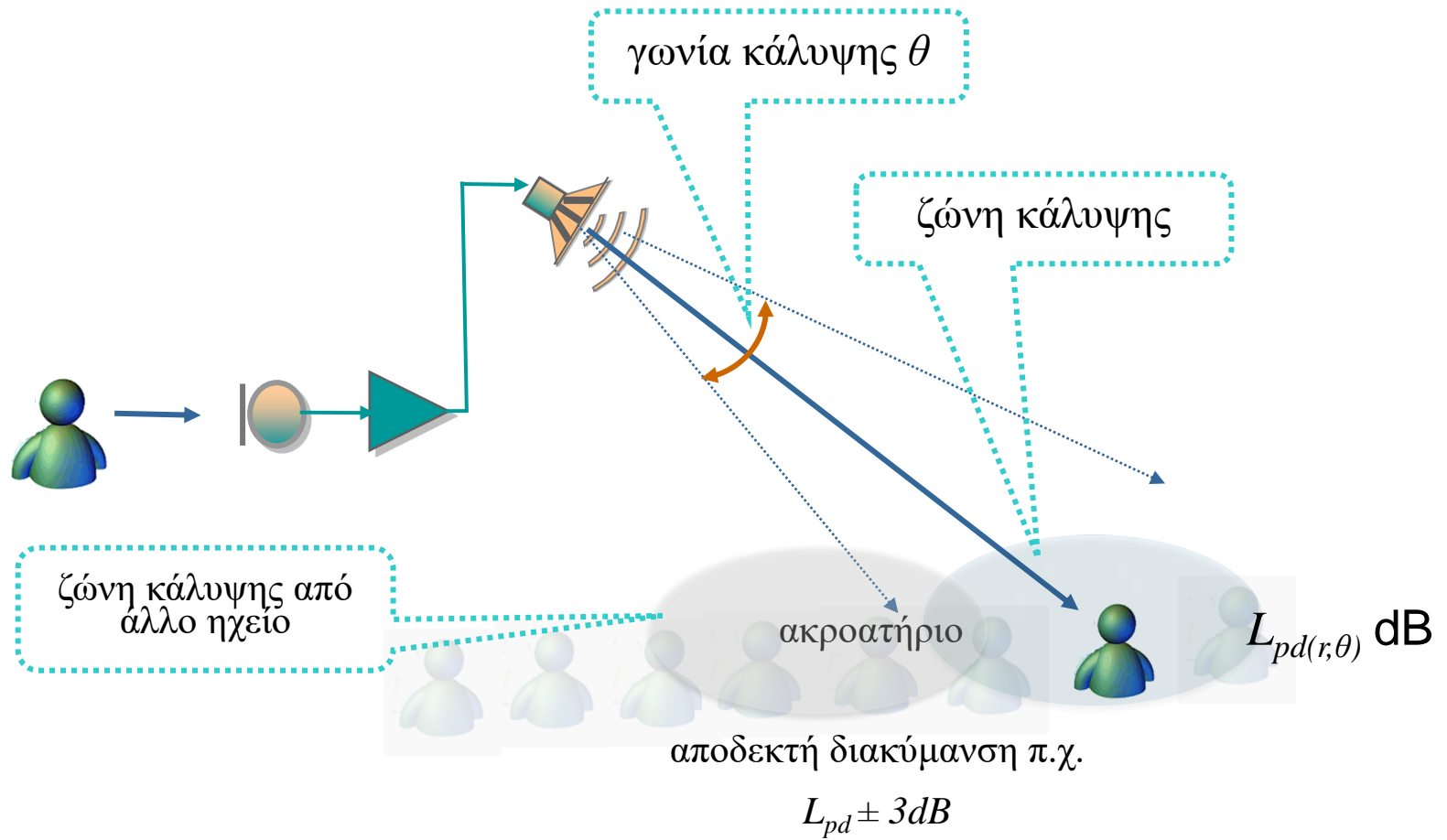
$$p_s(r) = \sqrt{\frac{\Pi \rho_0 c}{S}}$$

στάθμη ακουστικής ισχύος

$$L_{\Pi} = 10 \log_{10} \left( \frac{\Pi}{P_o} \right) \text{ dB}$$

$$P_o = 10^{-12} \text{ W}$$

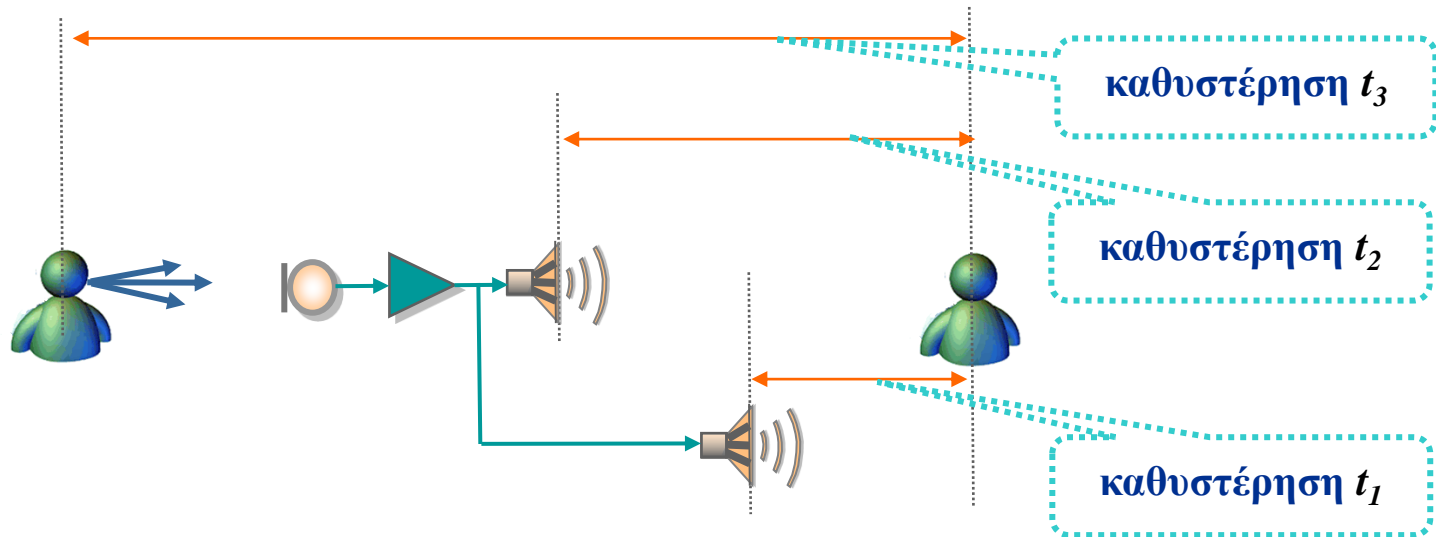
# κάλυψη σε ζώνες



$$L_{pd(r,\theta)} = SW + 10 \log W_{HA} - 20 \log d_l - |b(\theta)| \quad \text{dB}$$

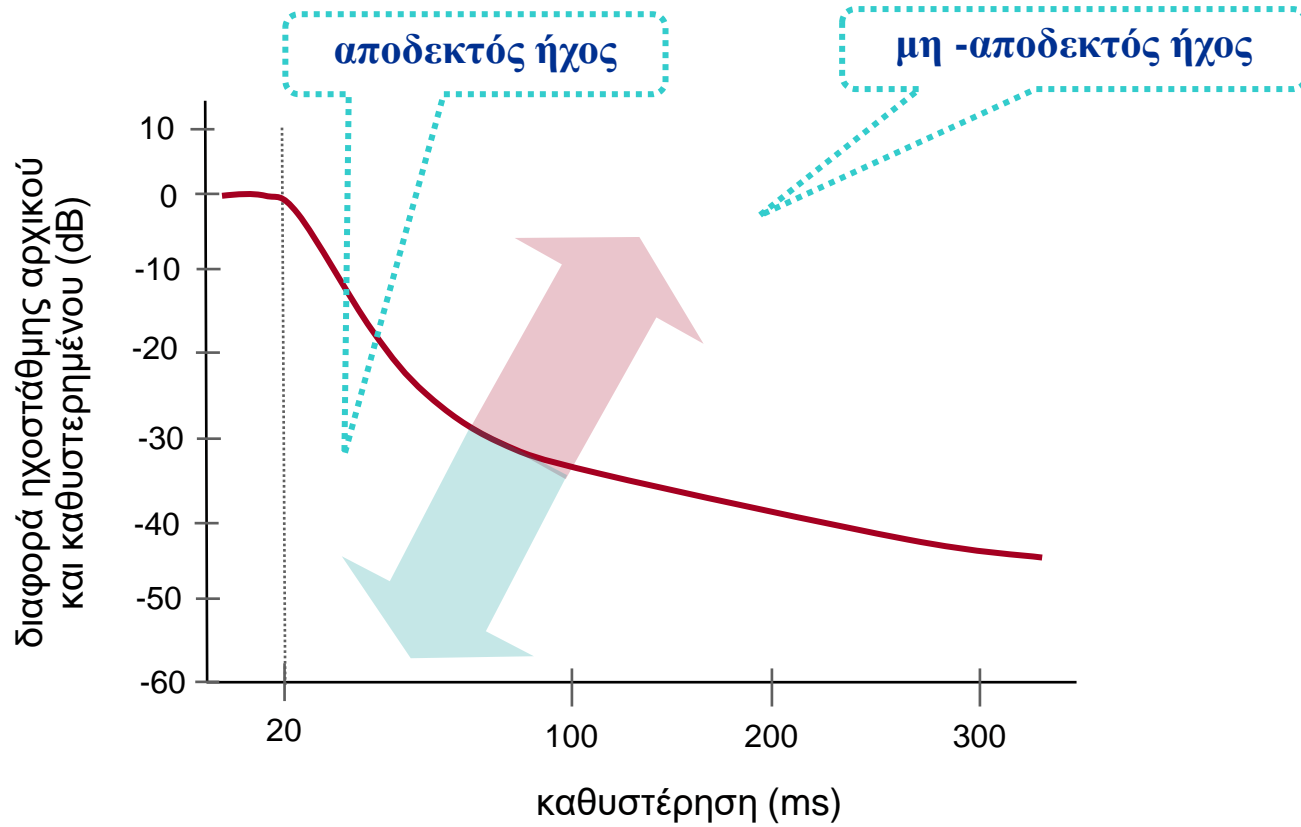
**σχέσεις καθυστέρησης**

# χρονική καθυστέρηση

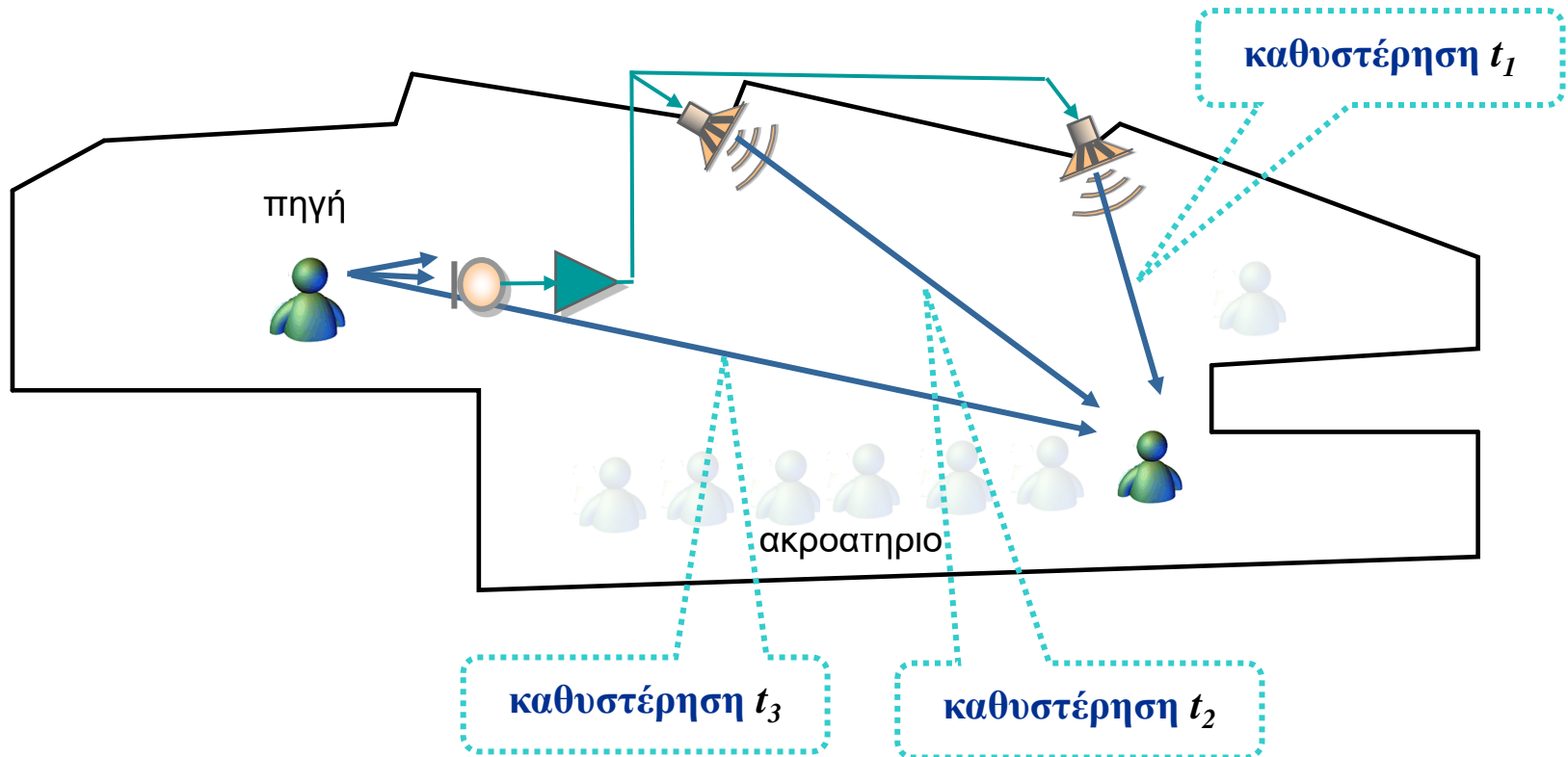


- πρόβλημα **καταληπτότητας** της ομιλίας
- πρόβλημα **ποιότητας** του ήχου
- πρόβλημα **μετατόπισης** ακουστικού ειδώλου

# χρονική καθυστέρηση

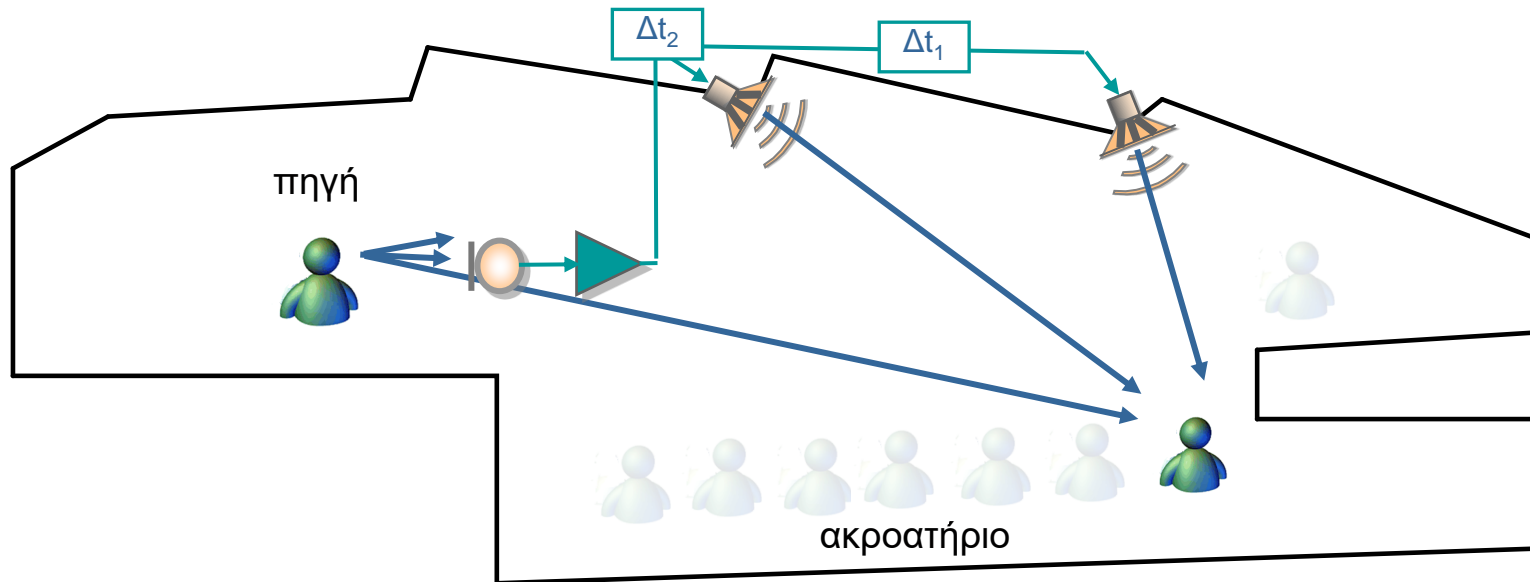


# χρονική καθυστέρηση





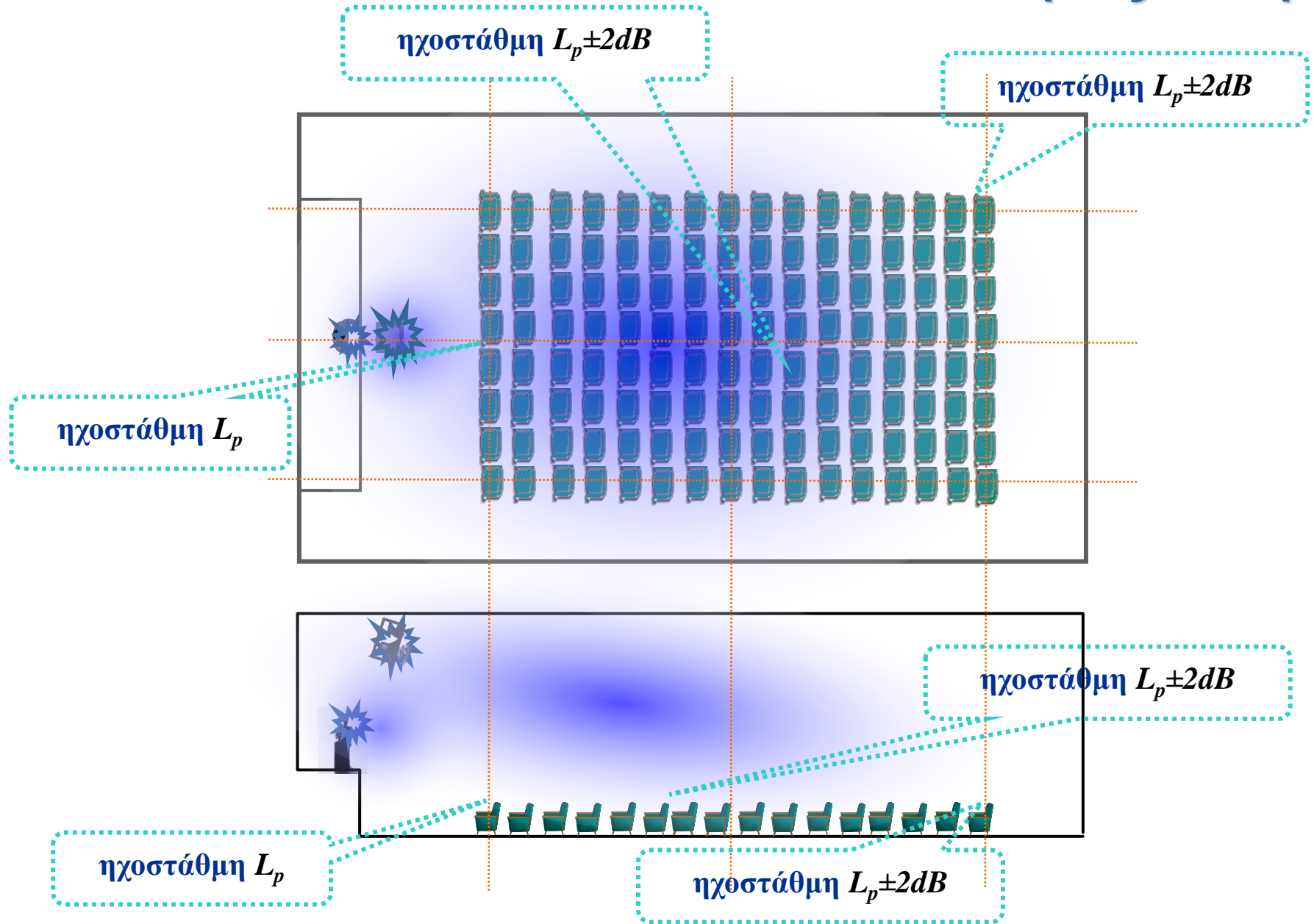
# χρονική καθυστέρηση



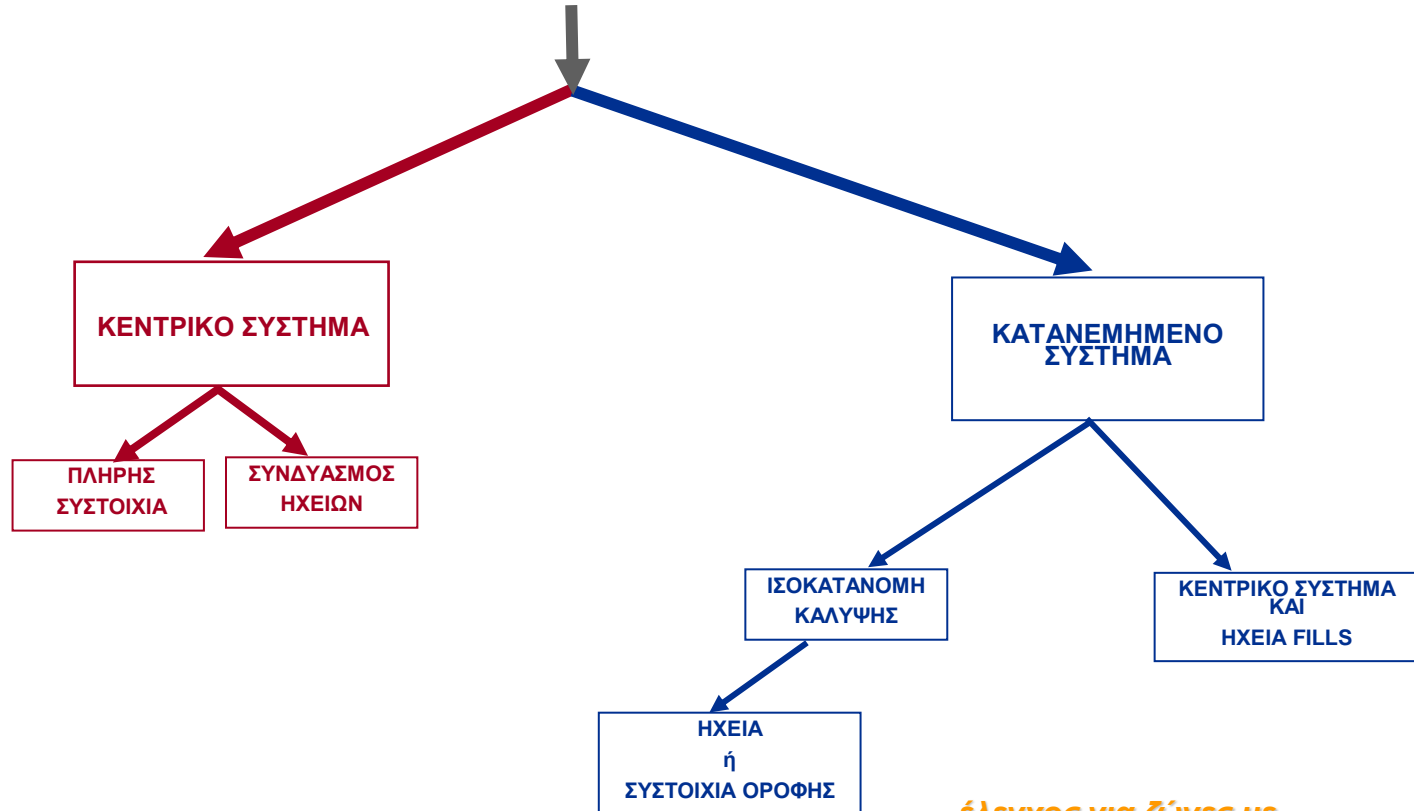
$$\Delta t = \frac{d_m - d_l}{c} + 20ms$$

