دانشگاه شهید بهشتی

آکو ب در معماری

دوم

از :
پروفسور دکتر ویلی‌فورر
و
پروفسور آنسلم‌لائوبر
استادان دانشگاه زوریخ (سوئیس)
برگردان به فارسی
از :
دکترمهندس غلامعلی لیاقتی

۲۵

فـهـرست

گفـتار یکـم :
چندی ها و استانداردهای آکوستیکی

۱ ــ میدان آکوستیک	۱۶
ــ فشار آوا	۱۷
ــ بس آمد آوا (فرکانس)	۱۹
ــ تندی آوا	۲۰
ــ تندی انتشار آوا	۲۱
ــ پهنای موج	۲۲
۲ ــ سرچشمه های آوا	۲۳
ــ انتشار آوا در هوا	۲۴
ــ انتشار آوا در پیکر ها	۲۴
۳ ــ انتشار آوا در فضا	۲۵
ــ کاهش هندسی انتشار	۲۷
ــ کاهش افزون تر	۲۸
ــ باز دارنده ها	۳۱
ــ باد و دما	۳۴
۴ ــ گونه های آوا	۳۶
ــ نغمه	۳۷

ـ نوا	۳۷
ـ غوغا	۳۸
ـ آنالیز آوا	۴۳
۵ ـ شنوائی	۴۷
ـ گوش	۴۷
ـ سنجش شنوائی :	۴۹
. فون و سون	۴۹
ـ محاسبه بلندی آوا با آنالیز آن	۵۳
ـ تراز غوغای محسوس	۵۷
ـ آزار غوغا	۵۷
۶ ـ تراز آوا	۵۹
ـ دستگاه تراز سنج آوا	۵۹
ـ جدول تراز آوا :	۶۱
. دانش همگانی	۶۱
. غوغای ترافیک هوائی	۶۲
. غوغای کارخانه ها و ساختمان ها	۶۵
. غوغای ترافیک خیابانی	۶۸
. غوغای اتوبان و آزار آن	۷۰
. غوغای کوی و برزن و کار و پیشه	۷۳
. غوغای راه آهن	۷۹
. غوغای ترانسفورماترها	۸۰
۷ ـ آزار غوغا	۸۳

— مرزهای آزار :

۸۵ . دستورهای ISO

۸۶ . تراز مجاز آزار

۸۷ — دستورهای ویژه :

۸۸ . غوغای خیابان و جاده

۸۹ . غوغای تهویه

۹۱ . غوغای محیط

۹۳ . غوغای بنا

۹۳ غوغای ترانسفورماتر

۹۴ . غوغای تیر اندازی

۹۴ . غوغای بیشینه مجاز و غوغای همیشگی در بنا

۹۷

گفتـار دوم

آکوستیک در تالار

۱ — راهنما و پایه های تئوری

۹۸ — بررسی در آکوستیک هندسی

۹۸ — بررسی در آکوستیک استاتیکی

۱۰۰ — بررسی در تئوری امواج آکوستیکی

۱۰۵ ۲ — تباهیدن آکوستیکی (ابسورپسیون)

۱۰۹ — پایه های علمی و راهنمائی

۱۰۹ — تباهنده های پورزدار (آبسوربنت های پوروز) :

۱۱۱

.نمونه هائی از تباهنده پورزدار ۱۱۲

. تباهنده های پورزدار پشت باز ۱۱۵

. تباهنده های پورزدار رنگ شده ۱۱۵

. تباهنده های پورزدار با ضریب تباهی بزرگ ۱۱۶

. تباهنده های پورزدار ساختگی (شیمیائی) ۱۱۷

ـ تباهنده های پورزدار با روکش سوراخدار ۱۱۸

ـ آکوستیک تایل ۱۲۰

تباهنده های پوسته ای ۱۲۰

ـ تباهنده های کاواکی (رزوناتر) ۱۲۲

ـ نمونه ای از ضرائب تباهی تباهنده های آکوستیکی ۱۲۴

ـ ضریب تباهی تماشاگران ۱۲۷

۳ ـ طـراحـی تالارها ۱۲۹

ـ گنجایش ۱۲۹

ـ فرم ۱۳۰

ـ همگنی ۱۳۷

ـ پس آوا ۱۴۴

. برای گفتار ۱۴۴

. برای موزیک ۱۴۵

ـ نمونه هائی از محاسبه پس آوا برای : ۱۴۹

. تالار کنسرت ۱۵۰

. سینما ۱۵۲

. کلیسا ۱۵۳

۴ ــ سنجش های آکوستیکی در تالارها : ۱۵۴

ــ سنجش پس آوا ۱۵۴

ــ سنجش ضریب تباهی ۱۵۹

ــ سنجش همگنی ۱۶۴

۵ ــ طـرح تــالارها ۱۶۷

ــ کلاس درس ۱۶۷

ــ تالارهای همایش و سرود خوانی : ۱۶۸

. تالار سرود آموزشگاه موریفلد (برن) ۱۷۱

. تالار فارل (بیل) ۱۷۳

ــ تالارهای دانشگاهی : ۱۷۶

. تالار بزرگ فیزیک در دانشکده فنی زوریخ ۱۷۷

. تالار فیزیک دانشگاه زوریخ ۱۷۸

ــ آمفی تآتر : ۱۸۱

. اودیتوریوم موزه مترو پلیتن (نیویورک) ۱۸۱

. اودیتورم کرسگ (دانشگاه ام . آی . تی) ۱۸۳

ــ ورزشگاه ۱۸۵

ــ پارلمان : ۱۸۶

. پارلمان ملی (برن) ۱۸۶

. پارلمان بزرگ (برن) ۱۸۸

. (هاوس چمبر) و (سنات چمبر) واشینگتن ۱۸۸

ــ تالار کنسرت : ۱۸۹

. تالار موزیک بازل ۱۹۲

. تالار کنسرت " موزیکا " (لاشودوفون) ۱۹۴

. تالار کنسرت تورکو (فنلاند) ۲۰۱

. تالار کنسرت رویال فستیوال هول (لندن) ۲۰۴

ـ تآتر ها (اپرا) : ۲۰۷

. تآتر اسکالا (میلان) ۲۱۰

. تآتر آسایشگاه (بادن) ۲۱۳

. تآتر دوبولیو (لوزان) ۲۱۵

. مموریال هول اوبرلین (اوهایو) ۲۱۹

ـ کلیسا : ۲۱۹

. کلیسای مارکوس (برن) ۲۲۲

. کلیسای استفانوس (برن) ۲۲۴

. کلیسای پروتستان در کلوتن ۲۲۵

ـ سینما : ۲۲۷

. سینمای اوسترموندیگن (برن) ۲۲۸

. سینمای آریستون (بلینسونا) ۲۲۹

. سینمای استودیو ۴ (زوریخ) ۲۳۲

ـ استودیوهای رادیو تلویزیون : ۲۳۲

ـ تالارهای بزرگ همایش : ۲۳۸

. رادیوسیتی موزیک هول (نیویورک) ۲۳۸

. تالار کنگره (بازل) ۲۳۸

. تالار آسایشگاه (برن) ۲۴۲

ـ پاوی یون موزیک ۲۴۶

. پاوی یون اتل بروک (لوگزامبورگ) ۲۴۷

گفتار سوم

آکوستیک در ساختمان

۱ ــ میرایش امواج آکوستیکی در هوا ۲۵۰
ــ راهنما و پایه های علمی ۲۵۰
ــ تفاوت میرائی و تباهی ۲۵۱
ــ راههای انتقال آوا ۲۵۲
ــ سنجش میرائی آکوستیکی در هوا ۲۵۳
ــ میرائی آوای هوائی در اله مان های ساختمانی ۲۶۰
ــ سازه های یک لایه ۲۶۰
ــ سازه های دو لایه ۲۷۵
ــ اله مان های میراینده گوناگون ۲۸۵
. درها ۲۸۶
. پنجره ها ۲۸۹
. کانالها و کاواکها ۲۹۱
. کانالهای تهویه ۲۹۲
. درزها ۲۹۵
۲ ــ میرایش آکوستیکی در پیکر ها (اجسام سخت) ۲۹۷
ــ رهنما و پایه های علمی ۲۹۷
ــ سنجش میرائی در پیکر ها ۳۰۰
ــ گزینش مصالح میراینده آوای پیکر ها در ساختمان ۳۰۵

ـ گزینش بس آمد مصالح میراینده ۳۰۸

ـ میرایش لرزه ماشینها و دستگاهها ۳۱۰

ـ میرایش آوای گام از سقف : ۳۱۲

. راههای آوای گام ۳۱۲

. سنجش آوای گام ۳۱۳

. میرایش آوای گام در سقف ۳۱۶

. کف شناور و کفهای نرم ۳۱۹

۳ ـ پیش گیری از غوغـا در ساختمانـها ۳۲۵

ـ راهنما ۳۲۵

ـ غوغای محیط ۳۲۶

ـ طرح بناها ۳۲۶

ـ استانداردهای میرایش آوا در هوا و پیکر های ساختمانی در :

. سوئیس ۳۲۹

. آلمان فدرال ۳۳۳

. اطریش ۳۳۳

. فرانسه ۳۳۳

. انگلسان ۳۳۴

. آمریکا ۳۳۵

. هلند ۳۳۵

. دانمارک و اسکاندیناوی ۳۳۶

ـ استانداردهای میرایش غوغا در دستگاههای فنی خانگی و پیشه ای :

. غوغای لوله کشی آب در خانه و لوازم بهداشتی ۳۳۸

. غوغای دودکش ها و آشپزخانه ها ۳۴۱

. غوغای آسانسور ۳۴۲

۴ـ ویـــژگیـــهـــا : ۳۴۳

ـ هتل ۳۴۳

ـ بولینگ ۳۴۵

ـ بیمارستان ۳۴۶

ـ آموزشگاه ۳۴۸

ـ فروشگاه ۳۴۹

ـ کارخانه ۳۵۰

چندی ها و استانداردهای آکوستیکی

۱ــ میدان آکوستیک (۱)

چندی (۲) فشار در یک شاره همگن در حالت تعادل ، در همه نقاط آن یکسان می باشد ــ چنانچه در چنین شاره ای حالت تعادل در یکی از نقاط آن متزلزل گردد (مثلا " چندی فشار در یک نقطه بیشتر شود)این حالت ناپایدار در همه جهات در شاره منتشرمی‌گردد و بصورت موج پدیدار می گردد (نظیر افتادن سنگ در آب آرام) . بدیهی است که انتشار موج مکانیکی هنگامی پدیدار می گردد که شاره دارای خاصیت الاستیسیته‌حجمی و جرم باشد .چنانچه شاره را هوافرض نمائیم اگر ذره ای از این شاره از حالت تعادل‌خارج گردد در ذره مجاور خود نیز موثر بوده و آنرا هم از حالت تعادل خارج می نماید و این بر هم خوردن تعادل ذرات شاره در همه جهات و در تمام شاره از ذره ای به ذره دیگر منتقل ، بعبارت دیگر منتشر ، می گردد در حالی که هر ذره فقط حرکت بسیار کوچکی را انجام داده و دوباره بجای خود بازگشته است ،ممکن است اثر برهم‌خوردن تعادل ذرات مسافت قابل توجهی را نیز به پیماید . از این رو میان تندی حرکات ذرات شاره (تندی ذرات) وتندی انتشار اثرحرکات ذرات شاره که بنام موج نامیده می شود ، بایستی‌تفاوت قائل شد .

با توجه بتعاریف بالا چنانچه ذره‌ای از حالت تعادل خود خارج شود وبذره مجاور خود نزدیک شود درآن نقطه ازشاره چگالی تغییر می‌نماید که با توجه به ساختمان‌ملکولی

1- Sound field - Champ acoustique
2- Quantity

شاره می توان این حالت را با افزایش فشار در آن نقطه تعبیر نمود و بالعکس نسبت به ذره متقارن آن کاهش فشار بوجود می آید و همین افزایش یا کاهش فشار در شاره است که باعث انتشار موج در شاره میگردد ـ از این رو می توان انتشار موج را در شاره ای با نوسان فشار در آن شاره مترادف دانست که این نوسان فشار را عضو شنوائی جانوران (چنانچه تعداد نوسانات آن در یکه زمان متناسب با ساختمان طبیعی عضو شنوائیشان باشد) درک می نمایند ـ بدیهی است که علاوه بر تعداد نوسانات در ثانیه (فرکانس) چندی فشار آوا نیز در ـ شنوائی موثر است و بایستی از آستانه مشخصی بیشتر یا کمتر نباشد .

بنابراین پدیده ای را که شامل این شرایط از نظر فرکانس و کمیت فشار باشد آوا (صوت)و فضائی را هم که این پدیده در آن بوجود آمده است میدان آکوستیک می نامند .

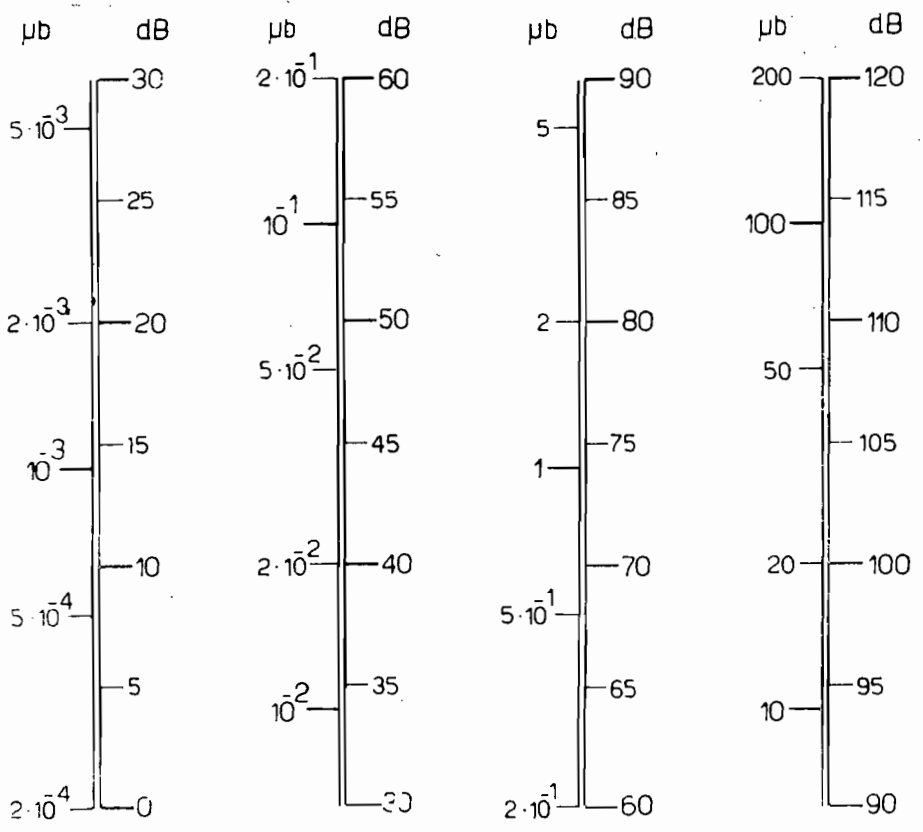
فشار آوا (۱)

تغییرات فشار در شاره ای را که در آن تعادل فشار بهم خورده است بنام فشار آوا (صوت) می نامند که مقدار آن جزئی است بسیار کوچک از فشار متعارفی شاره .مقیاس معمول برای اندازه گیری فشار آوا میکروبار ($1\ \mu b = 10^{-6}\ b$) می باشد ـ هربار (تقریبا ") معادل است با فشار جو در سطح دریا . (چنانچه عدد دقیق مورد نظر باشد فشار در ۷۶۰ میلیمتر جیوه معادل ۱/۰۱۳ بار و یک میکروبار نیز عبارتست از $1\ \mu b = 1\ dyn/cm^2 \doteq 0{,}1\ N/m^2$). آوائی با فشار ۲۰۰ میکروبار در آستانه بالای شنوائی قرار دارد که آستانه دردناکی نیز نامیده می شود (تولید گوش درد می نماید) و معادل ۲ ، ۰ درصد فشار هوای متعارفی است ـ بدین ترتیب فشار آوا مقداری است بینهایت کوچک که با توجه بروابط ریاضی گازها این شرط برای صحت فرض وجود الاستیسیته حجمی هوا لازم است . آستانه پائین شنوائی که بعنوان آستانه شنوائی گوش نیز نامیده می شود در حدود $2 \cdot 10^{-4}\ \mu b$ (۰/۰۰۰۲ μb.) میکروبار قرار دارد . از این رو حساسیت گوش در مقابل

1- Sound Pressure - Pression acoustique

کمینه و بیشینه فشارهای آوا ۱۰۰۰۰۰۰ : ۱ می گردد که بعنوان مقایسه می توان صدای تک تک یکساعت مچی را باصدای یک پتک کمپرسی یا صدای تنوره یک هواپیمای جت نام برد .

چون نسبت فشارهای میان کمینه و بیشینه شنوائی اعداد بزرگی می باشند که درـ ذهن نگاهداشتن آنها عملی نیست ازاین روبرای آسانی ،لگاریتم این اعداد را بجای خود آنها بکار می برند که بخاطر داشتن آنها بمراتب سهل تر و عملی تر است .



شکل ۱ ــ نرده برابری فشار آوا (میکروبار) و تراز آن (دسی بل)

طبق توصیه شماره ISO/R131 - 1959 (۱) موسسه استاندارد

1- International Standardizing Organisation

جهانی تر از فشار آوا [۱] بدین سان تعریف می گردد :

$$L = 20 \log \frac{p}{p_0}$$

که در آن p_0 فشار آوای پایه [۲] عبارتست از :

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-4}\ \mu b = 2 \cdot 10^{-5}\ N/m^2$$

در شکل ۱ رابطه میان فشار آوای p بر حسب میکروبار ومقدار لگاریتمی آن برحسب دسی بل (دی بی) با مقایسه با فشار آوای پایه ترسیم گردیده است ــ چنانچه از این شکل بر میآید بجای رقم ۱۰۰۰۰۰۰ : ۱ تنها دانستن ۱۲۰ کفایت می نماید .

چون همواره سر و کار باتر از فشار آوا است و تر از انرژی آوا یا تر از تندی نوسانی ملکولهای شاره (تندی آوا) مورد نظر نمی باشند و از این رو برای آسانی بجای کلمه تراز فشار آوا تنها کلمه تر از آوا را بکار می برند .

بس آمد (فرکانس)

برای شنوائی آوا، فزون بر فشار آوا ، بس آمد نوسانات آن نیز در ثانیه موثر است که آنرا فرکانس آوا می نامند و گوش انسان تنها نوار (فاصله) محدودی از آنرا درک می نماید . برای مشخص کردن فرکانس آوا ،بس آمد نوسان فشار آوا در ثانیه را بصورت سیکل در ثانیه CPS (که اخیرا " نیز هرتس H_Z نامگذاری شده است) مبنا قرار میدهند .

گوش انسان آوائی را که نوار فرکانس آن از ۱۶ هرتس تا ۲۰۰۰۰ هرتس باشد می شنود که حدبالای آن با بالا رفتن سن کاهش می یابد و در سن چهل سالگی در حدود ۱۶۰۰۰ است ــ این نوار فرکانس معادل ۹ اکتاو می باشد (نوار فرکانس چشم از سرخ تا بنفش تنها

1- Sound Pressure Level-Niveau de Pression acoustique
2- Reference Pressure Level-Pression acoustique de reference

دو اکتاو است) .

نوسانات آرام تر از ۱۶ هرتس بصورت لرزه (ارتعاش) احساس می گردند که‌ارزش صنعتی دارند .همچنین نوسانات بیش از ۲۰ هزار هرتس‌را که برخی از جانوران می شنوند (نظیر سگ که تا ۳۰ کیلو هرتس وخفاش که تابیش از ۹۰ کیلو هرتس را می شنوند وخفاش از آن نظیر رادار آکوستیکی برای یافتن راه خود در شب استفاده می نماید) نوسانات فراسوی آوا (ماوراء صوت) می نامند ــ از نوسانات فراسوی آوا استفاده صنعتی وعلمی در مواردی از قبیل شیمی کلوئید ــ پزشکی ــ آزمایش مواد اولیه صنعتی (بدون دست خوردگی)و غیره بعمل می‌آید که خود رشته خاصی است و ارتباطی با آکوستیک درمعماری و ساختمان ندارد .

تندی آوا (۱)

تندی آوا که بدان سرعت ذرات شاره نیز نام می نهند توام با فشار آوا،دو چندی وابسته بهم می باشند که تندی آوا خود وابسته به فرکانس و دامنه نوسان ذرات است که مقداری است متغیر ولی تکراری ــ بدین معنی که تندی آوا به سرعت‌حرکت‌ذرات‌شاره در حول نقطه حالت تعادلشان اطلاق می‌گردد ــ هرچه انرژی آکوستیکی (یا به بیان دیگر بلندی صدا) بیشتر باشد بهمان نسبت نیز تندی و فشار آوا بیشتر می شود .

از نقطه نظر فیزیکی یک میدان آکوستیکی را می توان با تعیین دو چندی تندی و فشار آوا کاملا "مشخص نمود که این دوچندی تنها در حالت خاص (امواج سطحی)دارای نسبت معینی بایکدیگر می‌باشند ــ بدیهی است شرط لازم‌برای وجود امواج سطحی فاصله کافی ازسرچشمه آوا می‌باشد که معمولا "دراغلب موارد صدق می‌نماید ــ چون برای‌شنوائی فقط فشار آوا موثر است و تندی آوا در شنوائی تاثیری ندارد از این رو برای‌اندازه‌گیریها و محاسبات آکوستیکی در بناها همواره از فشار آوا استفاده بعمل می آید ، در صورتیکه‌در

1- Particle Velocity- Vitesse des Particules

برخی ازمحاسبات و اندازه‌گیریها احتیاجی بدانستن تندی‌آوا باشد می‌توان آنرا ازرابطه زیرین محاسبه نمود .

$$\frac{\text{فشارآوا}}{\text{تندی آوا}}\ \frac{(\mu b)}{(cm/s)} = 41\ \frac{dyn\ s}{cm^3} = 410\ \frac{N\ s}{m^3}$$

چنانچه برای فشار آوای ۲۰۰ میکروبارتندی آوا ۵ سانتیمتر در ثانیه می گردد که‌با مقایسه با بادی به تندی ۱۰۰ سانتیمتر در ثانیه که آنرا نسیم می‌نامند ،دانسته می گردد که تندی آوا بسیار کوچک است .

تندی انتشار آوا (۱)

تندی انتشار اثر ضربه (یا عدم تعادل) در هر شاره تابع مشخصات شاره‌می‌باشد که این مشخصات برای هواچگالی والاستیسیته حجمی آن است ــ این چندی ها رامی‌توان با تکاثف هوا ρ_0 و فشار جو P_0 مشخص نمود که ضریب ثابتی نیز در آن موثر است و آن نسبت گرمای ویژه در حجم ثابت به گرمای ویژه در فشار ثابت γ است که بـرای گازهای دو اتمی (از قبیل اکسیژن ــ ازت و در نتیجه هوا) معادل ۴ ر ۱ می‌باشد .علت تاثیر ضریب γ درمحاسبات آکوستیکی آنست‌که پدیده‌های آکوستیکی‌بصورت آدیاباتیک می باشند ــ بدین معنی کهافزایش گرما براثر فشار متناوب آوآنچنان تند تغییر می‌نماید که فرصتی برای انتقال‌آن به محیط‌وجود ندارد وحالت تراکم آدیاباتیک را دارد .بدین ترتیب تندی انتشار آوا (که معمولا " سرعت صوت گفته می شود) عبارتست از .

$$c = \sqrt{\frac{P_0\,\gamma}{\varrho_0}}$$

1- Vitesse de Propagation-Sound speed

بدیهی است که بین P_0 فشار هوا و ϱ_0 تکاثف آن رابطه ای موجود است که تقریبا" ثابت می‌ماند وگرچه باازدیاد ارتفاع P_0 کمتر می شود ولی چون ϱ_0 هم‌کم می شود لذا نسبت آنها ثابت می ماند و می توان گفت که ارتفاع تاثیری در سرعت‌صوت ندارد ولی درجه حرارت $t\,^{\circ}C$ هوا در سرعت صوت موثر است و تاثیر آنرا می توان از محاسبه نمود ـ برای حرارت $c = 331{,}4 + 0{,}6\,t \quad [m/s],$ متعارفی‌اطاق‌سرعت‌صوت $C=340\,^{m/s}$ است‌درصورتیکه‌برای $t = -20^{\circ}\,C,$ سرعت صوت‌به $C=319\,^{m/}$ کاهش می‌یابد . بدیهی است که نبایدمابین تندی انتشار آوا که فقط بستگی به مشخصات شاره دارد با تندی آوا که بستگی به شدت پدیده آکوستیکی دارد اشتباه نمود ـ بدین معنی که با وجود آنکه سرعت صوت در هوا ۳۴۰ متر در ثانیه است تندی آوا از کسری از mm/s تا حد اکثر چند cm/s بیشتر نیست .

پهنای موج

پهنای موج عبارتست ازفاصله بین دونقطه همانند درمیدان آکوستیکی (دوماکزیمم فشار یا دومینیمم فشار) که طبق رابطه $\lambda = \frac{c}{f}$ با مشخص بودن سرعت صوت و فرکانس محاسبه می گردد ـ درجدول‌زیرین ،پهنای‌موج‌نغمه‌هائی (سرعت صوت معادل ۳۴۰ متر) محاسبه گردیده است .

H_z ۱۰۰ (فرکانسهای کمتر از ۱۰۰ هرتس در ساختمان و معماری بندرت پیش‌آمد می‌نمایند) ۳۴۰سانتیمتر

H_z ۴۴۰ نغمه لا (مبنای کوک سازها) ۷۷ "

H_z ۱۰۰۰ (فرکانس معمول در کارهای فنی و فیزیکی) ۳۴ "

H_z ۴۰۰۰ (زیر ترین نت پیانو) ۸/۵ "

بدین سان دیده میشود که در آکوستیک پهنای موجهائی از چند سانتیمتر تا چندین متر

که نظیر ابعاد ساختمانها می‌باشد پیش آمد می نماید در حالی که در اپتیک پهنای امواج نوری بسیار کوچک و نسبت به وسائل نوری فوق العاده ناچیز است .

۲ ــ سرچشمه های آوا

هرتندیس (جسم)مرتعشی در یک‌شاره بذرات شاره که‌درمجاورت آن‌قرارگرفته‌اند ضربه‌ای وارد می آورد که باعث برهم خوردن تعادل ذرات شاره می گردد و این برهم ــ خوردن نظم در کلیه جهات شاره با تندی آوای مربوط به آن شاره منتشر می گردد ــ برای مطالعه در مشخصات میدان آکوستیکی می توان با استفاده از قوانین فیزیکی مربوط بــه میدانهای آکوستیکی، مشخصات میدان (مثلا" فشار آوا) را در نقطه مشخص محاسبه‌نمود که این محاسبات اغلب مفصل و گاهی هم فقط برای سرچشمه های مشخص‌و ساده ای قابل اجرا است و برای برخی از انواع سرچشمه‌ها (برخی ازادوات موسیقی نظیر ویلن وپیانو) غیر ممکن است .

سرچشمه‌های آوا بگروه‌های زیرین بخش می گردند :

تندیس‌های لرزنده : مانند سازهای زهی ــ گوشی تلفن ــ بلند گو ــ سازهای‌ضربی و همانند آنها .

هوای لرزنده : مانند سازهای بادی ــ ارگ و همانند آنها .

تندیس‌های گریزنده : که براثر بوجود آمدن جریان هوای گردابی گرداگرد تندیس گریزنده ایجاد آوا می گردد (آوای شلاق ــ آوای ملخ هواپیما) .

گازهائی که با سرعت زیاد از جسمی خارج شوند نیز ایجاد آوا می نماید ، (آوای موتور جت ــ آوای راکت) .

تغییر ناگهانی فشار : (نظیر ترکش) ایجاد آوا می نماید .

ارتعاش تارهای نای : آوای نای ترکیبی است از آوای تندیس های لرزنده (تارهای نای) و هوای لرزنده (محفظه دهان و بینی) .

در فن‌آکوستیک ساختمان سرچشمه‌های آواهای آزار دهنده ازنوع تندیس‌های‌لرزنده می باشند (از نظر محاسبه) فشار آوائی که تندیس لرزنده ایجاد می نمایند متناسب است بابزرگی سطح تندیس وتندی لرزش آن (تندی نوسان) نه خود از حاصلضرب دامنه‌لرزش در بس‌آمد (فرکانس) لرزش مرکب است . در حالات ساده که سرچشمه آوا دارای فرم یک‌کره کامل باشد (نظیر توپی که فشار هوای درون آن متناوبا" تغییر نماید) می‌توان نوشت :

$$p_r = \text{konst.} \frac{S\, v}{r}$$

که‌درآن p_r فشار آوادر فاصله r و S سطح‌تندیس لرزنده‌و v تندی لرزش‌می‌باشد .