**τοποθέτηση και κάλυψη ηχείων**

# απαιτήσεις κάλυψης



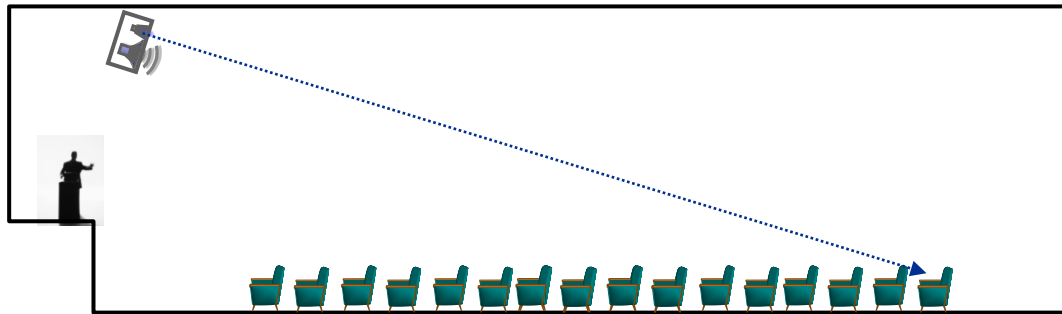
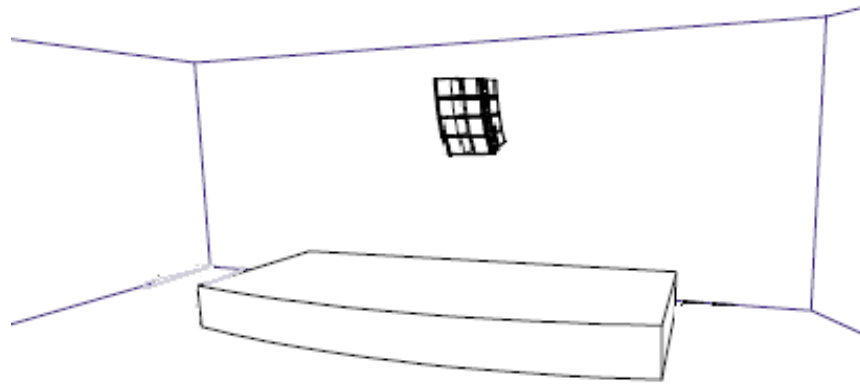
τρόποι τοποθέτησης



*έλεγχος για ζώνες με καθυστέρηση*

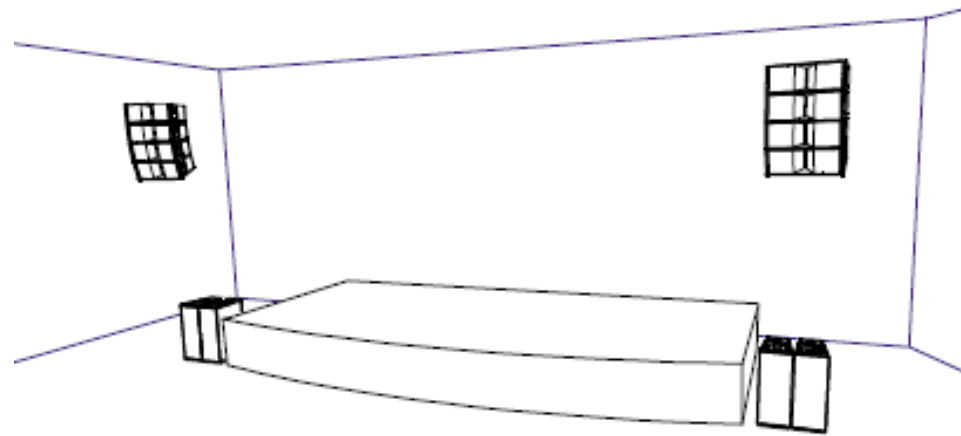
# τρόποι τοποθέτησης συστημάτων

κεντρικό  
σύστημα



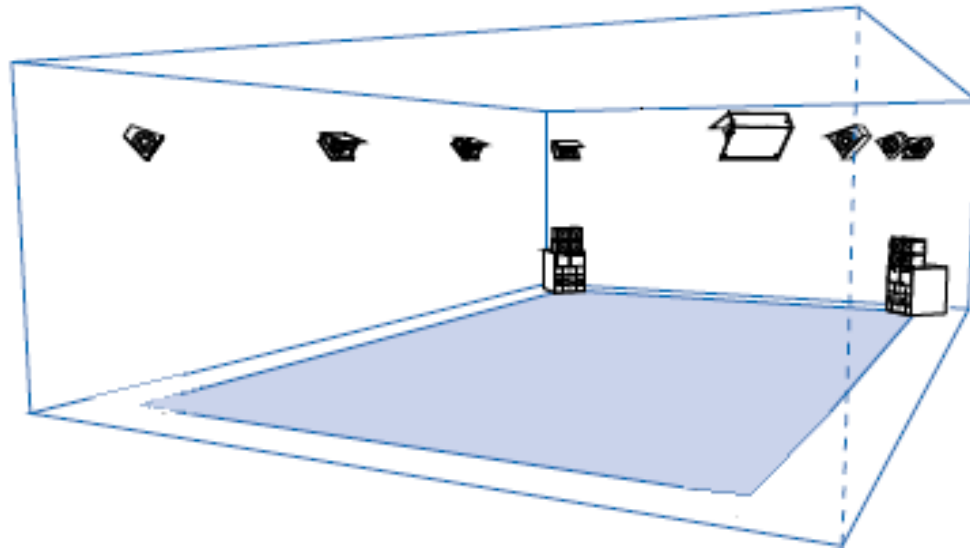
# τρόποι τοποθέτησης συστημάτων

κεντρικό σύστημα L / R +sub



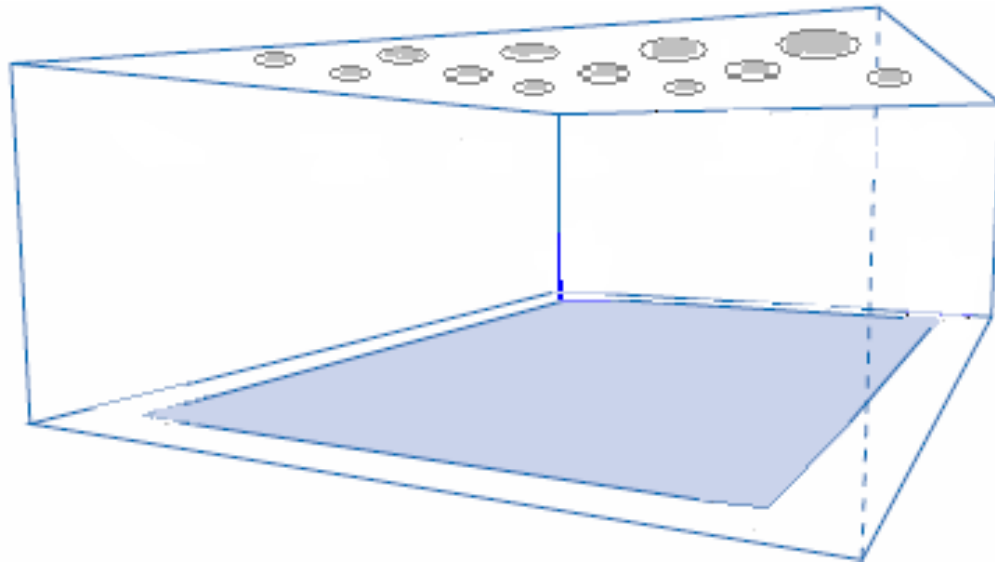
# τρόποι τοποθέτησης συστημάτων

κατανεμημένο σύστημα με 2 κύρια  
L/R ηχεία + fills



# τρόποι τοποθέτησης συστημάτων

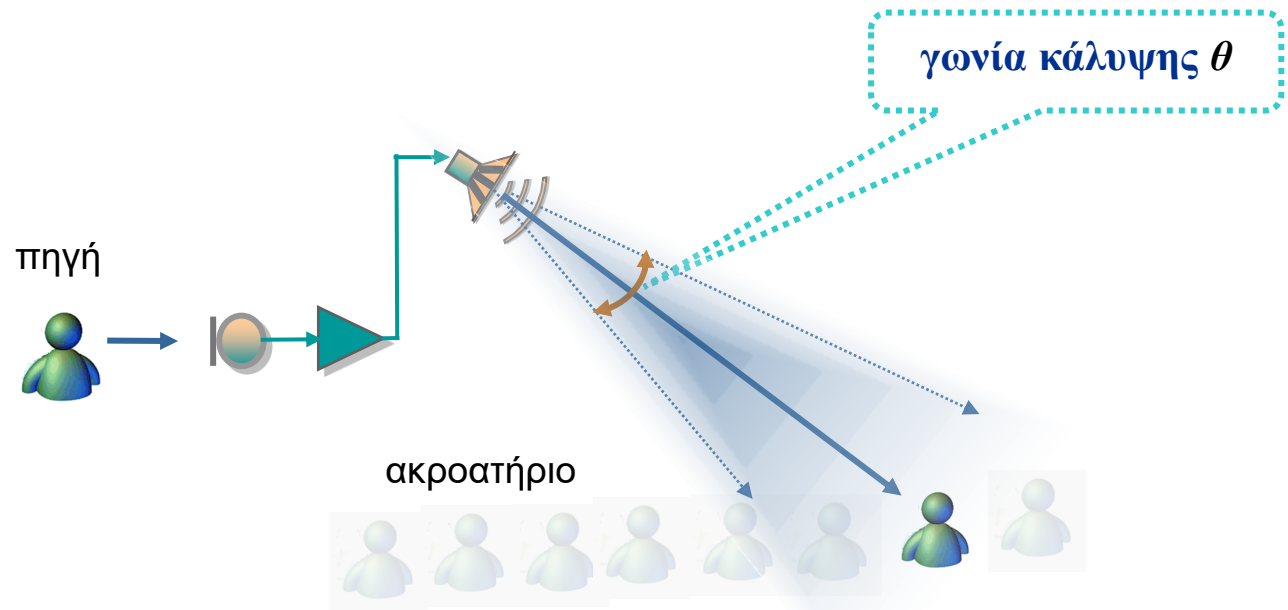
κατανεμημένο σύστημα με ηχεία οροφής



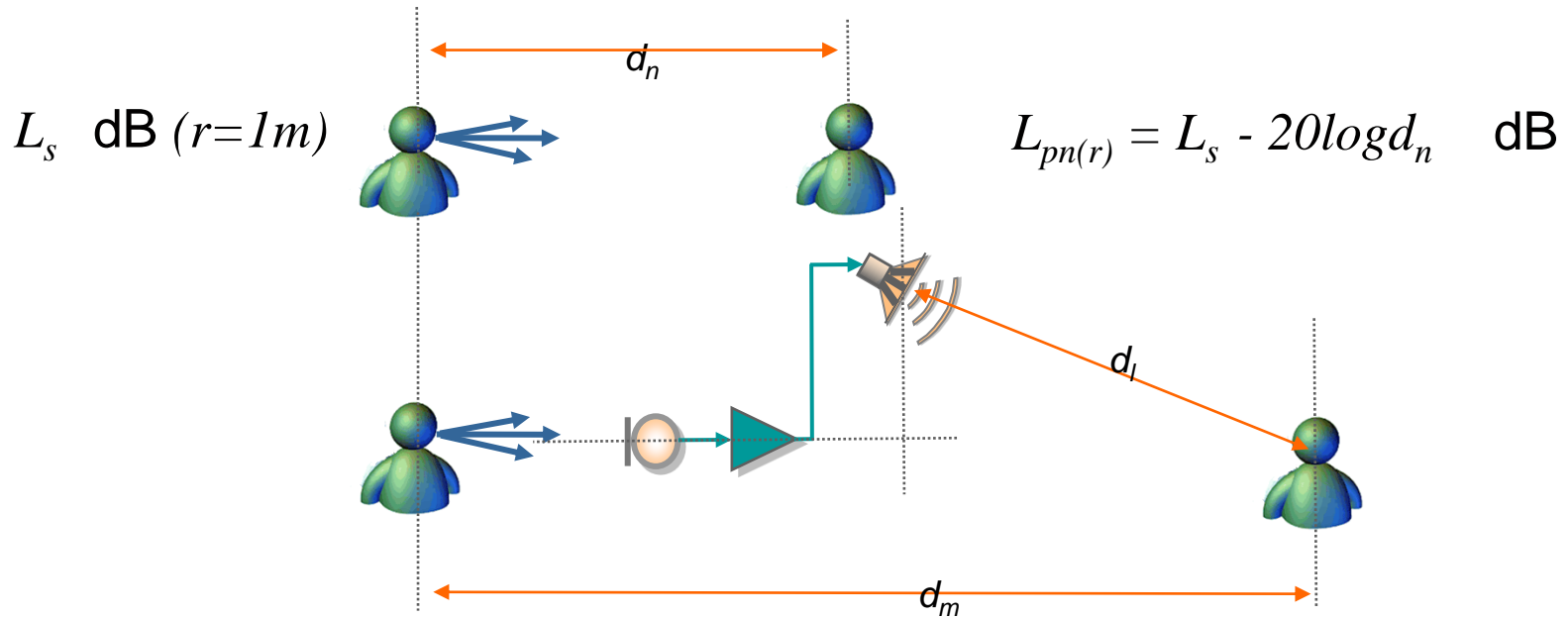


**σχέσεις κατευθυντικότητας**

# κατευθυντικότητα ηχείων - πηγών



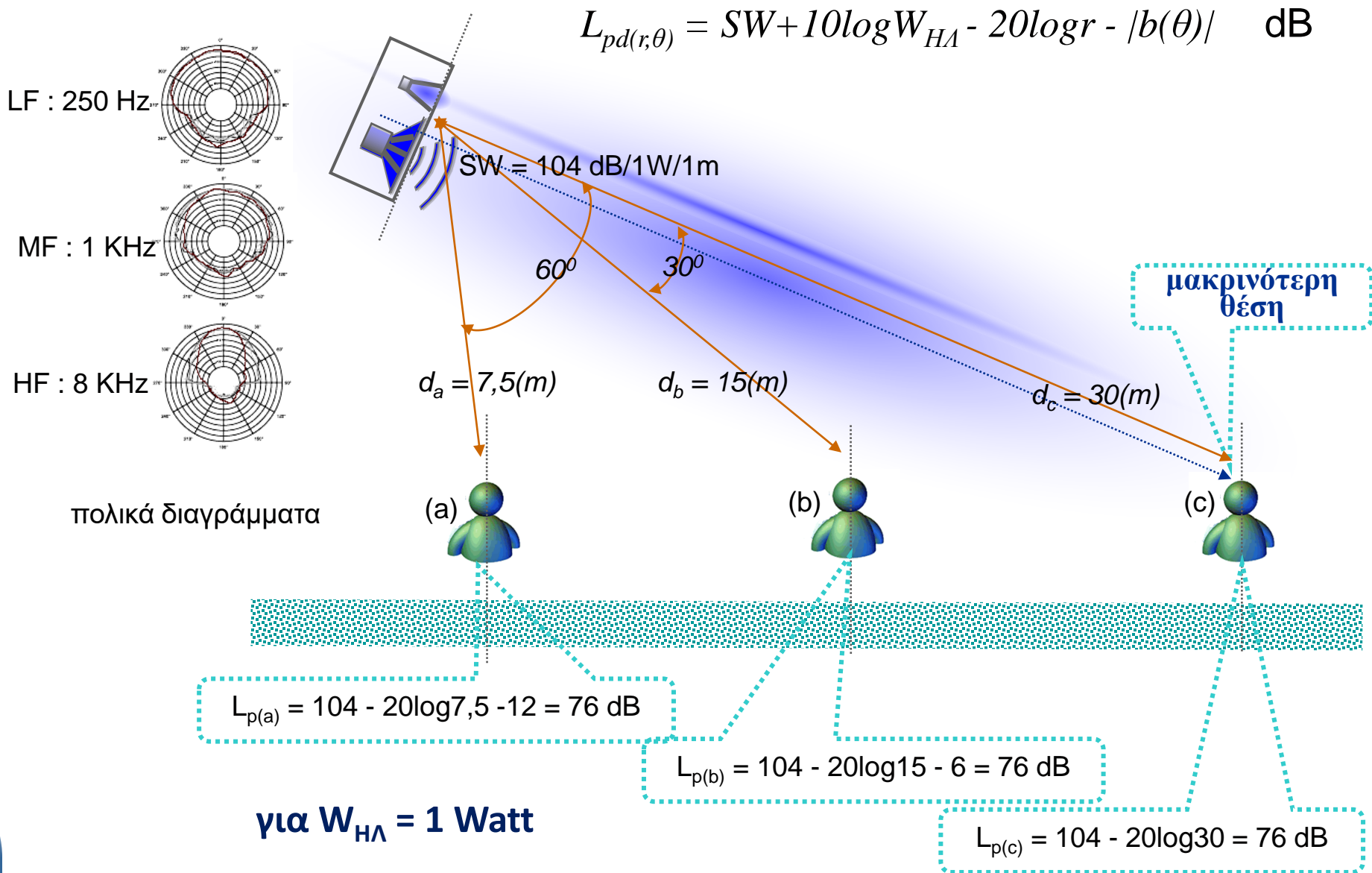
# ακουστικό κέρδος – κατευθυντικότητα - απόσταση



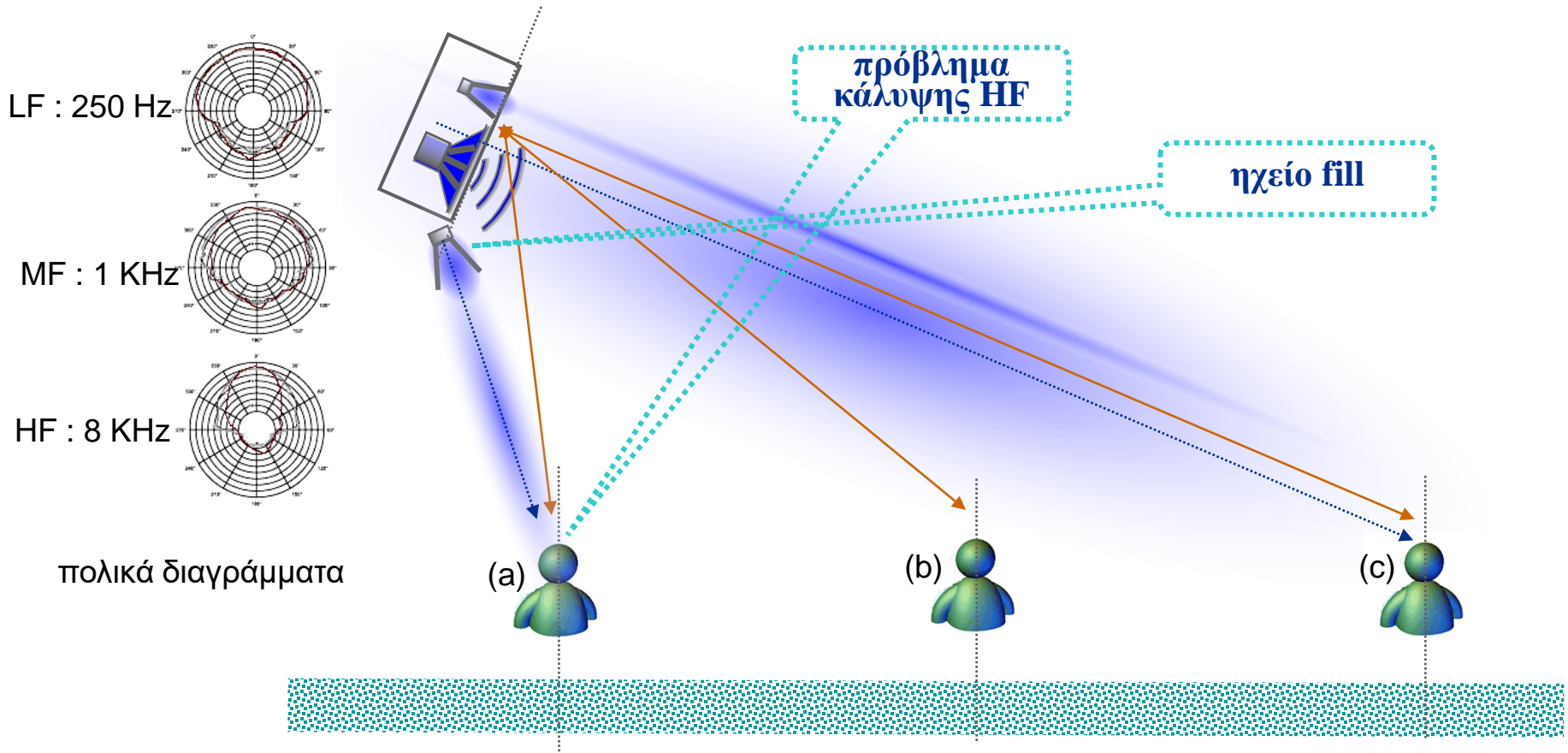
π.χ. υλοποιούμε κέρδος:  $P_{ag} = L_{pd(r,\theta)} - L_{pn(r)}$  dB

$$L_{pd(r,\theta)} = SW + 10 \log W_{HA} - 20 \log d_l - |b(\theta)| \quad \text{dB}$$

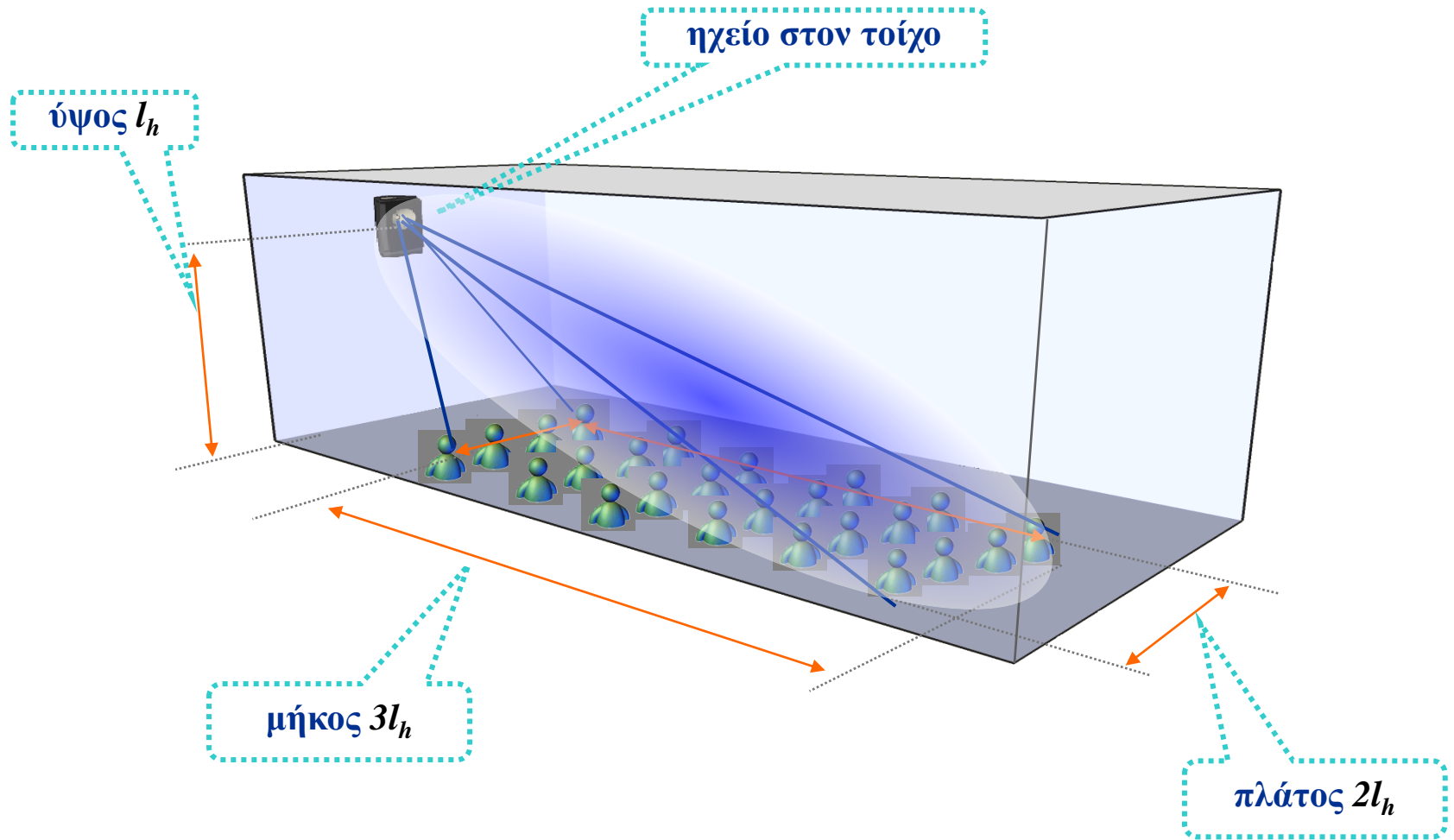
# ακουστικό κέρδος – κατευθυντικότητα - απόσταση



# ακουστικό κέρδος – κατευθυντικότητα - απόσταση

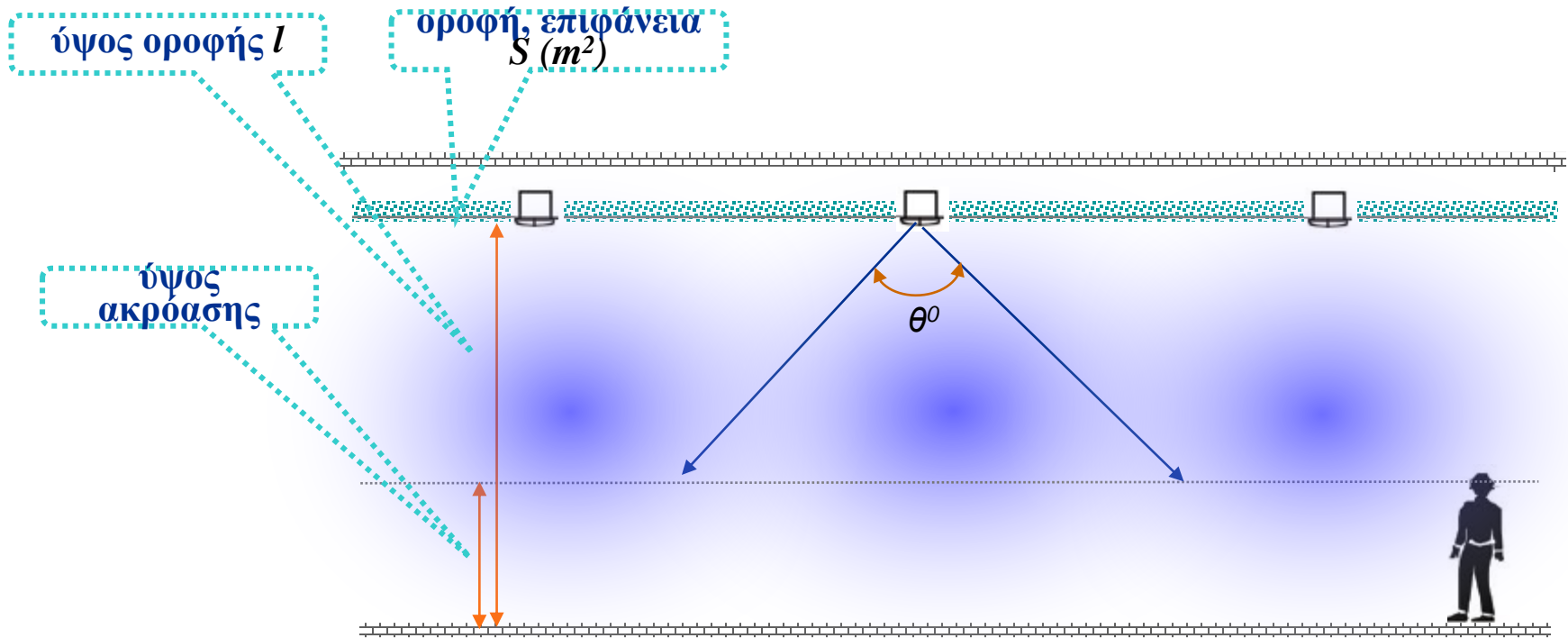


# κατευθυντικότητα ηχείων - πηγών



# τρόποι τοποθέτησης συστημάτων

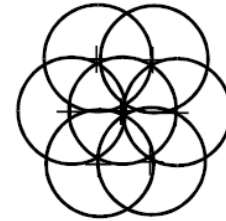
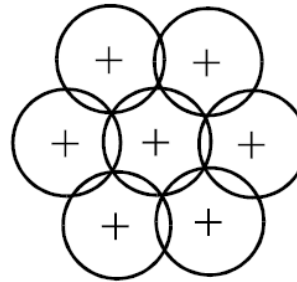
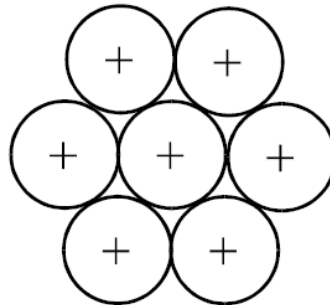
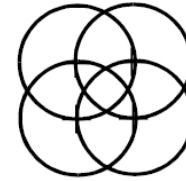
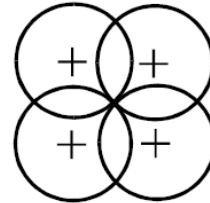
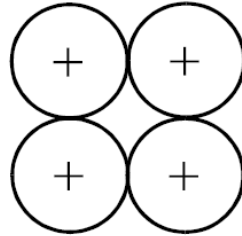
καταναμημένο ηχοσύστημα με ηχεία οροφής



$$N = \frac{0,27S}{2\pi \left[ (0,3l - 1,21) \tan \frac{\theta}{2} \right]^2}$$

# τρόποι τοποθέτησης συστημάτων

κατανομή ηχείων οροφής

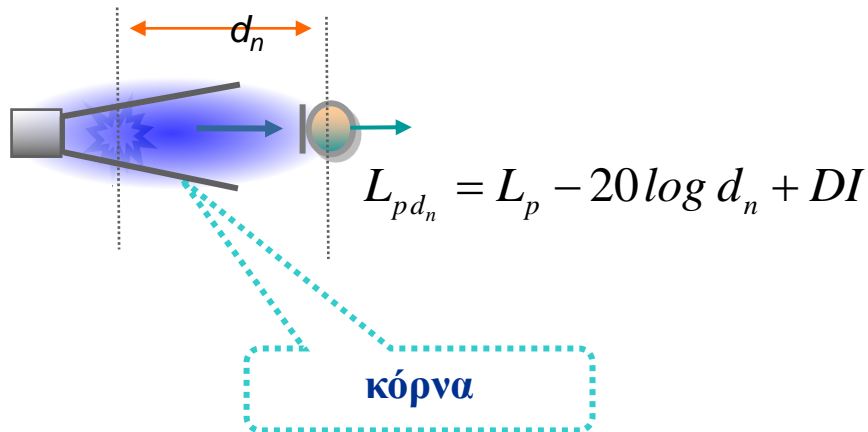
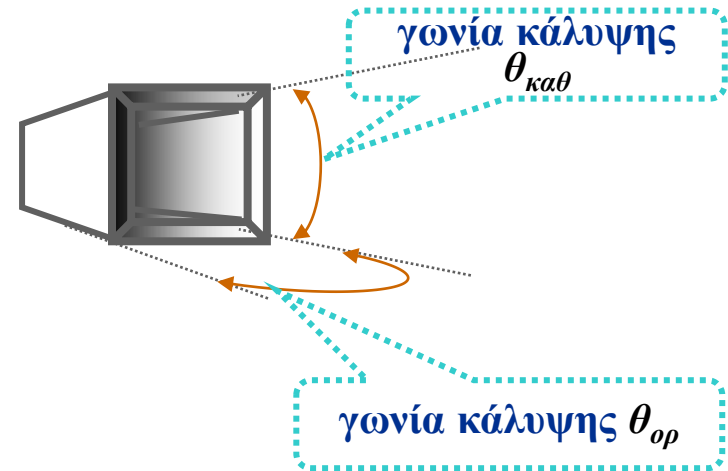
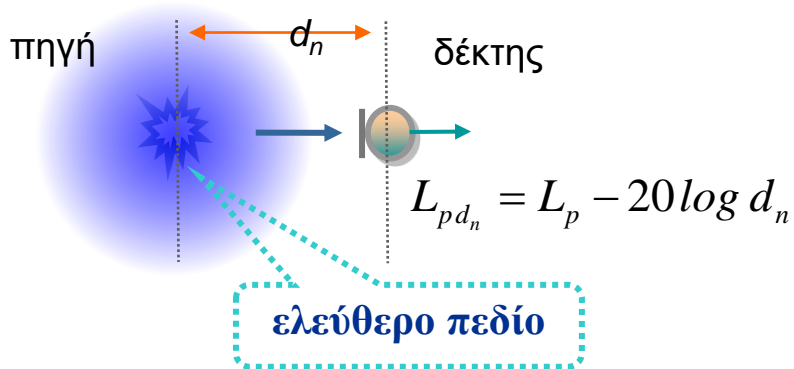




**έλεγχος κατευθυντικότητας**

# κατευθυντικότητα ηχείων - πηγών

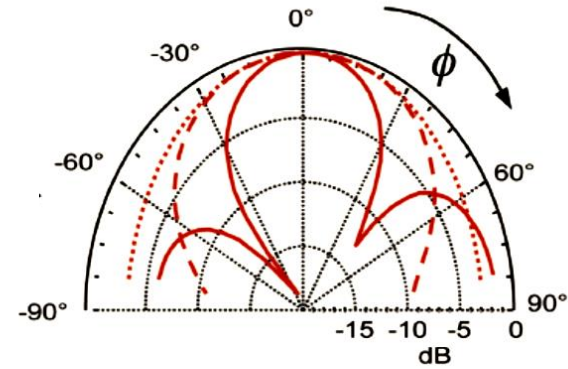
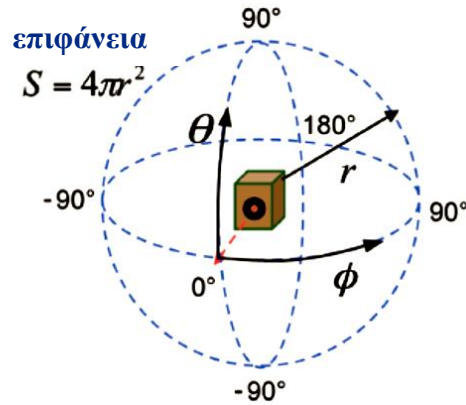
ελέγχοντας την κατευθυντικότητα -κόρνες



$$Q = \frac{180^0}{\arcsin \left( \sin \frac{\theta_{op}}{2} \sin \frac{\theta_{καθ}}{2} \right)}$$

$$DI = 10 \log Q$$

# κατευθυντικότητα πηγών (ηχείων)



πολικό διάγραμμα  
 $b(\theta, \phi) = 20 \log H(\theta, \phi) \text{ dB}$

πίεση στο μακρινό πεδίο

$$p(r, \theta, \phi)$$

πίεση στον άξονα

$$p_{ax}(r) = p(r, \theta = 0, \phi = 0)$$

στάθμη πίεσης στον άξονα

$$Lp_{ax}(r) = 20 \log \left( \frac{p_{ax}(r)}{p_0} \right) \text{ dB}$$

$$p_0 = 20 \text{ } \mu\text{Pa}$$

Λόγος Κατευθυντικότητας

$$H(\theta, \phi) = \frac{p(r, \theta, \phi)}{p_{ax}(r)}$$

Κατευθυντικότητα

$$Q = \frac{p_{ax}^2(r)}{p_s^2(r)} = \frac{S}{\int_s H(\theta, \phi)^2 dS}$$

ή  $D$

Δείκτης Κατευθυντικότητας  
(Directivity Index)

$$DI = 10 \log (Q) \text{ dB}$$

$$DI \approx Lp_{ax}(r = 0.4m) - L_{\Pi}$$

εκπομπή σε ημισφαίριο (με μπάφλα)

ακουστική ισχύς

$$\begin{aligned} \Pi &= \frac{1}{\rho_0 c_s} \int_s p(r, \theta, \phi)^2 dS \\ &= \frac{p_{ax}^2(r)}{\rho_0 c} \int_s H(\theta, \phi)^2 dS \end{aligned}$$

μέση τιμή πίεσης

$$p_s(r) = \sqrt{\frac{\Pi \rho_0 c}{S}}$$

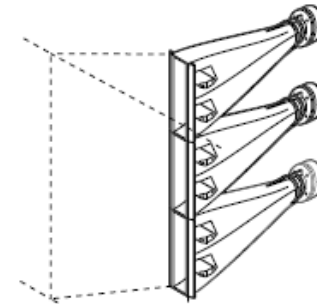
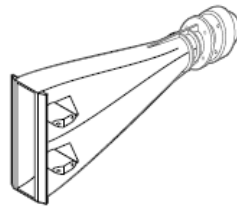
στάθμη ακουστικής ισχύος

$$L_{\Pi} = 10 \log_{10} \left( \frac{\Pi}{P_0} \right) \text{ dB}$$

$$P_0 = 10^{-12} \text{ W}$$

# κατευθυντικότητα ηχείων - πηγών

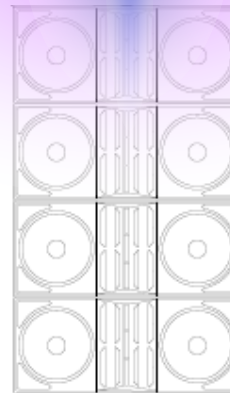
πρακτικά επαγγελματικά συστήματα ηχείων με κόρνες



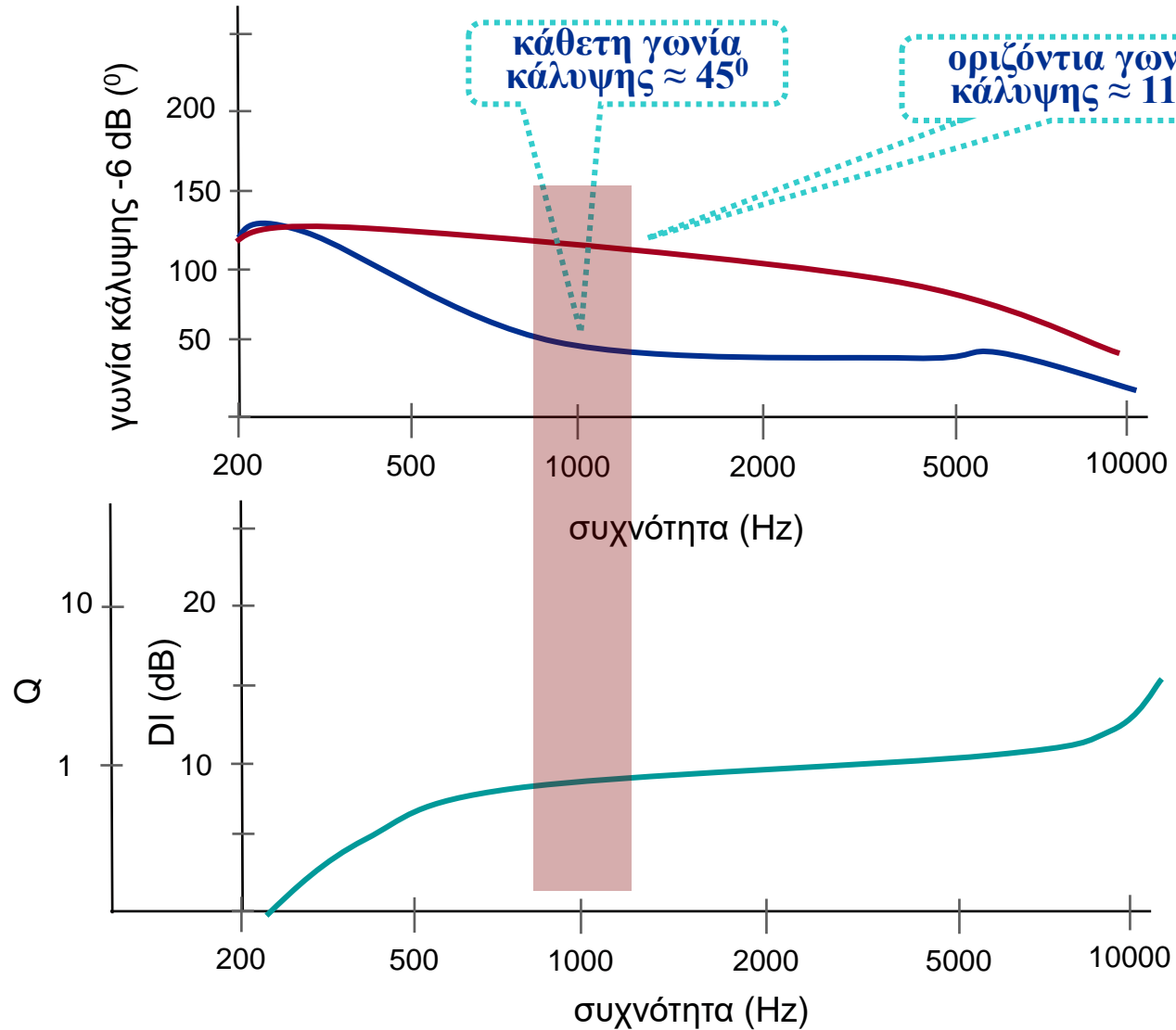
μεσαίες  
συχνότητες

ψηλές  
συχνότητες

χαμηλές  
συχνότητες



# κατευθυντικότητα ηχείων - πηγών



# κατευθυντικότητα ηχείων - πηγών

File Edit Options Help

**Model**  
 Name: IF2108 Weight: 12,00 kg  
 Descr.: 2-Way Full-Range  
 Colors: Black, paintable  
 Radiation: fullsphere Mounting: Pole cup, yoke mount, internal threaded fly-points  
 Type: passive