با بررسی این رابطه دانسته می گردد که فشار آوای منتشره در اثر لرزش یک‌تندیس بستگی به تندی لرزش دارد که آن نیز عبارتست از حاصلضرب دامنه در فرکانس (بدین معنی که‌دامنه لرزش به‌تنهائی موثر نیست)از این رو در انتشار امواج آکوستیکی بافرکانس زیاد حتی لرزش‌های با دامنه ناچیز نیز برای ایجاد آوا کفایت می نماید ولی برای‌انتشار امواج با فرکانس کم (آوای بم) وجود سطوح لرزنده بزرگ و لرزشهای با دامنه بزرگ‌مورد نیاز می باشد .

یک مثال عملی از بحث فوق عبارتست از نوسان پوسته بلندگو که برای نغمات بم دارای دامنه نوسان زیاد (تا حدود چند میلیمتر) وسطح نسبتا "بزرگ می باشد در حالی که نوسان بلند گوهای نغمات زیر را نمی توان احساس نمود و باوجود سطح کوچک قدرت آکوستیکی منتشره‌بمراتب بیش‌از‌قدرت‌پخش‌شده‌ازبلندگوی‌مشابه‌برای‌نغمات‌بم‌می‌باشد .

(رابطه ذکر شده برای سرچشمه‌کروی را می‌توان بطور تقریب‌برای بیشترسرچشمه‌های مهم صادق دانست) .

آوای هوائی ــ آوای پیکری

چنانچه یک سرچشمه‌انرژی خودرا درهوای‌گرداگرد‌خودپخش‌نمایدآنرا‌مبنا‌مولدآوای

هوائی [۱] می‌نامند ــ (مانند آوای جانداران ،ویلن ــ بلندگو ــ وسازهای بادی وغیره) .

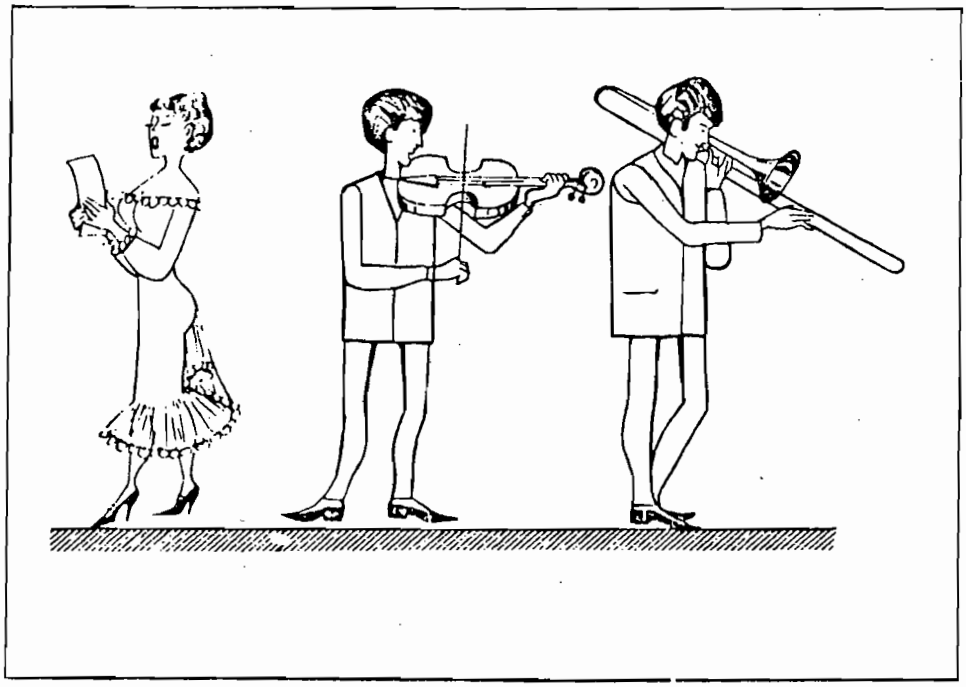
ولی اگر انرژی آکوستیکی حاصله علاوه‌برهوای‌محیط‌برپیکرها (اجسام سخت) نیز موثر گردد وآنان را به‌نوسان درآورد سخن ازآوای پیکری [۲] نیز بمیان می آید . (نظیر ویلن سل وکنتر باس وپیانو که علاوه بر آوای هوائی مقداری انرژی نیز از راه پایه به‌سطح اتکاء خود منتقل می نمایند) این نوع پخش انرژی که در ازدیاد قدرت آکوستیکی سازها تاثیر بسزائی دارد (بزرگ شدن سطح S) در ارکسترها پسندیده است ولی درمواردی نیز بسیار ناپسند وآزار دهنده می‌گردد ــ مثلا "اگر لوله آبی بر اثر عبور آب بافشارمتغیر بنوسان در آید بخودی خود و بعلت کوچکی سطح منتشر کننده‌آوای نوسان لوله غیرقابل توجه و بی‌اهمیت می‌باشد در حالی که اگر همین لوله بوسیله گیره‌بدیوار متصل باشدآوای ناهنجار و غیر قابل تحملی (بعلت بزرگ شدن سطح منتشر کننده) ایجاد می نماید . نظیر همین حالت‌را می‌توان برای انتقال آوای‌آزار دهنده ماشین‌های منصوبه‌درکارخانه‌ها ذکر نمود .

شناسائی تفاوت آوای هوائی‌وپیکری برای یافتن راههای مبارزه با آوای آزار دهنده و میرایش آنها بسیار مهم می باشد ــ زیرا با توجه به مثالهای فوق می توان دریافت که پخش انرژی آکوستیکی برای این دو یکسان نیست و برای هریک شرائط پخش و یا مبارزه جداگانه ای وجود دارد . در اشکال ۲ و ۳ می توان نمونه های جالبی از این سرچشمه ها را مورد بررسی قرار داد .

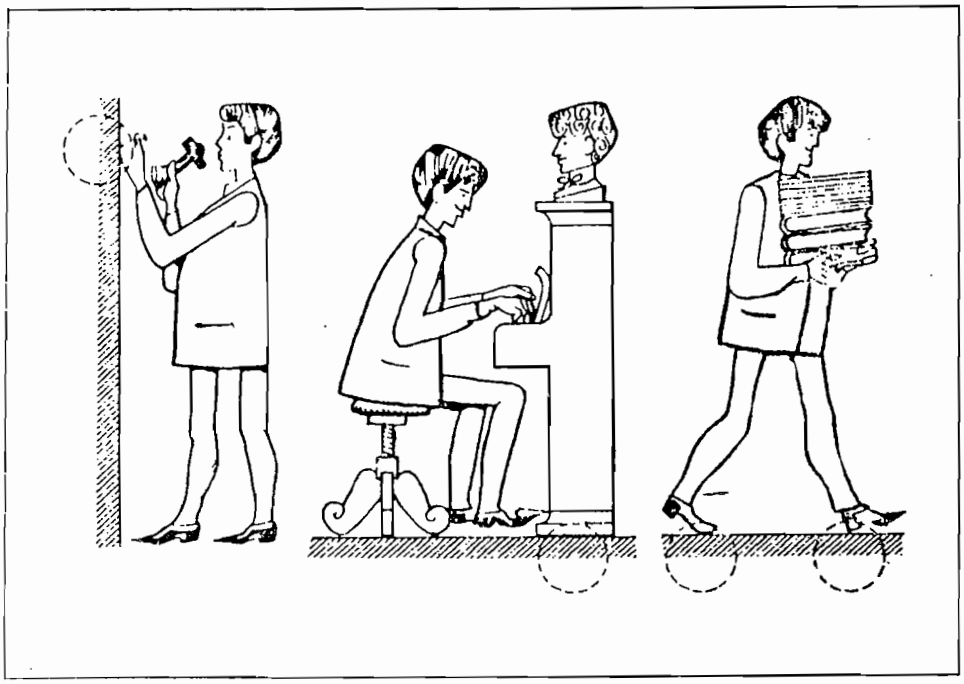
۳ ــ انتشار آوا در فضای باز و بسته

چگونگی انتشار آوا در یک فضای باز که دیواری آنرا محدود نکرده باشد تنها بستگی به ساختمان هندسی سرچشمه دارد . از این رو کاهش شدت آوا (انرژی آکوستیکی که در

1- Son aerien=airborne sound
2- Bruits du chocs=Impact Sound



شکل ۲ ــ چند نمونه از آوای هوائی



شکل ۳ ــ چند نمونه از آوای پیکری

هر ثانیه از یک متر مربع می‌گذرد)که با فاصله آن از سرچشمه بستگی پیدا می کند و تنها از ابعاد هندسی آن تابع است و بفرکانس بستگی ندارد " تباهی هندسی انتشار آوا " نامیده میشود .فزون برتباهی هندسی آوا کاهش های دیگری مانند تباهی در فضا (تباهی هوا ـ تباهی بخار آب و مه ـ تباهی باد . . .)یا تباهی در زمین (تباهی درگل‌وگیاه . . .) نیز بشدت آوا را کاهش میدهند . از این رو برای پیشگیری از آزار آوا (غوغا) با بهره‌گیری ازتباهندهای نامبرده یا تباهنده‌های ویژه دیگر (مانند دیوارک های‌بازدارنده یا پنگانیدن سرچشمه در ژرفای زمین) کوشش می گردد که آزار غوغا را کاهش دهند .

تباهی هندسی انتشار آوا

برای بررسی تباهی هندسی آسان‌تر است‌که سرچشمه‌های آوارا به‌سه‌دسته‌نقطه‌ای ـ خطی و سطحی بخش نمائیم .

سرچشمه نقطه ای به سرچشمه هائی گفته میشود که اندازه های سرچشمه آوا دربرابر پهنای موج ناچیز باشد مانند یکنفر گوینده ـ یک بلندگوی تکی ـ بیشتر سازهای‌تکی . . . که در آنها امواج آکوستیکی از همه جهات منتشر می گردند و میتوان امواج را کراتی‌گرفت که درمرکز آنها سرچشمه آوا قرار دارد .از این رو درچنین میدانی شدت انرژی آکوستیکی با افزایش فاصله به نسبت توان دوم و فشار آوا با توان یکم فاصله کاهش می یابد (قانون $\frac{1}{r}$) که به‌بیان دیگر می توان گفت که با دو برابر شدن فاصله تراز آوا باندازه‌ءـ دسی بل کاهش می یابد .

تکه ای از کرات امواج آکوستیکی را در فاصله کافی از سرچشمه میتوان مسطح‌انگاشت که آنرا موج سطحی پیشرونده (1) می نامند . چنانچه چندین سرچشمه نقطه ای‌پیاپی یکدیگر باشند (مانند قطار بلند راه آهن ـ ده ها اتومبیل در اتوبان در پی یکدیگر . .) سرچشمه آوای خطی تشکیل می گردد که امواج آکوستیکی را استوانه‌ای پخش می نمایند .

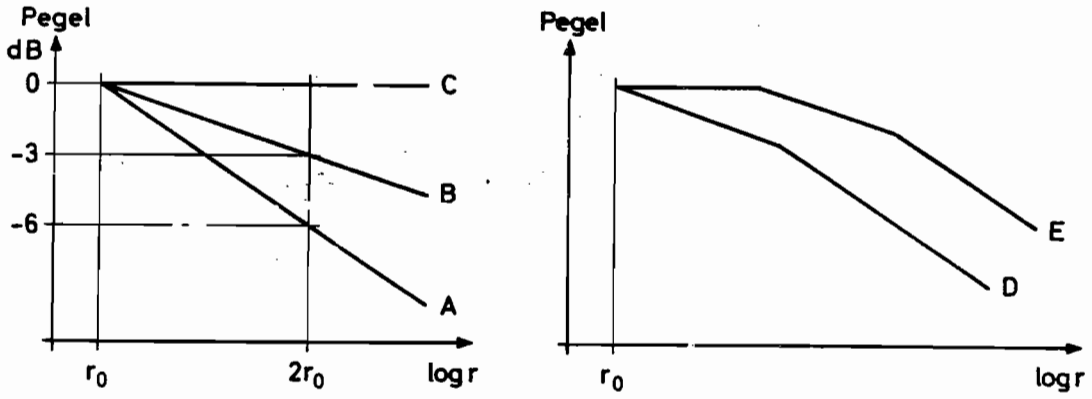
چون درسیلندر بابزرگ شدن فاصله شدت آوا متناسب باآن کاهش می یابدبنابراین

---

1. Ond Progressives Planes=Plane Progressive Waves

با دو برابر شدن فاصله تراز آوا ۳ دسی بل کاهش خواهد یافت .

چندین سرچشمه خطی که در کنار یکدیگر باشند سرچشمه سطحی را بوجود می‌آورند (مانند آوائی که از پنجره های یک کارخانه بزرگ یا تعمیرگاه هواپیما پخش شود) که در این حالت امواج آکوستیکی در نزدیکی سرچشمه تنها در روی یک محور پخش می شوند و شدت آوا یکسان می ماند .



شکل ۴ ــ تباهی انتشار هندسی آوا . کاهش تراز آوا با بیشتر شدن فاصله

A : سرچشمه نقطه ای B : سرچشمه خطی C : سرچشمه سطحی

D : سرچشمه خطی کوتاه E : سرچشمه سطحی محدود

چون هیچگاه سرچشمه‌خطی وسطحی تئوری وجود ندارد بنابراین درعمل آمیخته‌ای از سه فرم بنیادی را همچنانچه در شکل ۴نموده‌شده‌است خواهیم داشت .

تباهی های دیگر

براثر چسبندگی وهدایت گرمائی و دود و بخار آب هوا امواج آکوستیکی در هوامیرا می شوند . فزون بر اینها امواجی که در نزدیکی زمین پخش می شوند نیز در سبزه وچمن و برف روی زمین تباه می گردند .

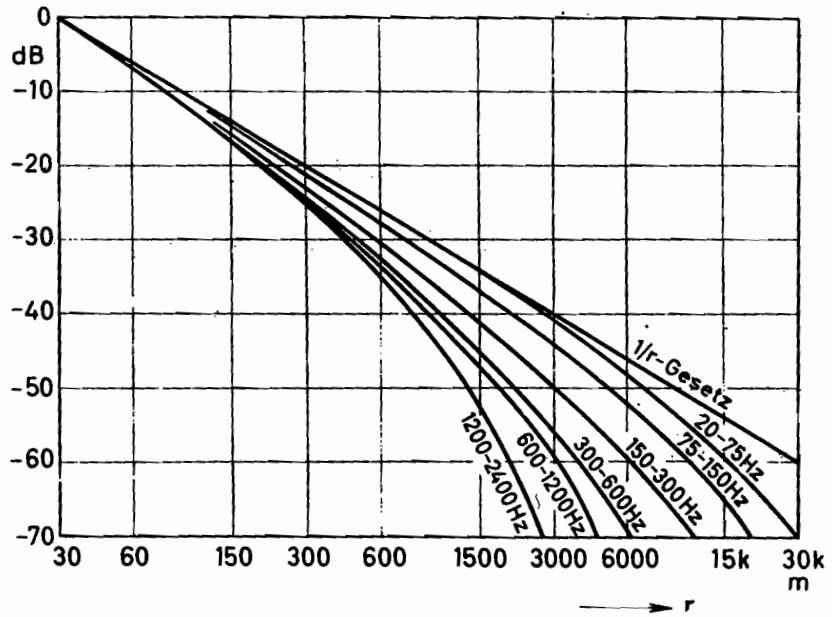
تباهی امواج در این موارد که بصورت نمائی (اکسپونانسیل) است شدیدا " تابع فرکانس بوده و برحسب $dB/100_m$ (دسی بل در هر صد متر) داده می شود . در

جدول شماره ۲ چند نمونه از تباهی ها دیده میشود .

تباهی برحسب $dB/100_m$ برای فرکانسها :

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
هوا (با ۱۵ درجه سلزیوس ۷۵ در صد)	0,012	0,03	0,07	0,16	0,38	0,85	2,0	4,5
مه (با ۳۰ متر دید)	0,8	1,0	1,3	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0
مرغزار (بلندی ۱۰ تا ۳۰ سانتیمتر)	0,7	1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,6	8,0
کشتزار (تیغ زار ــ جنگل تُنُک)	2,5	3,5	5,0	7,0	10	14	20	28
جنگل انبوه	5,0	7,0	10	14	20	28	40	56

L.L. Beranek با آزمایشهائی که در سال ۱۹۵۶ در فرودگاهها نمود کاهش تراز بلندی غوغای ترافیک هوائی را مانند آنچه که در شکل ۵ نمایش داده شده است بدست آورد .



شکل ۵ ــ کاهش تراز بلندی درنوارهای اکتاوی باافزایش فاصله (برای ترافیک هوائی)

در شکل ۵ دیده میشود که کاهش تراز آوا همواره بیش از قانون $1/r$ است وبویژه این کاهش برای نوارفرکانس زیربیشتر است .چنانچه درنزدیکی فرودگاه کوه و تپه یاجنگل و سبزه ای باشد کاهش تراز آوا بیشتر خواهد بود که میتوان میانگین آنرا $10dB/100_m$ انگاشت .

بابررسی نمونه زیرین میتوان بهتر وبیشتر بآنچه که گفته شد پی برد : تراز بلندی فریاد در یکمتری فریاد زننده نزدیک به ۸۰ دسی بل است ــ بر اساس قانون $1/r$ در فاصله ۱۰۰ متری باید ۴۰ دسی بل کاهش یابد . چنانچه تباهی دیگری برابر بـا $10dB/100_m$ نیز باشد در۱۰۰ مترتنها ۳۰ دسی بل از آوای فریادشنیده خواهد شد که چون غوغای محیط هم در همین حدود است بنابراین بیشینه برد فریاد از ۱۰۰ متر بیشتر نخواهد بود .

F. Bruckmayer در سال ۱۹۴۹ تاثیر درخت و چمن کاری در ساختمانها را مورد آزمایش قرار داد و جدول زیرین را بدست آورد :

جدول شماره ۳

اشکوب	کاهش تراز غوغا
همکف	۲ دسی بل
۱	۲/۵
۲	۴/۵
۳	۶

در جدول زیرین نیز تاثیر باغچه اندازه گیری شده است .

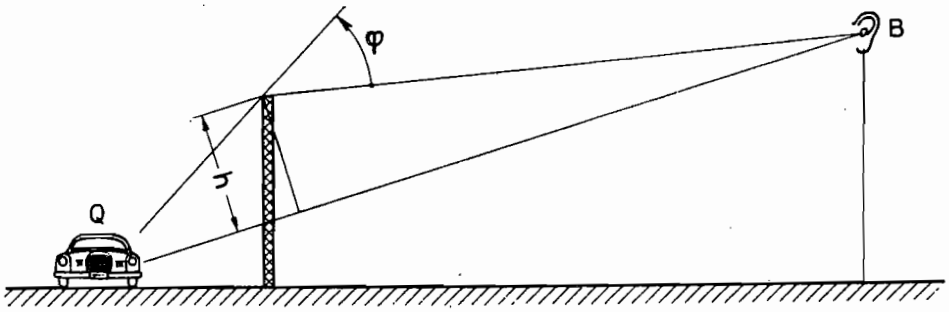
جدول شماره ۴		
درخت‌کاری‌درژرفای	برای‌درخت‌کاری‌نامرتب	برای درخت کاری مرتب
۱۰ متر	۳	۸
۲۰ متر	۷	۱۱
۴۰ متر	۱۱	۱۳

با سنجش های دقیق تر در سال ۱۹۵۹ F.J.Meister و W. Ruhberg دانستند که در جنگل ها کاهش تراز غوغا $15dB/100_m$ و در جنگلهای انبوه $20-30dB/100_m$ می‌باشد وکناره جنگل‌ها خود یک تا دو دسی بل‌بازتاب می نمایند . هرچه کناره جنگل انبوه تر باشد این رقم بیشتر می شود ، ولی بایددانست که هیچگاه بادرخت کاری وباغچه سازی در برابر ساختمان نمی توان آرامش زیادی‌بدست آورد و نباید در این مورد چشم داشت زیادی داشت .

دیوارک های بازدارنده غوغا .

برخلاف سرزمینهای هموار درجاهائی که‌کوه وتپه وجود داشته باشدتراز غوغابشیوه چشمگیری کاهش می‌یابد ــ زیرا اندازه های این بازدارنده ها (کوه و تپه) چندین‌برابر بزرگترین پهنای موج آواهای بم نیز می باشند . از این رو بخوبی میتوان دریافت که‌چرا غوغای ترن هائی که از دره ها و گودی ها می گذرند کمتر آزار دهنده است تا ترن های دشت و کوه . همچنین در خانه ها اطاقهای سمت حیاط بیش از اطاقهای سمت خیابان آرامش دارند .

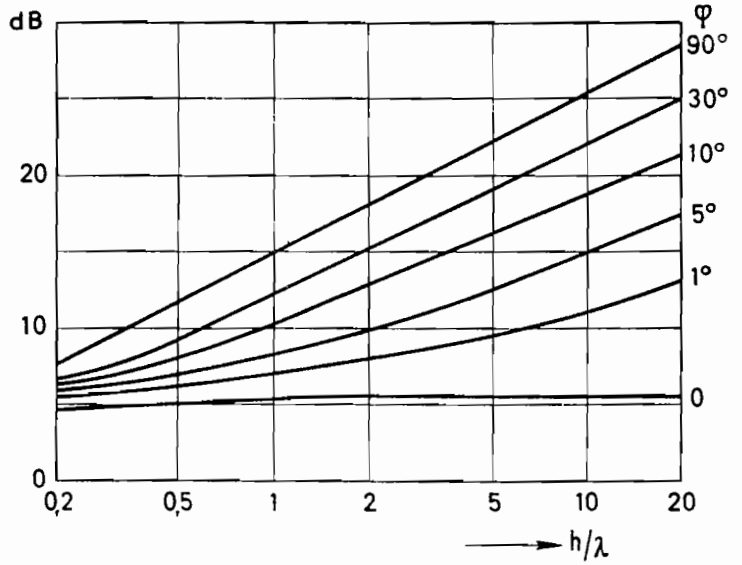
دیوارهای دراز و بلندی نیز که در برابر خطوط راه آهن و اتوبانهائی که از برابر خانه ها و دهات می گذرند کشیده میشود اثر بازدارنده غوغارا از مناطق مسکونی‌دارند .



شکل ۶ ــ بازدارندگی غوغا ــ Q سرچشمه غوغا ــ B شنونده ــ h بلندی دیوار

φ : زاویه سایه

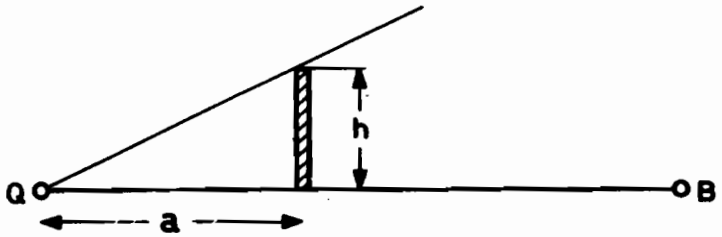
S.W. Redfearn در۱۹۴۰روش ترسیمی ساده ای برای پیداکردن تباهی غوغا بر اثر دیوارک های بازدارنده (شکل ۶ و ۷) بدست آورده است . بااین روش دانسته میشود که با دیوارک ها میتوان غوغا را باندازه ۱۰ تا ۱۵ دسی بل کاهش داد .



شکل ۷ ــ کاهش غوغا براثر دیوار بازدارنده . تباهی برحسب dB بوابستگی از بلندی h و زاویه سایه φ

بازدارندگی دیوارکها باید برای فرکانسهای گوناگون (زیر و بم) محاسبه شوند تا بااسپکتر غوغا رویهم تراز حدغوغا را که درشکل ۴۳ نمایش داده شده استه‌نمایش‌دهد .

Z . Maekawa در سال ۱۹۶۵ روش تحلیلی ساده‌دیگری‌برای محاسبه میرائی غوغا بر اثر دیوارک بدست آورده است که با سنجش ، برابری بیشتری از سایر روش ها نشان میدهد .



شکل ۸ ــ روش مائه کاوا برای محاسبه میرائی غوغا در دیوارک

Q سرچشمه غوغا h بلندی دیوارک B شنونده a فاصله تا دیوارک

در شکل ۸ دیده میشود که‌تنها دومقدار a (فاصله دیوارک از سرچشمه) و h بلندی دیوارک درمحاسبه دخالت دارند که باداشتن‌آنها ازرابطه زیرین فرکانس کار آکتریستیک f_1 محاسبه میشود .

$$f_1 = \frac{a\,c}{2\,h^2}\ \text{Hz}.$$

از این محاسبه فرکانس f_1 را بدست آورده از روی جدول شماره ۵ میرائی را برحسب dB استخراج می نمائیم .

فرکانس کار آکتریستیک								
میرائی دیوارک	f_1	$2f_1$	$4f_1$	$8f_1$	$16f_1$	$32f_1$	$32f_1$	Hz
	11	13	16	19	21	24	24	dB
فرکانس کار آکتریستیک	$1/2f_1$	$1/4f_1$	$1/8f_1$	$1/16f_1$	$1/32f_1$	$1/64f_1$	$64f_1$	Hz
میرائی دیوارک	9	8	7	6	6	5	5	dB

مثال :

$C=340\,^{m}/_{sec.}$, $h=1/5m$, $a=3/3m$

الف) روش ترسیمی :

$a = 3{,}3$ m
$h = 1{,}5$ m
$c = 340$ m/s

f	63	125	250	500	1000	2000	4000	Hz
h/λ	0,28	0,55	1,1	2,2	4,4	8,8	17	
میرائی	7	9	12	16	18	21	24	dB

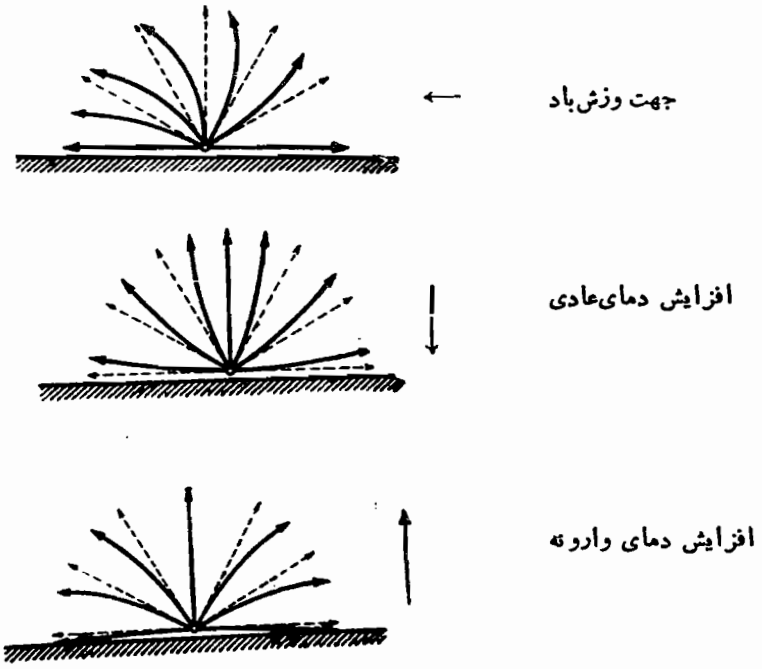
$f_1 = 250$ Hz

f	63	125	250	500	1000	2000	4000	Hz
میرائی	8	9	11	13	16	19	21	dB

اثر باد و گرما :

تاثیر باد در شنوائی آواها از دور ، از دیر باز شناخته شده بوده است .بدین‌سان که درجهت وزش باد آوا رابهتر می‌توان شنید تا در جهت مخالف آن . علت این‌پدیده را می‌توان باتوجه بشکل ۹بخوبی توجیه نمود ــ چنانچه پرتوهای آوائی را که از سرچشمه خارج می‌شود بصورت خطوط مستقیمی درنظر بگیریم این‌پرتوها در جهت وزش باد بعلت تغییر سرعت‌باد باازدیاد ارتفاع ازسطح زمین خم شده‌و به‌طرف زمین (شنونده) متمایل می‌گردند که‌نتیجه آن‌ازدیاد و یاتمرکز انرژی وکم شدن میرائی درجهت وزش بادمی‌باشد ولی درجهت خلاف وزش چون پرتوها بطرف‌بالا متمایل می گردند بنابراین انرژی‌کمتری به‌شنونده‌ای که درسطح زمین قرار دارد رسیده وبصورت ازدیاد میرائی تظاهر می‌نماید .

تاثیر گرما نیز در انتشار امواج آکوستیکی قابل بررسی است . زیرا چنانچه میدانیم تندی انتشار آوا تابع گرما است و باکاهش دما کمتر می شود ــ با ازدیاد ارتفاع از سطح زمین دما یکسان کاهش می یابد و برای هر صد متر ارتفاع ۰/۵ درجه سانتیگراد کمتر می گردد ــ در اثر این تغییر یکسان تندی انتشار پرتوهای آوا بطرف بالا خم می گردند (شکل ۹) که‌اثر آن‌افزایش میرائی و کم‌شدن برد می‌باشد . بالعکس اگر در محلی‌انورسیون



شکل ۹ ــ تاثیر باد و دما در انتشار آوا

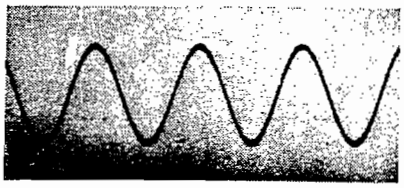
دما وجود داشته باشد (بعلل تغییرات جوی در زمستان و عوامل دیگری ممکن است گاهی با ازدیاد ارتفاع دما تا ارتفاع معینی نیز ، ازدیاد یابد) پرتوهای آوا بسمت پائین خم می شوند که در نتیجه برد سرچشمه آوا بمقدار قابل توجهی ازدیاد می یابد و از فواصل دور می توان آوائی را که در مواقع عادی قابل شنیدن نیستند ، شنید .