**Manufacturer**  
 Name: Yamaha Corporation Web-site: www.yamahaproaudio.com

**Measurement**  
 Contact: Pat Brown E-mail: pbrown@etcinc.us  
 Date: 2005-DEC-01 Info: -  
 Distance: 8,000 m Env.: Anechoic to 30ms  
 Inp. voltage: 2,830 2,830 2,830 2,830 2,830 2,830 2,830 2,830 2,830 Vrms

50 63 80 100 125 160 200 250 315

**Electro-acoustical data**

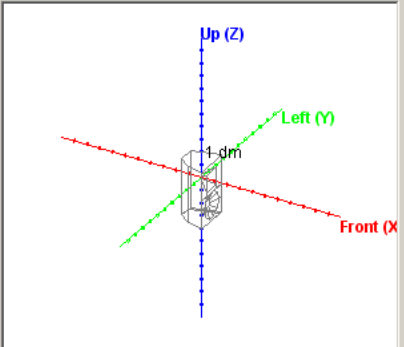
Sensitivity	80,0	84,3	88,3	91,6	93,9	95,9	96,5	95,4	93,8	dB
Impedance	19,2	20,5	9,9	17,6	30,4	11,1	6,9	7,0	8,6	Ohm
6dB w. hor.	360	360	360	360	360	360	360	360	228	°
6dB w. ver.	360	360	(360)	360	360	360	360	360	(240)	°
Axial Q:	1,2	1,2	(1,2)	1,2	1,2	1,3	1,4	1,9	(2,3)	
Ax. Spect:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	dB

Impedance (derived)  
 Nom: 8,0 Min: 6,2 Avg: 10,7 Ohm  
 Max input voltage: 28,0 Vrms  
 Equiv. amp. size: 196 W  
 Gain: 19,9 dB

**Cabinet 3D representation**  
 Rectangular  Trapezoidal  Edges  Faces+Edges  DXF

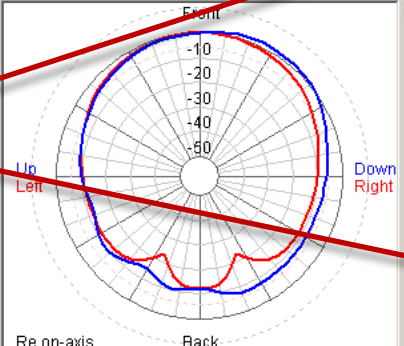
CLF2 version: 1 final

3D balloon  Cabinet 3D representation



1 dm

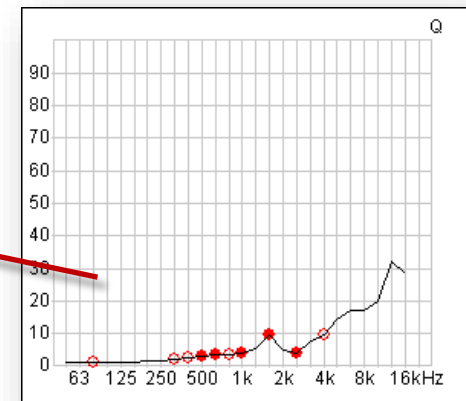
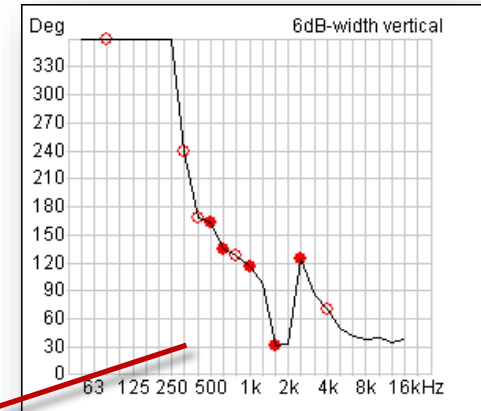
Up (Z)  
Left (Y)  
Front (X)



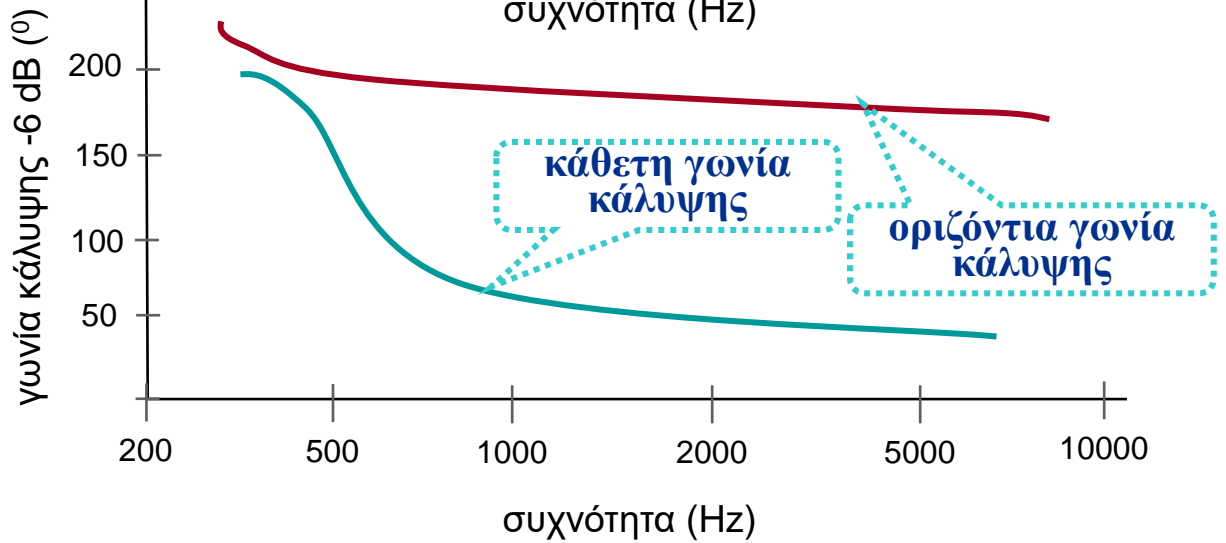
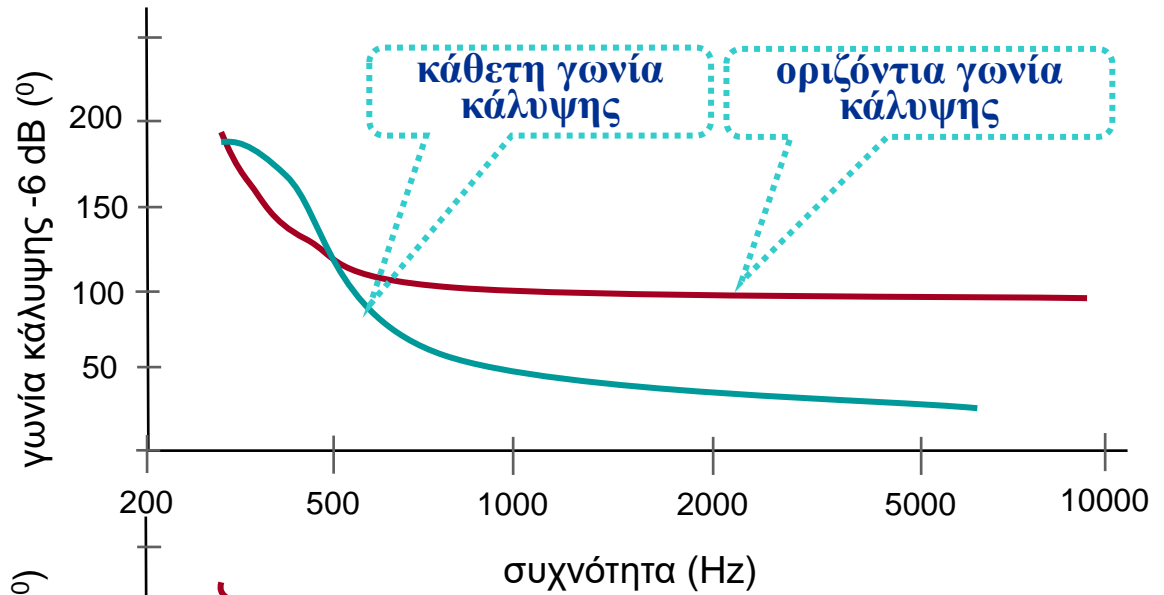
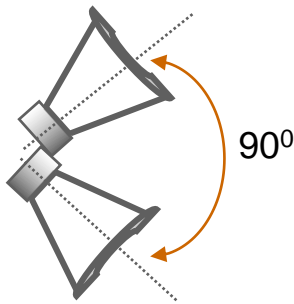
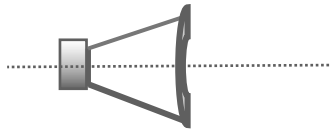
Front  
Back  
Up  
Left  
Down  
Right

Re on-axis

Polars  Electro-acoustical data  Balloon-spectra

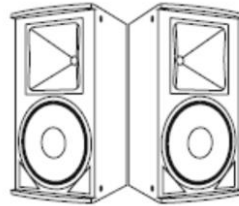


# κατευθυντικότητα ηχείων - πηγών

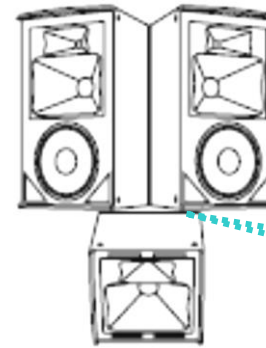


# κατευθυντικότητα ηχείων - πηγών

πρακτικά επαγγελματικά συστήματα ηχείων



αύξηση της  
οριζόντιας γωνία  
κάλυψης

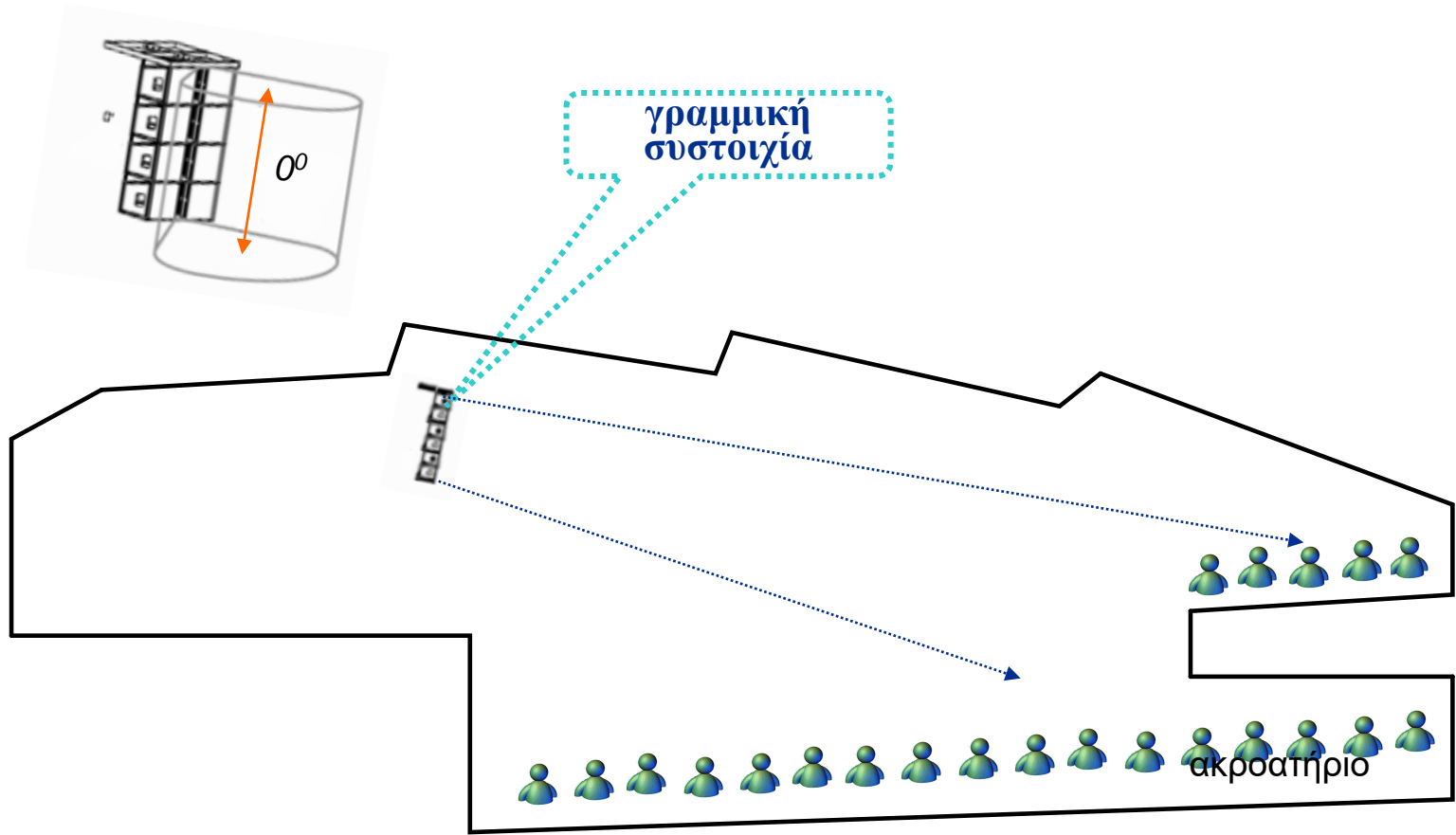


αύξηση της  
οριζόντιας και  
κάθετης γωνία  
κάλυψης



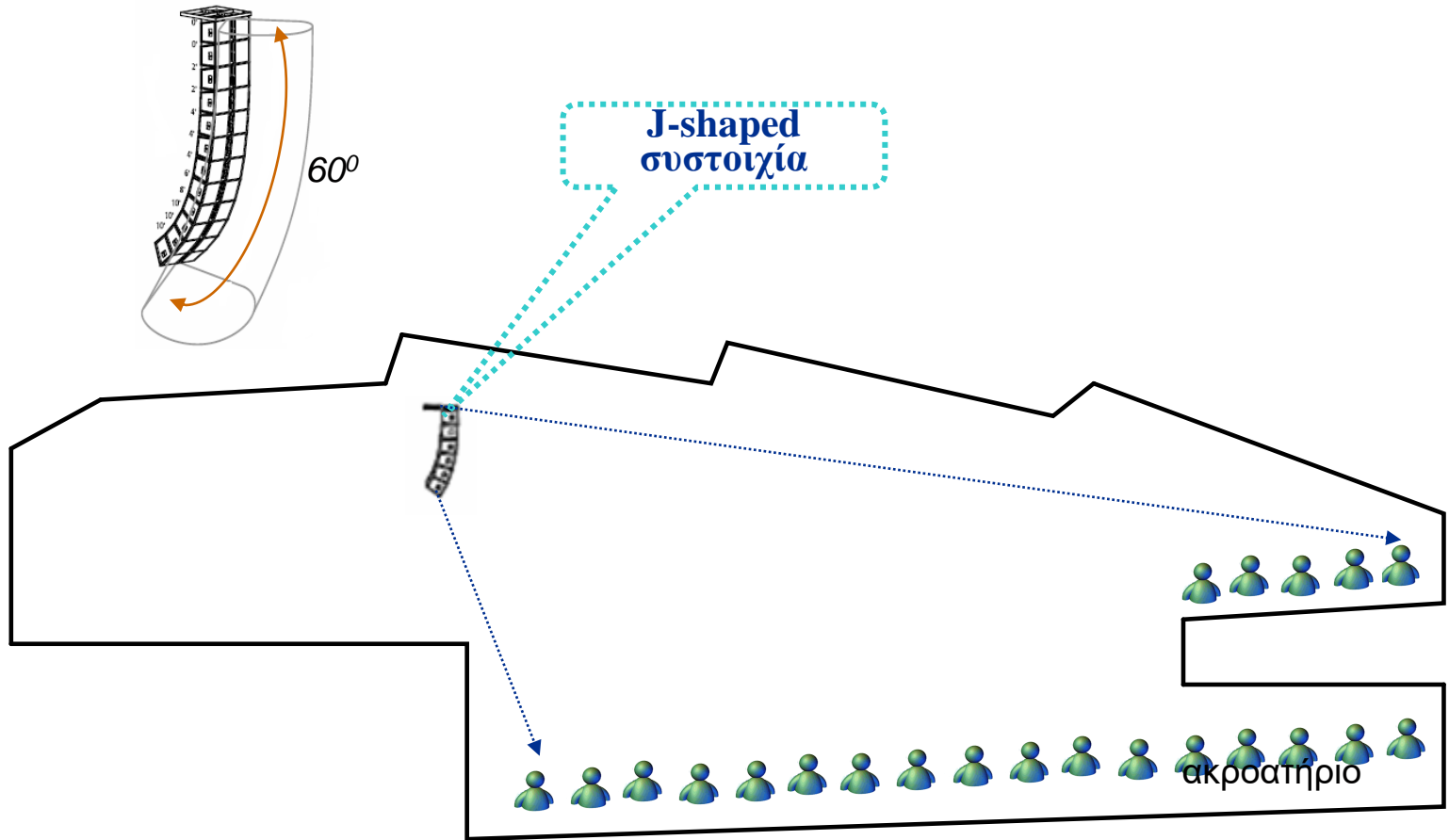
# κατευθυντικότητα ηχείων - πηγών

ελέγχοντας την κατευθυντικότητα -συστοιχίες



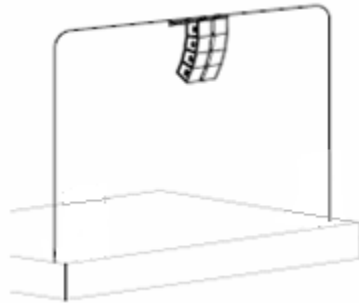
# κατευθυντικότητα ηχείων - πηγών

ελέγχοντας την κατευθυντικότητα -συστοιχίες

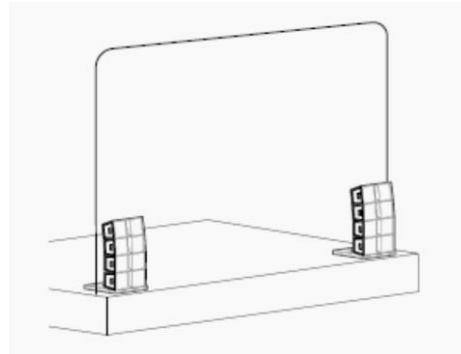


# κατευθυντικότητα ηχείων - πηγών

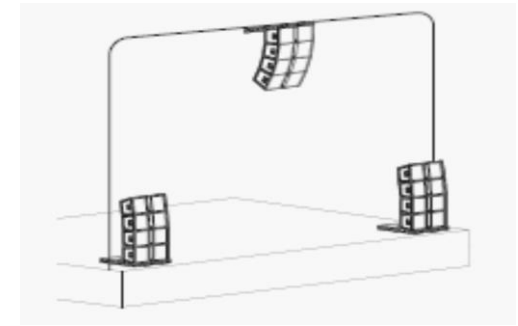
οριζόντια κάλυψη με συστοιχίες ηχείων



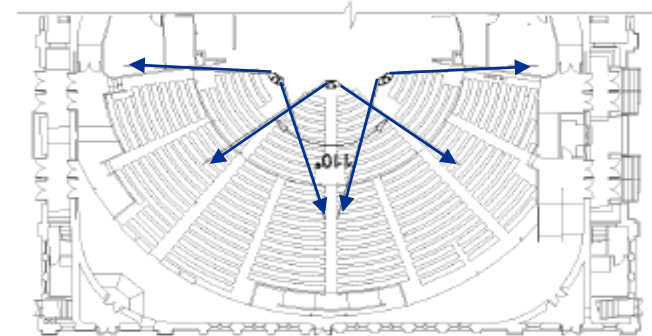
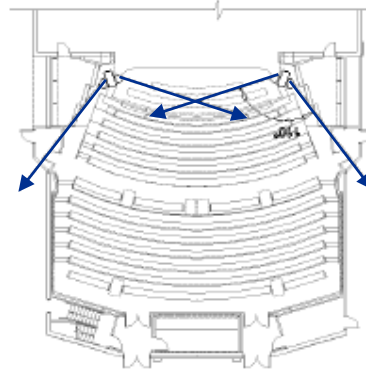
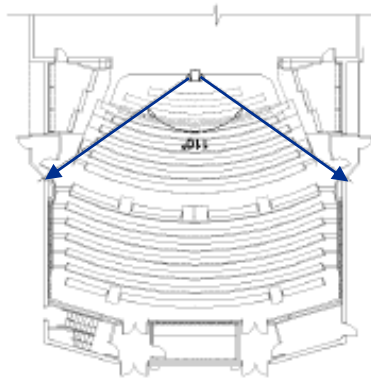
συνεδριακή  
κάλυψη



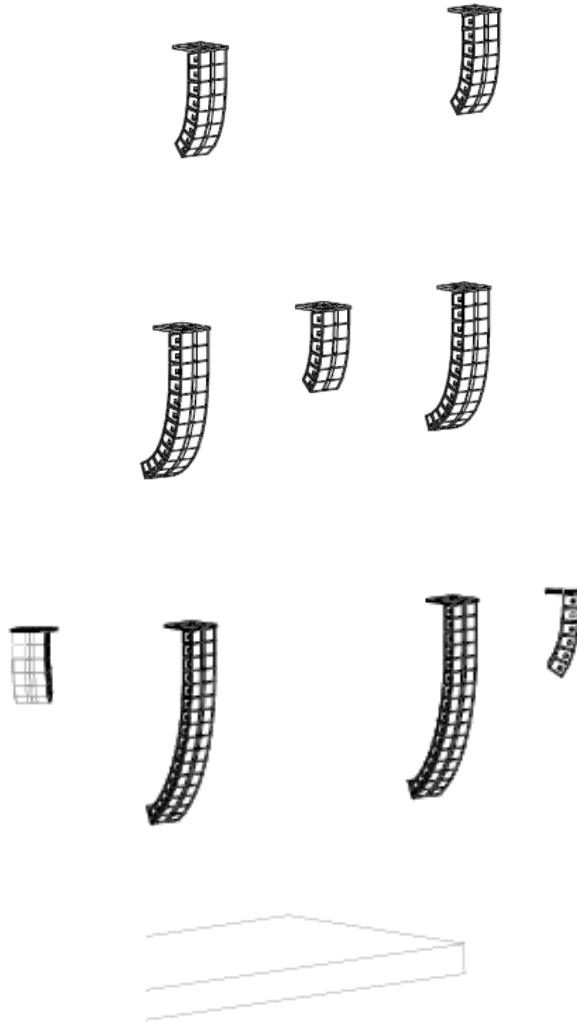
συναυλιακή  
κάλυψη



κάλυψη για  
πλατιά σκηνή



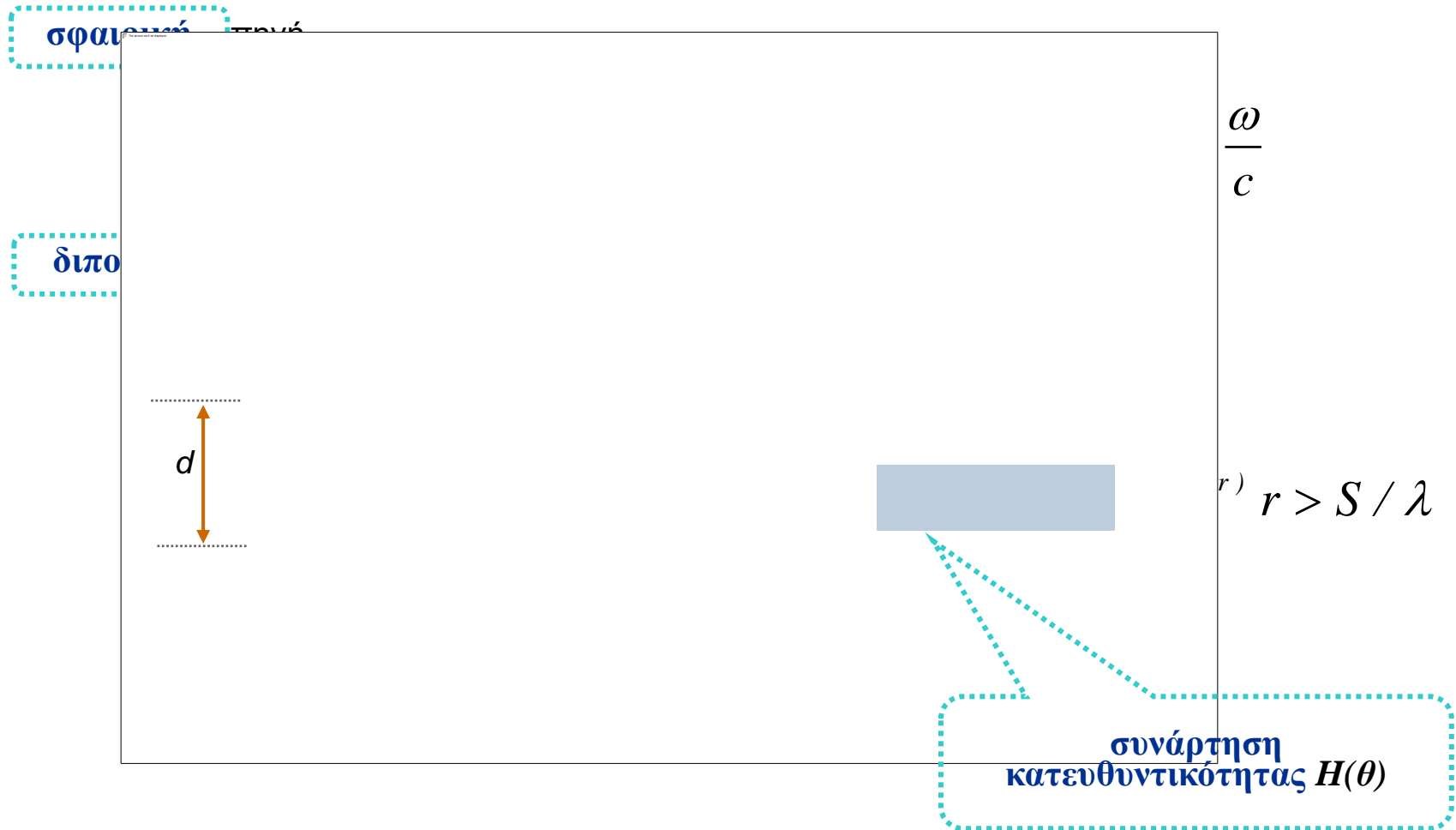
# κατευθυντικότητα ηχείων - πηγών



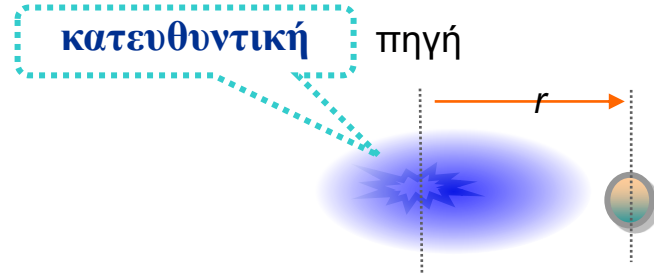
αναρτημένες  
συστοιχίες J-  
shaped

**συστοιχίες ηχείων**

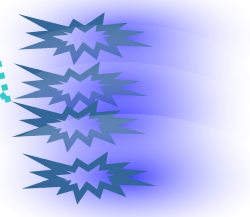
# κατευθυντικότητα ηχείων – συστοιχίες πηγών



# κατευθυντικότητα ηχείων – συστοιχίες πηγών



πολλές  
κατευθυντικές  
πηγές



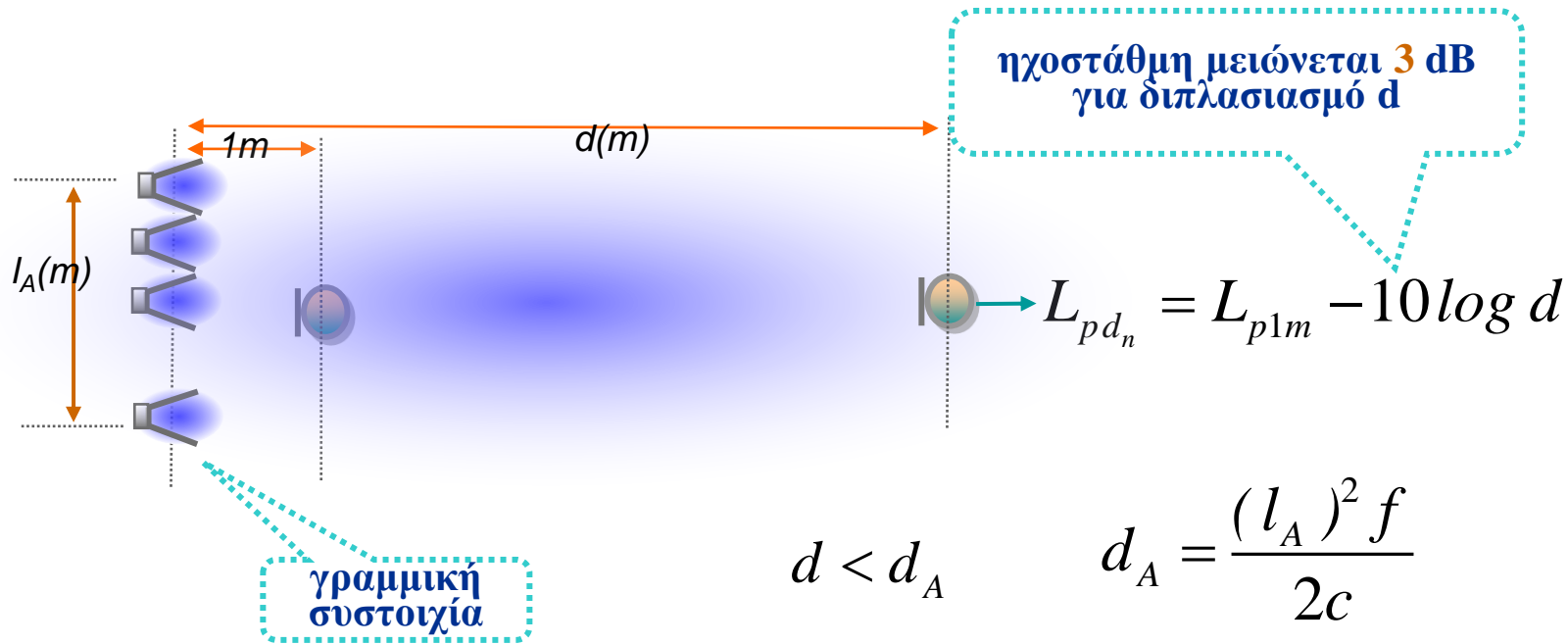
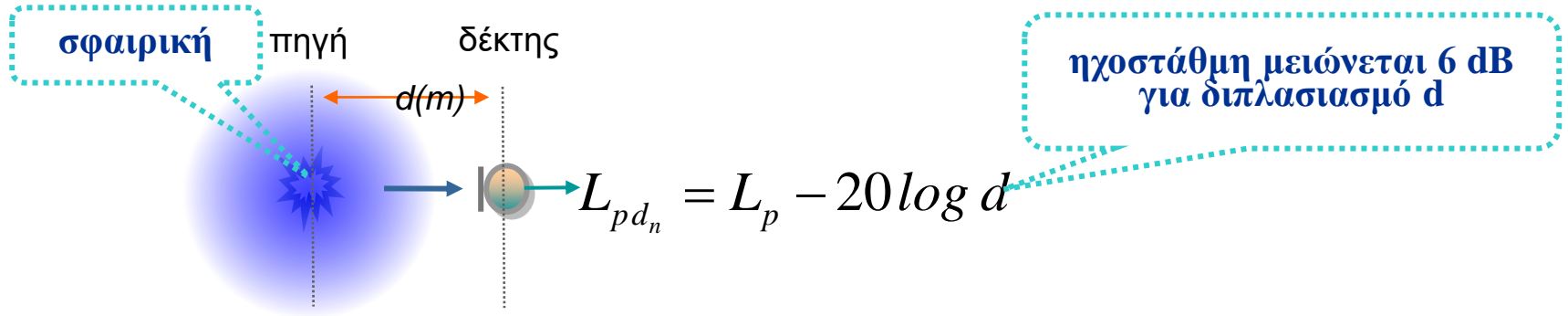
συνάρτηση  
κατευθυντικότητας  $H(\theta)$

$$p(r, t, \theta) = H(\theta) \frac{A}{r} e^{j(\omega t - kr)}$$

$$p(r, t, \theta) = \sum_{k=1}^N H_k(\theta) \frac{A}{r_k} e^{j(\omega t - kr_k)}$$

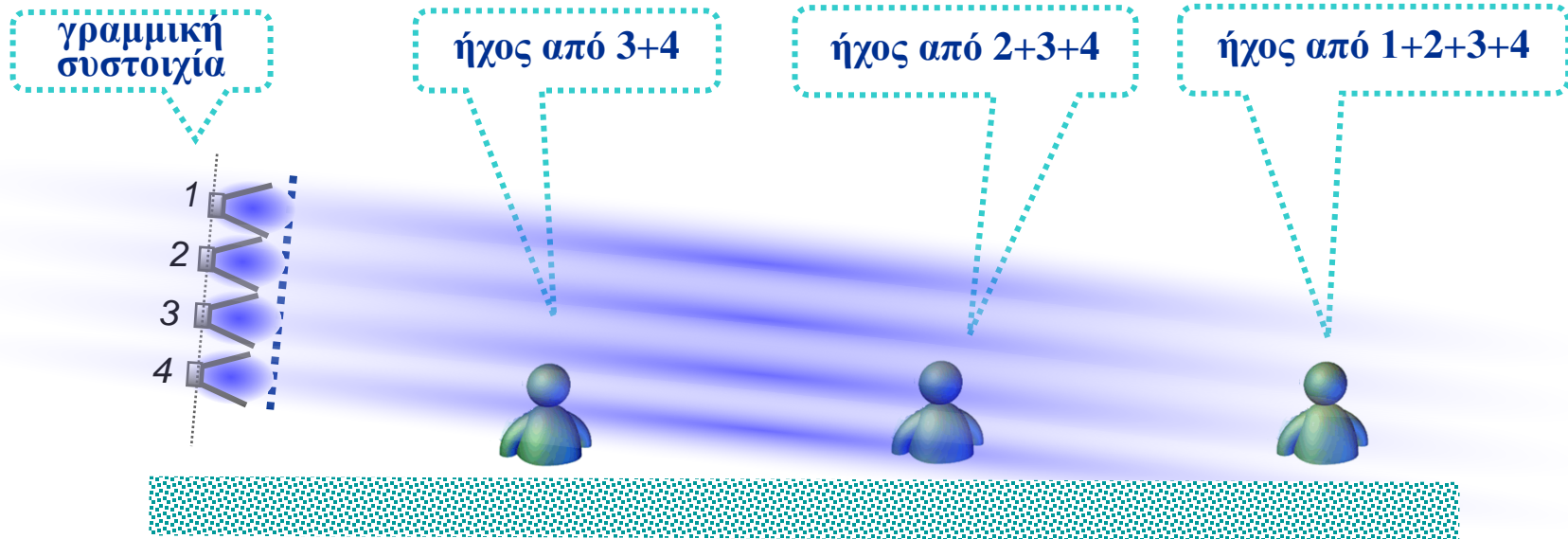
συστοιχία

# κατευθυντικότητα ηχείων - συστοιχίες

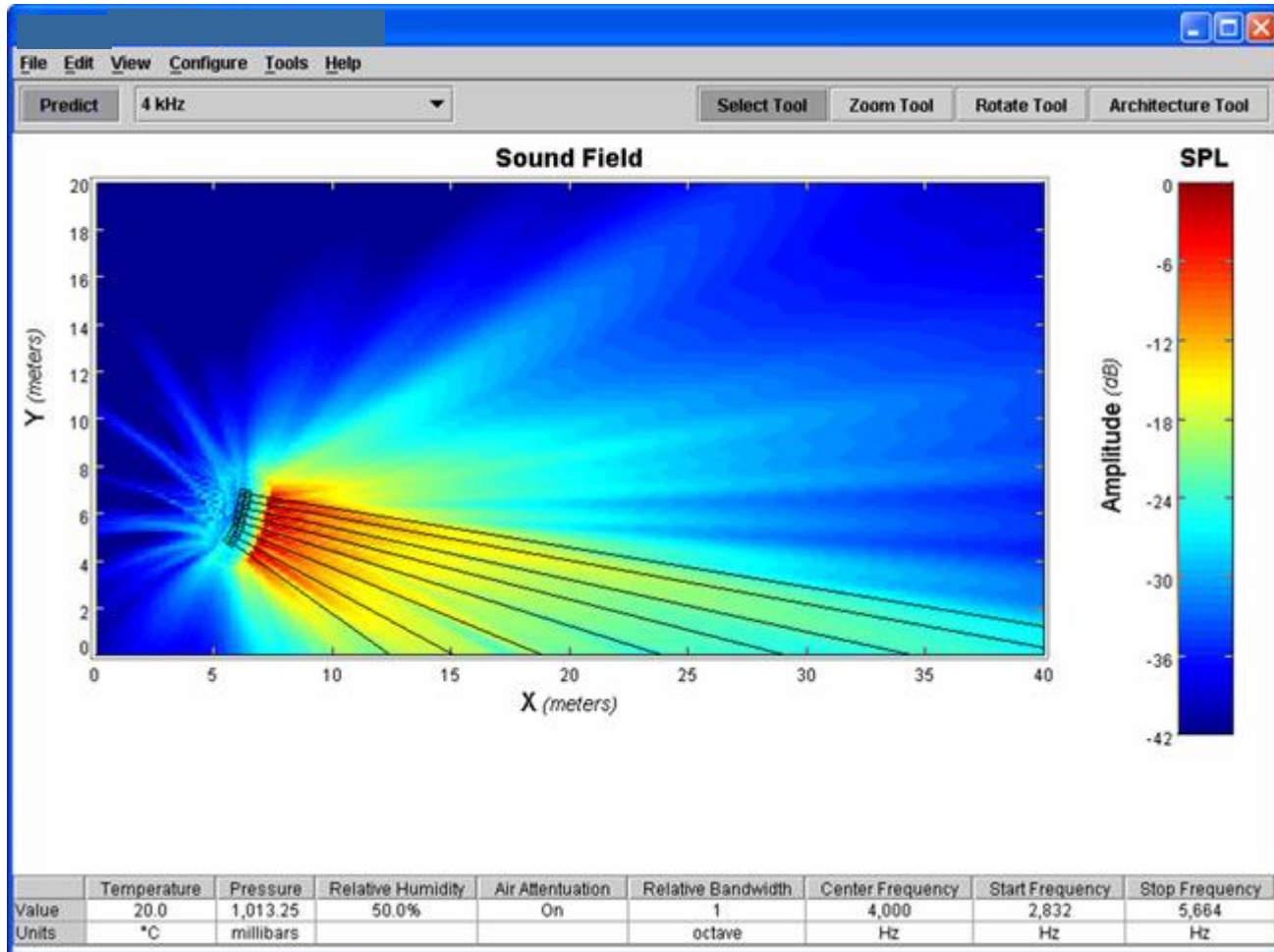




# κατευθυντικότητα ηχείων - συστοιχίες

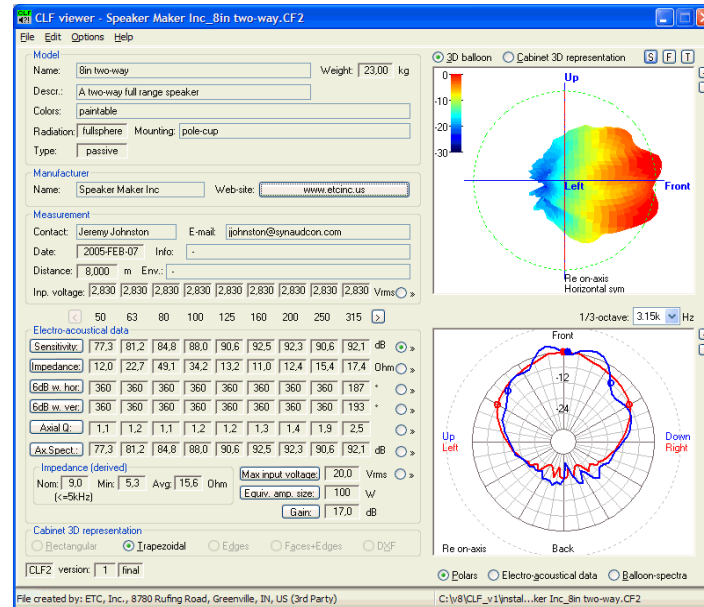
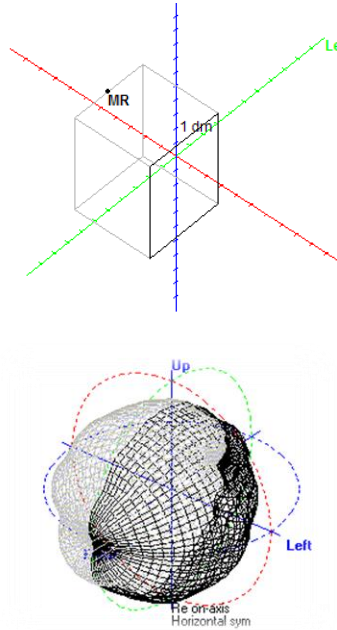


# κατευθυντικότητα ηχείων - συστοιχίες



# κατευθυντικότητα ηχείων - εργαλεία

η κατευθυντικότητα και στάθμη ευαισθησίας των ηχείων δίνεται και από τα αρχεία clf



ελεύθερο  
λογισμικό:



<http://www.clfgroup.org/clfdocuments.htm>

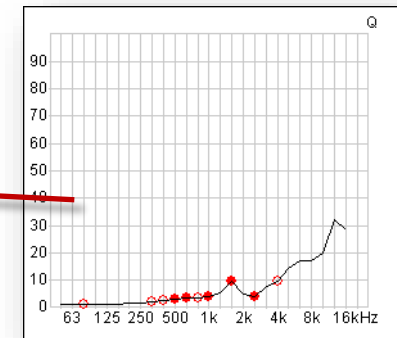
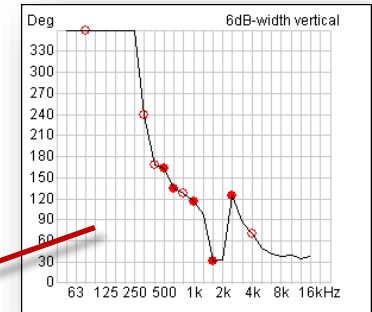
# κατευθυντικότητα ηχείων - εργαλεία

η κατευθυντικότητα και στάθμη ευαισθησίας των ηχείων δίνεται και από τα αρχεία clf

The screenshot shows the CLF software interface for a speaker model named IF2108. The interface is divided into several sections:

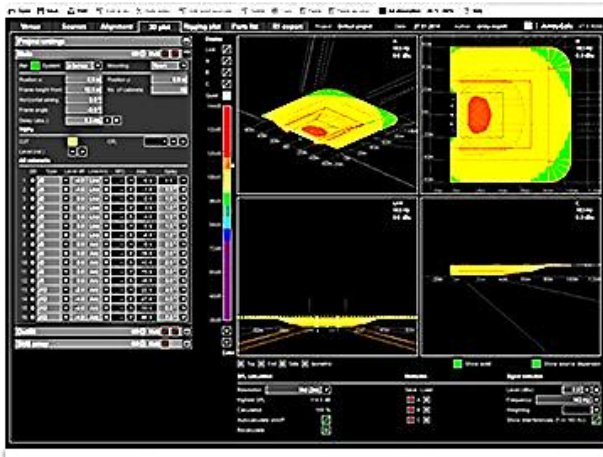
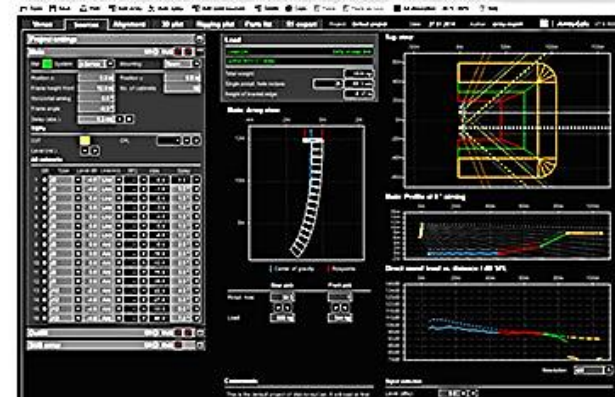
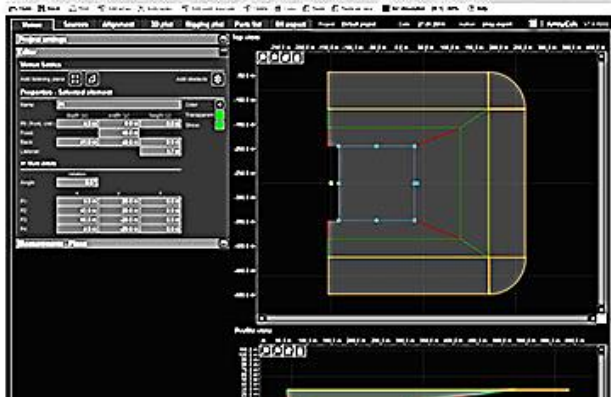
- Model:** Name: IF2108, Weight: 12.00 kg, Descr.: 2-Way Full-Range, Colors: Black, paintable, Radiation: fullsphere, Mounting: Pole cup, yoke mount, internal threaded fly-points, Type: passive.
- Manufacturer:** Name: Yamaha Corporation, Web-site: www.yamahaproaudio.com.
- Measurement:** Contact: Pat Brown, E-mail: pbrown@etcinc.us, Date: 2005-DEC-01, Distance: 8,000 m, Env.: Anechoic to 30ms, Inp. voltage: 2,830 Vrms.
- Electro-acoustical data:** A table of parameters across frequency bands (50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315 Hz).