دراین حالت ممکن‌است منطقه خاموش‌نیز بوجودبیاید ـ بدین‌سان که چون‌پرتوهای مماسی نیز بطرف پائین خم می شوند بنابراین برد آنها از برد عادی نیز کمتر می شود ولی در فواصل دورتر بعلت بازگشت انرژی از طبقات بالای جو ، آوا شنیده می شود که در نتیجه بین این دو منطقه ممکن است به منطقه ای انرژی نرسد و ایجاد منطقه خاموش گردد .در مواقعی که ، بویژه در زمستان ، انورسیون دما بوجود می آید آوائی مانند آوای ترکش را می توان از صد کیلومتری نیز شنید .

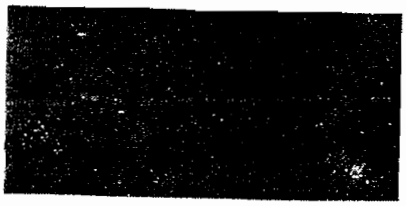
۴ــ ویــژگی آوا

برای بررسی ویژگی های آوا ها ساده ترین راه بررسی روند فشار آوا می باشد .زیرا با در دست داشتن فشار آوا می‌توان بسهولت دیگرچندی‌های میدان‌آکوستیکی رامحاسبه نمود .

فشار آوا چندی است قابل سنجش برای‌شنوائی‌نیز چندی اساسی می باشد .علاوه بر امکان اندازه‌گیری فشار آوا ، آنرا می توان بروش عکاسی از صفحه اسیلوسکوپ تثبیت نمود و روند آنرا مورد بررسی قرار داد .عکسهای حاصله را که نمونه ای از آن ها درشکل ۱۰ و ۱۲ دیده می شود اسیلوگرام می نامند . از بررسی اسیلوگرام ها دیده می شود که



شکل ۱۰ ــ اسیلوگرام یک نغمه سینوس



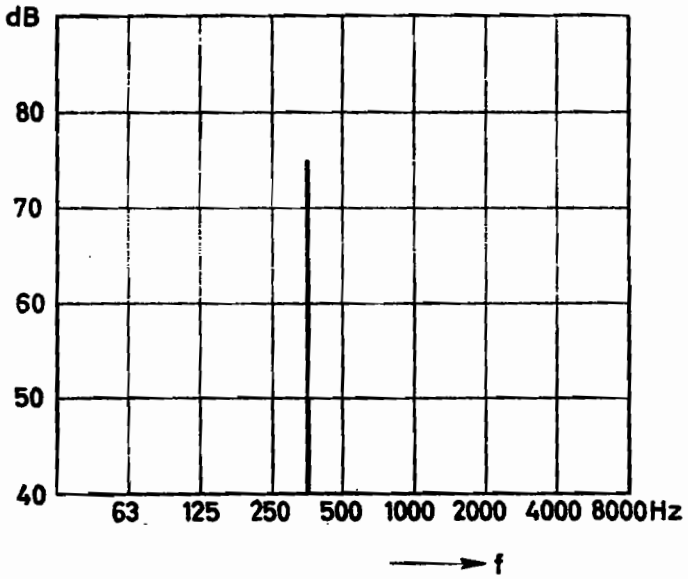
شکل ۱۲ ــ اسیلوگرام نوای ویلن

اغلب آواها حالت تکراری (پریودیک) دارند و میدانیم که از نظر ریاضی هر نوسان پریودیک غیر سینوسی را می توان بکمک سریهای فوریه بعوامل تشکیل دهنده آن تجزیه نمود و حتی ممکن است در حالاتی نیز نوسانات غیر پریودیک را هم بکمک انتگرال‌فوریه تجزیه نمود و از این رو برای بررسی ویژگی هر آوا مناسب تر است که بجای اسیلوگرام آن از تجزیه فوریه که بدان طیف آوا نیز می گویند استفاده گردد .

طیف آوا را توسط مختصات " فرکانس ــ دامنه " نمایش میدهند ، بدین سان که برروی محور عمودی دامنه هریک از نوسانات را که فرکانس آن در محور افقی مشخص شده است با مقیاس دسی بل ترسیم می نمایند . باتوجه به طیف می توان آواهائی را که‌آنان را نوا و نغمه و غوغا می نامیم از یکدیگر تمیز داد .

نغمـه (۱)

یک صدای خالص (یکرنگ) که اسیلوگرام آن بصورت نوسان ساده سینوسی (شکل ۱۱) می باشد بنام نغمه نامیده می شود ــ طیف نغمه فقط از یک خط تنها (شکل ۱۱) تشکیل گریده است .



شکل ۱۱ ــ طیف یک نغمه

نغمه بسانی که تعریف شد در طبیعت ندرتا " وجود دارد ولی عملا " برای لابراتوار و اندازه گیری و آزمایش گوش (اودیومتری) با نوسان سازهای الکترونی تهیه می گردد . شنوائی نغمه چندان دلپذیر نیست و باعث خستگی و تحریک گوش می گردد .

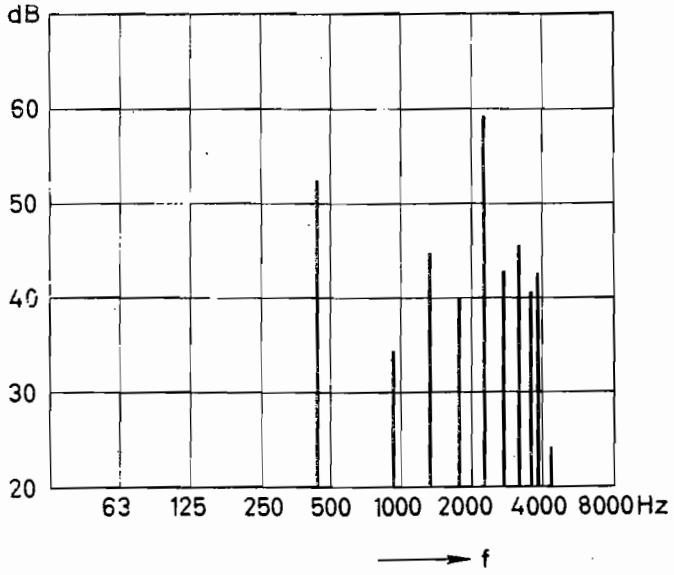
نـوا (۲)

چنانچه طیف آوائی علاوه بر نوسان اصلی (نغمه) حاوی نوسانات هارمونیک (که فرکانس آنها مضاربی ازفرکانس نغمه اصلی است) نیز باشد ، بدان نوا گفته می شود . با این تعریف می توان گفت که آوای همـه ادوات موسیقی نوا می باشد . در شکـل

---

1)- Ton
2)- Timbre

۱۲ اسیلوگرام نوای ویلون و در شکل ۱۳ طیف آن نمایش داده شده است . نوا در گوش



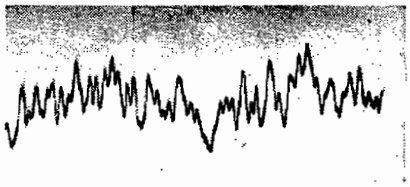
شکل ۱۳ ــ طیف نوای ویلن .

اثر لذت بخشی دارد و تفاوت نوای سازهای مختلف در تعداد و ترکیب‌هارمونیکهای‌آنها است .بدیهی است فرکانس (نوت) هر نوا بستگی به نغمه اصلی آن نوا دارد ولی‌لزومی ندارد که دامنه نغمه اصلی از دامنه نغمات هارمونیک در هر نوا ، بزرگتر باشد وبساممکن است دامنه نغمه اصلی درمواردی بسیار کوچک و یا مساوی صفر هم باشد در حالی که‌هنوز گوش انسان آن نوا را با نوت نغمه اصلی می شناسد (دلیل علمی این نکته هنوز کاملا " مشخص نیست) .تعداد وترکیب نغمات در هرنوا مشخصه اصلی سازی است که آنرا ایجاد می نماید .

غوغـا (۱)

چنانچه در اسیلوگرام آوائی بجای خطوط مشخص، نوار نـاموزونی ملاحظه گردد آن آوا دیگر دارای اجزاء مشخص و هارمونیک نیست و در صورت وجود خطوط مشخص هم دیگر این خطوط دارای رابطه ای با یکدیگر و نغمه اصلی نمی باشند و بهمین جهت ایـن آوا را که عاری از لطافت و دلپذیری است غوغا می نامیم .

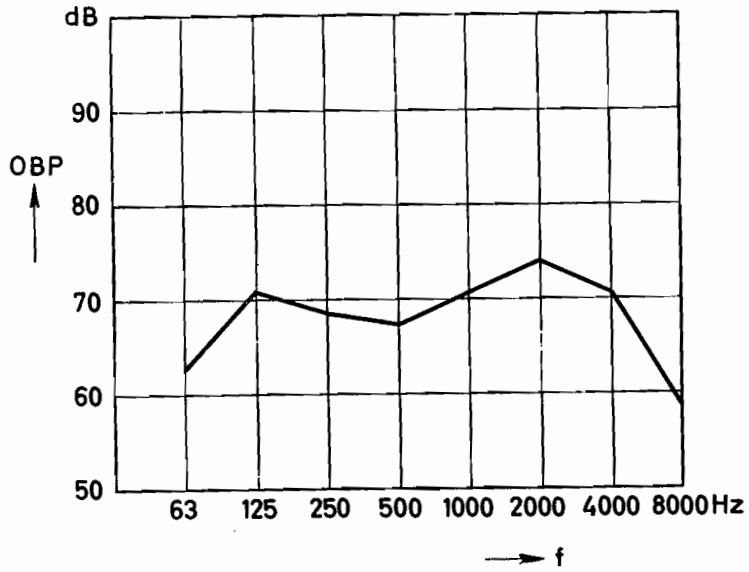
1)- Noise-Bruit



شکل ۱۴ ــ اسیلوگرام غوغا

شکل ۱۶ ــ اسیلوگرام تندر

در شکل ۱۴ اسیلوگرام یک غوغا (موتور اتومبیل) و در شکل ۱۵ منحنی پوش‌طیف مربوط به آن که توسط یک پالایه الکتریکی اکتاوی (فیلتری که هر درجه آن با درجه‌قبلی باندازه یک اکتاو فاصله دارد) اندازه گیری گردیده ، نمایش داده شده است . در این شیوه نمایش بعلت وجود تعداد بیشماری خط در طیف دیگر نمی توان دامنه هر یک را جداگانه نمایش داد وفقط به‌ترسیم منحنی تغییرات دامنه برحسب فرکانس اکتفا می‌گردد (پوش خطوط طیف) .

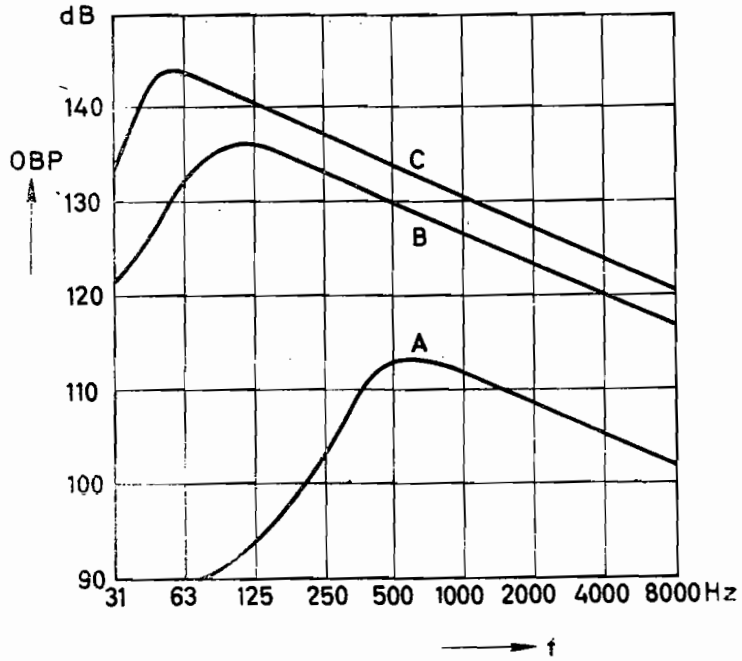


شکل ۱۵ ــ منحنی طیف غوغا

در شکل ۱۶ اسیلوگرام نوعی آوا که آنرا ترکش می نامیم (نظیر آوای تندر ـ توپ ـ طپانچه و غیره) نمایش داده شده است . تفاوت ترکش با سایر آواها در تظاهر ناگهانی

و خاموشی تند آنست .

در شکل ۱۶ اسیلو گرام ترکش یک توپ و در شکل ۱۷ منحنی پوش طیف سه گونه ترکش را می‌توان مورد بررسی قرار داد . از منحنی طیف بر می آید که پوش طیف در همه ترکش ها بهم شباهت دارند و فقط تر از دامنه ونوار فرکانس آن ها متفاوت اند .



شکل ۱۷ ــ منحنی طیف ترکش (محاسبه شده از روی اسیلوگرام شکل ۱۶)

A . طپانچه در فاصله ۸۵ سانتیمتری

B . توپ کالیبر ۷۵ در فاصله ۵ متری

C. ترکش چهار کیلوگرمTNT درفاصله ۴ متری

ترکش فـراسوی آوا

هنگامی آوای ترکش از حرکت تند یک تندیس در یک شاره گازی نیز بگوش میرسدکه تندی حرکت تندیس درشاره بیش از تندی انتشار آوا در آن شاره باشد . پیشانی تندیس هنگام حرکت درشاره افزایش فشاری بوجود می آورد که در شکل ۱۶ روند آن نمایش‌داده شده است . همچنین در پشت تندیس نیز کاهش فشاری برابر با آن ایجاد می گردد . نمونه ای از این ترکش را می توان ترکش شلاق رام کنندگان ددان (در سیرک ها) نـام

برد که ازحرکت تند نوک شلاق آوای ترکشی مانند ترقه بگوش میرسد . همچنین از حرکت تند گلوله توپ و تفنگ هم ، چنانچه با بیش از تندی فراسوی آوا در هوا پرتاب گردند آوای ترکشی بگوش میرسد که با آوای ترکش باروت متفاوت است .

مهمترین نمونه ترکش حرکت تند ، آوای ترکش هواپیماهای فراسوی آوا (SST)* است کهروند فشار آوایآن در شکل۱۸ نمایش دادهشده است وآنرا موج N می‌نامند .

نخستین هواپیماSST هواپیمای کنکورد استکه دربلندی۵۰ تا ۶۰ هزار پا (فوت) و با تندی ۲ تا ۲/۲ ماک پرواز می نماید . فشار آوای ترکش این هواپیما در روی زمین در حدود ۱۳۴ دسی بل می باشد کههمسانفشار ۱۰ کیلو گرم در متر مربع می باشد .

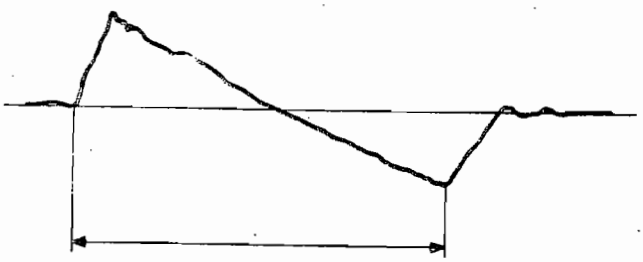
بدیهی است که این فشار میتواند به پهنههای بزرگ (مانند پنجره ها و سقف ها) آسیب و شکست وارد نماید . چنانچه هواپیما هنگام پرواز تغییر جهت دهد بسبب همگرا شدن فشار ،در کانون منحنی مسیر میتواند در شرایط خاصی فشار چهار تا ۵ برابرافزایش یابد که به ۴۰ تا ۵۰ کیلو گرم بر متر مربع برسد ، که در این صورت خسارت شدیدی به ساختمانها و تاسیسات واقع در کانون مسیر وارد می آید .

گوش انسان موج فشاری را چه با فشار برتر و چه با فشار کمتر (شکل ۱۸) یکسان می شنود و از این رو آوای ترکش دوبار باید بگوش برسد که این پدیده در آوای ترکش گلوله که در ازای آن تنها چند سانتیمتر (یادسی متر) بیش نیست پیاپی و یکباره بگوش می رسد ولی در آوای ترکش هواپیما SST که درازای آن ۶۰ متر است پدیده دوآوائی ترکش با آوای بم بخوبی شنیده میشود که همانند ترکش تندر (رعد) می باشد .

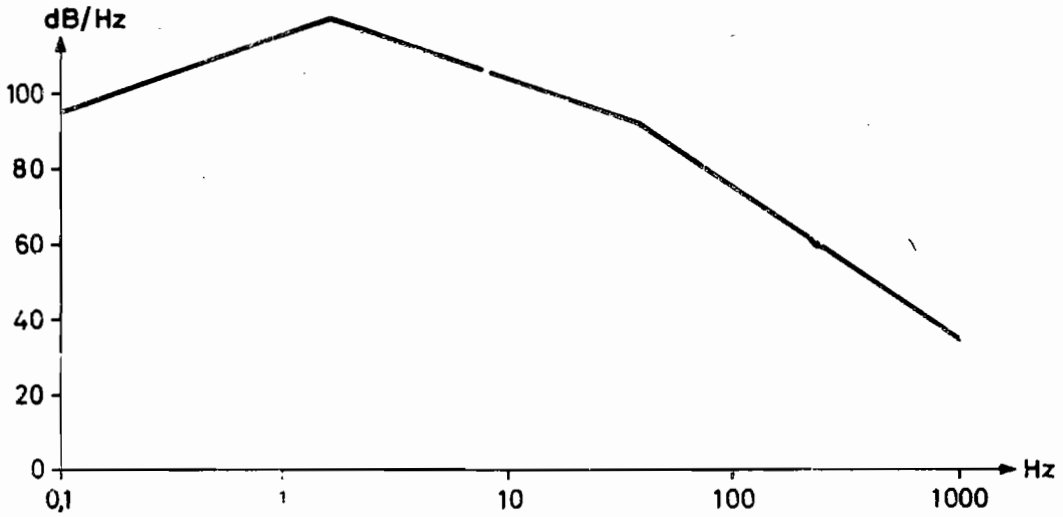
از اسیلو گرام شکل ۱۸ طیف آوای ترکش را میتوان برای نوار شنوائی بدست آورد که در شکل ۱۹ نمونه ای از آن نمایش داده شده است .

---

*) Supersonic Transport (SST)



شکل ۱۸ ــ فشار پیشانی و پشت در هواپیمای SST کنکورد که آن را موج N مینامند .
(T= 0,35 Sec)



شکل شکل ۱۹ ــ طیف بدست آمده از اسیلوگرام شکل ۱۸ (پوش انتگرال فوریه)
D.R.Johnson und D.W. Robinson 1969

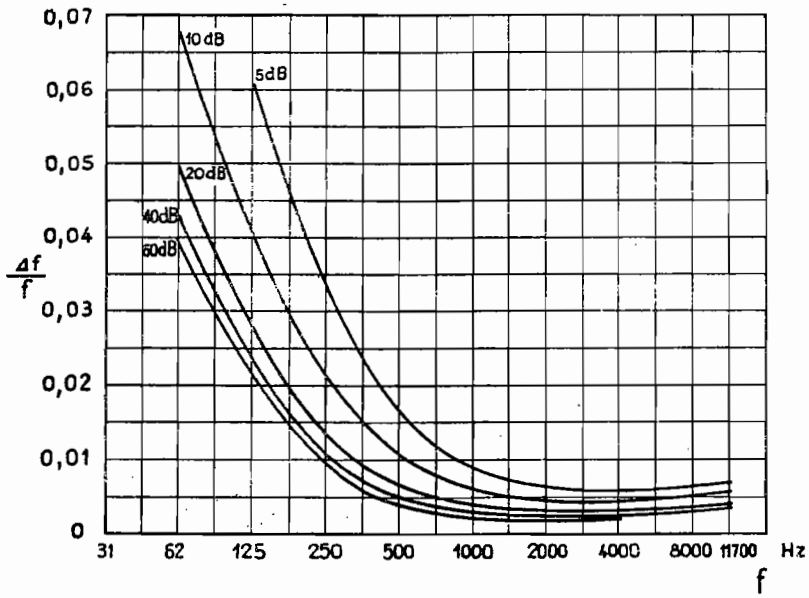
از طیف آوای ترکش دیده میشود که بیشینه انرژی ترکش در بخش نواهای بم (کمتر از ۲۰ هرتس) است کهاین خود بخوبی زبان‌ها وخسارتهای ناشی ازآوای ترکش هواپیمای کنکورد را نمایش میدهد .

ترازآوای هواپیمای‌کنکورد رامحاسبه Rabinson & Johnson
کرده اند که آن درشرائط گوناگون جوی از ۹۲ تا ۱۱۷ فون می باشد . هنگام تغییرجهت هواپیما که فشار در کانون افزایش می یابد تراز آوای ترکش تا ۱۳ فون بیشتر میشود ــ بدین‌سان میتوان دریافت‌که میانگین‌تراز آوای‌هواپیمای SST ۵ ± ۱۱۰ دسی‌بل‌می‌باشد .

پالایش (آنالیز) آوا :

برای بدست آوردن طیف آوا از دو راه می توان به نتیجه رسید . روش ریاضی با بکار بردن آنالیز فوریه از روی اسیلوگرام ــ روش لابراتواری و پالایش با پالایه (فیلتر) الکتریکی . روش نخستین مستلزم صرف وقت و اندازه گیری های پیاپی و محاسبه ریاضی است که همواره و در همه حال میسر نمی‌باشد ولی در روش لابراتواری می توان در بیشتر موارد و با اندازه گیری به نتیجه مطلوب رسید . لازمه اجرای روش پالایش لابراتواری داشتن زمان کافی و تکرار آوای مورد نظر برای احرازدقت کافی در اندازه گیری می باشد که همواره میسر نیست و از این رو پدیده های آکوستیکی زود گذر و ناپایدار را برروی‌نوار ضبط می نمایند تا نیازی به تکرار نباشد و برای پالایش بتوان نوار مزبور را هرچند بارکه مورد نیاز باشد تکرار نمود .

برای پالایش آوا می توان فیلترهای الکتریکی با فاصله فرکانس ثابت و یا فیلترهای با نسبت فرکانس ثابت (نظیر آنچه که در موزیک معمول است که نسبت فرکانس نغمه‌های یک‌اکتاو مساوی ۲ : ۱ است) بکار برد . انتخاب هر یک از این دو راه بستگی به توانائی تشخیص تغییر فرکانس گوش‌دارد که درشکل ۲۰ نمایش داده شده است . منحنی شکل ۲۰ نسبت‌تغییر فرکانس‌قابل درک Δf رابه‌فرکانس f برحسب فرکانس f مشخص‌می‌نماید . چنانچه از روند منحنی بر می آید برای فرکانسهای میانگین و زیاد $\Delta f/f$ تقریبا " یکسان می ماند در حالی که برای فرکانسهای کم (نغمات‌بم)متناسب‌با $1/f$ می باشدــازاین رو برای داشتن دقت کافی درآزمایش بهتر است که برای فرکانسهای‌کم از فیلترهای بافاصله فرکانس ثابت وبرای فرکانسهای میانگین وزیاد از فیلترهای نوع دوم استفاده گردد .ولی با توجه باینکه ساختمان این دو نوع فیلتر مشابه یکدیگر نمی تواند باشد ، اجرای تــوام آنها بدون اشکال نیست ــ زیرا برای ساختن فیلترهای بافاصله فرکانس ثابت کافی است که تعدادی فیلتر میان گذر (باند پاس) را با کلیدی یکی پس از دیگری در سر راه‌جریان



شکل ۲۰ ــ اختلاف فرکانس شنوائی $\Delta f/f$ برحسب فرکانس f برای ترازهای از ۵ تا ۶۰ دسی بل

الکتریکی میکروفنی که در میدان آکوستیکی مورد نظر قرار دارد بگذاریم ــ در روش دوم که حصول نسبت ثابت تغییر فرکانس و یا درحقیقت ساختن فیلترهائی باپهنای‌گذرثابت مورد نظر است ازروش پالایش با فرکانس کمکی استفاده می گردد که در آن آوای موردنظر را با آوای مشخصی سوار (مدوله) می نمایند و یک نیمه باند حاصله را بکمک یک فیلتر کریستالی که پهنای گذر آن ثابت است عبور می دهند . با توجه به اصول ساختمان این دو نوع فیلتر مشخص می‌گردد که‌ترکیب این دو بسهولت میسر نیست و از این رو در عمل فیلتر نوع دوم رابرای پالایش همه‌آواهابکارمی‌برند . این فیلتر ها بانواع مختلف ساخته می شوند که برای کارهای عادی از نوع اکتاوی آن که نسبت فرکانس‌آنها ۲ : ۱ است استفاده میگردد ولی برای مطالعات علمی فیلترهای ۱/۳ اکتاو که نسبت فرکانس درآنها $\sqrt[3]{2}$: ۱ = ۱:۱/۲۶ است بیشتر بکاربرده می‌شوند .این فیلترها در حالی که‌باحساسیت گوش تاحدودی تطابق دارند بسهولت و باقیمت ارزانی نیز تهیه می‌گردند . (فیلترهای نیمه اکتاوی نیز در مواردی بکار برده می شوند) . موسسه استاندارد جهانی (ISO)

درسال ۱۹۶۰ لیستی ازفرکانسهای نغمه‌هائی که‌برای‌آزمایشها وپالایش‌آواها حائز اهمیت می باشد تهیه کرده است که با رعایت آن در آینده روشهای اندازه گیری در همه مواردو کشورها یکنواخت خواهد گردید و می توان استاندارد یکسانی در کلیه کشورهای جهان برای نتایج اندازه‌گیری وضع نمود ــ اساس نغمه‌های توصیه شده بر فرکانس ۱۰۰۰ هرتس وضع گردیده است که‌بدان فرکانس نورم فیزیکی نام نهاده‌اند . (فرکانس نورم موزیکال نغمه لا = ۴۴۰ هرتس می باشد) .

ISO Nr. 402 – 1960

Frequenzen	1/1 Okt.	1/2 Okt.	1/3 Okt.	Frequenzen	1/1 Okt.	1/2 Okt.	1/3 Okt.	Frequenzen	1/1 Okt.	1/2 Okt.	1/3 Okt.
16	×	×	×	160			×	1 600			×
18				180		×		1 800			
20			×	200			×	*2 000*	×	×	×
22,4		×		224				2 240			
25			×	*250*	×	×	×	2 500			×
28				280				2 800		×	
31,5	×	×	×	315			×	3 150			×
35,5				355		×		3 550			
40			×	400			×	*4 000*	×	×	×
45		×		450				4 500			
50			×	*500*	×	×	×	5 000			×
56				560				5 600		×	
63	×	×	×	630			×	6 300			×
71				710		×		7 100			
80			×	800			×	*8 000*	×	×	×
90		×		900				9 000			
100			×	*1000*	×	×	×	10 000			×
112				1120				11 200		×	
125	×	×	×	1250			×	12 500			×
140				1400		×		14 000			
160			×	1600			×	*16 000*	×	×	×

برای ترسیم نتیجه اندازه‌گیری‌ها بصورت منحنی یانمودار موسسه استانداردجهانی روش زیرین را پیشنهاد نموده است که کلیه نمودارها یا منحنی ها با یکدیگر قابل مقایسه باشند :

خوفت (محور افقی) برای فرکانس برحسب H_z (هرتس) (باتقسیمات لگاریتمی) :

ده بده (دکادی) ۵۰ میلیمتر

اکتاوی ۱۵ میلیمتر

یک سوم اکتاو ۵ "

روست (محور عمودی) برای طراز انرژی برحسب دسی بل (با تقسیمات خطی)

۲۰ میلیمتر = ۱۰ دی بی

ترازکلی آوا را میتوان بسادگی با روش برآنک (L.L.Beranek) از تراز آوای اکتاوی بدست آورد .

جدول شماره ۷

تفاوت دو تراز آوا	افزایش تراز بیشترین
۱ ــ ۰ دسی بل	۳ دسی بل
۳ ــ ۲ "	۲ "
۹ ــ ۴ "	۱ "
بیش از ۹ "	۰ "

۳۹

مثال : (شکل ۲۸ منحنی B)

جدول شماره ۸

فرکانس میانگین	تراز اکتاوی	تراز کلـــی
۶۳ هرتس	۹۸	
۱۲۵ "	۱۰۱	۱۰۳
۲۵۰ "	۱۰۳	۱۰۸
۵۰۰ "	۱۰۲	۱۰۶
۱۰۰۰ "	۹۹	۱۰۹ دسی بل
۲۰۰۰ "	۹۴	
۴۰۰۰ "	۸۳	۱۰۰
۸۰۰۰ "	۵۹	۱۰۰
		۸۳

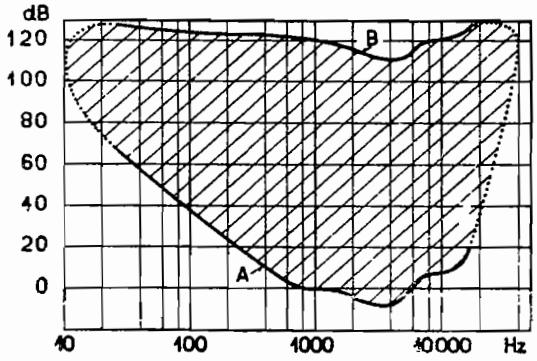
۵ ــ شنوائی آوا

شنوائی : دربررسی آکوستیک ساختمان و مبارزه باغوغا و مانند آن بهترین دستگاه سنجش همواره شنوائی است وبدون توجه به ساختمانوخواص گوش و احساس شنوائی ممکن است راه بیهوده‌ای پیموده شود . از این روسر آغاز کتابهای آکوستیک همواره به ساختمان گوش اختصاص دارد .چون بررسی ساختمان وآناتومی گوش (تشریح) برای بررسی شنوائی اهمیت‌چندانی ندارد بنابراین در اینجا تنها به بررسی خواص شنوائی اکتفا می گردد .