Parameter	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Sensitivity	80,0	84,3	88,3	91,6	93,9	95,9	96,5	95,4	93,8
Impedance	19,2	20,5	9,9	17,6	30,4	11,1	6,9	7,0	8,6
6dB w. hor.	360	360	360	360	360	360	360	360	228
6dB w. ver.	360	360	(360)	360	360	360	360	360	(240)
Axial Q:	1,2	1,2	(1,2)	1,2	1,2	1,3	1,4	1,9	(2,3)
Ax. Spect.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Impedance (derived):** Nom.: 8,0 Ohm, Min.: 6,2 Ohm, Avg.: 10,7 Ohm (<=5kHz), Max input voltage: 28,0 Vrms, Equiv. amp. size: 196 W, Gain: 19,9 dB.
- Cabinet 3D representation:** Edges selected.
- 3D balloon:** A 3D view of the speaker with axes Up (Z), Left (Y), and Front (X). A 1.0m scale bar is shown.
- Electro-acoustical data:** A polar plot showing the speaker's directivity pattern. The plot is labeled with Front, Back, Up, Left, and Right. The y-axis is in dB, ranging from -50 to 10.



<http://www.clfgroup.org/clfdocuments.htm>

# ηχητική κάλυψη - εργαλεία

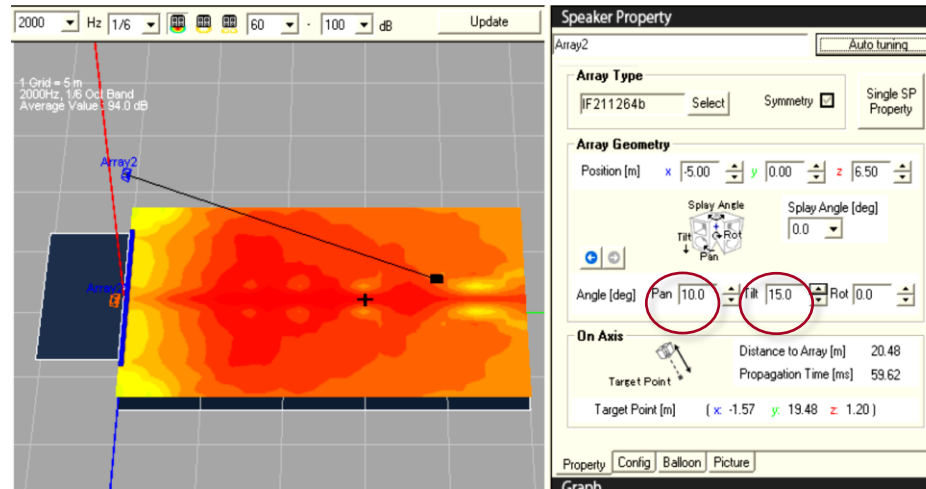
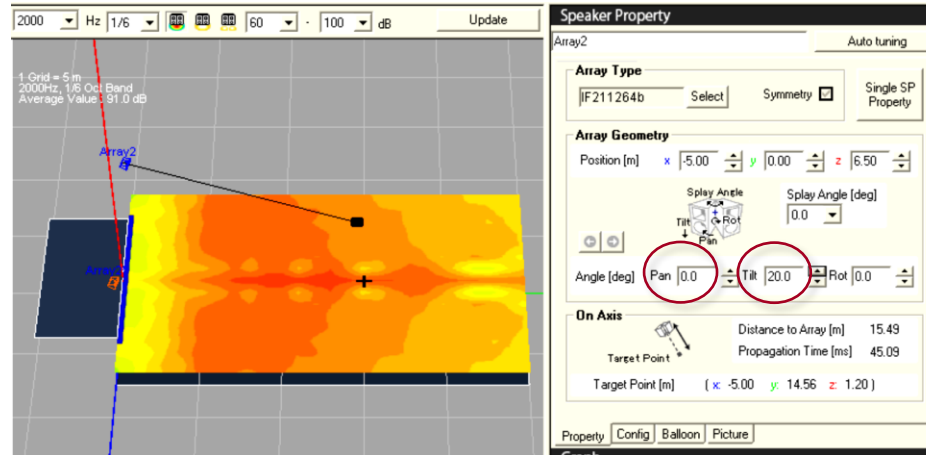


ελεύθερο  
λογισμικό:

d&b audiotechnik

<http://www.dbaudio.com/en/systems/details/arraycalc.html>

# ηχητική κάλυψη - εργαλεία

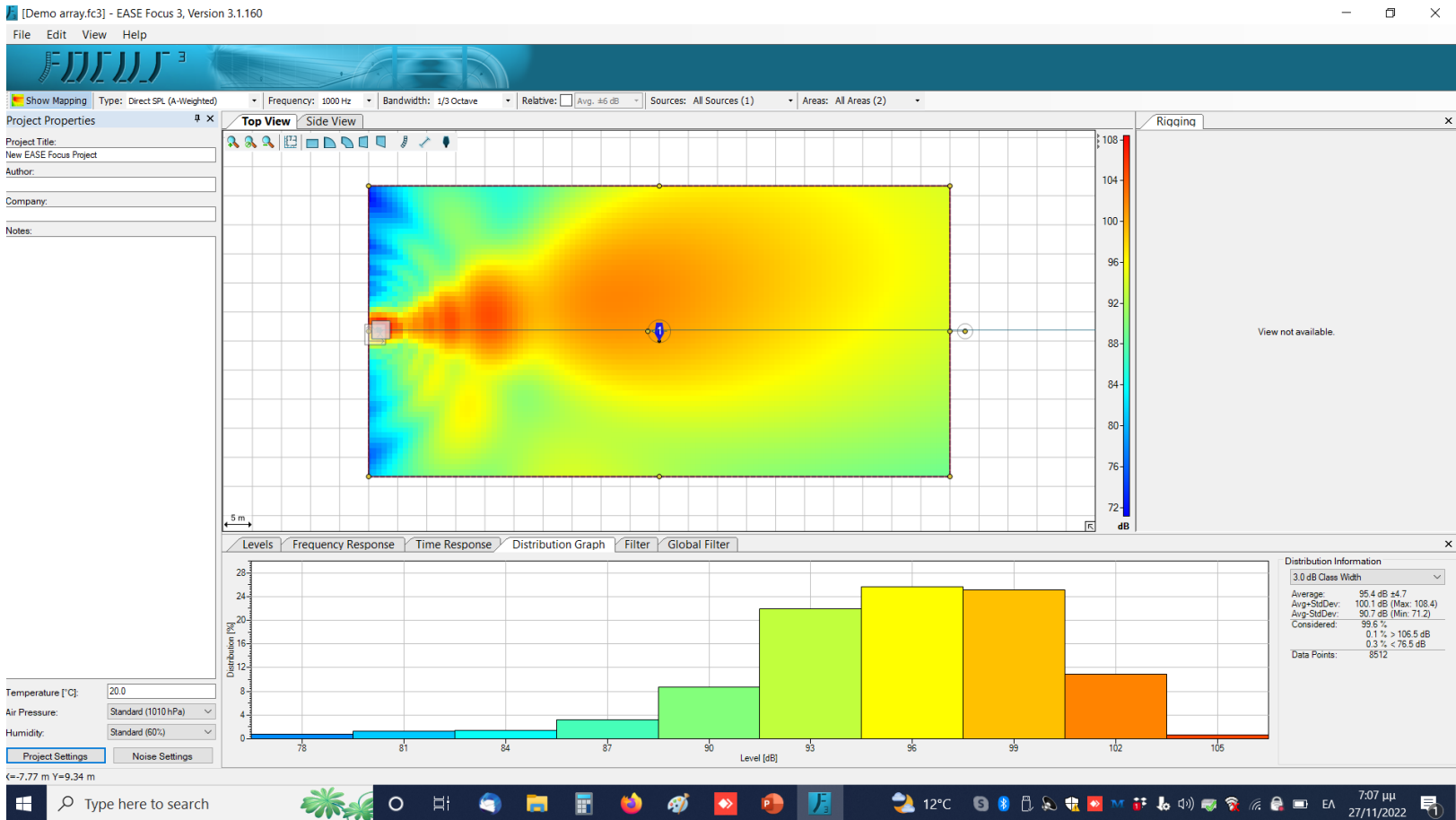


**ελεύθερο  
λογισμικό:**

**Yamaha Y-S3**

<https://usa.yamaha.com/products/proaudio/software/ys3/index.html>

# ηχητική κάλυψη - εργαλεία

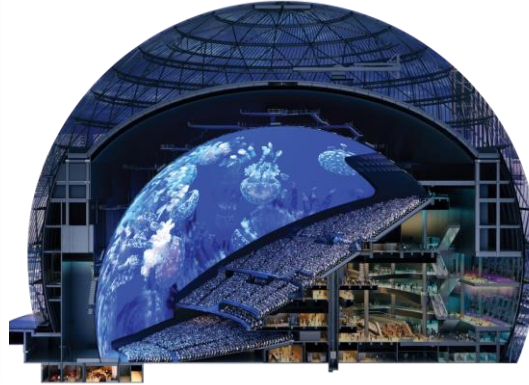
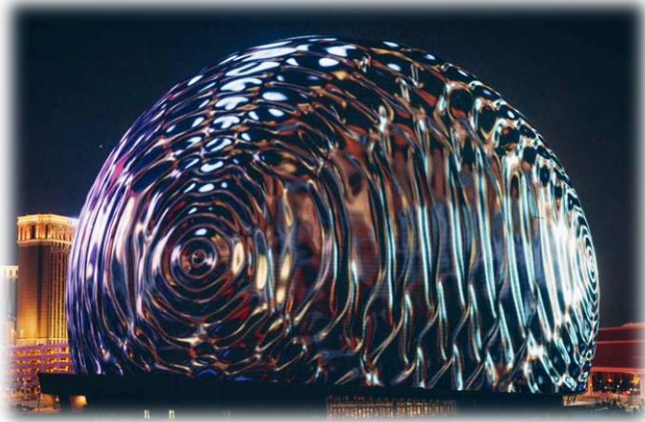


ελεύθερο  
λογισμικό:

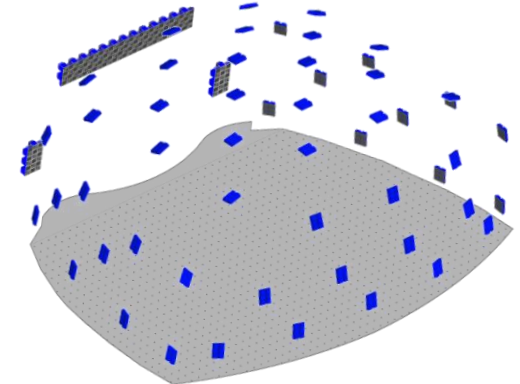
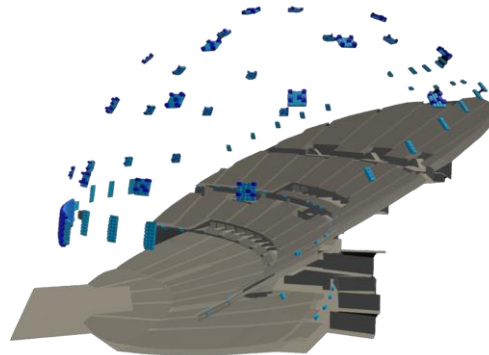
EASE Focus 3

<https://www.afmg.eu/en/ease-focus>

# ηχητική κάλυψη – συστοιχίες για 3D ήχο



Las Vegas Sphere:  
1600 ηχεία,  
167000 μεγάφωνα





# ηχητική κάλυψη – συστοιχίες για 3Δ ήχο

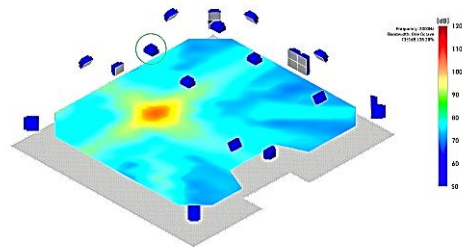
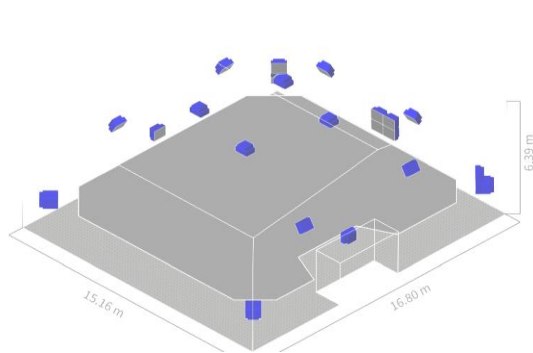


Figure 1: Focused sound spots with 38.20% coverage at 73±3 dBA (one octave, 2000 Hz)

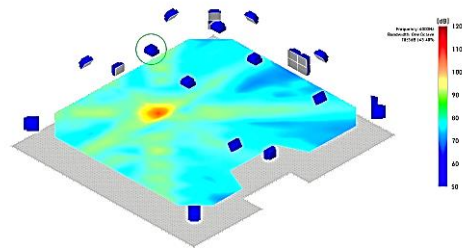


Figure 2: Focused sound spots with 43.40% coverage at 78±3 dBA (one octave, 4000 Hz)

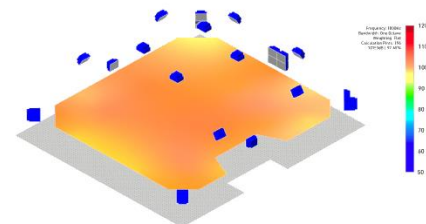
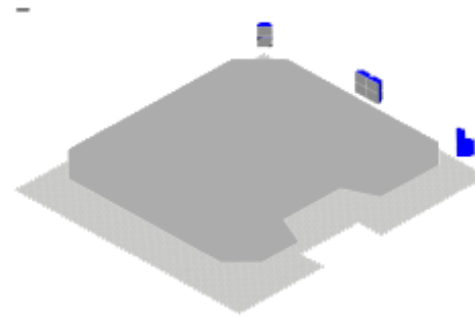
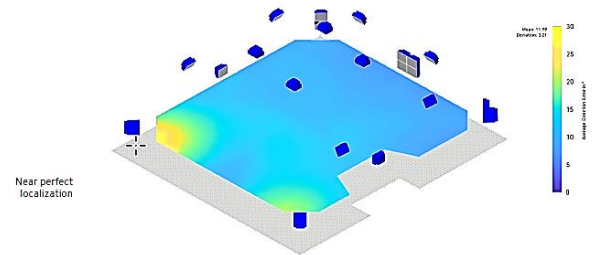


Figure 3: Homogeneous sound level distribution with 97.45% coverage at 10±3 dBA (one octave, 1000Hz)

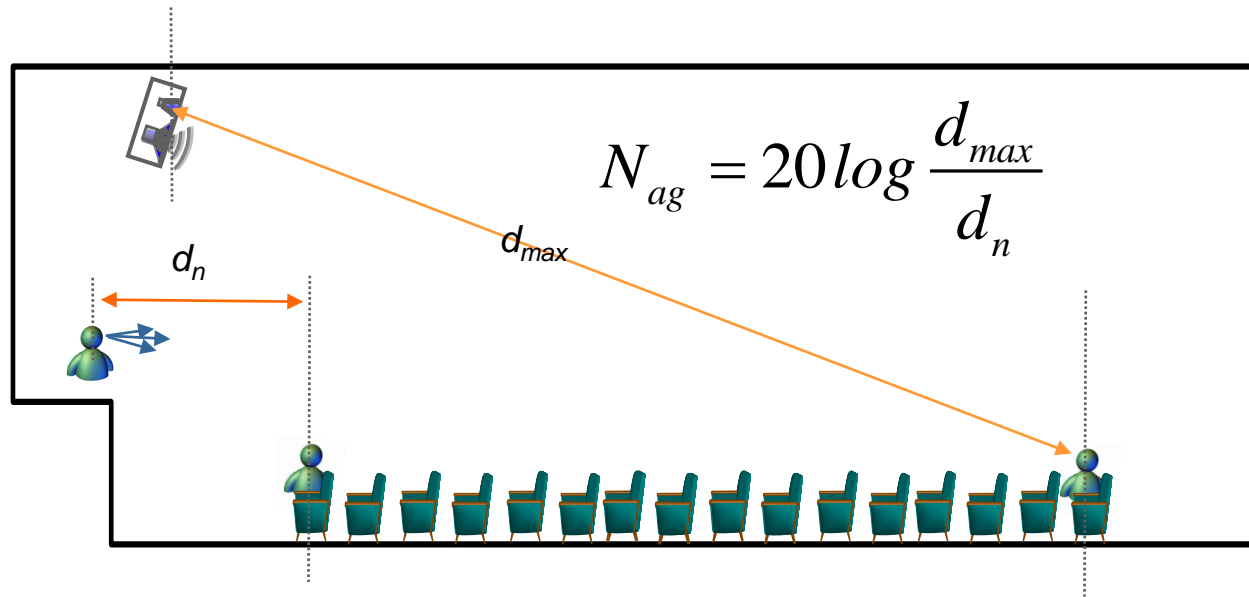


Near perfect localization

**κάλυψη χώρων με αντήχηση**

# ηχοσυστήματα σε κλειστούς χώρους

$$L_{pd(r,\theta)} = SW + 10\log W_{\text{H}\Lambda} + 10\log\left(\frac{Q(\theta)}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right) - 10\log\left(\frac{Q(\theta)}{4\pi} + \frac{4}{R}\right)$$