میدانیم که گوش از سه بخش برونی ــ میانی و درونی تشکیل گردیده است که شنوائی در

گوش درونی و توسط اعصاب گوش که به حلزون متصل می باشند انجام می گیرد .

پژوهشهای اخیر نشان میدهد که اعصاب شنوائی که تعداد آنها (بطور تقریب)تا ۲۰۰۰۰ نیز میرسد در داخل حلزون گوش به پرده‌ای بنام ممبران بازیلار* که درازای آن در انسان در حدود۳ سانتیمتر است ومهمترین عامل شنوائی می باشد ، وابستگی‌دارند . ممبران بازیلار مانند یک آنالیزاتور فوریه می‌باشد که آوا را به اجزاء تشکیل دهنده‌تجزیه و به عصب ها تاثیر می دهد که در نتیجه می توان از آواها و نغمه های درهم هر یک را جداگانه نیز شنید .



شکل ۲۱ ــ آستانه شنوائی A و آستانه درد B گوش

در سالیان دراز بررسی های گوناگونی از طرف دانشمندان در مورد حساسیت گوش و تبعیت آن از فرکانس بعمل آمده است که نتیجه این مطالعات در شکل ۲۱ نمایش داده شده است . چنانچه از بررسی منحنی حساسیت گوش بخوبی مشهود است منحنی A که بنام آستانه شنوائی نامیده می شود (کمترین انرژی آکوستیکی که گوش تشخیص می‌دهد) شدیدا " تابع فرکانس است‌و بخصوص برای فرکانسهای‌بم حساسیت‌گوش بمراتب‌کمتراست . حدبالای حساسیت گوش‌که بنام آستانه دردناکی نامیده می‌شود‌مشخص دامنه فشار آوائی است که بیش از حد تحمل و درد آور می گردد ــ بین این دو آستانه میدان شنوائی قرار

*) Basilarmembran

داردکه‌ازفرکانس۱۶هرتس‌تا۱۶هزارهرتس‌می‌باشد .اثبات‌گردیده‌است که حدود شنوائی چه از نظر دامنه و چه از نظر فرکانس فقط با ساختمان گوش ارتباط ندارد بلکه این حدود با توجه به طبیعت آواهای محیط زندگی انسان محدودیت یافته اند . فشار ایجاد شده در اثر حرکات ترمیک ملکولهای اجسام (که نوسان آنها در فرکانسهای قابل‌شنوائی نیز قرار می گیرد) قدری کمتر از آستانه شنوائی است و بهمین جهت غیر قابل شنیدن است ــ در حالی‌که اگرحساسیت گوش بیشتر می‌بود انسان دائما "غوغائی شبیه‌ریزش آبشارمی‌شنید ــ همچنین اگر آواهای بم‌تر از ۱۶ هرتس بگوش انسان شنیده می شد شنیدن غوغائی مانند غوغای باد ــ آوای گردش خون وهضم غذا دربدن غیر قابل اجتناب بود ، علاوه براین آستانه احساس درد درحدی قرار دارد که بافشارهای بیش از آن خاصیت تحرک‌الاستیکی هوا از بین میرود .

مقیاس شنوائی (فون و سون) :

با توجه به‌تاثیر خواص شنوائی درکلیه مسائل آکوستیکی می توان دریافت که بدون نمایش حس شنوائی بااعداد وارقام و یا درحقیقت تعیین مقیاسی برای شنوائی هیچگونه پژوهشی در آواها میسر نخواهد بود .

با یک مطالعه سطحی در ساختمان و خواص گوش معلوم می گردد که احساس شنوائی را نمی توان بسهولت و با مقیاسات مطلق معمول در فیزیک مشخص نمود ، بلکه تنها از راه مقایسه می‌توان نتیجه مطلوب را بدست آورد . به بیان ساده‌تر بایستی که تر ازآوای مورد آزمایش را با تر ازنغمه مشخص و نورم شده‌ای از نظر شنوائی سنجید . بر اساس‌این تعریف مقیاس فون[1] (که همه کشورهای جهان نیز پذیرفته‌اند) از طرف موسسه استاندارد جهانی[2] پیشنهاد گردیده است .

1- Phon
2- ISO/R 131-1959

فون مقیاسی است بدون دیمانسیون که مشخص تراز بلندی آوا[1] می باشد ــ تراز بلندی آوایی هنگامی N فون می‌باشد که شنونده‌ای آنرا همطراز نغمه‌ای با فرکانس۱۰۰۰ هرتس وبطراز N دی بی احساس نماید ،بدیهی است که چون تعیین این مقیاس بستگی به مقایسه وشنوائی افراد مورد آزمایش دارد بنابراین اجرای‌آن علاوه‌بر در دست داشتن لابراتوار مجهز ، نیازمند شنونده ای تعلیم دیده و قابلی نیز می باشد .

طی‌آزمایشات متعددی منحنی‌های نواهای همطراز براساس مقررات استانداردبین‌المللی[2] که در شکل ۲۲ نمایش داده شده است اندازه گیری و استاندارد شده است .

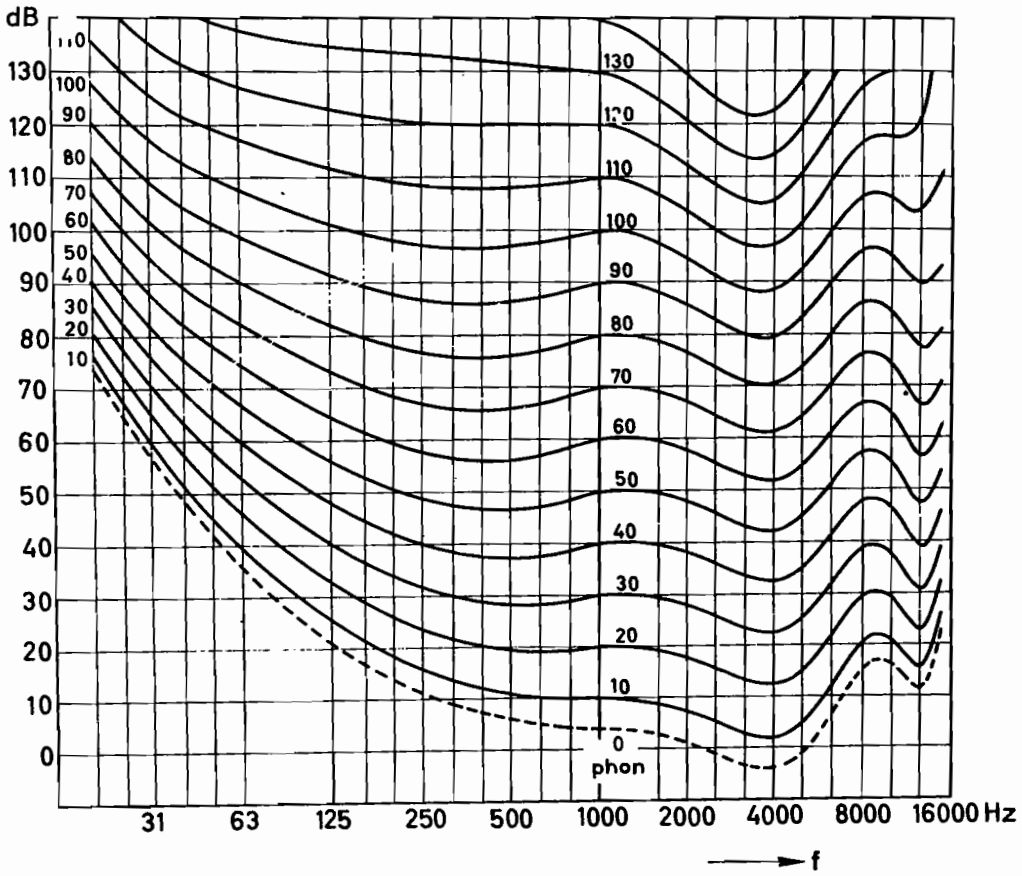
از بررسی شکل ۲۲ بخوبی می توان رابطه بین شدت انرژی آکوستیکی اعمال شده برحسب دی بی واحساس شنوائی (فون) را مشخص نمود ــ فون مقیاسی است که‌براساس دسی‌بل بنا گردیده است و در فرکانس نورم شده ۱۰۰۰ هرتس‌با یکدیگر برابرند ولی‌در فرکانسهای بیشتر یا کمتر اختلاف فاحشی (بخصوص در ترازهای پائین) دارند . بکار بردن مقیاس فون ازنظر اندازه‌گیری تراز بلندی آواها تسهیلات بسیاری را بدست میدهد ولی در اغلب موارد با طبیعت و ساختمان گوش تطابق ندارد و مثلا " نمیتوان تراز شدت منتجه‌دو آوا رابسادگی و بایک جمع ساده بدست آورد و احتیاج‌به محاسبه‌وبررسی بیشتری دارد و از این رو برای ایجاد سهولت بیشتری در اندازه گیری و محاسبات ، مقیاس سون (SON)[3] راطبق توصیه موسسه استاندارد جهانی که مشخص بلندی[4] آوا می باشد بکار

1- Nivaeu d' isosonie = Loudness level

2- ISO Nr. 352 (1960)

3- ISO /R 131-1959

4- Sonie = Loudness



شکل ۲۲ ــ منحنی های ایزوفون

می برند ــ رابطه بین سون و فون عبارتست از :

$$S = 2^{(P-40)/10}$$

و یا

$$\log_{10} S = 0{,}03\,(P - 40)\,.$$

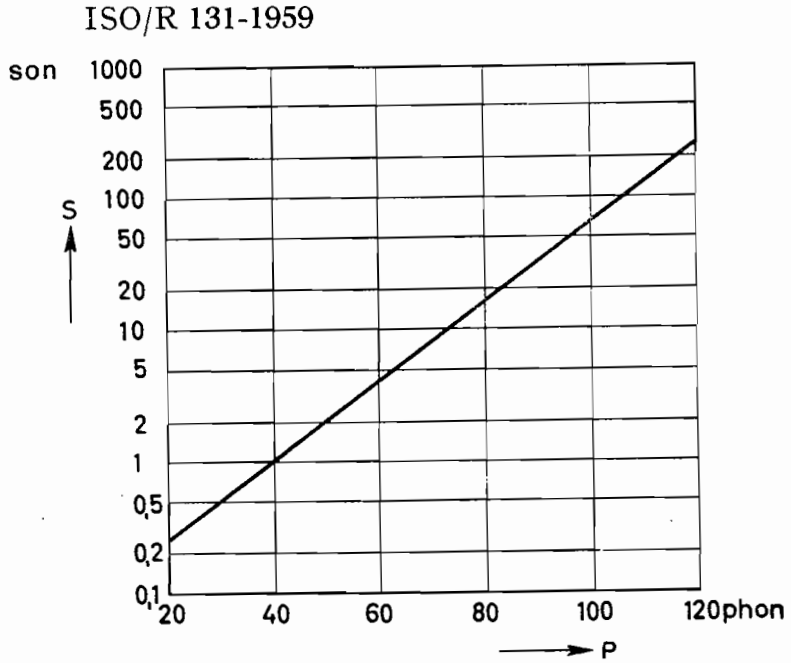
چنانچه رابطه فوق را بصورت ترسیمی نمایش دهنده شکل ۲۳ حاصل می گردد که از آن نکات زیرین استنباط می گردد :

۱ــ بلندی آوائی برابر یکسون معادل باطراز بلندیآن آوا برابر با ۴۰فونمی‌باشد

۲ ــ دو برابر کردن بلندی آوا معادل ازدیاد تر از آن باندازه ۱۰ فون می باشد

۳ ــ رابطه فوق فقط بین ۲۰ تا ۱۲۰ فون گویا است و برای استفاده از فرمول در

حدود خارج از مقادیر ذکر شده باید روش تصحیح را نیز بکار برد .



شکل ۲۳ ــ بستگی فون و سون با یکدیگر

از مثالهای عددی زیرین می توان بخوبی به اهمیت استفاده از مقیاس سون پی‌برد

آ)اختلاف تراز بلندی اگر ۱۰ فون باشد بلندی آوا ، دوبرابر و یا نصف شده‌است و چنانچه ۲۰ فون باشد بلندی آوا چهار برابر می باشد ــ اختلاف طراز بلندی ۵ فــون (مثلا" از ۷۵ فون به ۸۰ فون که برابر با ۱۱/۳ سون به ۱۶ سون است) نشانه ازدیاد بلندی آوا معادل ۵۰٪ است . ازدیاد طراز بلندی برابر یک فون معادل ازدیاد بلندی ۷٪ و ازدیاد ۲ فون برابر ۱۱٪ است ــ از اینجا بخوبی معلوم می گردد که تفاوت بلندی محسوس ما بین یک و دو فون قرار دارد .

ب)جمع‌طرازبلندی‌دو سرچشمه آوا را نیز می توان بکمک مقیاس سون بروش زیرین بدست آورد :

سرچشمه آوای ۱	۸۵ فون ← ۲۲/۶ سون
" " ۲	۶۵ فون ← ۵/۶ سون
جمع	۸۸ فون ← ۲۸/۲ سون

برای آسانی و استخراج اعداد دقیق جدول زیرین بهترین راهنما است .

جدول شماره ۹

phon	son	phon	son	phon	son
20	0,25	55	2,83	90	32,0
25	0,35	60	4,00	95	45,3
30	0,50	65	5,66	100	64,0
35	0,70	70	8,00	105	90,5
40	*1,00*	75	11,3	110	128
45	1,41	80	16,0	115	181
50	2,00	85	22,6	120	256

از این مثال ها بخوبی روشن می گردد که دو آوا با اختلاف طراز ۲۰ فون را اگر با یکدیگر جمع‌نمائیم تاثیر آوای ضعیف تر در منتجه فقط ۳ فون می گردد ــ چنانچه طراز بلندی آوای هردو سرچشمه مساوی یکدیگرباشد میدان‌منتجه فقطه ۱فون قوی‌تر می‌گردد ــ البته این‌مقدار ازدیاد طراز درشرائطی است کەطیف دوسرچشمه با یکدیگر تطابق نداشته باشند و گرنه ازدیاد تراز همواره کمتر از این خواهد بود . (اثر پوشش) .

استخراج تراز بلندی آوا از منحنی طیف

با در دست داشتن طیف می توان با روشهای گوناگونی تراز بلندی آوا را محاسبه نمود ــ دو روش علمی کە در اینجا قابل ذکر می باشد عبارتست از روش

S.S. Stevens (1956) E. Zwicker (1959)

که هردو روش بامقررات استاندارد جهانی تطابق دارند (*) برای اجرای محاسبه همواره باید اطلاعات زیرین در دسترس قرار داشته باشند .

۱ ــ طیف در نوار فرکانسهای گوناگون (مثلا " بصورت اکتاوی)

۲ ــ منحنی نواهای همطراز

۳ ــ رابطه بلندی آواها

---

*) ISO /R 532-1966

۴ ــ تاثیر متقابل آواها در نوارهای فرکانس مختلف (اثر پوشش)

S.S. Stevens روش خود را در سال ۱۹۶۱ طی یک مقاله علمی منتشر نمود و حاوی جدولی است که از آن می‌توان اندکس بلندی آوا را دربانده‌ای فرکانس (اکتاوی) مختلف و برحسب طراز بلندی آوا (برحسب دي بي) استخراج نمود ــ بلندی منتجه St طبق روش استونس عبارتست از :

$$S_t = S_m + F\,(\Sigma S - S_m)\,,$$ سون

که‌درآن S_m عبارت از اندکس بلندی آوا برای بلندترین آوا و ΣS مجموعه اندکس بلندی آوا درتمام طیف می‌باشد . F نیز بستگی به پهنای باند فرکانس مورد نظردارد ومعادل ۰/۳برای هراکتاو می‌باشد (برای یک سوم‌اکتاو ۰/۱۵ وبرای نیم اکتاو۰/۲است)

dB	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
110	62	80	100	125	149			
105	42	52	66	80	105	130		
100	28	36	45	57	71	90	115	140
95	20	25	30	39	48	60	78	100
90	14	18	22	27	33	42	53	67
85	9,5	13	15	18	23	27	36	45
80	6,7	9,5	11	13	16	20	25	30
75	4,7	7,0	8,2	10	12	14	18	22
70	3,4	5,0	6,3	7,5	8,8	11	13	15
65	2,3	3,6	4,6	5,5	6,6	7,9	9,5	11
60	1,5	2,5	3,5	4,0	4,9	5,8	7,0	8,2
55	1,1	1,7	2,5	3,0	3,6	4,3	5,2	6,2
50	0,6	1,2	1,8	2,2	2,7	3,2	3,8	4,6
45	0,3	0,7	1,3	1,6	2,0	2,4	2,8	3,4
40	0,1	0,4	0,8	1,2	1,4	1,8	2,1	2,5
35		0,1	0,4	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8
30			0,2	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3

بلندی آوای S_t که بدین سان بدست می آید میتوان با رابطه بلندی آوا (شکل ۲۳ یا جدول شماره ۹) به فون تبدیل کرد .

بلندی آوائی را که بدین‌سان محاسبه می گردد نمی توان با مقیاس فون نام گذاری

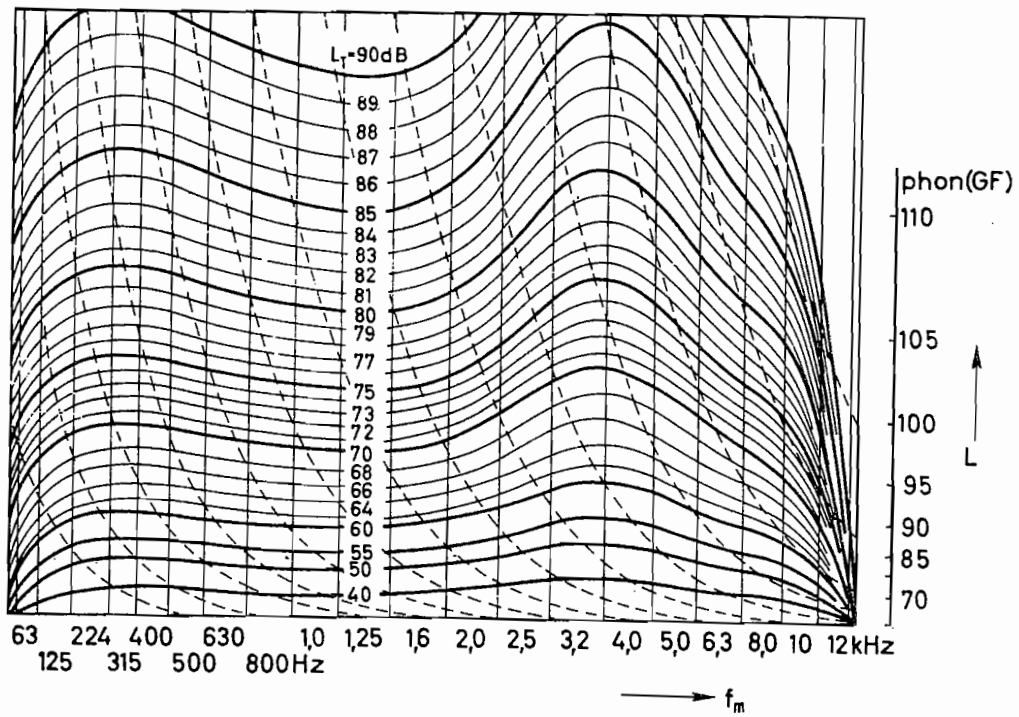
کرد زیرا فون برپایه قرار دادهای جهانی به بلندی هائی گفته میشود که با سنجش و مقایسه بدست آمده باشد .بنابراین مقادیر محاسبه شده باروش S.S.Stevens را باید چنین نام گذاری کرد :

(OD) Phon برای مقادیر محاسبه شده اکتاوی و میدان دیفوز

(HD) Phon برای مقادیر محاسبه شده نیم اکتاوی و میدان دیفوز

(TD) Phon " " " یک سوم اکتاوی و میدان دیفوز

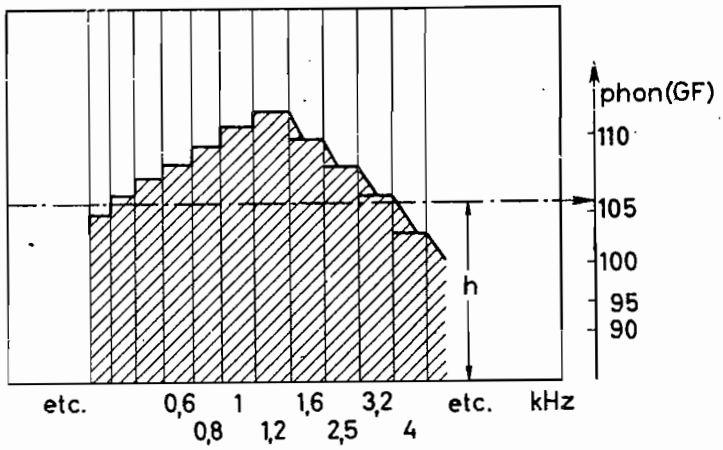
روش تسویکـر ZWICKER



شکل ۲۴ ــ محاسبه تراز بلندی آوا طبق روش تسویگر

روش دوم که روش تسویکر نامیده میشود برای آوای یکنواخت و تجزیه ۱/۳ اکتاوی وبرای میدانهای آکوستیکی آزاد و یا دیفوز گویا است . در شکل ۲۴ خطوط عمودی‌مشخص فواصل فیلتر ۱/۳ اکتاو می باشد و اعداد محـور افـقـی فرکانسهای متوسط هر بانـد فیلتر است . منحنی های L طراز بلندی آوای مورد آزمایش را برحسب دی بی و در

تجزیه ۱/۳ اکتاوی نمایش میدهد . از روی منحنی شکل ۲۴ مقادیر طراز اندازه گیری‌شده در ۱/۳ اکتاو را استخراج و بصورت خطوط افقی ترسیم (شکل ۲۵) و سپس خطوط افقی حاصله را بیکدیگر مرتبط می نمایند .



شکل ۲۵ ــ نمونه ای از محاسبه تراز با روش تسویکر

سطح زیر منحنی پله‌ای حاصله (سطح هاشور خورده) متناسب باطراز بلندی‌آوای مورد نظر می باشد که اگر سطحی معادل سطح زیر منحنی (با ارتفاع h در شکل ۲۵) انتخاب گردد میتوان طراز بلندی آوا را ازاشل فون‌داده شده‌در محورطرف راست منحنی مستقیما " استخراج نمود . *

شکل ۲۴ برای محاسبه تراز آواز ۶۰ تا ۹۰ دسی‌بل گویا است .منحنی های دیگری همانند شکل ۲۴ برای محاسبه تراز آواهای ۲۰ تا ۵۰ دسی‌بل و ۴۰ تا ۷۰ دسی بل و ۷۰ تا ۱۱۰ دسی‌بل نیز که هم برای میدان آزاد و هم برای میدان دیفوز بکار برده میشوددر دسترس قرار دارد (**) . در این روش نیز باید علامتی برای تمایز مقادیر بدست‌آمده

---

*) Acoustica-1960-P304
**) ISO /R532-1966

از محاسبه و مقادیر سنجیده بکار برده شود که در این روش علائم Phon (GF) و Phon (GD) برای میدان آزاد و میدان دیفوز انتخاب شده است .

تراز آوای دریافتی (*)

فزون برد و روش نام برده شده برای سنجش غوغا (روش استونس و روش تسویکر) برای سنجش غوغای هواپیمائی روش دیگری که نخست ویژه آمریکا بوده‌واینک پذیرش جهانی (**) یافته است نیز بکار برده میشود که برپایه روش‌استونس وفرکانس۱۰۰۰ هرتس استوار است و کوشش می گردد که با این روش آزار غوغای هوائی بهتر نشان داده شود که از این رو آنرا تراز آوای دریافتی می نامند . با این روش اندازه گیری که بویژه برای غوغای زوزه‌کش مناسب تر است ، بلندی بدست آمده چند دسی بل بیش از بلندی آن با فون می باشد . با آنکه برای اندازه گیری غوغای فرودگاهها امروزه بیش از بیش PN dB بکار برده‌میشود ولی اندازه‌گیری با (A) dB هنوز هم‌متداول‌است‌که‌برحسب نوع هواپیما PN dB ۱۱ تا ۱۳ دسی بل بیش‌از dB(A) می باشد .

آزار غوغا

با روش های اندازه گیری یا محاسبه غوغا میتوان غوغای فرود یا اوج هواپیماها را یک بیک وبرای یک بار با اعداد و ارقام نمایش داد . ولی این اعداد و ارقام نمی‌توانند نمایانگر آزار غوغا در فرودگاه و شهرک های نزدیک آن باشند زیرا علاوه بر تراز غوغای هر هواپیما تعداد فرود و اوج آنها در ساعت (بویژه شب) نیز در آزار غوغای‌آنهاسهم بسزائی دارد . از این رو کوشش می گردد با بررسی های دراز مدت و در ساعات‌گوناگون روز و شب و بویژه در ساعات پر ترافیک،تراز غوغای میانگین دائمی Leq را باآمار ـ گیری یا با دستگاههای سنجش بدست آورند . امروزه علاوه بر Leq نامهای دیگری‌نیز

---

*) Perceived Noise Level (PN dB)
**) ISO /R507-1966

مانند " آزارغوغا " یاتراز حقیقی $\bar{Q}$ " نیز بر اساس استانداردهای جهانی (*) بکار برده میشود .

ساده ترین روش برای تعیین آزار غوغای هوائی بکار بردن اصطلاح NNI (**) است که بویژه در انگلستان و سوئیس متداول گردیده است . این اصطلاح با بیشینه تراز آوای دریافتی L_{PN_i} و تعداد فرود و اوج هواپیماها n بر اساس رابطه زیرین تعیین می گردد :

$$NNI = L_{\overline{PN}} + 15 \text{ Log } n - 80 \text{ dB}$$

$$L_{\overline{PN}} = 10 \log \frac{1}{n} i \sum_{1}^{n} 10^{L_{PN_i}/10}$$

برای تعیین NNI باید :

ـ میانگین مقادیر حاصله از بررسی های دراز مدت (چند ماه پر ترافیک یا یکسال) رابدست آورد، زیرا مقادیر حاصله از اندازه‌گیری روزانه ممکن است تفاوت زیادی با مقادیر میانگین داشته باشد .

ـ مقادیر روز و شب جداگانه تعیین گردد .

. ساعات روزانه از ۶ تا ۲۲

. ساعات شب از ۲۲ تا ۶

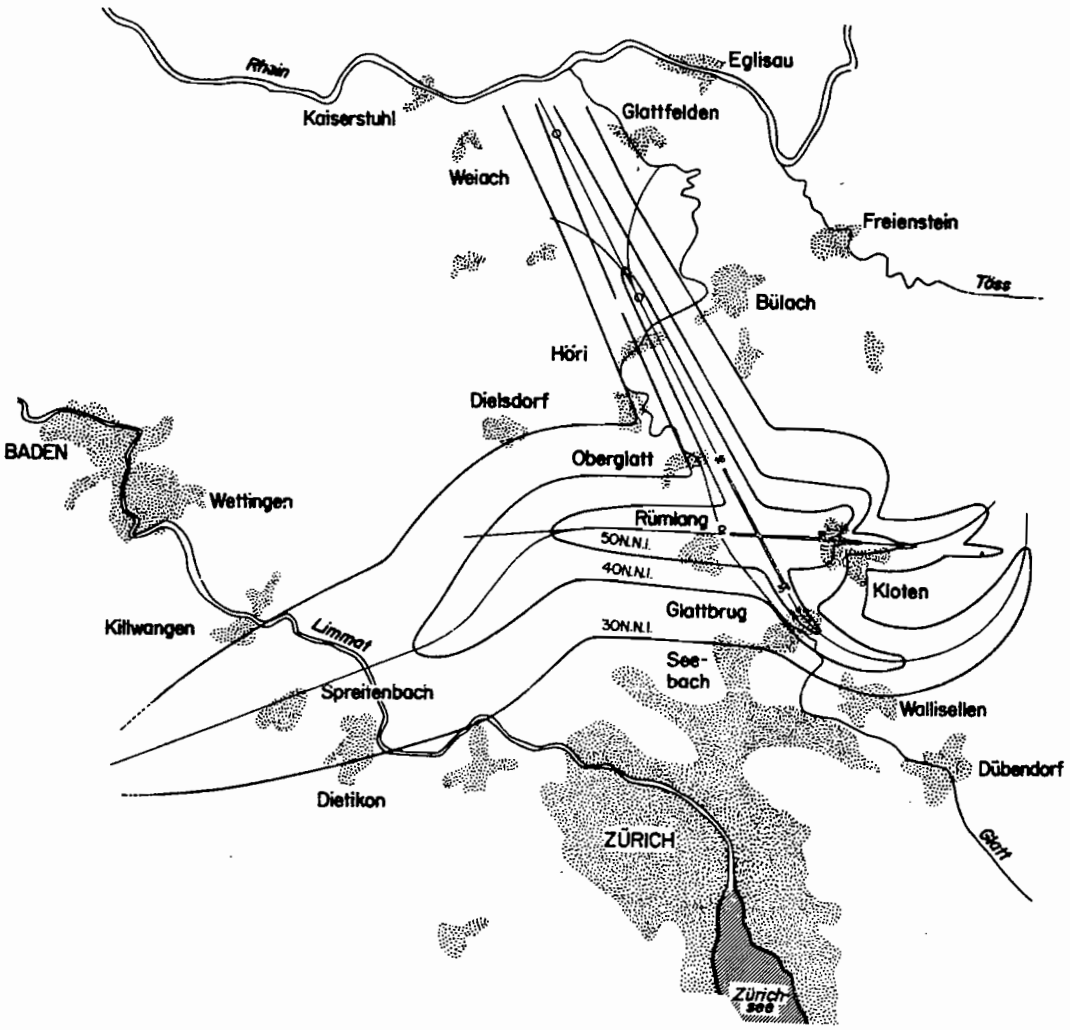
ـ مقادیر بدست آمده از سنجش های شبانه باید ۱۰ تا ۲۰ NNi کمتر از مقادیر روزانه باشد .