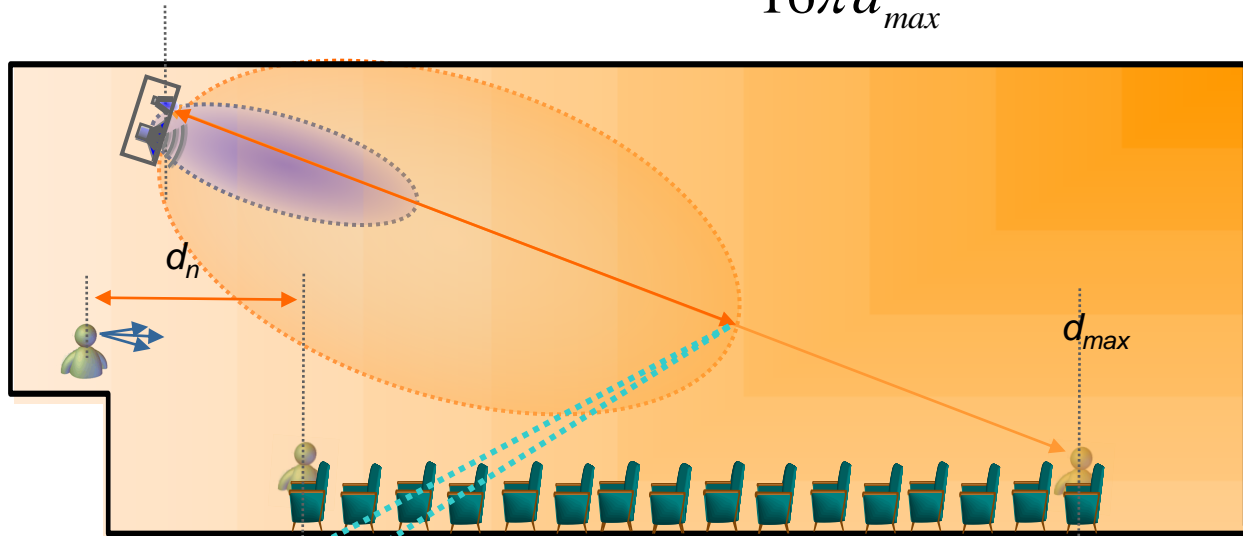
$$Q_{min} = \frac{200d_{max}^2 RT^2}{15V}$$

$$L_p = L_w + 10\log \left[ \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right]$$

$$L_p(D/R) = 10\log\left(\frac{QR}{16\pi d_{max}^2}\right)$$

# ηχοσυστήματα σε κλειστούς χώρους

$$L_p(D/R) = 10 \log\left(\frac{QR}{16\pi d_{max}^2}\right)$$



κρίσιμη  
απόσταση  $d_c$

$$L_p(D/R) = 10 \log\left(\frac{QR}{16\pi d_c^2}\right) = 0(dB)$$

# ηχοσυστήματα σε κλειστούς χώρους

$$L_{ptot(r,\theta)} = L_w + 10\log\left(\frac{Q(\theta)}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right) \quad \text{ή} \quad L_{ptot(r,\theta)} = 10\log\frac{W_{AK}}{W_{ref}} + 10\log\left(\frac{Q(\theta)}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right) \quad \text{dB}$$

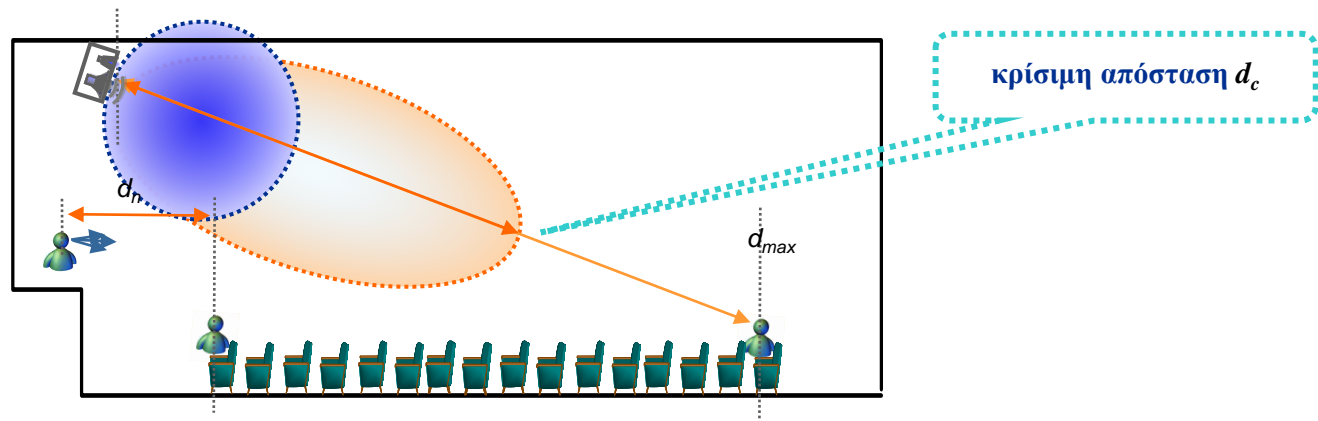
**όπου:** στάθμη εκπεμπόμενης ακουστικής ισχύος  $L_w$  (dB)  
 εκπεμπόμενη ακουστική ισχύς  $W_{AK}$  (watt)  
 δείκτης κατευθυντικότητας  $Q(\theta)$   
 σταθερά δωματίου  $R$

σταθερά δωματίου  $R = \frac{A}{1-\alpha}$

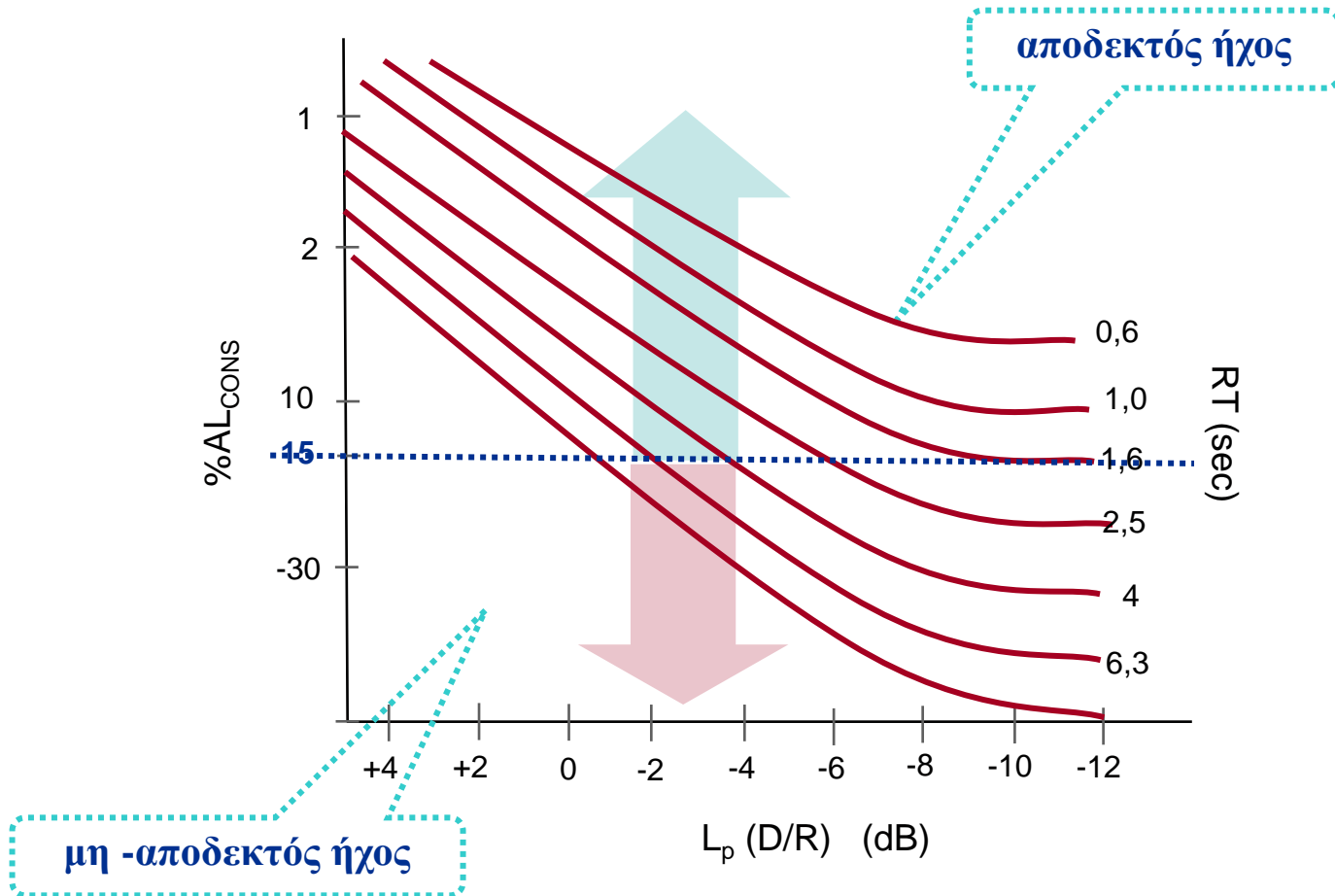
**ειδικά**  
 όταν η  
 πηγή είναι ηχείο

$$L_{ptot(r,\theta)} = SW + 10\log W_{HA} + 10\log\left(\frac{Q(\theta)}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right) - 10\log\left(\frac{Q(\theta)}{4\pi} + \frac{4}{R}\right) \quad \text{dB}$$

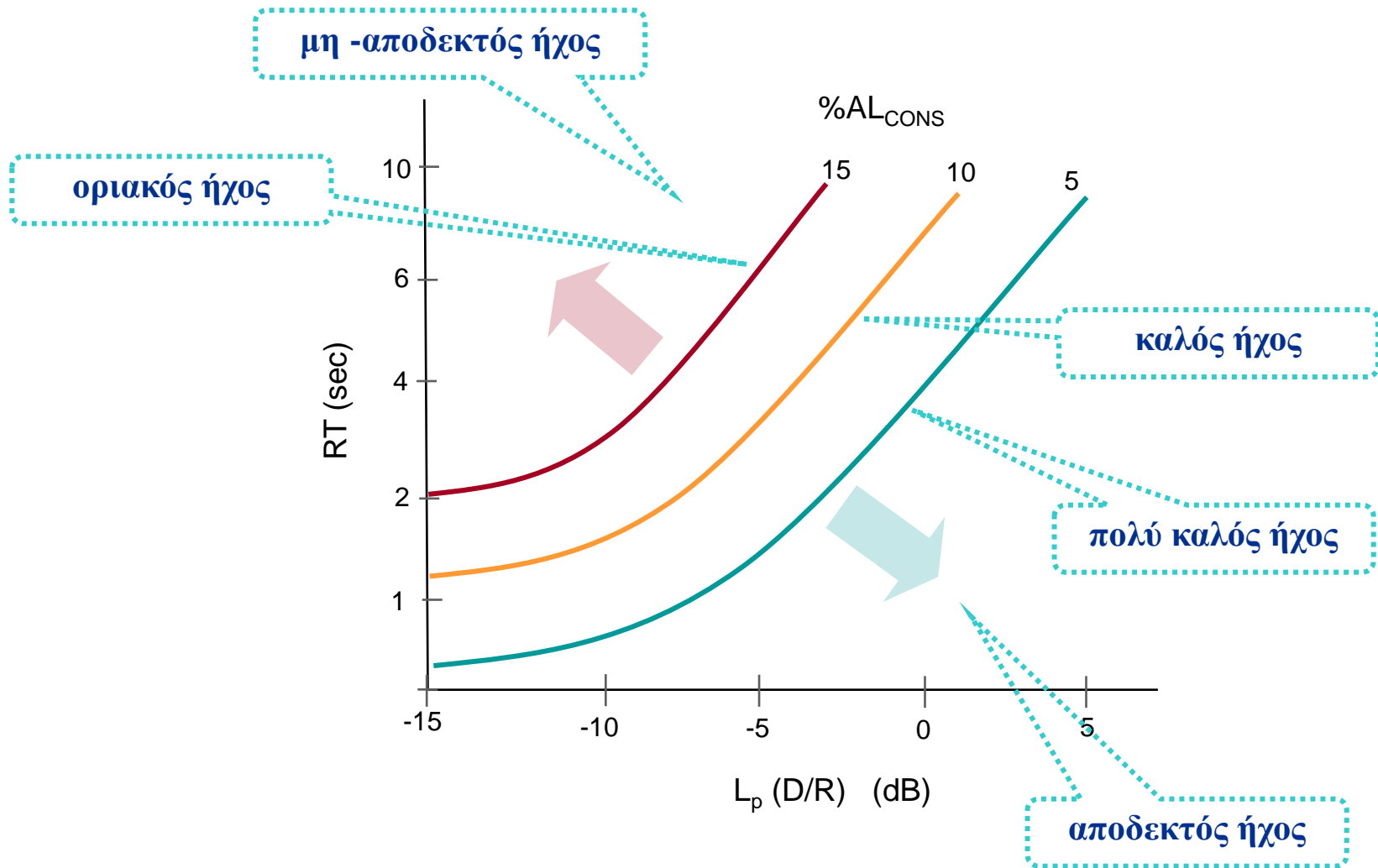
**όπου:** στάθμη ευαισθησίας ηχείου  $SW$  (dB/W/m)  
 ηλεκτρική ισχύς τροφοδοσίας  $W_{HA}$  (watt)



# ηχοσυστήματα σε κλειστούς χώρους

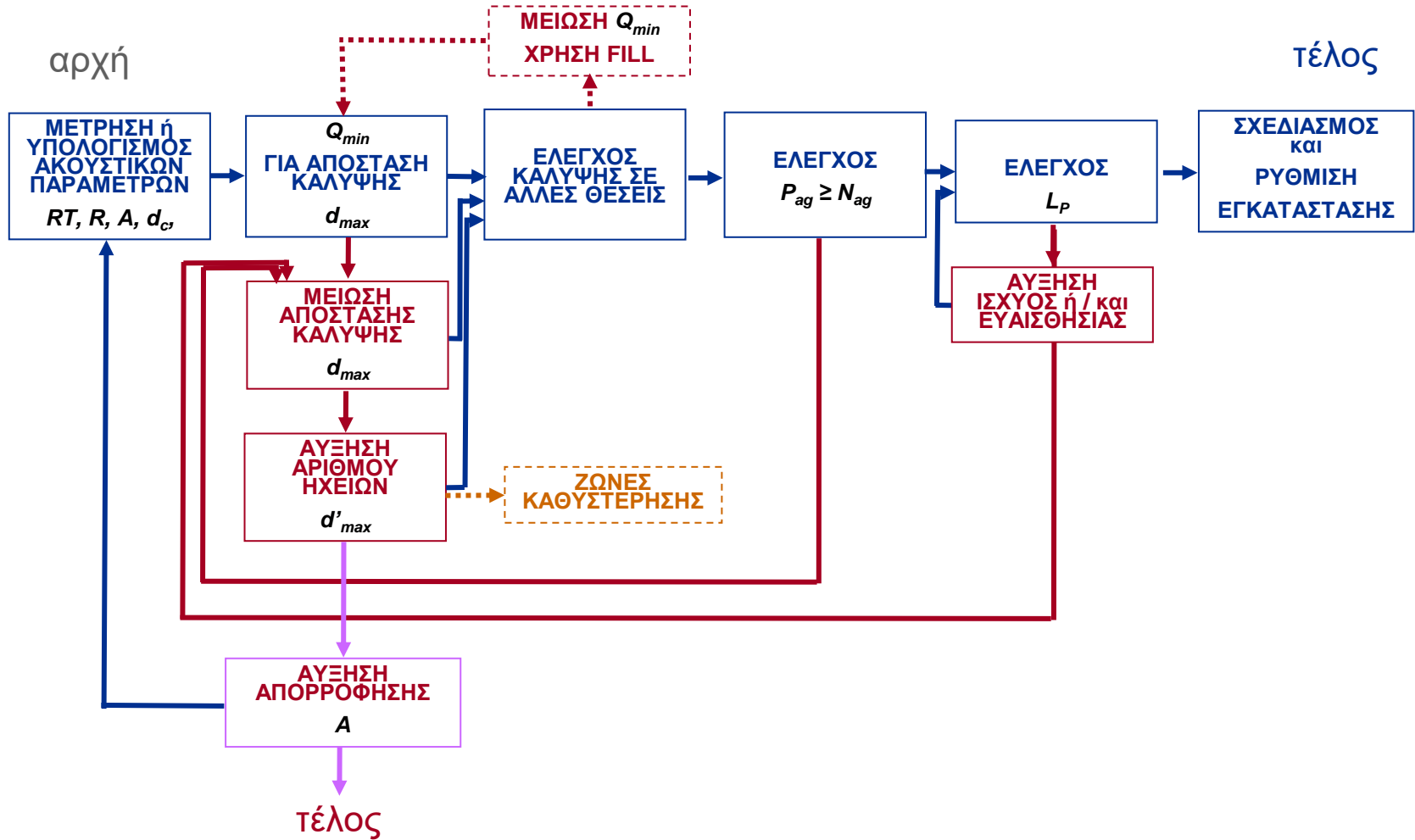


# ηχοσυστήματα σε κλειστούς χώρους



# ηχοσυστήματα σε κλειστούς χώρους

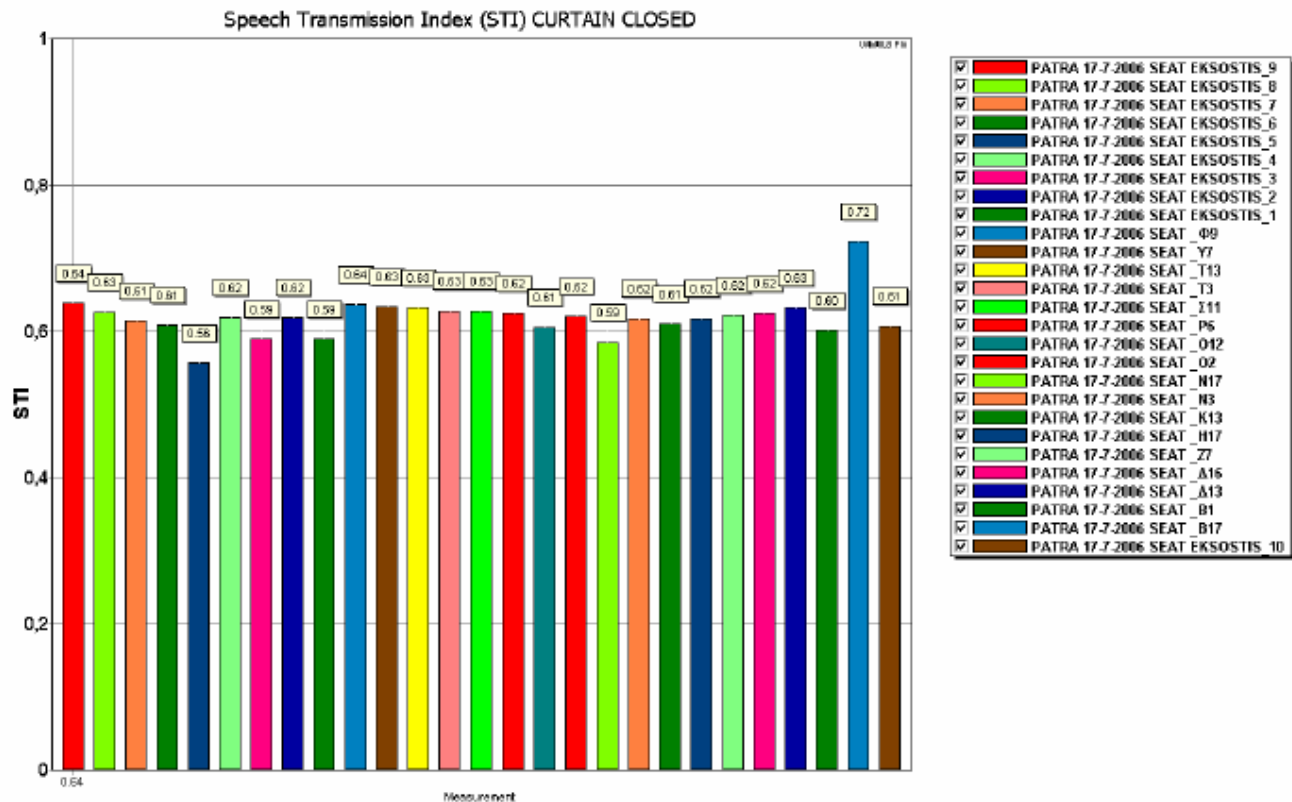
λογικό διάγραμμα σχεδιασμού





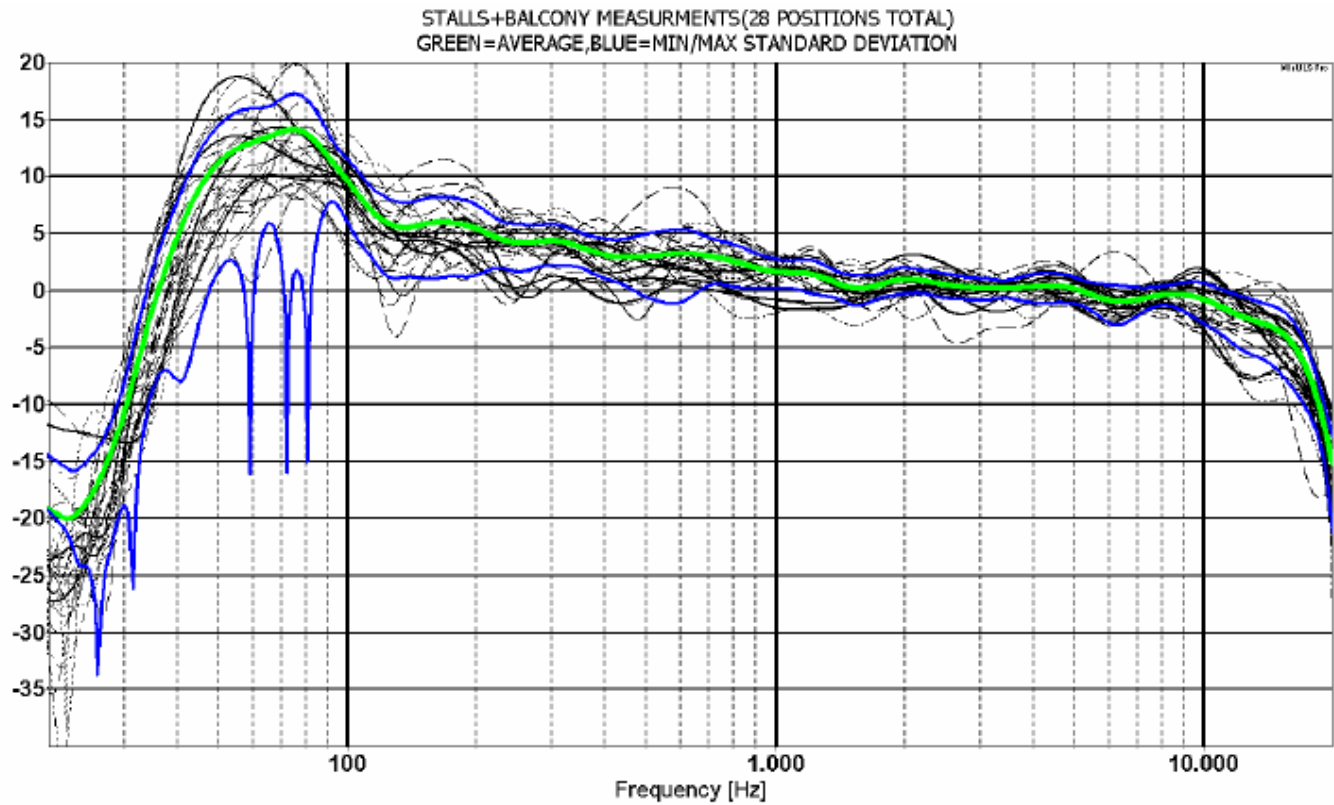
# ηχοσυστήματα σε κλειστούς χώρους

## μετρήσεις



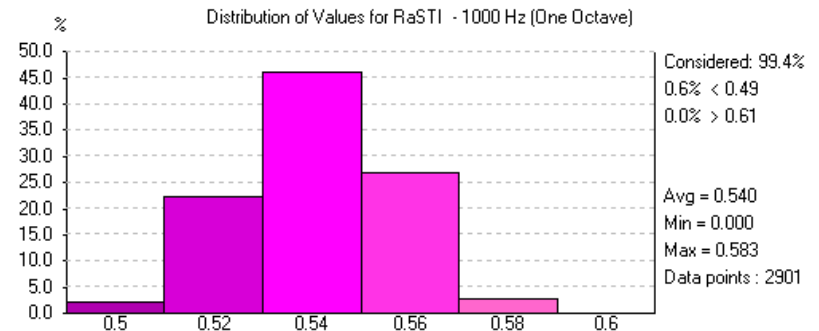
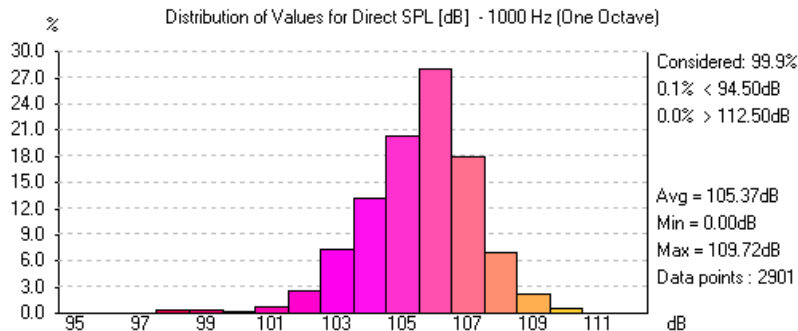
# ηχοσυστήματα σε κλειστούς χώρους