شکل ۲۶ بعنوان مثال مقادیر NNi محاسبه شده در فرودگاه بین المللی زوریخ را نمایش میدهد که در سال ۱۹۷۰ اندازه گیری و محاسبه گردیده است .

---

*)- ISO /R507-1966

**) NOISE AND NUMBER INDEX

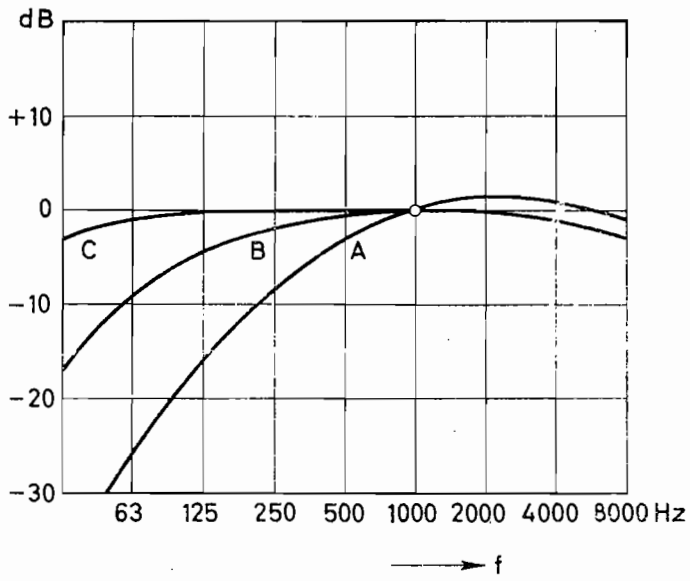


شکل ۲۶ ــ NNi برای فرودگاه زوریخ

۶ــ طـراز آوا :

اندازه گیری طراز .در فن میارزه باغوغا که باتوجه به فزونی ترافیک زمینی وهوائی و توسعه کارخانه های کوچک و بزرگ در شهرها اهمیت روز افزونی یافته است اندازه‌گیری طراز آوا از ضروریات وآغاز کار محسوب می‌گردد ــ باتوجه به طیف آواها وچگونگی شنوائی که دربخش پیشین گفته شد بسهولت روشن می‌گردد که اگر دربررسی غوغا به منحنی‌های ایزوفون گوش توجه نگردد نتیجه مطلوب از اندازه گیری‌ها حاصل نخواهد شد و از این‌رو دستگاههای اندازه گیری طراز آوا باید آنچنان ساخته شوند که بتوانند مقادیرحـقیقـی میدانهای آکوستیکی را با احساس شنوائی و خواص گوش تطبیق دهند . دستگاههای

اندازه گیری که تا کنون برای این منظور ساخته شده اند هیچیک شرائط لازمه را بطورکامل در بر ندارند و بعلت وجود عوامل غیر قابل کنترل (از قبیل اثر بوشش) ساختن یک دستگاه اندازه‌گیری که با کلیه شرائط میدانهای صوتی مختلف و خواص گوش تطابق داشته باشد تا کنون میسر نگردیده است . از این رو از طرف کمیته جهانی الکتروتکنیک دستگاه اندازه گیری استانداردی بنام سونومتر[1] پیشنهاد گردیده است که از آن می توان برای اندازه گیری طراز آواها و مقایسه آنها با یکدیگر استفاده نمود . ساختمان این دستگاه نسبتا " ساده و شامل یک میکروفن و یک تقویت کننده است و دارای کلیدی برای سه‌حالت اندازه گیری (طبق شکل ۲۷) می باشد .



شکل ۲۷ ــ منحنی‌های C , B , A سونومتر طبق توصیه IEC

یک وسیله اندازه گیری نیز در این دستگاه تعبیه شده است که انرژی دریافتی از میکروفن را برحسب دی بی مستقیما " نشان میدهد . کلیدی که دارای سه حالت A و C و B می‌باشد فیلترهائی را در مدار تقویت کننده قرار میدهد که نتیجه‌اندازه‌ـ

1- Sonomètre=Sound Level meter

گیری را (در حالت A)با منحنی حساسیت گوش تطابق دهد . برای میدان های‌صوتی با شدت کم منحنی A و برای شدت های میانگین و زیاد منحنی های B و C بکاربرده می‌شوند ــ در عمل سعی می‌گردد که اصوات مشابه (نظیر غوغای فرودگاهها) را همواره با یک نوع منحنی معینی (مثلا" A) اندازه‌گیری نمایندتامقایسه آنهابایکدیگر بسهولت میسر باشد و از این رو در بررسی نتیجه اندازه گیری دانستن منحنی انتخاب شده حائز اهمیت است و در کنار عدد حاصله نوشته می شود : مثلا" dB(A)

سونومترها را در یک‌میدان آکوستیکی آزاد ودر جهت مشخصی ، که نسبت به‌جهت انتشار آوا وضع خاصی (که از طرف کارخانه سازنده تعیین گردیده است) دارد ، میزان می نمایند .این وضع تنظیم سونومتر برای اکثر اندازه گیری ها مناسب است ولی چنانچه اندازه‌گیری طراز یک میدان صوتی درهم (دیفوز)نیز منظور نظر باشد بایددراین‌حالت هم بتوان دستگاه را تنظیم نمود .

چنانچه نتیجه اندازه گیری با سونومتر را با روش استاندارد سنجش غوغا (روش حسی) مقایسه نمائیم اختلاف زیادی بویژه در سنجش غوغای هواپیمائی دیده می شود که گاه تا ۱۵ دسی بل نیز میرسد .

از این رو برخی از کشورها (آلمان ــ سوئیس ــ ....) روشهای دیگری (Din - Phon) متداول گردیده است که جنبه استاندارد جهانی ندارد(*) و هنگام آن رسیده است‌که در این مورد ازطرف موسسه استاندارد جهانی‌اقدام جدی بعمل آید .

جدول مقایسه طراز بلندی آوا .

برای مقایسه و درک بهتر رابطه احساس شنوائی و طراز بلندی آوای محیط توجه به

---

*)برای سنجش غوغای ترافیک هوائی اخیرا" منحنی D نیز در سونومترها پیش بینی می گردد که با منحنی حساسیت گوش تطابق بیشتری دارد .

جدول زیرین راهنمای بسیار متناسبی می تواند باشد .

سرچشمه آوا (غوغا)	تراز آوا		احساس آوا	
هواپیمای ملخی در۵ متری	۱۳۰	dB (C)	غیر قابل تحمل	
پتک‌کمپرسی در ۱ متری	۱۲۰	"	"	a
پرچ کاری دیگ بخار	۱۱۰	"	"	
بوق اتومبیل در۵متری	۱۰۰	"	خیلی بلند	b
کامیون "	۹۰	"	"	
رادیو (بلند)	۸۰	dB (B)	"	
گفتگو در یک متری	۷۰	"	بلند	
اتومبیل سواری در۱۰متری	۶۰	"	"	c
جوی آب آرام	۵۰	dB (A)	آهسته	
ناحیه مسکونی (بدون‌ترافیک)	۴۰	"	"	
باغ آرام	۳۰	"	خیلی آهسته	d
تک تک ساعت (مچی)	۲۰	"	"	
زمزمه	۱۰	"	غیر قابل شنیدن	
آرامش کامل	۰	"	"	

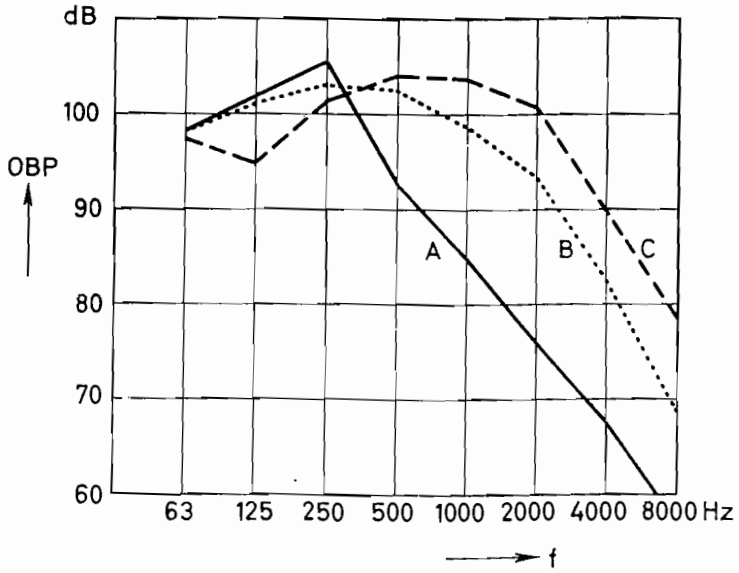
a . غوغای ترافیک هوائی b . غوغای صنایع C . غوغای‌ترافیک‌زمینی

d . غوغای محیط‌مسکونی

غوغای ترافیک هوائی

امروزه‌غوغای ناشی‌ازپرواز هواپیماها درشهرهای‌بزرگ‌بخصوص‌درحوالی‌فرودگاههای تجارتی و نظامی از نظر مزاحمت تاکنین و کارکنان آن نواحی مسئله قابل مطالعه ای را

تشکیل داده است که بخصوص پس از جانشین شدن هواپیماهای تنوره ای (جت) بجای هواپیماهای ملخی وازدیاد روز افزون مسافرت‌های هوائی سیستم خانه سازی‌وایزولاسیون (عایق کردن) بناها را دگرگون نموده است . در شکل ۲۸ منحنی طراز بلندی غوغای سه نوع هواپیما باتجزیه اکتاوی نمایش داده شده‌است وبطوریکه ملاحظه می گرددغوغای هواپیماهای تنوره ای (جت) حاوی فرکانسها زیر با طراز بالاتری است که با توجه بـه منحنی حساسیت گوش می تواند مزاحمت بیشتری را ایجاد نماید .



شکل ۲۸ ــ تجزیه اکتاوی غوغای سه نوع هواپیما (در فاصله ۴٫۵ کیلومتری)

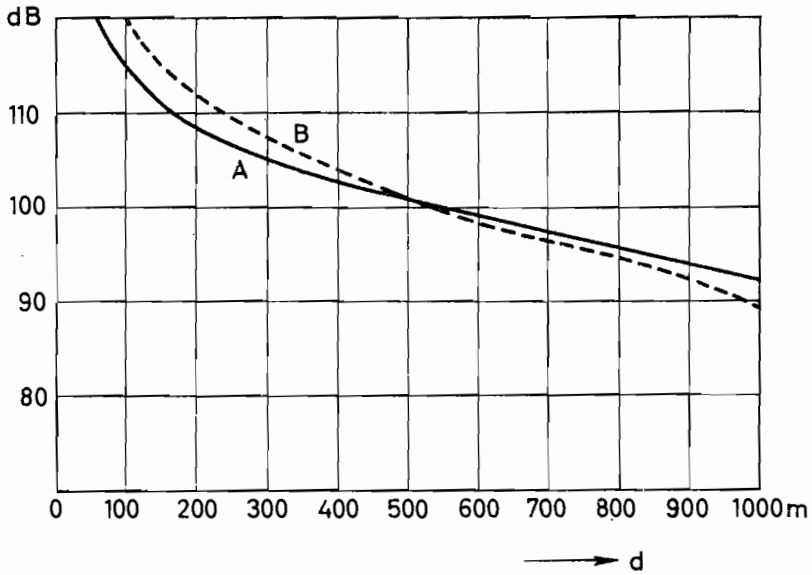
A . هواپیمای موتوری DC-7C در ارتفاع ۲۳۰ متری

B . هواپیمای تنوره‌ای کاراول در ارتفاع ۲۷۵ متری

C . هواپیمای تنوره ای کومت ۴ در ارتفاع ۴۶۰ متری

برای بررسی‌دقیق‌تر در منحنی شکل ۲۹ طراز بلندی صدای هواپیما برحسب فاصله آن از زمین نیز نمایش داده شده است . مقادیر داده شده در شکل ۲۹ مربوط به پـرواز و اوج گیری هواپیما می باشد ــ چنانچه هواپیما در حال پرواز باشد از این مقادیر بایـد ۸ دی‌بی برای هواپیمای ملخی‌و ۱۰ دی‌بی برای هواپیمای تنوره ای کسر نمود ــ همچنین

در حالت فرود از این مقادیر برای هر دو نوع هواپیما باید ۲۰ دی بی کسر نمود .



شکل ۲۹ ـ تراز غوغای هواپیما در هنگام برخاستن از زمین به تبعیت ازارتفاع آن‌از زمین

A . هواپیمای ملخی DC-7C

B . هواپیمای تنوره ای بوئینگ ۷۰۷

برای روشن شدن مطلب در اینجا مثال عددی از مشخصات غوغای یک هواپیمای بوئینگ ۷۰۷ ــ ۱۲۰ ذکر می گردد .

در فاصله یک کیلومتری :	اوج	۹۰ دی بی	(C)
	فرود	۷۰ "	"
در فاصله ۴ کیلومتری :	اوج	۷۸ "	"
	فرود	۵۸ "	"
	پرواز	۶۸ "	"

مقادیر داده شده در فاصله ۴ کیلومتری از طریق محاسبه و با توجه به قانون $1/r$ محاسبه گردیده است ــ ولی عملا" این مقادیر جزئی تفاوتی با مقادیر واقعی دارند کـه

ناشی از عدم رعایت کاستگی های اضافی (مطابق شکل ۵) و تاثیر باد و گرما و انعکاس ابرها و غیره است .

سنجش غوغای ترافیک هوائی باید بامنحنی C سونو متر انجام پذیرد (هواپیمای ملخی) زیرا سنجش غوغای ترافیک هوائی بامنحنیA ده تادوازده دسی‌بل کمتر خواهد بود ولی سنجش غوغای هواپیماهای تنوره ای (جت)با هردو منحنی نتیجه یکسان بدست می آید زیرا چنانچه در شکل ۲۸ نمایش داده شده است انرژی آکوستیکی هواپیمای‌جت در نوار فرکانس ۵۰۰ به بالا پخش می شود که منحنی ها از این فرکانس به بالا با هم یکسان می باشند .

در ساختمان هواپیماها نیزتدابیری اندیشیده می‌شود که‌نفوذ صدای موتوررا بداخل کابین بحداقل ممکنه برساند در جدول زیرین می توان به این حقیقت بخوبی پی برد .

نوع هواپیما	تراز غوغا در کابین هواپیما
هواپیماهای ملخی شکاری	۱۱۰ dB(C)
هواپیماهای ملخی مسافری (DC-7C)	۹۸ "
هواپیمای جت مسافری (DC-8)	۸۳ "

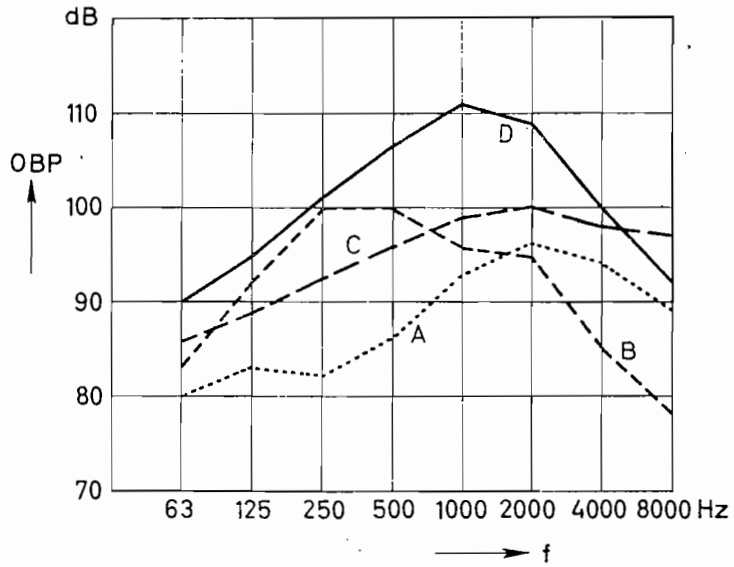
غوغای صنایع :

کارخانجات بزرگ و کوچکی که در گوشه و کنار شهرها پراکنده اند و با صنعتی شدن کشورها غوغای روز افزونی رادر اطراف خود می‌پراکنند ،سرچشمه اصوات مزاحمی هستند که اگر در برطرف (و یا لا اقل کم نمودن)مزاحمت آنان کوشش نگردد زندگی را برساکنین مجاور خود غیر قابل تحمل و درد آور می نمایند . از جمله این کارخانجات می توان کارخانجات فلز کاری ـ کفاشی و نساجی را نام برد که طراز بلندی غوغای آنان درجدول

زیر بطور نمونه داده شده است .

کارخانه کفشدوزی	قسمت قالب کشی	۱۰۰ دی بی	C
"	قسمت چرم کوبی	۱۰۴ "	"
کارخانه نساجی		۱۰۵ "	"
کارخانه فلز کاری	قسمت پتک کاری‌کمپرسی	۱۱۴ "	"

برای مقایسه بهتر آنالیز غوغای این‌چهار نوع کارخانه درشکل ۳۰ نمایش داده‌شده است . بدیهی است با شناختن سرچشمه ایجاد کننده غوغا (مثلا " پایه های فلزی آزاد در ماشینها وسطوح فلزی بزرگ) وتضعیف نوسان آزاد آنان می توان تا حدی‌طرازغوغای آنان را پائین تر آورد .



شکل ۳۰ ــ تجزیه اکتاوی غوغای صنایع

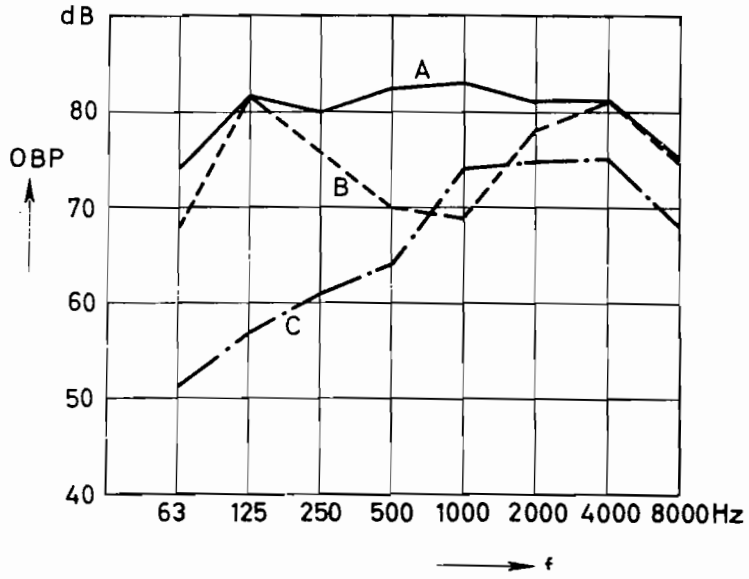
A . کفاشی (قالب کشی)

B . کفاشی (تخت کوبی)

C: نساجی

D : پرچکاری دیگهای بخار

از مثال فوق بخوبی دیده میشودکه بیش‌از همه پتک کاری کمپرسی مزاحمت ایجـاد می نماید که با مجهز نمودن آن با پوشش محافظ و یا جانشین کردن آن با پتک الکتریکی بطوریکه جدول شماره۱۳وشکل۳۱نمایش‌میدهد تاحد قابل ملاحظه رفع مزاحمت‌می‌گردد .



شکل ۳۱ ــ غوغای پتک هوائی

A : پتک هوائی ۳۵ کیلوگرمی بدون پوشش

B : پتک هوائی ۳۵ کیلو گرم با پوشش

C : پتک الکتریکی ۳۵ کیلو گرمی

جدول شماره ۱۳

نوع ماشین	فاصله (متر)	تراز غوغا dB(A)	dB(B)	dB(C)
پتک‌هوائی ۳۵کیلوگرمی بدون‌پوشش	۸ ــ ۷	۸۲	۸۵	۸۹
" " " با پوشش	۸ ــ ۷	۷۹	۸۳	۸۶
پتک الکتریکی ۳۵ کیلو گرمی	۸ ــ ۷	۷۸	۷۸	۷۸
" " ۱۰ "	۸ ــ ۷	۶۸	۶۹	۷۰
پتک‌هوائی کوچک‌بادیوارهٔ‌آهنی	۶ ــ ۵	۱۰۱	۱۰۱	۱۰۱

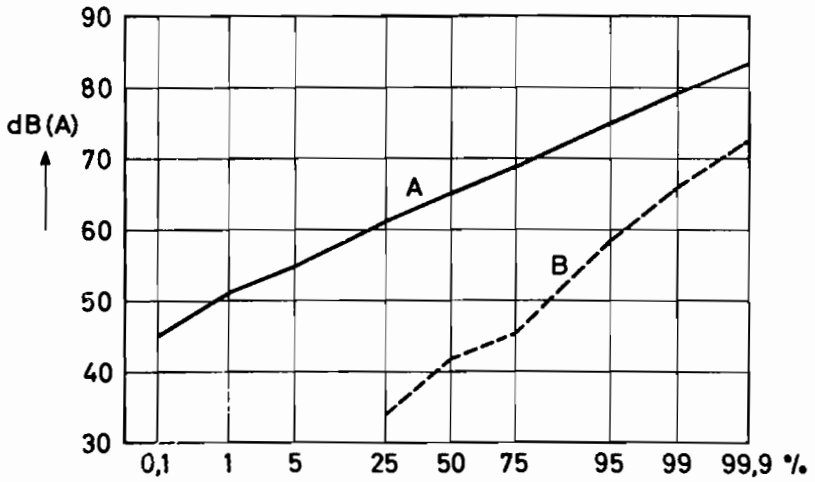
غوغای ترافیک زمینـــی :

طراز غوغای خیابانها ووسائل موتوری را می‌توان ازجدول زیر بخوبی بررسی‌نمود :

وسیله نقلیه	سرعت کیلومتردرساعت	فاصله برحسب متر	تراز آوا dB (B)
اتومبیل‌سواری	۵۰	۶	۷۴ — ۸۴
موتورسیکلت	۴۰	۷	۷۸ — ۸۸
"	۶۰	۷	۸۱ — ۹۸
"	در آغاز حرکت	۷	۸۵ — ۹۸
کامیون سبک	۵۰	۶	۸۱ — ۹۲
کامیون سنگین	۵۰	۶	۸۵ — ۹۷
تراموای	۳۰	۵	۸۳ — ۹۰

بدیهی است کهارقام داده‌شده مقادیر میانگین است کهبطور تقریب داده شده‌است برای تعیین ارقام دقیق تر باید عوامل متغیری از قبیل نوع وسیله موتوری ــ سرعت آن و فواصل حرکت آنها بایکدیگر رانیز درنظر گرفت کهبرای نیل بهدف باید از روشهای‌آماری و بررسی موارد عدیده استفاده نمود . امروزه برای پژوهش در این موارد دستگاههای اندازه گیری خودکاری ساخته شده است که می توان طراز غوغای خیابان ها را درساعات معین و یا در شبانه روز تعیین نمود ــ در شکل ۳۲ نتیجه یک چنین اندازه گیری نمایش داده شده است .این نوع پژوهشها و اندازه‌گیری‌ها بخصوص برای تعیین محل بیمارستانها و یا تاسیسات مشابه آن که باید دور از غوغا ، ولی در مراکز شهرها باشند حائزاهمیت است . (با این دستگاه بطور خودکار می توان دانست که احتمال سنجش غوغا با طراز دلخواه در چند درصد زمان اندازه گیری وجود دارد) .

منحنی بدست آمده که احتمال وجود ترازهای میانگین را برحسب درصدی از زمان



شکل ۳۲ ــ غوغای خیابان ــ تراز احتمالی اندازه‌گیری شده درفواصل زمانی یک ثانیه با d = ۱۵ متر برحسب dB(A)

A : پیک ترافیک ساعت ۱۷تا ۱۹ ــ چگالی : ۱۲۰۰ خودرودرساعت

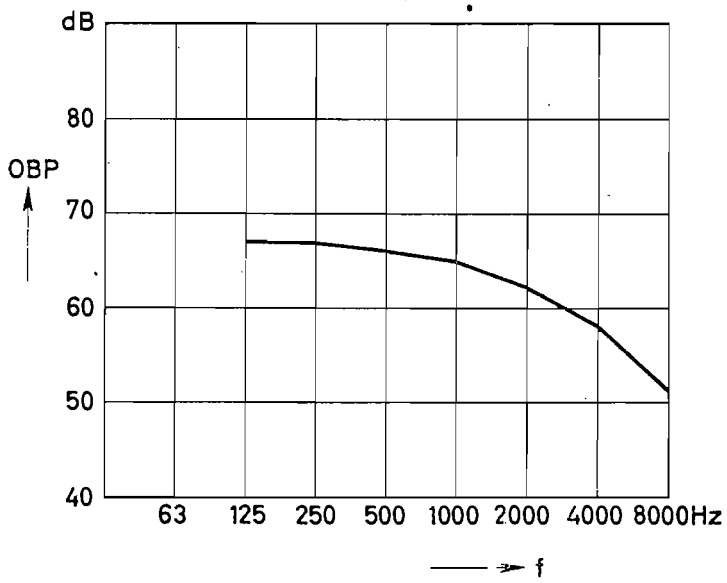
B : شب از ساعت ۲۴ تا ۱ ــ چگالی : ۶۰ خودرو در ساعت

منحنی بدست آمده که احتمال وجود ترازهای میانگین را برحسب درصدی اززمان اندازه گیری نمایش میدهد آنچنانکه در شکل ۳۲ نموده شده است خط راستی است که بویژه برای ترافیک سنگین بخط راست نزدیک‌تر است (A) و بزبان علمی نمایش پخش نرمال گوسی است . بدیهی است هرچه ترافیک سبک تر باشد بدلیل وجود غوغاهائی فزون برغوغای ترافیک (غوغای زندگی و صنعت) که پیش گیری از آنها هنگام‌اندازه‌گیری غیر ممکن است فرم منحنی (B) پدیدار می گردد که دیگر نمایشگر پخش نرمال گوسی نمی باشد .

ویژگی این سنجش در یافتن احتمال تراز میانگین برای ۵۰% زمان سنجش می باشد زیرا این مقدار را می توان تراز دائمی نیز نامگذاری کرد . همچنین تراز احتمالی ۹۹ % نیز اهمیت بسزائی دارد ، زیرا ۹۹ % نمایشگر ترازی است که احتمال تجاوز آن از حد تعیین شده فقط در ۱ % زمان اندازه گیری (مثلا" در مدت یکساعت فقط در ۳۶ ثانیه) وجود داشته است که آنرا (تراز پیک)مینامند و ۹۹/۹% نمایشگر (تراز پیک گه گاهی)

است که فقط در ۱٪/۰ زمان اندازه گیری (مثلا" در مدت یکساعت در ۳,۶ ثانیه) از مقدار تعیین شده تجاوز کرده است .