μετρήσεις

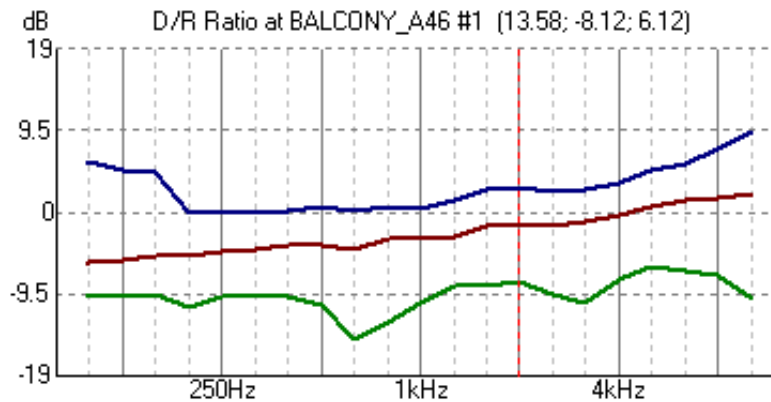


# ηχοσυστήματα σε κλειστούς χώρους

## υπολογισμοί



(c) EASE 4.1 / PATRAS UNIV CONFERENCE CENTER / 3/2/2006 3:34:02 PM / Omikron Control SA K(c) EASE 4.1 / PATRAS UNIV CONFERENCE CENTER / 3/2/2006 3:38:46 PM / Omikron Control SA Kal



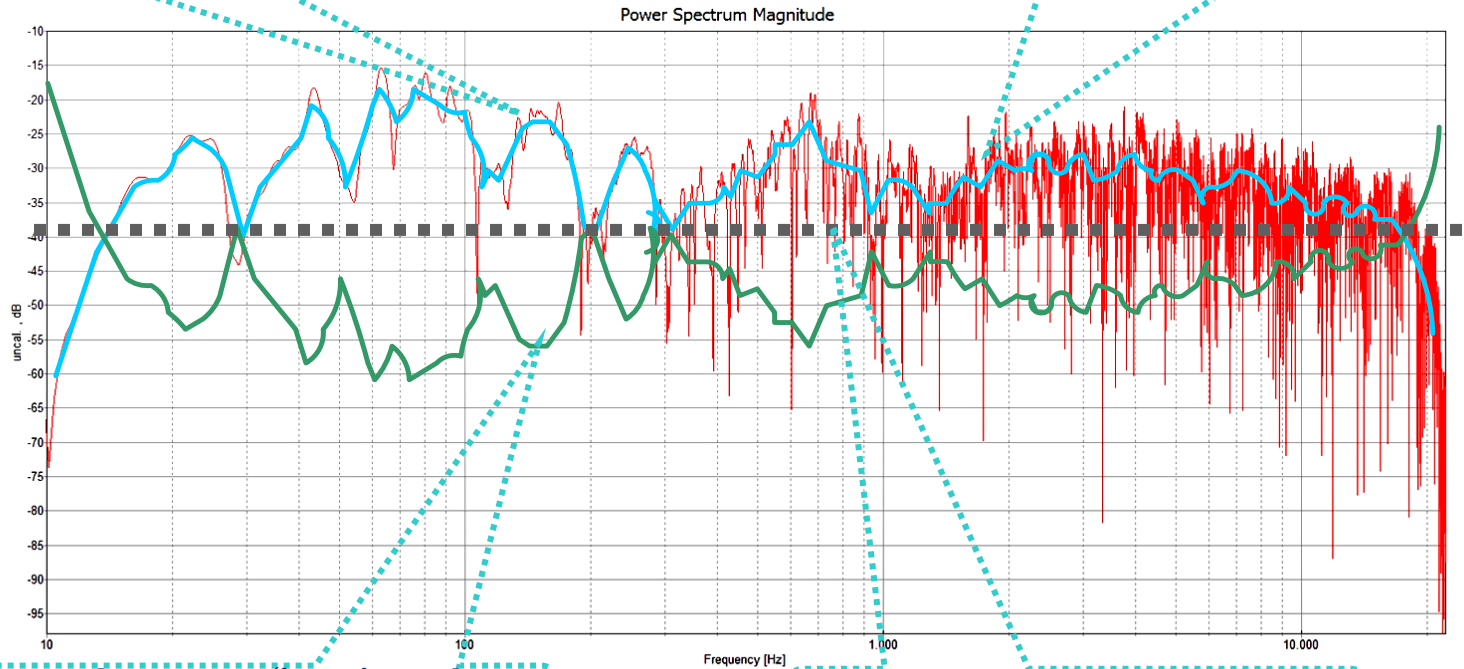
(c) EASE 4.1 / PATRAS UNIV CONFERENCE CENTER / 3/2/2006 3:39:48

**ισοστάθμιση ηχοσυστημάτων**

# ισοστάθμιση απόκρισης χώρου - ηχοσυστήματος

εξομαλυνμένη απόκριση

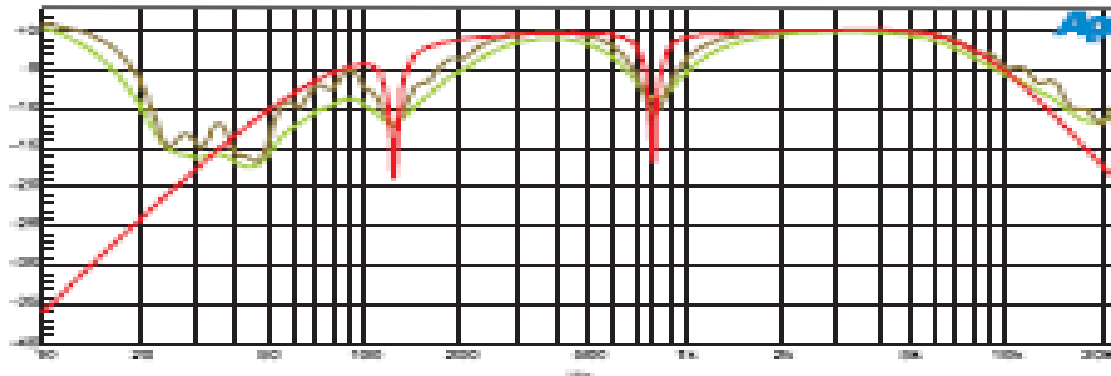
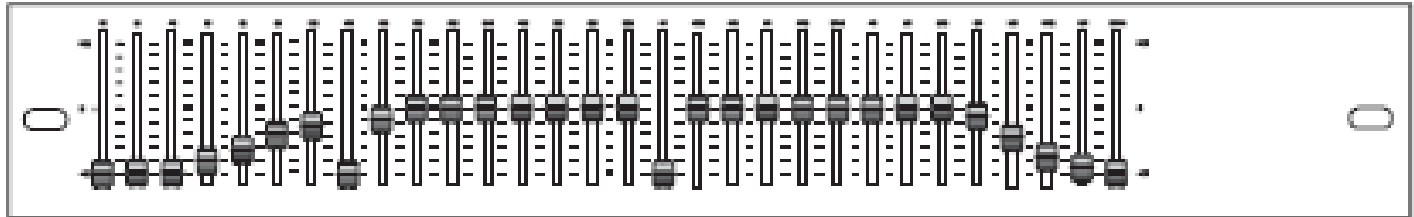
απόκριση χώρου - ηχοσυστήματος



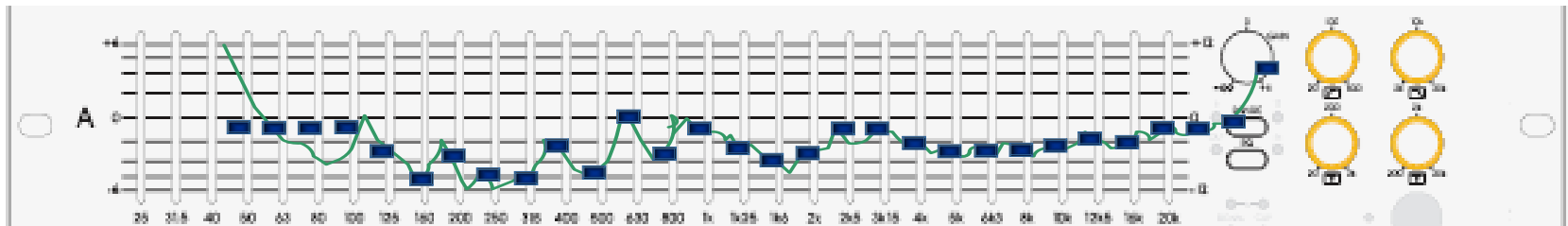
αντίστροφη εξομαλυνμένη  
απόκριση

ισοσταθμισμένη  
εξομαλυνμένη απόκριση

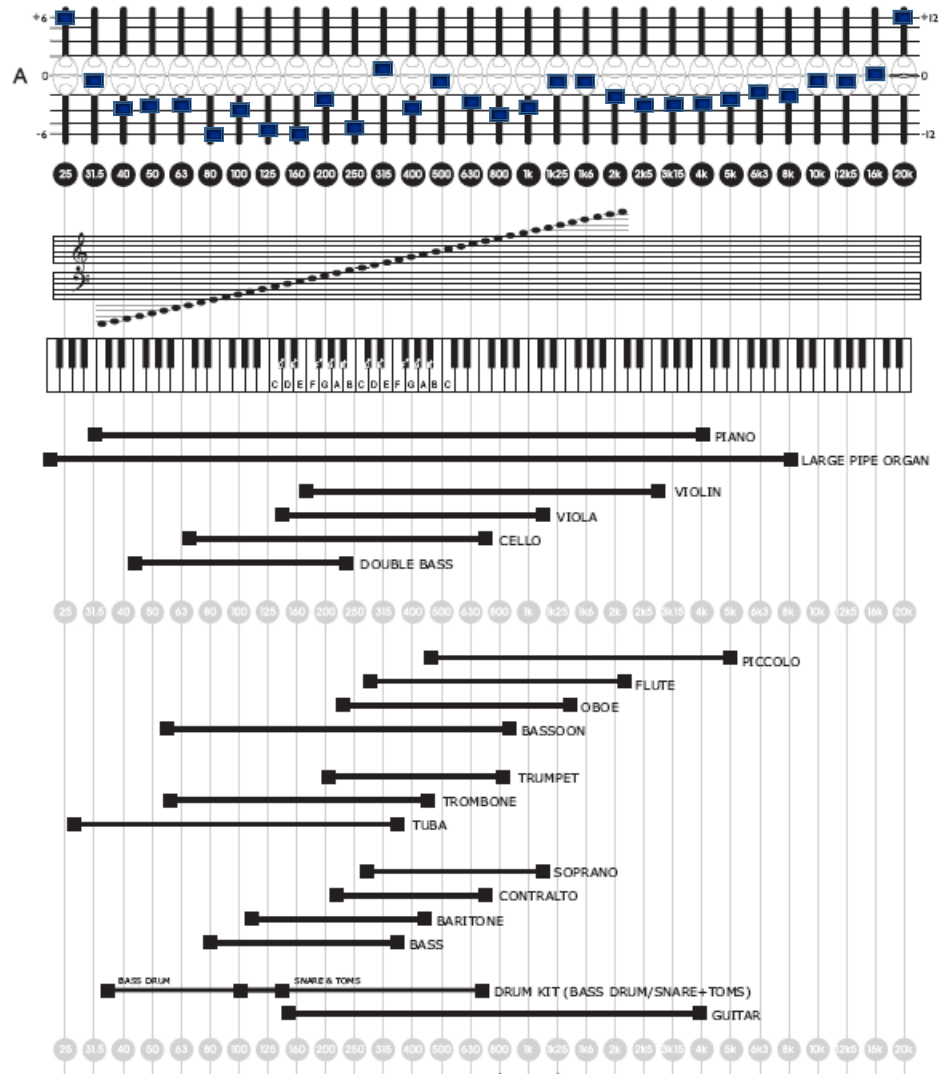
# ισοστάθμιση απόκρισης χώρου - ηχοσυστήματος



# ισοστάθμιση απόκρισης χώρου - ηχοσυστήματος

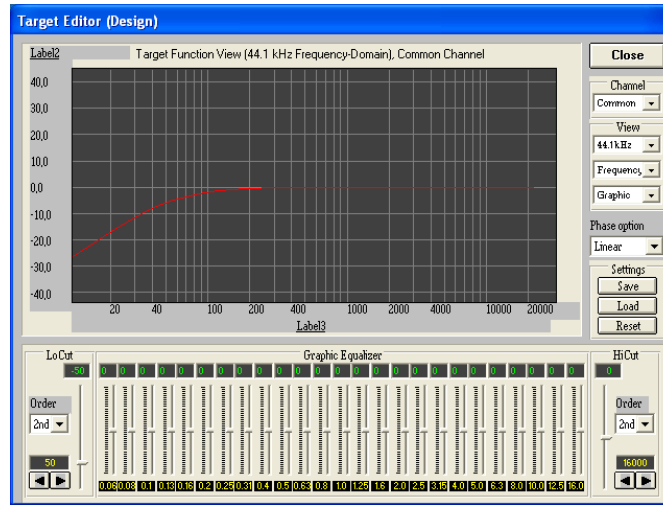


# ισοστάθμιση απόκρισης χώρου - ηχοσυστήματος

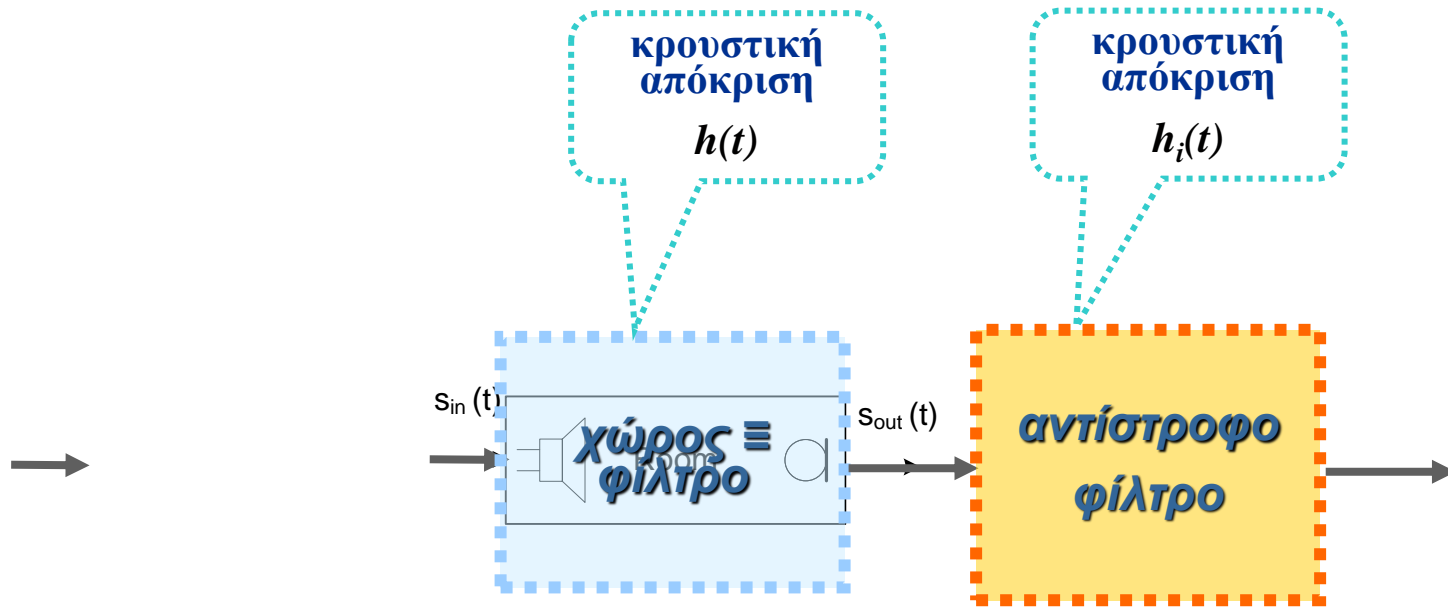




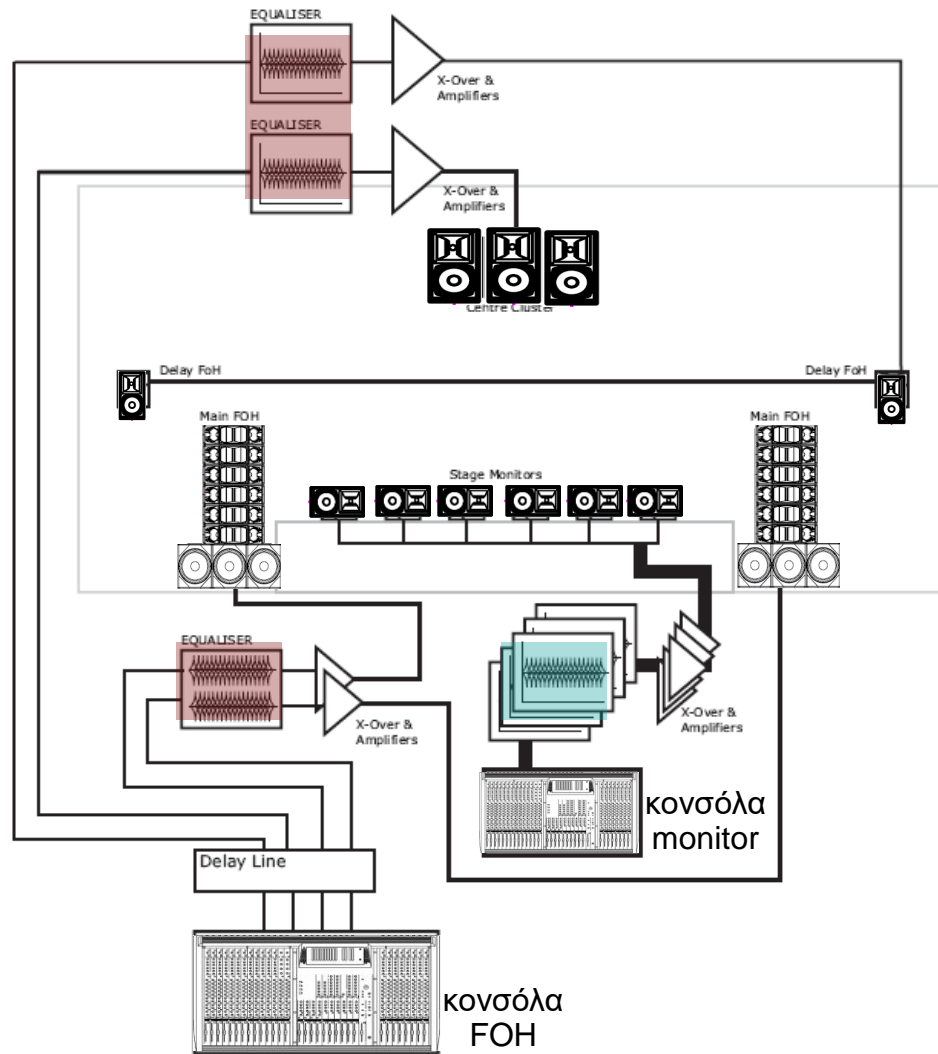
# ισοστάθμιση απόκρισης χώρου - ηχοσυστήματος



# ισοστάθμιση απόκρισης χώρου - ηχοσυστήματος



# ισοστάθμιση απόκρισης χώρου - ηχοσυστήματος





**ομάδα τεχνολογίας ήχου & ακουστικής**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΝΣΥΡΜΑΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

*<http://www.wcl.ece.upatras.gr/AudioGroup/>*