راه‌ها . سرچشمه آزار غوغا

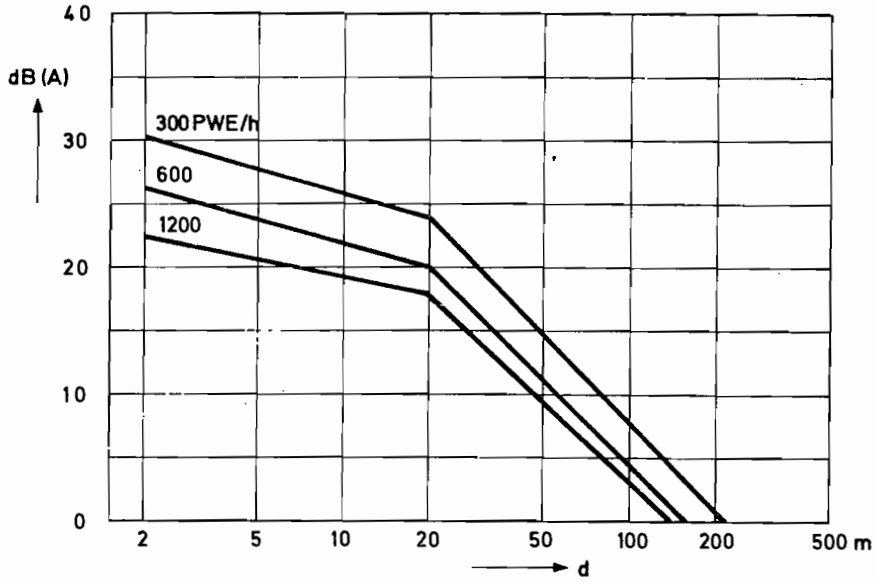


شکل ۳۳ ــ تراز اکتاوی (طیف) غوغای وسائط نقلیه موتوری (ماشین) . فاصله اندازه‌گیری : متر ۲۵ = d چگالی : ۱۰۰۰ ماشین سواری در ساعت .

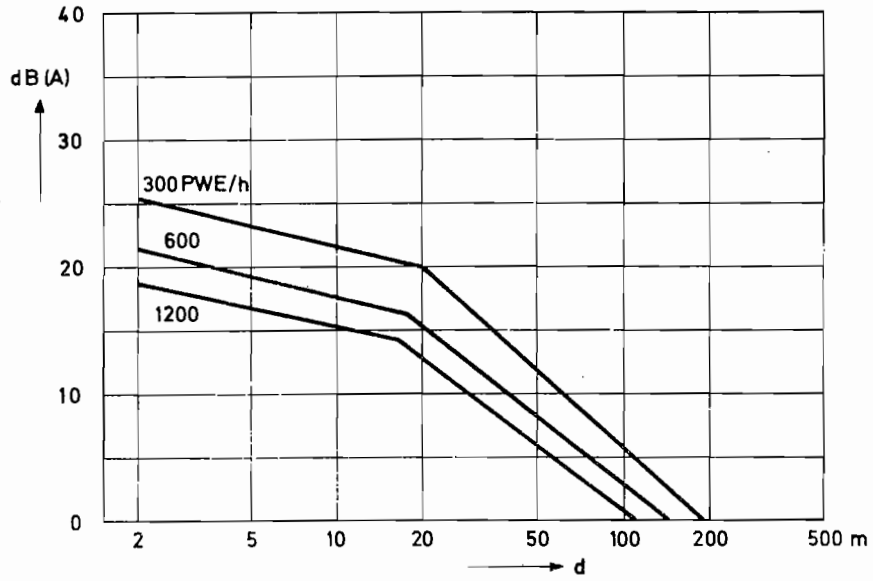
راهها و شاهراهها و خیابانها سرچشمه آزار غوغای خطی می باشند(*) که چگالی آن بر حسب تعداد ماشین سواری در ساعت در شدت آزار موثر است . چگالی را همواره با ماشین سواری در ساعت مشخص می نمایند که کامیون را معادل ۲ ماشین سواری وتریلر را معادل ۳ ماشین سواری محسوب می دارند .

---

*) در بند ۳ صفحه ۲۷ گفته شده است .



شکل ۳۴ ــ تراز غوغای دائمی شاهراه (تراز احتمالی ۵۰%) به تبعیت از فاصله d و چگالی PWE/h (ماشین سواری در ساعت)



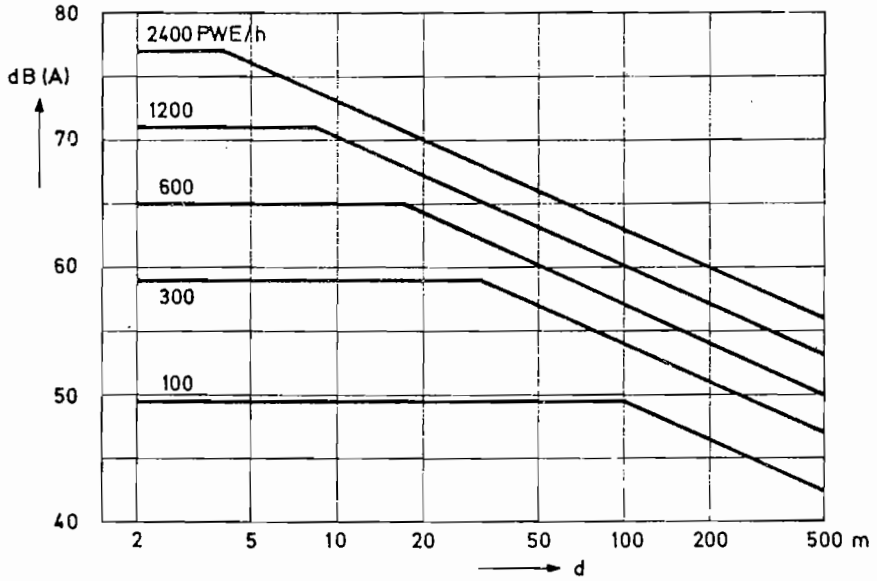
شکل ۳۵ ــ تراز غوغای شاهراه تفاوت تراز دائمی (۵۰%) و تراز پیک (۹۹%) به تبعیت از فاصله d و چگالی PWE/h

شکل ۳۴ نمایانگر تراز غوغای دائمی (۵۰%) یک شاهراه چهار باندی است که به تبعیت از فاصله از باند شاهراه و با پارامتر چگالی سنجیده شده است که در آن بخوبی

می توان جدائی میدان آوای نزدیک (یکسان ماندن تراز) و میدان آوای دور (افت منحنی تراز) را دریافت و دیده می شود که برای چگالی زیاد میدان آوای نزدیک فقط چند متری بیش نیست .

از بررسی شکل ۳۴ می توان دریافت که در میدان نزدیک تراز غوغا متناسب با 20log (PWE/h) می باشد که با دو برابر شدن چگالی تراز آوا ۶ دسی بل افزایش می یابد ولی در میدان دور ، تراز متناسب با 10 log (PWE/h) است که آن نمایانگر ۳ دسی بل افزایش تراز در ازاء دو برابر کردن چگالی است .

همچنین در شکل ۳۴ دیده می شود که باوجود ثابت ماندن تراز در میدان نزدیک با دو برابر شدن فاصله در میدان دور ، تراز غوغا ۳ دسی بل کاهش می یابد که بویژه این افت تراز برای فواصل بیش از ۵۰۰ متر قابل توجه است .



شکل ۳۶ ــ تراز غوغای شاهراه تفاوت تراز دائمی (۵۰%) و تراز پیک گه‌گاهی (۹۹/۹%) به تبعیت از فاصله و چگالی

شکل‌های ۳۵ و ۳۶ نمایانگر تجاوز تراز پیک و تراز پیک گه گاهی از تراز دائمی‌است که در اینجا نیز تاثیر چگالی و فاصله بخوبی بررسی می گردد که در نزدیکی باند شاهراه این اختلاف هرچه چگالی کمتر باشد بیشتر است . همچنین دیده می‌شود در فاصله های

بیش از ۱۰۰ و ۲۰۰ متردیگر اختلافی وجود ندارد وپیک تراز که در نزدیکی شاهراه‌برای هر ماشین قابل اندازه گیری است در فواصل بیشتر درهم و نامفهوم می گردد .

تراز غوغـــا در شب

بسبب کاهش چگالی ترافیک در شب،تراز غوغا نیز کاهش می یابد ولی تراز دائمی در شب شدیدا "متغیر و غیر قابل تخمین است و بویژه در ساعات گوناگون شب هم‌یکسان نیست . با آزمایشهای گوناگون جدول زیرین بدست آمده است .

ساعت	تغییرات و کاهش تراز ساعت ۱۸
۱۸ (پیک ترافیک)	۰ ــ دسی بل
۲۰	۵ ــ دسی بل
۲۲	۱۰ ــ
۲۴	۱۵ ــ
۲	۲۰ ــ
۴	۲۵ ــ
۶	۱۵ ــ
۸ (پیک ترافیک)	۰ ــ

تاثیر سرعت در تراز غوغـــا

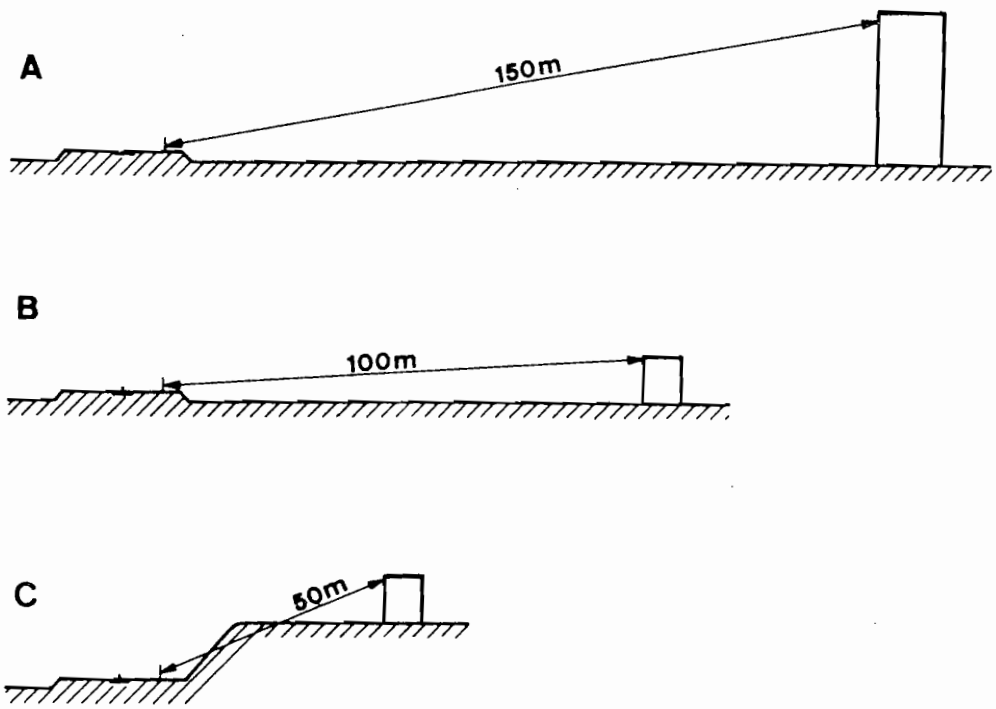
بامحدود شدن حد اکثر سرعت درشاهراه‌ها (سوئیس) به۱۰۰ کیلو متر درساعت ، کاهش تر از مقط معادل یک دسی بل (A) بوده است و این نشان میدهد که حد اکثـــر سرعت باید خیلی کمتر و در حدود ۶۰ کیلومتر در ساعت انتخاب گردد تا کاهش غوغـــا قابل توجه باشد که این خود مفهوم شاهراه و دلیل وجودی آنرا نفی می نماید .

تاثیر روکش جاده ها در تراز غوغـــا

منحنی تراز داده شده در شکل ۳۴ برای شاهراهی است که سطح آن از آسفالـــت پوشیده شده باشد .چنانچه روکش شاهراه ازبتون باشدتراز غوغای حرکت‌ماشینهابا‌اندازه ۵ ، تا ۸ دسی بل افزایش می‌باید که این مقدار برای ماشین سواری با سرعت ۸۰ تا ۱۰۰ کیلومتر در ساعت می باشد برای سرعتهای بیشتر و ماشینهای سنگین‌تر صدای موتور و ـ دنده ها و دیفرانسیـــل بر غوغای حرکت چرخ بیشی می گیرد و از این رو تفاوت غوغای روکش آسفالت و بتون ۲ تا ۳ دسی بل کاهش می یابد مقادیر داده شده برای پوشش خشک است ،در روزهای بارانی تراز غوغا شاهراه آسفالته تا حدود ۱۰ دسی بل وشاهراه بتونی ۲ تا ۵ دسی بل نسبت به پوشش خشک افزونی دارد که در نتیجه در روز بارانـــی تفاوت زیادی میان‌غوغای شاهراه آسفالته و بتونی (بویژه برای سرعتهای زیادوماشینهای سنگین) وجود ندارد .

تفاوت راه و شاهراه

راههای دو باندی نیز در ساعات پیک ترافیک همانند شاهراهها می توانند بخوبی ترافیکی در حدود ۱۵۰۰ ماشین درساعت را داشته باشند و از این رو غوغای‌دائمی‌راهها و شاهراهها چندان اختلافی با یکدیگر ندارند ولی غوغای پیک و غوغای پیک گه گاهـــی در راهها بمراتب بیش از شاهراهها است . زیرا سیلان ترافیک در شاهراهها یکسان تر و صدای موتور نیز یکنواخت تر است ، درحالی که در راهها بسبب پیش‌آمدهای گوناگون ماشینها با سرعت یکنواخت حرکت نمی نمایند و همین تند و کند شدن و تغییر سرعـــت ماشین ها پیک غوغای ترافیک را افزایش میدهد و تغییرات دائمی لول ترافیک را بوجود می آورد . در اتوبان بسبب یکسان ماندن سرعت ماشینها غوغا دائمی است و تغییرات ناگهانی ندارد و از این رو می توان شاهراهها را آرامتر از راهها دانست (بدیهی است که خیابانهای اصلی در شهرها نیز غوغای بیشتری نسبت به راهها دارند) در شکل ۳۷



شکل ۳۷ ــ کمترین فاصله مورد نیاز میان شاهراه چهار باندی و ساختمان های کنار شاهراه برای چگالی ترافیک معادل ۱۲۰۰ ماشین در ساعت ــ برای ساختمان بلند در دشت ــ برای ساختمان کوتاه دو طبقه و دشت ــ برای ساختمان در منطقه ناهموار .

کمترین فاصله‌ای که ترازغوغای ترافیک شاهراه تاحد استاندارد خانه‌سازی (بصفحه ۸۶ مراجعه شود) کاهش می یابد نمایش داده شده است که در آن چگالی ترافیک ۱۲۰۰ ماشین در ساعت می‌باشد . در این بررسی از افزایش چگالی در ساعات پیک ترافیک و ماههائی از سال که ترافیک بعلت فصل ، افزایش ناگهانی می یابد چشم پوشی گردیده است زیرا احتمالا "خود ساکنین خانه‌های کنار شاهراه‌هم درمیان مسافرین وایجاد کنندگان غوغای ترافیک می‌باشند و از این‌رو استانداردها برای ساعات وماههای آرام وضع گردیده‌اند .

غوغای محیط کار و خانه :

برای مقایسه و ارزیابی غوغای منازل و ادارات جدول شماره ۱۶ بعنوان نمونه تهیه گردیده است :

موزیك :

ارکستر بزرك در تالارکنسرت	(حداکثر)	تا ۱۱۰	دی بی (C)
» » »	(متوسط)	۹۰	»
» » »	(حداقل)	۵۰	»
ارکستر مجلسی و ارکستر کاباره‌ها	(حدمتوسط)	۹۰	»
موزیك از رادیو در محل‌های شلوغ	(حداکثر)	۸۳	»
» » »	(حدمتوسط)	۷۰	»
» » »	(حداقل)	۵۸	»
موزیك از رادیو در محل آرام	(حداکثر)	۷۸	»
» » »	(حدمتوسط)	۶۵	»
» » »	(حداقل)	۴۷	»

غوغای متوسط در ادارات و دفاتر

سخن گوئی در فاصله یك متری (بلند)		۷۰-۸۰	»
» » »	(عادی)	۶۸	»
» » »	(آرام)	۵۰-۶۰	»
غوغای ۳ نفر		۵۵	دی بی (A)
» ۱۰ »		۶۰	»
» ۵۰ »		۶۵	»
زنگ تلفن (در فاصله دومتری)		۷۵	»
ماشین تحریر (بطور عادی) درفاصله ۲ متری		۷۰	»
» » (بی صدا) »		۶۰	»

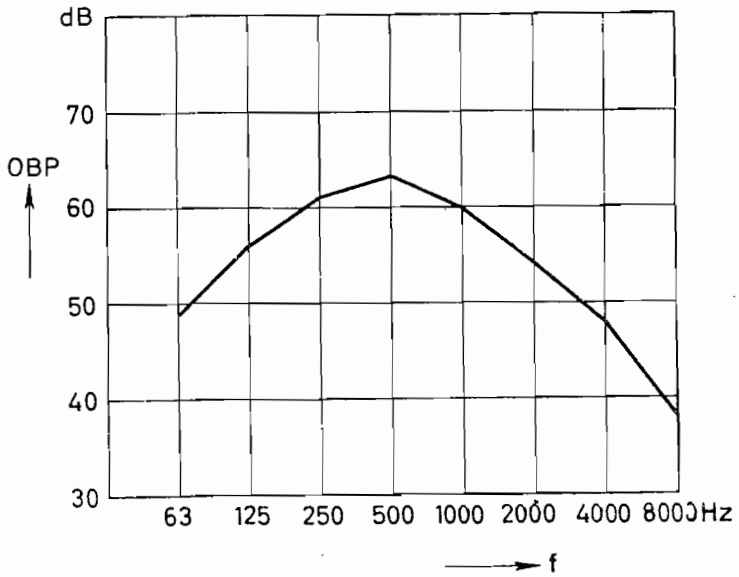
غوغای ناچیز :

صدای ساعت در محل بسیار ساکت		۳۰	»
صدای تنفس در فاصله ۳۰ سانتیمتری		۱۰	»

D.F.Seacord در سال ۱۹۴۰ تراز غوغای بسیاری از محیطهای کار و زندگی را اندازه‌گیری وبا روش آماری نتیجه‌گیری کرده است که‌در جدول شماره ۱۷ مقادیربدست آمده از ۵۰% اندازه گیری ها که بدان پخش ۵۰ در صدی نهاده اند نمایش داده شده است .

تراز میانگین	پخش ۵۰ درصدی
آپارتمان (بدون رادیو) ۴۳ دسی بل	۵/۵ دسی بـل
آپارتمان (با رادیـو) ۵۰	۸
فروشگاه کوچک (با کمتر از ۶ مشتری) ۵۳/۵۰۰۰	۷/۵
فروشگاه بزرگ (با بیش از ۵ مشتری) ۶۱۰۰۰	۶
دفتر کوچک (با کمتر از ۳کارمند) ۵۳/۵	۶/۵
دفتر کوچک (۳ تا ۱۰ نفر) ۵۸	۶/۵
دفتر بزرگ (بیش از ۱۰ نفر) ۶۴/۵	۴/۵

در اغلب موارد و بخصوص ساختمان دستگاههای الکترو آکوستیکی کیفیت دستـگاه وابستگی تامی به مشخصات گویش انسان دارد که شناختن آنالیز گویش برای اینگونه‌موارد حائز اهمیت است .در شکل ۳۸ آنالیز اکتاوی گویش نمایش داده شده است . برای اجرای آنالیز گویش ازکلمات بدون مفهوم و معنی[1] استفاده گردیده و منحنی بر اساس‌حدمتوسط گویش مرد و زن ترسیم گردیده است .



شکل ۳۸ ــ طیف اکتاوی گفتار در فاصله یک متری دهان ، تراز کلی : ۶۸ دی بی(خ)

1)- Logatomes

از شکل ۳۸ استنباط می‌گردد نوار فرکانس گویش ازحدود ۶۰هرتس تا حدود ۴۰۰۰هرتس گسترش دارد و برای وضوح و فهم کلام حائز اهمیت است ولی عملا " ثابت گردیده است که نغمات با فرکانس های زیر (۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰) در وضوح کلمات اثر بیشتری دارند و نبایستی از آنها صرف نظر گردد . تراز میانگین سخنگوئی چنین است :

تراز سخنگوئی عادی در فاصله یکمتری	۶۸ دسی بل	(C)
تراز سخنگوئی بلند در فاصله یکمتری	۷۴ " "	
" " خیلی بلند " "	۸۰ " "	
" " آرام " "	۶۰ " "	

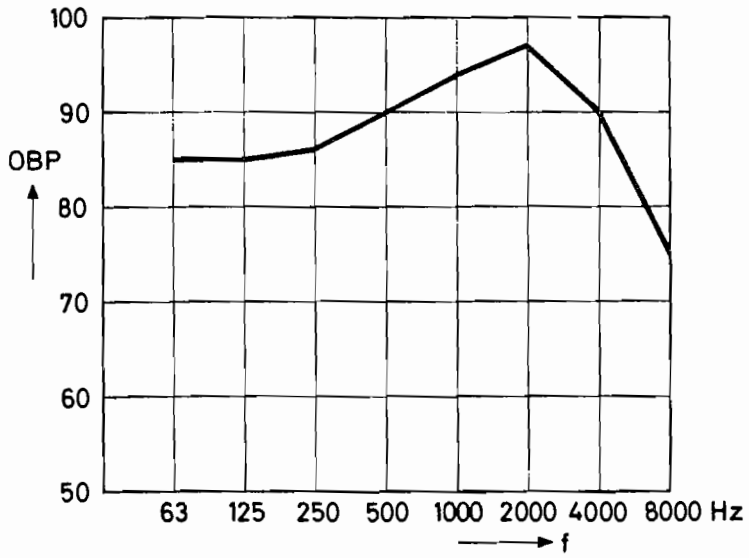
در تراز غوغای محیط خانه در زندگی فزون بر آنچه گفته شد آوای پرندگان و در کشورهای مسیحی آوای ناقوس کلیساها وهمانند آنها نیز موثر است که مقادیر میانگین آنها عبارتند از :

آوای پرندگان (اندازه گیری در باغ ییلاقی ساعت ۵ پگاه)	۵۵ ـ ۴۵ دسی بل	(A)
آوای ناقوس کلیسا در اطاق روبه کلیسا	۶۰ـ۵۵ و ۷۵ـ۷۰ دسی بل	(B)
" " " پشت به کلیسا	۵۰ـ۴۵ و ۶۵ـ۶۰ دسی بل	(B)

(مقادیر داده‌شده برای کلیسا نخستین برای زنگهای روزمره و دومین برای مراسم عبادت می باشد) .

غوغای راه آهـــن

در شکل ۳۹ آنالیز اکتاوی غوغای قطاری نمایش داده شده است که از یک محیط باز عبور می‌نماید و درفاصله ۷ متری وسیله میکروفنی که در ارتفاع ۴ متری قرار دارد اندازه گیری شده است .از مقایسه این منحنی با منحنی آنالیز غوغای ترافیک خیابان ها بخوبی می توان به تفاوت این دوغوغا پی برد ــ غوغای راه آهن در فرکانس های بم انرژی‌کمتر و درنتیجه مزاحمت کمتری نسبت به‌غوغای موتوری دارد .در حالی که طراز بلندی‌غوغای راه آهن بمراتب بیش از غوغای وسائل نقلیه موتوری زمینی می باشد . بدیهی است کـه در هنگام ترمز غوغای قطار بعلت ایجاد شدن غوغای لغزشی (با فرکانس بالا)فرم‌منحنی آنالیز آن تغییر خواهد یافت .مقادیر زیرین نمایشگر غوغای اندازه گیری شده در درون قطار تند روی مدرن می باشد .



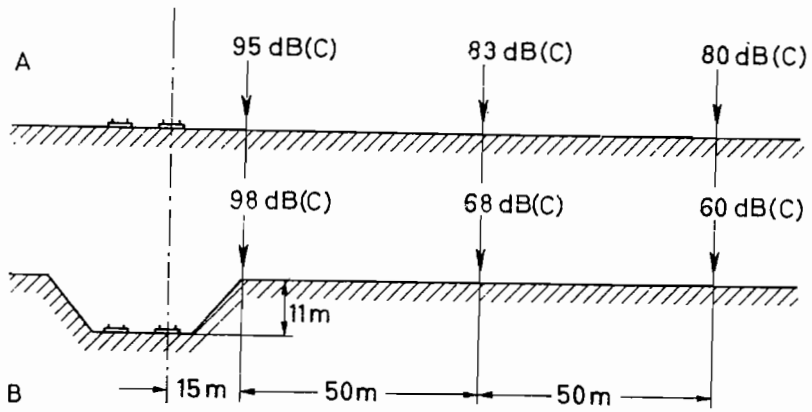
شکل ۳۹ ــ طیف اکتاوی قطار ــ اندازه گیری در فاصله ۷ متری در فضای باز و ۴ متر ارتفاع از سطح زمین ــ تراز کلی ۱۰۰ دسی بل(A)

اندازه گیری در کوپه میانی واگن با پنجره بسته ۳ ± ۸۰ دسی بل (B)

" " " بـاز ۳ ± ۸۵ " " "

چنانچه اندازه‌گیری بامنحنی (A) اجرا گردد تراز باندازه۳ تا ۴ دسی‌بل کاهش می‌یابد و با منحنی (C) ۸ تا ۱۰ دسی‌بل افزایش نشان میدهد .

درشکـل ۴۰ طـراز غوغای راه آهن درفواصل ۱۵ و ۶۵ و ۱۱۵ متری محور یکی از خطوط و برای دو حالت ، قرار گرفتن خطوط در سطح زمین‌و در عمق دره ۱۱ متری ، نمایش داده شده است ــ بطوریکه از شکل ۴۰ مشهود است غوغای قطاری که در گودالـی حرکت میکند در حدود ۲۰ دی بی کمتر است و برای نواحی مسکونی مناسبتر میباشد .



شکل ۴۰ ــ تراز غوغای قطار در فواصل مختلف

A : فضای باز B : قطار در عمق ۱۱ متری

غوغای ترانسفورماتر :

درشهرهای‌بزرگ‌که‌مصرف‌برق‌بحد‌غیرقابل‌تصوری‌روزافزون‌گشته‌است‌ترانسفورماترهای تغذیه نیروی برق ناچار درفواصل نزدیک به‌یکدیگر (۵۰۰ متر و کمتر) و در میان خانه‌های مسکونی‌ودفاتر وادارات قرارمی‌گیرند وچون ترانسفورماتر خودمولد صوت ماگنتواستریکتیو (پدیده تغییر حجم آهن هسته ترانسفورماتر براثر میدان مغناطیسی متغیر) می باشدلذا

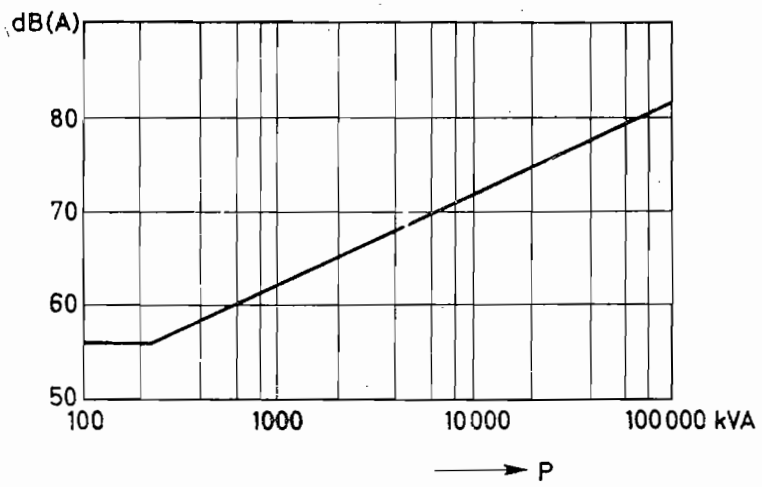
غوغای هوم آن ، که با فرکانس دو برابر فرکانس برق شهری (و هارمونی های آن) با- صدای یکنواخت و ناراحت کننده ای منتشر می گردد ، غیر قابل اجتناب می باشد .

طراز غوغای ترانسفورماتر متناسب باقدرت نامی‌آن می‌باشد و در جدول‌زیرین طراز غوغای دو ترانسفورماتر بزرگ (۳۰ میلیون ولت آمپری) و کوچک (۲۰۰هزارولت آمپری) با یکدیگر مقایسه گردیده است .

فرکانس	تراز غوغا	
	ترانسفورماتربزرگ	ترانسفورماتر کوچك
۱۰۰	۷۲dB	۵۶dB
۲۰۰	۷۱ »	۵۴ »
۳۰۰	۵۸ »	۴۸ »
۴۰۰	۶۳ »	۴۹ »
۵۰۰	۵۶ »	۴۳ »
۶۰۰	۵۸ »	۴۵ »
۷۰۰	۵۷ »	۴۲ »
۸۰۰	۵۴ »	۳۸ »
تراز کُلی :	۶۶ dB (A)	۵۰ dB
	۷۱ » (B)	۵۶ »
	۷۶ » (C)	۵۹ »

چون ساختن ترانسفورماترهای بی‌صدا عملا "میسرنیست لذا کارخانجات‌سازنده سعی می نمایند که حتی الامکان وسائلی در ساخت و نصب ترانسفورماتر تعبیه نمایند که صدای‌آن‌تاحدقابل‌قبولی‌تنزل‌نماید .انجمن‌کارخانجات‌الکتروتکنیکی‌آمریکا[1] (NEMA) منحنی استانداردی برای غوغای مجاز ترانسفورماترها برحسب قدرت نامی آنها تهیه نموده است‌که در شکل ۴۱ نمایش داده شده است . برای اندازه گیری و ترسیم این‌منحنی با تعبیه وسائل خاصی غوغای ترانسفورماتر را در فاصله یک فوت اندازه گیری نموده‌اند

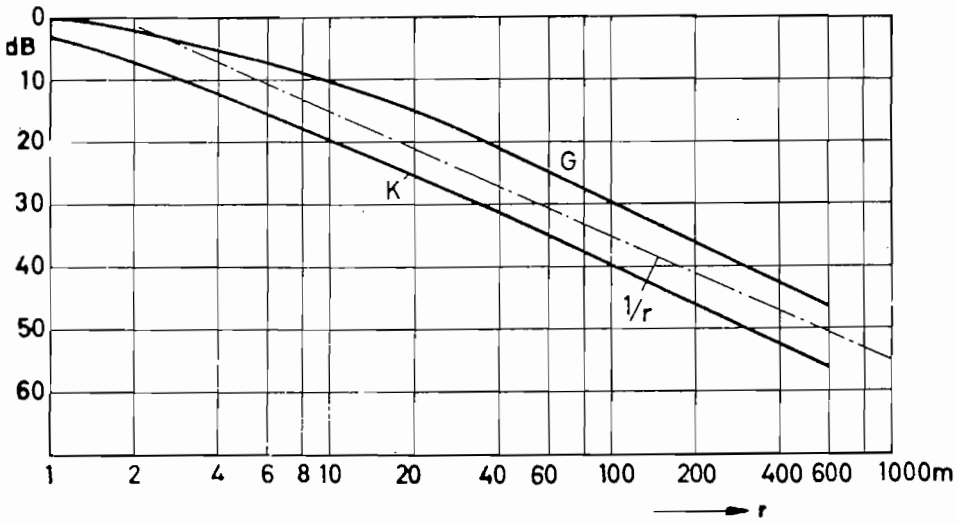
1)- National Electrical Manufacturers'Association = NEMA



شکل ۴۱ ــ تراز ماکزیمم غوغای ترانسفورماتر

P . قدرت ترانسفورماتور ــ فاصله اندازه گیری ۳۰/۵ سانتیمتر اقتباس از مقررات NEMA

که‌حتی الامکان طراز غوغای اندازه‌گیری شده مربوط به‌خود ترانسفورماتر باشد ،دربررسی غوغای مزاحم ترانسفورماتر فاصله آن ازمحل کار وسکونت باید مورد توجه قرارداده‌شود . در شکل ۴۲ تغییرات طراز غوغا را برحسب فاصله r برای دو تیپ ترانسفورماتر بزرگ و کوچک ترسیم و آنرا با خط 1/r مقایسه نموده اند . بطوریکه ملاحظه می گردد غوغای



شکل ۴۲ ــ غوغای ترانسفورماتور ــ کاهش تراز غوغا در فاصله r

G ــ ترانسفورماتر بزرگ ۱۰۰ ــ ۲۰ میلیون ولت آمپر

K ــ ترانسفورماتر کوچک ۵۰۰ ــ ۲۰۰ کیلو ولت آمپر

ترانسفورماترهای کوچک ازفاصله ۳ متریو از آن ترانسفورماترهای بزرگ از فاصله ۲۰متری با قانون $1/r$ منطبق می گردند . ضمنا" از بررسی منحنی استنباط می گردد که غوغای ترانسفورماترهای بزرگ در فاصله ۲۰ متری تقریبا" ۱۵ دی بی از مقادیر نورم شده توسط NEMA کمتر است .

مثال :

تراز غوغای یک ترانسفورماتر ۱۰۰ میلیون ولت آمپری چنین است :

در فاصله یک فوتی (۳۰/۵ سانتیمتر)	۸۱ دی بی (A)
" ۲۰ متری	۶۶ "
" ۲۰۰ "	۴۶ "
" ۴۰۰ "	۴۰ "

۷ ــ مقررات و مقادیر حد برای غوغا

با صنعتی شدن شهرها و کشورها و ازدیاد ترافیک زمینی و هوائی ساکنین شهرها و حتی دهات بیش از پیش درمعرض آزار غوغای بیشتری قرار می گیرند کم وبیش براعصاب مردم تاثیر نموده و از تمرکز افکار و آسایش اعصاب آنان میکاهد ، تا حدی که اگر بـرای محدود نمودن آن چاره‌ای اندیشیده نشود باعث فرسودگی پیش‌از وقت و کم‌شدن بازده‌ـ کاری آنان میگردد و بسا که‌امراض‌عصبی‌ودیوانگی نیز ببار آورد ــ از این رو در کشورهای پیشرفته کوشش میگردد که نواحی مسکونی را بخصوص از غوغای اضافی بطور طبیعی و یـا مصنوعی دور نگهدارند و با تهیه مقررات خاصی صاحبان صنایع و ایجاد کنندگان غوغـا را ملزم به اتخاذ تصمیمات حفاظتی برای محدود نمودن غوغای کارگاه خود بنمایند .

با بررسی های روانی اثبات گردیده است که نوع و میزان غوغای آزاد دهنده برای همه یکسان نیست و حتی برخی از صداهای طبیعی حتی اگر دارای طراز بلندی بیش از حدی هم باشند برای اغلب مردم ، عادی و بی آزار جلوه می کند (مانند صدای آب و

آبشار وپرندگان وباد وتندر) در حالی که اصوات غیر عادی (مانند چکه کردن شیرآب) هر قدرهم که آرام, در طراز پائین باشد ممکن‌است باعث‌بروز آزار عصبی‌و حتی‌بی‌خوابی گردد . از این رو برای بررسی غوغای آزار دهنده علاوه بر نکات فنی و علمی توجه به نکات روانشناسی نیز حائز اهمیت است .

بطور اجمال میتوان قواعد زیرین را برای آزار غوغا وضع نمود .

الف) آزار غوغای دائم و یا تکراری (با فواصل کوتاه) بیش از غوغای گاه بگاه و کوتاه مدت است .

ب) آوای زیر (فرکانس های بالا) آزار دهنده‌تر از آوای بم (فرکانس های‌پائین) می باشد .

ج) غوغائی که سرچشمه آن مکانیکی باشد (مانند ماشینها ــ ترانسفورماتر ــ . .) آزار دهنده تر ازغوغائی است که ازطبیعت سرچشمه بگیرد (مانند باران ــ باد ــ نهر ــ . .)

د) آزار غوغا بادفعات تکرار آن‌بستگی دارد ــ مثلا "آزار قطاری که هر چندساعت یکبار عبور نماید با وجود بالا بودن طراز غوغای آن بمراتب کمتر از آزارکامیونهائی‌است که با طراز غوغای پائین تری ولی مرتبا" تردد نمایند .

هـ) در ارزیابی آزار غوغا ساعات مختلف شبانه روز یکسان نیستند ــ چنانچه در مواقع شب ، بعد از نهار و روزهای تعطیل همهمه و غوغا بیش از مواقع دیگر آزار دهنده است .

در محیط‌آرام وشبها که طراز غوغا در حد پائین‌تری قرار دارد بعلت‌آسایش ،گوش حساسیت بیشتری‌را حائز می‌گردد واز این‌رو کمترین غوغا باعث‌ناراحتی وآزارمی‌گردد .

باتوجه به مسائل روانی و فنی فوق الذکر مقادیر حدی برای غوغا از طرف سازمان استاندارد جهانی (ISO) تعیین گردیده است که در شکل ۴۳ ملاحظه می گردد . در این استاندارد سعی گردیده است که کلیه موارد و جهات برای جلوگیری از آزار غوغا ودر

هر موردی رعایت گردد (۱)

منحنی‌های داده‌شده درشکل ۴۳ مقادیر حدغوغا را در تجزیه اکتاوی نمایش‌میدهد که برای سهولت بیان آنان را شماره گذاری نموده اند . این شماره گذاری با مقادیرطراز بلندی غوغا در فرکانس ۱۰۰۰ هرتس تطابق دارد .

مقادیر حـد غوغا

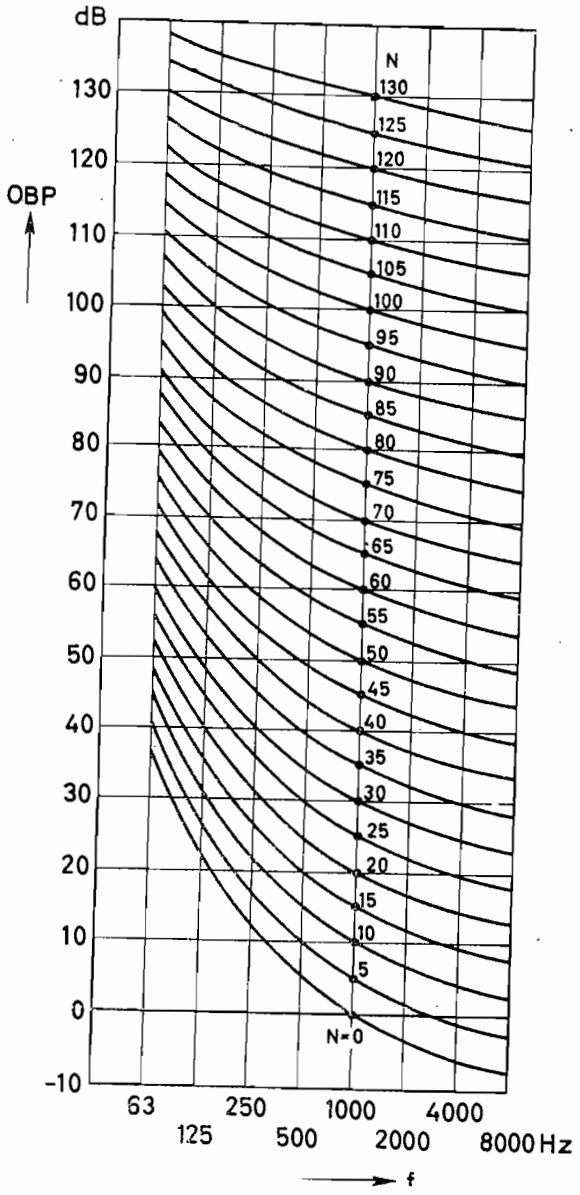
برای جلوگیری از آسیب گوش در ۳ اکتاو باید مورد دقت قرار گیرد ــ بدین‌ترتیب که فقط نوار فرکانسهائی که فرکانس میانگین آنها ۵۰۰ و ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتس می باشد از این‌نظر حائز اهمیت‌اند ــ در محیط شلوغی که درساعات کار (روزانه بیش از۵ساعت) غوغای محیط ایجاد ناراحتی می نماید برای جلوگیری از آسیب دیدن گوش کارکنان طراز بلندی غوغا نبایستی از حد منحنی شماره ۸۵ تجاوز نماید . چنانچه ایجاد محیط آرام تا حد ذکر شده میسر نباشد لازم است که‌کارکنان را باوسائل محافظت گوش مجهزنمود .

چنانچه فهم گفتاردر مد نظر قرارداده شود جدول زیرین حاصل می گردد . (برای سخنگوئی عادی ــ با سخنگوئی بلند این فواصل دو برابر می شود) .

جدول شماره ۱۹

شماره منحنی استاندارد		حداکثرفاصله که فهم کلام میسراست	
شماره	۴۰	۷	متر
«	۴۵	۴	«
«	۵۰	۲٫۲	«
«	۵۵	۱٫۲	«
«	۶۰	۰٫۷	«
«	۶۵	۰٫۴	«
«	۷۰	۰٫۲	«
«	۷۵	۰٫۱۳	«
«	۸۰	۰٫۰۷	«

۱ ــ وضوح گفتار ، آسایش و جلوگیری از آسیبهای گوش و نظایر آن



شکل ۴۳ ــ منحنی های حد غوغا طبق توصیه ISO(۱۹۶۰) ــ N شماره منحنی

حدOBP تراز طیف اکتاوی

برای فهم گفتار در مکالمات تلفنی (در صورتی که در خط اغتشاش وجود داشته باشد) نیز از همین استاندارد می توان استفاده نمود و جدول زیرین را ترتیب داد :

جدول شماره ۲۰

شماره منحنی استاندارد	فهم سخن با تلفن
۵۰	رضایت بخش
۶۰	کمی مشکل
۷۰	مشکل
بیش از ۷۵	غیر ممکن

تراز غوغای مجاز :

در کشورهای پیشرفته وصنعتی مقرراتی نیز بصورت قانون وضع گردیده است که‌عدم رعایت این مقررات و ایجاد غوغای بیش از حد از طرف کارخانجات یا کارگاهها موجب تعقیب قانونی وتعطیل کارگاهها می‌گردد ــ از نظر سهولت آزمایش و کنترل برای بازرسین دولتی جد اولی تنظیم گردیده که مقادیر عددی مجاز در آن قید گردیده است (مقادیر داده شده حد اکثر می باشد و حد مطلوب ۱۰ دی بی کمتر است) .

جدول شماره ۲۱

	تقسیم‌بندی نواحی		غوغای دائمی		غوغای حداکثر (پیك)		غوغای حداکثر اتفاقی	
			شب	روز	شب	روز	شب	روز
۱	نواحی آسوده (بیمارستانها و مناطق ییلاقی)	دسی بل (A)	۳۵	۴۵	۴۵	۵۰	۵۵	۵۵
۲	نواحی آرام (مسکونی)		۴۵	۵۵	۵۵	۶۵	۶۵	۷۰
۳	نواحی مسکونی و تجارتی		۴۵	۶۰	۵۵	۷۰	۶۵	۷۵
۴	نواحی تجارتی		۵۵	۶۰	۶۰	۷۰	۶۵	۷۵
۵	نواحی صنعتی		۵۵	۶۵	۶۰	۷۵	۷۰	۸۰
۶	نواحی شلوغ و پرترافیك		۶۰	۷۰	۷۰	۸۵	۸۰	۹۰

این ارقام غوغای دائمی را نمایش میدهد (میانگین) که پیک غوغا ۷ تا ۶۰ باردر ساعت و پیک گه گاهی یک تا ۶ بار در ساعت مجاز است .

باابررسی جدول شماره ۲۱ دانسته می‌شود که این جدول بر اساس پژوهش‌های‌آماری و شنوائی انسان تنظیم شده است‌که تفاوت اعداد آن ۵ به ۵ است .در حالی‌که بادستگاه

سنجش می توان با دقت بیشتری این تفاوتها را نمایش داد . (بدیهی است که چون پس ازرسمیت یافتن این جدول درکشورها قضاوت درباره آزار غوغا بعهده پلیس ودادگستری واگذار می‌گردد بنابراین هرچه دقت کمترباشد قضاوت برای‌اینگونه افراد غیرفنی سهل‌تر می گردد) .

ارقام جدول شماره ۲۱ بر اساس تراز میانگین که در ۵۰ درصد زمان اندازه گیری از آن مقدار تجاوز ننماید تنظیم شده است که پیک آن (در یک درصد زمان اندازه گیری) نباید از ۶۰ بار در ساعت و پیک گه گاهی‌آن (در یک دهم درصد زمان اندازه گیری)از ۶ بار در ساعت تجاوز نماید .

مقررات ویژه برای سرچشمه‌های گوناگون غوغا

غوغای ترافیک زمینی :

پیش گیری از آزار غوغای ترافیک زمینی که در شهرهای بزرگ روز بروزفزونی‌میگیرد نیازمند تدوین استانداردها و مقرراتی است که کارخانه های سازنده را ملزم به پیش‌بینی وسائلی برای محدود کردن صدای موتورها و دنده‌ها و دیگراجزاء مولد غوغا بنماید .برای سنجش غوغای ترافیک ماشینها از دستگاههای سنجش (سونومتر) ساده تری می تـوان استفاده نمود .زیرا دقت زیاد در اندازه گیری در این مورد ضرورت ندارد و بویژه‌آزموده شده است که آنچه سنجیده می شود با آنچه شنیده می شود هم آهنگی ندارد . چنانچه اگر سونومتر صدای یک موتورسیکلت و یک اتومبیل را یکسان نشان دهد گوش ما از صدای موتورسیکلت بیشتر آزرده می شود و از این رو هنگام تدوین استانداردها برای هر یک از این دو استاندارد جداگانه ای تهیه می گردد .

درجدول شماره ۲۲ استاندارد تهیه شده برای سوئیس که از سال ۱۹۶۸ بمورد اجرا گذارده شده است بعنوان نمونه درج می گردد . برای سنجش باید میکروفن در ۷ متری اگزوز و در کنار آن قرار داده شود . برای سنجش صدای ماشینهای چهار چرخه باید دور

موتور در حالت بی باری به ۳/۴ دور نامی آن (طبق کاتالگ) برسد ولی برای سنجش صدای موتورسیکلت آنرا درسنجش گاه چرخنده قرار میدهند و اندازه می گیرند .میکروفن اندازه گیری باید در ارتفاع ۱,۲ متری زمین و در محوطه باز که هیچگونه مانعی (درخت و ساختمان)تا فاصله بیست متری آن نباشد قرار گیرد . (این روش اندازه گیری ازطرف ISO مورد قبول قرار گرفته وتحت شماره ISO/R 362-1964 توصیه شده است) .

استاندارد ماگزیمم صدای موتورها

جدول شماره ۲۲

نوع ماشین	ترازغوغا برحسب دسی‌بل (A)
۱ــ دوچرخه موتوردار	۷۰
۲ــ موتورسیکلت‌های‌کوچک (حجم سیلندرتا ۵۰سانتیمترمکعب)	۷۳
۳ــ موتور سیکلت	
(الف) باحجم سیلندربیش‌از ۵۰سانتیمترمکعب	۸۲
(ب) باحجم سیلندربیش‌از ۲۰۰سانتیمترمکعب	۸۲
۴ــ ماشینهای سبک	
(الف) باموتوردیزل‌ویاموتوری‌بقدرت بیش‌از ۵۰اسب	۸۲
(ب) سایر ماشین ها	۷۸
۵ــ ماشینهای‌سنگین ــ تراکتوروماشینهای‌راهسازی‌وساختمان	۸۵
۶ــ صدای ترمز (با موتور)	۸۷
۷ــ صدای ترمز (کمپرسی)	۸۲

در اندازه‌گیری غوغای ماشینها درحالت سکون صداهای دیگر ماشین (مانندصدای چرخ دنده‌ها و طایرها)وجود ندارد بنابراین اندازه گیری منحصربصدای موتورمی‌باشد . برای سنجش دقیق تر باید ماشین در حال حرکت باشد که در این مورد از طرف ISO مقررات زیرین وضع گردیده است .

ماشین باید باسرعت ۵۰ کیلومتر در ساعت حرکت نماید و دنده ای را نیز برای‌این حرکت انتخاب نمایند که‌دور موتور حداقل ۷۵٪ دور نامی باشد وماشین را باید از ۱۰متر مانده به میکروفن سنجش و در مسافت ۲۰ متر بحد اکثر ممکنه رسانید . میکروفن‌درفاصله ۷٫۵ متری و عمود بر مسیر ماشین و در ارتفاع ۲۰ را از زمین مسطحی که بشعاع ۵۰ متر در اطراف آن هیچگونه مانعی وجود ندارد و قسمتی از آن (به شعاع ۲۰ متر) آسفالت شده است نگهداشته می شود .

با آنکه در این روش تمامی صدای ماشین اندازه‌گیری می شود و مسلما" نسبت به روش نخستین برتری دارد ولی اجرای آن خالی از اشکال نیست و فقط برای سنجش‌صدای مدلهای جدید ماشینها بکار برده می شود ولی برای سنجش و بدست آوردن ارقامی برای مقایسه همان روش نخستین کفایت می نماید . بعنوان مثال در اینجا نمونه ای از کار برد جدولها و منحنی های داده شده نمایش داده می شود .

طبق جدول برای بیمارستان حد اکثر غوغای محیط نباید از ۴۵ دسی بل (روز) تجاوز نماید . چنانچه بیمارستانی را در نزدیکی شاهراه بخواهند بسازند و فرض بر این باشد که چگالی ترافیک شاهراه ۱۲۰۰ ماشین در ساعت است از شکل ۳۴ دیده می شودکه حد اقل فاصله برای کاهش غوغا تا حد دلخواه در زمین مسطح بدون مانع ۳۰۰۰متراست ولی درصورت وجود موانعی (مانند درخت و سبزه و ساختمان و غیره) که ۲ تا ۳دسی‌بل در هر صد متر افت ایجاد گردد فاصله مجاز به ۴۰۰ متر کاهش می یابد .

چنانچه درکنار شاهراه باید خانه‌سازی شود طبق جدول می دانیم که غوغای محیط

مسکونی نباید از ۵۵ دسی بل بیشتر باشد بنابراین فاصله مجاز با همان شرائط حد اقل ۱۵۰ متر خواهد شد .

بدیهی است که در هر دوحالت فرض بر این بوده است که ساختمانها در یک تا دو طبقه بنا شوند . برای ساختمانهای بلند (طبقات بالا) چون افت انرژی غوغا ۰/۵ تا ۱ دسی بل بیشتر نیست (برای هر صد متر) بنابراین فاصله مجاز برای بیمارستان ۷۰۰ متر و برای خانه سازی ۲۰۰ متر خواهد بود .

غوغای تهویه (ارکندیشنینگ)

برای جلوگیری از ناراحتی‌های ناشی از صدای تهویه جدول شماره ۲۳ وضع گردیده است .

Oktavband	Oktavbandpegel in dB			
	A	B	C	D
37–75 Hz	53	54	57	60
75–150 Hz	38	43	47	57
150–300 Hz	28	35	39	43
300–600 Hz	18	28	32	37
600–1200 Hz	12	23	28	32
1200–2400 Hz	11	20	25	30
2400–4800 Hz	10	17	22	28
4800–9600 Hz	22	22	22	27

مقادیر ذکر شده درستون A برای رعایت حداکثر آرامش می‌باشد و عملا "هیچگونه صدائی ایجاد نمی‌گردد که در تالارهای کنسرت بایددر نظر گرفته شود وتقریبا "بامنحنی غوغای حد شماره ۱۰ تطابق دارند . مقادیر ستون B با منحنی حد شماره ۲۰ تطابق دارند و رعایت آن برای اپرا و تآترهای بزرگ (بیش از ۵۰۰ نفر) توصیه می گردد .

ستون C که بامنحنی شماره ۲۵تطبیق مینماید برای تآترهای کوچک (تا ۵۰۰نفر)

آمفی تآتر ها_استودیوهای‌رادیو و تلویزیون و نظایر آنها متناسب است . ستون D نیزکه معادل منحنی شماره ۳۰ است برای سینماها ــ سالنهای‌کنفرانس‌وسالنهای‌بزرگ و کوچک (تا حدود ۲۰ نفر) کفایت می نماید .

ضمنا " جدول زیرین نیز برای مقادیر طراز بلندی حد اکثر وضع گردیده است .

استودیوهای رادیو و تلویزیون	۲۵ ـ ۳۰ دی‌بی (A)
تالارکنسرت ـ تآتر	۳۰-۳۵ «
بیمارستان ـ سینما ـ کلاس درس ـ خانه ـ هتل	۳۵-۴۰ «
سالن‌کنفرانس ـ ادارات ـ کتابخانه	۴۰-۴۵ «
بانك ـ مغازه ـ فروشگاه	۴۵-۵۵ «
رستوران	۵۰-۵۵ ـ

طبق‌استاندارد آلمان (Din 1964) صدای ماگزیمم ارکاندیشنینگ‌ازحد مجازی که در جدول شماره ۲۵ داده شده است نباید تجاوز کند .

نوع تالار	تراز غوغا باآرامش‌زیاد dB	تراز غوغا باآرامش‌کمتر
تالار کنسرت ــ تآتر	۲۵	
بیمارستان	۳۰	
تالارکنفرانس‌واجتماعات ــ سینما_هتل_وعبادتگاه	۳۵	۴۰
رستوران ــ باشگاه ــ بانک و	۴۰	۵۰

غوغای وسائل خانگی :

طبق استاندارد آلمان غوغای وسائل خانگی‌وتاسیسات‌دراطاق خواب و نشیمن‌نباید حد اکثر از ۳۰ دی بی (A) تجاوز نماید ــ این مقدار با منحنی حد شماره ۲۰ تطابق دارد و در محیط عادی که غوغای محیط خود ۲۰ تا ۳۰ دی بی است غیر قابل شنیدن است ــ وسائلی که‌غوغای آنها در این‌حد قرار می‌گیرند عبارتند ازماشین های‌رختشوئی ،

تاسیسات تهویه و شوفاژ ، تاسیسات آسانسور و نظایر آنها . وسائل دیگری نیز درخانه‌ها ایجاد غوغا می نمایند (از قبیل وسائل برقی آشپزخانه ـ سیفون توالت و نظایر آنها) که رعایت استاندارد فوق در باره آنها همواره میسر نیست ولی باید توجه گردد که نفوذ غوغای این‌وسائل به‌خانه همسایگان (بخصوص در آپارتمان ها) از حد مجاز نبایدتجاوز نماید .

در کشورهای مسیحی یکی از سرچشمه های غوغای شهری نوای زنگ کلیساها است‌که گاهی می تواند بصورت آزار دهنده جلوه کند و مثلا " آوای ناقوس کلیسای پتروس دربرن در فاصله ۲۰۰ متری دارای طراز ۷۰ تا ۷۴ دی بی می باشد و در نزدیکی کلیسا تا ۸۴ ـ دی بی نیز اندازه گیری شده است . آوای زنگ آنچنان نافذ است که حتی در فاصله ۵ر۱ کیلومتری هم‌بسهولت شنیده می‌شود و از این رو امروزه سعی می گردد که با وضع مقرراتی در این مورد نیز چاره ای اندیشیده شود .

علاوه بر موارد ذکر شده ازدیاد سرچشمه های غوغای آزار دهنده با پیشرفت تمدن روز افزون است که چون قبلا "قوانین ومقرراتی برای آنها وجود نداشته و بعلت عدم‌توجه مردم به آنها مسئله ای محسوب نمی گردیده است ولی امروزه در کشورهای پیشرفته و در مواردی افراد حساس وناراحت شکایاتی درزمینه مزاحمت‌های ناشی از غوغای تمدن‌تسلیم دادگاه ها می نمایند که در صورت وجود مقررات و قوانین به آنها رسیدگی میگردد .

از جمله ناراحتی های ناشی از تمدن غوغای آپارتمانها است که اگر از حد مجازی تجاوز نماید زندگی را بر ساکنین آپارتمان دشوار می سازد و مثلا " اگر غوغای آپارتمان‌از منحنی حد شماره ۶۰ بیشتر باشد مکالمه تلفنی همانگونه که در بخش مربوطه گفته شده است بدشواری صورت می گیرد .

همچنین صدای وزوز ترانسفورماتر همانگونه که قبلا " نیز گفته شده است زندگی رابر ساکنین خانه های اطراف تلخ می سازد که در جدول شماره ۲۷ ناراحتی ناشی از غوغـای

ترانسفورماتر نمایش داده شده است .

تراز غوغا	درجه بندی غوغا
تا ۲۰ دسی بل	بی آزار
۲۰ تا ۳۰ دسی بل	برای افراد حساس آزاردهنده است
۳۰ تا ۴۰ دسی بل	حد مجاز
بیش از ۴۰ دسی بل	غیر مجاز

بدیهی است که در مناطق و نواحی شلوغ (مانند مراکز شهرها و مناطـق صنعتی و تجارتی) حد مجاز را می توان ۳۵ دسی بل و یا بیشتر نیز انتخاب نمود ولی در مناطق آرام (نواحی مسکونی یاییلاقی)حد مجاز نباید از۳۰ دسی بل تجاوز نماید کهاندازهگیری تراز غوغا باپنجره باز باید صورت گیرد . زیرا با بسته بودن پنجره این مقادیر ۱۵ تا ۲۰ دسی بل کاهش می یابد و بحد مجاز بی آزاری میرسد .

صدای تیر اندازی

آوای ترکش ناشی از تیراندازی در سرباز خانهها و فروشگاههای اسلحه نیز میتواند غوغای آزار دهنده ای را برای ساکنین اطراف این مناطق ایجاد نماید که برای پیشگیری از آن جدول زیرین از سوی مرکز پژوهش EMPA در سوئیس وضع گردیده است .

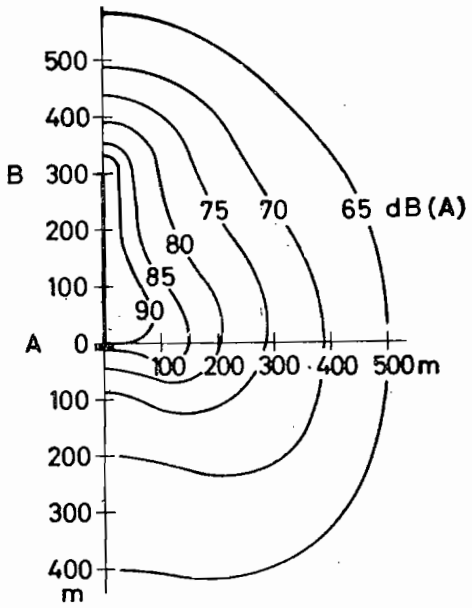
جدول شماره ۲۸

تراز حد برای پیشگیری از آوای ترکش

مناطق آرام (بیمارستان)	۴۰ تا ۴۵ دسی بل
مناطق آرام (مسکونی)	۶۰ تا ۶۵ دسی بل
مناطق شهری	۶۵ تا ۷۰ دسی بـــل
مناطق تجاری	۶۵ تا ۷۰ دسی بـــل
مناطق صنعتی	۷۰ تا ۷۵ دسی بـــل
مراکز شهرها و کنار شاهراهها	۷۵ دسی بل

مقادیر داده شده در جدول ۲۸ برای تک تیر و سنجش با سونومتر سریع (FAST) می باشد در شکل ۴۴ منحنی های تراز آوای ترکش نمایش داده شده است و دیده می‌شود که در فاصله ای کمتر از ۵۰۰ متر نباید خانه سازی شود .

در محل تیر اندازی آوای ترکش می تواند تا ۱۶۰ دسی بل نیز برسد که برای گوش تیرانداز و تماشاگران ناراحتی و آزار ایجاد می نماید که باید برای پیشگیری از این آزار گوش بند همواره بکاربرده شود و درمحل تیراندازی نیز با پیش بینی های لازم (ساختن دیوارهای دوبل و پوشش با مواد آبسوربنت) آزار ترکش را کمتر نمود .



شکل ۴۴ ــ تراز آوای ترکش در اطراف محل تیر اندازی بفاصله ۳۰۰ متری

A : محل تیر اندازی B : هدف درفاصله ۳۰۰ متری

جدول شماره ۲۹

حد مجاز (بیشینه) غوغای آزار دهنده

محل کار	میانگین ۵۰%		غوغای آزار دهنده برحسب پیک ۹۹%		پیک‌گه‌گاهی ۹۹/۹%	
۱ ــ آپارتمان :	ازبیرون		ازبیرون		ازبیرون	
اطاق خواب	شب	روز	شب	روز	شب	روز
	۴۰		۵۰		۶۰	
اطاق نشیمن		۵۰		۶۰		۷۰
غوغای وسائل خانگی	۳۵	۳۵	۴۰	۴۵	۴۵	۵۰
۲ ــ دفاتر .	ازبیرون	ازدرون	ازبیرون	ازدرون	ازبیرون	ازدرون
اطاق مدیران ــ اطاق کنفرانس	۴۰		۴۵		۵۰	
دفتر کوچک (سه نفره)	۴۰	۴۰ ــ ۵۵	۵۰	۵۰ ــ ۶۵	۵۵	۶۰ ــ ۷۵
دفتر میانگین (چهار تا ده نفر)	۴۵	۴۰ ــ ۶۰	۵۵	۵۵ ــ ۷۰	۶۰	۶۰ ــ ۷۵
دفتر بزرگ (بیشاز ۱۰ نفر)	۴۵	۴۵ ــ ۶۰	۵۵	۵۵ ــ ۷۰	۶۵	۶۵ ــ ۷۵

محل کار	میانگین ۵۰%	غوغای آزار دهنده برحسب پیک ۹۹%		پیک‌گه‌گاهی ۹۹/۹%	
دفتر باماشینهای اداری وتله‌تایپ وغیره	۵۰ ۶۵ — ۵۰	۶۰	۷۵ — ۶۰	۷۰	۸۵ — ۷۰
	ازبیرون ازدرون	ازبیرون	ازدرون	ازبیرون	ازدرون
۳ — مدرسه .					
اطاق درس	۴۵ ۶۰ — ۴۵	۵۵	۸۵—۶۰	۶۰	۹۰—۷۰
محل تهویه	۳۵				
سالن سرود خوانی	۴۵	۵۵		۶۰	
سالن ورزش	۵۰ ۷۰—۵۵	۶۰	۹۰—۷۰	۶۵	۹۵—۷۵
۵/۴ — هتل و بیمارستان .	ازبیرون		ازبیرون		ازبیرون
	شب روز		شب روز	شب	روز
اطاق هتل	۴۰ ۴۵		۵۰ ۵۵	۵۵	۶۰
اطاق بیمار	۳۵ ۴۰		۴۵ ۵۰	۵۰	۵۵
۶ — رستوران .	ازبیرون ازدرون		ازبیرون ازدرون	ازبیرون	ازدرون
با آرامش زیاد	۳۵ ۶۵—۴۵		۴۵ ۷۵—۵۵	۵۵	۸۵—۶۵
با آرامش	۴۰ ۶۵— ۵۵		۵۰ ۸۰— ۷۰	۵۵	۸۵— ۷۵
عادی	۴۵ ۷۰—۶۰		۵۵ ۸۵ — ۷۵	۶۰	۹۰—۸۰
شلوغ	۵۰ ۷۵— ۶۵		۶۰ ۹۰ — ۸۰	۷۰	۹۵—۸۵
۹/۸/۷ — سینما — تآتر — تالار کنسرت	از بیرون		از بیرون		ازبیرون
آمفی تآتر و غیره	۲۵		۳۰		۴۰
۱۱/۱۰ — استودیوهای رادیو — تلویزیون	از بیرون		از بیرون		ازبیرون
صدا برداری (فیلم و صفحه)	۲۰		۲۵		۳۰

گفتار دوم

آکوستیک در تالار

۱ــ پایه های تئوری

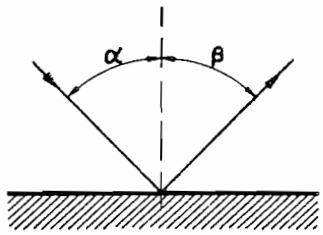
آکوستیک هندسی .بسبب اشکالات بیشمار وپیچیدگی مسائل مربوط به انتشار آوا در فضای سر پوشیده (تالارها) ناچار اینگونه مطالعات بکمک روشهای ساده شده ای که راه عملی برای نیل بهدف را بسهولت میسر میسازد ، انجام میگیرد و ساده ترین راه بـرای بررسی ترسیمی و مطالعات آکوستیکی بر روی اسکیس ساختمان تالار ، فرضیه پرتو آوا و ــ انتشار خطی امواج آکوستیکی است . بدیهی است که این فرضیه حقیقت فیزیکی ندارد و فقط میتوان خطوط فرضی عمود برجبهه امواج را باتقارن آن با نور هندسی پرتوآکوستیکی نامید .آکوستیک هندسی‌را نمیتوان‌در همه‌جا بکاربرد واستفاده ازآن‌حاوی‌محدودیت‌هائی است که بخصوص موارد زیرین حائز اهمیت است .

۱ ــ ابعاد مکان مورد نظر باید در مقابل طول موج آوای بکار برده شده بحد کفایت بزرگ باشد .ابعاد سطوح بازتابنده نیز بایدچند برابر طول موج مورد نظرباشند ــچنانچه این شرط رعایت نگردد بعلت بروز پدیده خمش انتشار صوت از حالت خطی خارج شده و دیگر قوانین آکوستیک هندسی در آن صادق نخواهد بود . به بیان دیگر میتوان گفت که آکوستیک هندسی برای فرکانس های پائین و تالار های کوچک صحت ندارد .

---

1)- Roomacoustic-Acoustique dans la salle

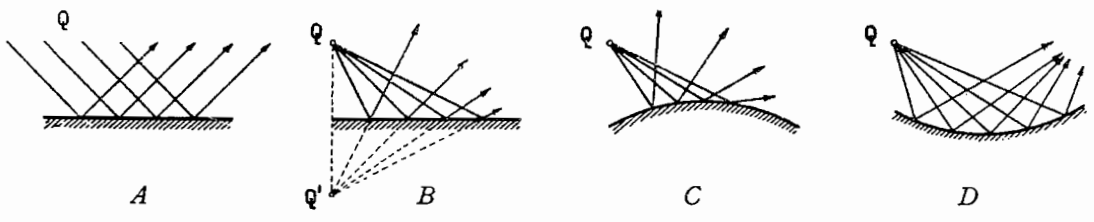
۲ ــ امپدانس آکوستیکی ملاء میدان (هوا) و سطوح باز تابنده (دیوارها) باید تفاوت زیادی بایکدیگر داشته باشند ــ زیرا درغیر این صورت بجای بازتاب ساده‌ترکیبی ازبازتاب و تباهی انرژی (جذب شدن[1]) بوجود میآید که در این مورد در بخش دوم‌این گفتار سخن بمیان خواهد آمد . با رعایت این دو شرط میتوان قانون آکوستیک هندسی را بدین صورت بیان نمودکه پرتوهای صوتی بر خورنده و پرتوهای صوتی بازتابنده هردو در یک پهنه قرار دارند و زاویه تابش با زاویه بازتاب برابر است (شکل ۴۵) .



$\alpha = \beta$

شکل ۴۵ ــ قانون بازتاب آکوستیک هندسی

در آکوستیک هندسی نیز نظیراپتیک‌هندسی میتوان تصور نمود که پرتوهای منتشره از یکسرچشمه صوت کروی (سرچشمه ای که بتمام اطراف خود بطور یکنواخت انرژی‌پخش نماید)طبق شکل۴۶ در صورت برخورد به یک سطح باز تابنده بچهار حالت بازمیگردد .



شکل ۴۶ ــ انواع بازتاب آکوستیک هندسی

A) چنانچه پرتو صوتی از یکسرچشمه‌ای که در فاصله دوری قرار گرفته است بسطح بازتابنده که ابعاد آن نیز بحد کفایت بزرگ باشد بربخورد ،بدون هیچگونه‌تغییری‌بازتاب

---

1)- Absorption

میگردد ــ این حالت را اصطلاحا "پژواک[1] یا باز آوا می نامند .

B) اگر سرچشمه آوا در نزدیکی پهنه بازتابنده قرارگرفته باشد فقط جهت پرتوطبق قانون آکوستیک هندسی تغییر می نماید و همانند آنست که سرچشمه در پشت پهنه وبطور مجازی قرار داشته باشد در این‌حالت امتداد پرتو پس ازشکست نیز زاویه ای مساوی‌زاویه قبلی خود می یابد .

C) هنگام بازتاب بر روی یک پهنه برجسته[2] زاویه انتشار پرتو صوتی و جهت آن تغییر می نماید پرتو واگرا میگردد .

D) بازتاب از یک پهنه گود[3] باعث همگرا شدن پرتو صوتی و تغییر جهت آن می‌ــ گردد .

آکوستیک استاتیکی :

هنگامی که در یک فضای سرپوشیده (تالار) یک سرچشمه آوا شروع به پخش‌انرژی صوتی نماید امواج منتشره درلحظه اول در ملاء خالی ازانرژی تالار درتمام جهات‌پیشروی می نمایند و میدان آکوستیکی در لحظه اول میدان آزاد است . پس از سپری شدن مدت معینی کهامواج منتشره به‌دیوارها برخورد وبازتاب می‌نمایند امواج‌اصلی وامواج بازتابنده با یکدیگر تداخل و بتدریج میدان را درهم (دیفوز) می نمایند که اگر پخش انرژی از‌ــ سرچشمه ادامه داشته باشد این تداخل انرژی آنقدر ادامه می یابد تا مقدار انرژی تبـاه شده توسط ملاء و دیوارها و سایر محتویات تالار (مثلا " تماشاچیان و مبلمان) معادل انرژی منتشره ازسرچشمه گردد که از این‌لحظه به بعد میدان آکوستیکی حالت ثبات بخود می گیرد و دیگر چگالی متوسط انرژی (مقدار انرژی در واحد حجم) افزایش نمی یابد .

---

1)- ECHO
2)- CONVEX
3)- Concave

از این بیان میتوان نتیجه گرفت که هنگام خاموش شدن سرچشمه آوا نیز انرژی آکوستیکی در تالار بلافاصله ازبین نمیرود بلکه مدتی طول می‌کشد تا بعلت تباهی انرژی ، درتالار خاموشی مطلق حکمفرما گردد .مدت زمانی که از لحظه خاموشی سرچشمه تا خاموشی مطلق تالار سپری میگردد و اصطلاحا " آنرا پس‌آوا " طنین[1] " مینامیم در وضعیت آکوستیکی تالار (موزیک و گفتار) تاثیر بسزائی دارد . زیرا موزیک یا گفتار از یک سری آکوردها و کلمات جدا از هم تشکیل گردیده اند که تداخل بیش از حد آنها باعث درهم و نامفهوم شدن آنها میشود .از این‌رو برای بررسی تاثیر پس آوا در آکوستیک تالار نیازی به‌شناخت و بررسی هر یک ازپرتوهای صوتی بطور جداگانه نیست‌و کافی است‌که وضع استاتیکی‌میدان بطور کلی بررسی گرددوازاین‌رواین مبحث را بنام آکوستیک استاتیکی می نامند .

این پژوهش برای نخستین بار در اوائل قرن بیستم و توسط W.C. Sabine استاد فیزیک دانشگاه هاروارد (آمریکا) بعمل آمد و با وسائل آزمایش ابتدائی که درآن موقع دردسترس سابین قرارداشت توانست روابط زیرین رابین طنین‌ومشخصات ساختمانی تالار بدست آورد .

ـ پس آوا (مدت شنوائی صوت پس ازخاموشی سرچشمه) در تمام نقاط تالاریکسان است .

ـ پس آوا با محل قرار گرفتن سرچشمه آوا در تالار وابستگی ندارد .

ـ تاثیر سطوح جذب کننده صوت (آبسورپنت) در پس‌آوا ارتباطی بامحل قرارگرفتن آنها درتالار ندارد .طبق تعریف سابین زمان پس آوا بزمانی اطلاق می گردد که ازلحظه خاموشی سرچشمه تا لحظه کاهش چگالی انرژی متوسط در تالار تا حد یک میلیونیم مقدار بیشینه (یاکاهش فشار آوا باندازه ۶۰ دی بی) ادامه می یابد و این زمان که به T نموده میشود باآبسور پسیون A وحجمV تالار بستگی دارد کەطبق آزمایشات سابن این بستگی

---

1)- Reverberation Time

عبارتست از : $T = 0{,}16 \frac{V}{A}$;

که در آن T زمان پس‌آوا برحسب ثانیه و V حجم برحسب مترمکعب و A مجموعه آبسور پسیون پهنه ها برحسب متر مربع میباشد .

$A = \Sigma a_n S_n$. ازمجموعه حاصلضرب یکایک پهنه‌ها (S_n) در ضریب‌جذب (آبسور پسیون) آکوستیکی a_n همان پهنه حاصل میگردد .

رابطه سابین در سال ۱۹۱۱ توسط A.JAEGER از راه تئوری نیز باثبات رسید که‌برای رسیدن به فرمول سابین احتیاج به صرف نظر کردن از بسیاری از عوامل‌موثر در طنین بوده است .

از بررسی های تئوری یگر در آکوستیک استاتیکی نتایج زیر بدست آمده است :

۱ ــ رابطه بین توان سرچشمه آوا P و چگالی میانگین انرژی در تالار W_O عبارتست از :

$$W_0 = \frac{4P}{cA}$$

که درآن C سرعت انتشار امواج آکوستیکی و A آبسور پسیون کلی تالار می باشد .

چنانچه‌مقادیرثابت‌این‌رابطه‌رادرهم‌ادغام‌نمائیم‌خواهیم‌داشت : $W_0 = 1{,}17 \cdot 10^{-8} \frac{P}{A}$

دراین‌رابطه P برحسب‌وات (W) و A برحسب‌مترمربع‌و W_O برحسب W_S/cm^3 میباشد .

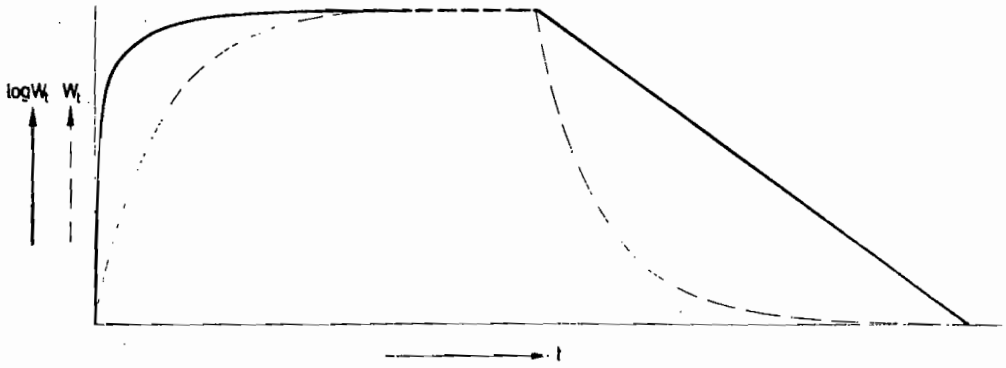
۲ ــ نمو انرژی آکوستیکی در تالار برحسب زمان از لحظه ای که سرچشمه شروع بـه پخش انرژی مینماید بترتیب زیرین است :

$$W_t = W_0 (1 - e^{-tcA/4V}) .$$

۳ــ تباهی انرژی در تالار برحسب زمان از لحظه خاموشی سرچشمه (پس آوا) عبارتست از :

$$W_t = W_0 e^{-tcA/4V}$$

بدین ترتیب بررسی میگردد که فرض یکسان بودن چگالی انرژی در تالار که برای اثبات فرمول سابین ضروری است در آغاز و انجام هر پدیده آکوستیکی در تالار نمیتواند صادق باشد ودر این‌دو لحظه نمو یاکاهش انرژی بصورت توانی (اکسپو نانسیل)می‌باشد .



شکل ۴۷ ــ پدیده طنین . Wt تکاثف انرژی ــ t زمان

چون شنوائی بالگاریتم شدت صوت بستگی‌دارد لذادر مطالعات آکوستیکاستاتیکی نیز همواره سعی می‌گردد که بجای هرمقدار لگاریتم آنرا تشکیل دهند و از این رو درشکل ۴۷ نیز علاوه بر مقدارWt لگاریتم آن نیز که بررسی آن سهل تر است نمایش داده شده است . شکل ۴۷ بخوبی نشان میدهد که تاثیر پدیده پس‌آوا بمراتب از تاثیر نمو انرژی در نخستین لحظه ، مهم تر است و این عملا" نیز با ملاحظات روزمره باثبات میرسد ــ زیرا پس‌آوا پدیده ای است که از دورانهای پیشین نیز شناخته شده بوده است در حالی که پدیده نمو اکسپو نانسیل انرژی با گوش بزحمت قابل تشخیص میباشد .

فرمول‌سابین‌باآنکه‌برای‌کلیه‌مقادیر α صادق نیست (مثلا" برای$(\alpha_n = 1)$بجای آنکه $T=0$ شود ، مقداری مخالف باصفر خواهد داشت)ولی باتقریب میتوان از آن دربیشتر موارد استفاده نمود .

در سال ۱۹۳۰ C.F.Eyring بمنظور بررسی و اصلاح رابطه سابین فرض نمود که پرتوهای آکوستیکی منتشره در فضای تالار پس از هربار بازتاب مقداری از انرژی

خود را از دست میدهند که در نتیجه مقدار آبسور پسیون کلی عبارت خواهد بود از :

$$A = -S_t \ln (1 - \alpha_m) .$$

که در آن $S_t = \Sigma S_n$ مجموعه پهنه های تالار و $\alpha_m = \frac{\Sigma \alpha_n S_n}{\Sigma S_n}$ آبسور پسیون متوسط پهنه‌های تالار می‌باشد .فرمول ایرینگ برای کلیه مقادیر (وحتی مقادیر بزرگ نزدیک به یک) نیز صادق است و گرچه برای مقادیر کوچک α نتیجه تفاوت چندانی بافرمول سابین ندارد ولی‌برای مقادیر بزرگ ونزدیک به‌یک (تباهی صددرصد) تفاوت قابل ملاحظه می باشد . با توجه به مسائلی که عملا " وجود دارد چون تالارهای‌با آبسورپسیون زیاد بندرت‌وفقط برای‌آزمایشگاه ها ساخته میشوند لذا با صرف نظر کردن از تفاوت جزئی هنوز هم میتوان برای کارهای عملی و کنترل تالارها بخوبی از فرمول سابن استفاده نمود .

فرمول ایرینگ بعدا " بوسیله V.O.Knudsen با دخالت دادن آبسور ـ پسیون ملاء (هوا) تالار بصورت زیرین اصلاح گردید :

$$T = \frac{0,16\ V}{-S_t \ln (1 - \alpha_m) + 4\ m\ V}$$

ضریب m که نماینده آبسورپسیون هوا میباشد برای نغمه هائی با فرکانس بیش از ۳۰۰۰ هرتس مقدار قابل توجهی دارد و بارطوبت نسبی‌هوا مرتبط است که درجدول زیرین‌مقدار آن داده شده است :

رطوبت نسبی	ضریب آبسورپسیون m (برای هرمتر)		
	۳۰۰۰هرتس	۴۰۰۰	۶۰۰۰هرتس
۲۰%	۰ر۰۱	۰ر۰۱۶	۰ر۰۳۲
۵۰%	۰ر۰۰۵	۰ر۰۰۸	۰ر۰۱۵
۷۰%	۰ر۰۰۴	۰ر۰۰۶	۰ر۰۱۳

از بررسی جدول فوق میتوان استنباط نمود که تاثیر ضریب m در طنین تالارآنقدر ناچیز است که عملا "این دقت در محاسبه باتقریباتی که در تعیین ابعاد پهنه ها وضریب آبسورپسیون آنها وجود دارد نامتناسب است و از آن‌بخوبی میتوان چشم پوشید ، علاوه بر این مطالعات ایرینگ براساس فرضیه آکوستیک هندسی (پرتوهای آکوستیکی) و یکسان بودن چگالی انرژی درفضای تالار بناشده است در صورتیکه این فرضیات خود پایه‌محکمی ندارند و از این رو عملا" همان فرمول ساده سابین جوابگوی بیشتر مسائل آکوستیکی در در تالارها می باشد و در هر صورت برای داشتن مقدار دقیق و صحیح T باید بـــروش اندازه گیری که در فصول بعد ذکر خواهد گردید متوسل شد .

تئوری امواج در آکوستیک .

با توجه به تقریبی بودن نتیجه مطالعات آکوستیک هندسی و آکوستیک استاتیکی در تالار ها تنها راه دقیق برای پژوهش ، استفاده از تئوری امواج و بکار بردن معادله امواج در شرایط موجود در تالارها میباشد .در تئوری امواج اثبات میگردد که هر محفظه توخالی سه بعدی میتواند برای تعداد بیشماری نغمه بافرکانس ویژه خود برزونانس درآید (امواج ساکن)که‌این‌نغمه‌ها را میتوان برای فرم های هندسی ساده محاسبه‌نمود .مثلا "فرکانسهای نغمه های ویژه یک مکعب f (فرم عادی تالارها) از رابطه زیرین محاسبه میگردد .

$$f = \frac{c}{2}\left\{\left(\frac{n_x}{L_x}\right)^2+\left(\frac{n_y}{L_y}\right)^2+\left(\frac{n_z}{L_z}\right)^2\right\}^{1/2}$$

که درآن L_x, L_y, L_z طول و عرض و ارتفاع تالار و n اعداد صحیح از صفر تا بینهایت و c سرعت انتشار آوا می‌باشد .ازرابطه فوق برای هر مقدار دلخواه n میتوان نغمهٔ بافرکانس ویژه بدست آورد که بدین ترتیب تعداد نغمه های ویژه بینهایت خواهد بود .این‌تعداد بینهایت بسه دسته عمده تقسیم می گردند .

۱ ــ نغمه های ویژه کج که در رابطه فوق هیچیک از n ها مساوی صفر نباشد .

۲ ــ نغمه های ویژه مماسی که یکی از n ها در رابطه فوق مساوی صفر باشد .

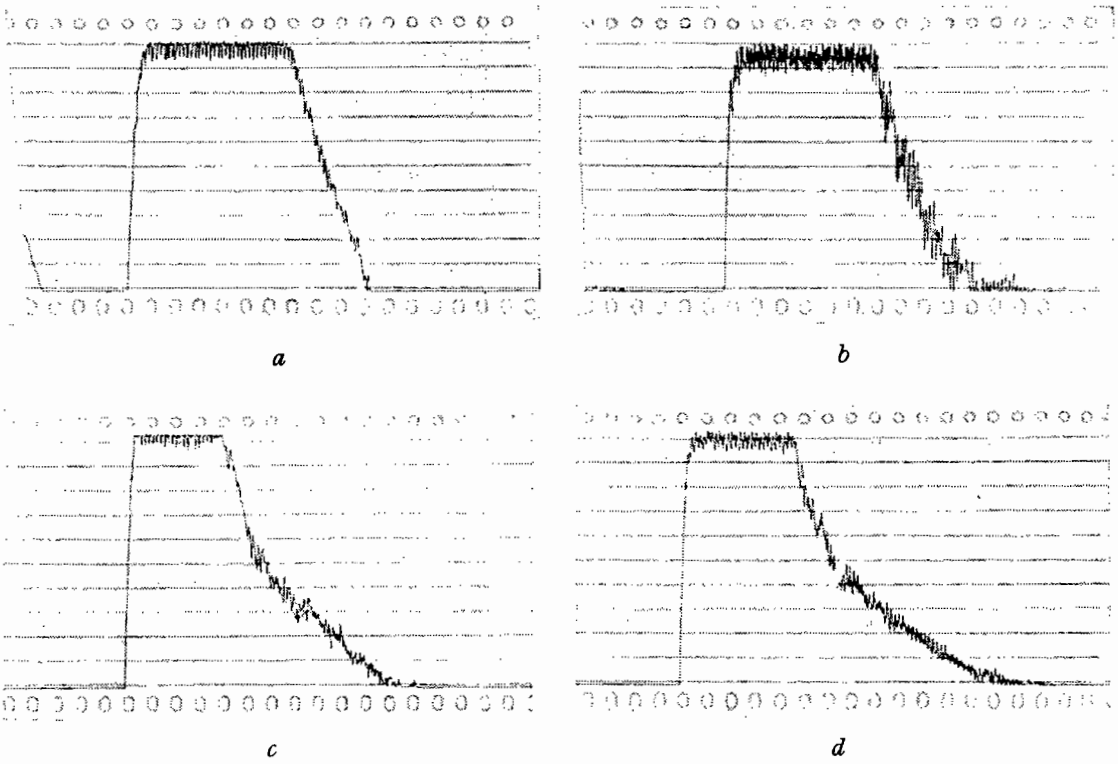
۳ ــ نغمه های ویژه محوری که در آنها فقط یکی از n ها مساوی صفر نباشد .

از رابطه بالا که‌برای تالارهای مکعب مستطیل وضع‌گردیده است میتوان‌بخوبی کلیه نغمه‌های ویژه (رزونانس)تالار را محاسبه و فواصل آنها را از یکدیگر مشخص نمود .برای سهولت امر جد اولی نیز با استفاده از این فرمول تهیه گردیده است که با مراجعه به‌آنها میتوان تعداد و فواصل نغمه های ویژه هر تالاری را برحسب ابعاد آن استخراج نمود .

در حالت استاسیونر(حالتی که وضع میدان ثابت باشد) نوسانات ویژه بافرکانس محاسبه شده در کلیه جهات فضای تالار برحسب نغمه های منتشره از سرچشمه آوا ایجاد می گردند که در این حالت میتوان وضعیت توزیع فشار آوا را در تالار محاسبه نمود . از محاسباتی که‌بعمل آمده است باین نتیجه رسیده‌اند که‌وضع توزیع فشار آوا بسیار پیچیده وبرخلاف فرضیات قبلی چگالی انرژی وفشار آوا درنقاط مختلف تالار بهیچوجه یکنواخت نیست .

در حالت غیر استاسیونر (از لحظه خاموشی سرچشمه تا لحظه خاموشی مطلق ــ پس‌آوا)هر یک از نغمه های ویژه برحسب وضعیت قرار گرفتن دیوارها و مصالح‌آبسوربنتی که درمسیر تابش پرتوهای آکوستیکی قراردارند آنقدر به نوسان با فرکانس ویژه خود ادامه میدهند ، تامستهلک شوند واین خود باعث تغییرات شدید در فشار آوای هر لحظه و هر نقطه تالار می‌گرددکه درنتیجه منحنی‌تغییرات فشارآوا که درشکل ۴۷بصورت‌اکسپونانسیل ساده فرض گردیده بود بر اثر همین تغییرات دندانه دار و غیر اکسپونانسیل می گردد . چنانچه برای آزمایش،نغمه ای با فرکانس بالا بکار برده شود چون فرکانسهای رزونانس به یکدیگر نزدیک وتقسیم فشار یکنواخت‌تر میگردد میتوان‌به‌حالت استاتیکی‌میدان‌آکوستیکی نزدیک گردید .در شکل ۴۸ چهار نمونه از روند فشار آوا در تالار پس از خاموشی سرچشمه نمایش داده شده است . (این منحنی ها بوسیله دستگاه ترسیم کننده خودکار ترسیم

گردیده اند) . این چهار نمونه عبارتند از :



شکل ۴۸ ــ پدیده طنین :

a ــ تنزل انرژی بصورت اکسپونانسیل ــ توزیع یکنواخت ــ نوسانات کوچک

b ــ تنزل انرژی بصورت اکسپونانسیل ــ نوسانات بزرگ

C ــ منحنی طنین شکسته و تالار دارای دو گروه نغمات خاص می باشد

d ــ منحنی غیر اکسپونانسیل ــ تعداد نغمات خاص بسیار زیاد

a) فرم تالار یکنواخت است ــ روند فشار آوا شبیه به اکسپونانسیل میباشد بعلت تداخل امواج ساکن منحنی دندانه دار است .

b) فرم تالار یکنواخت است ــ روند فشار آوا شبیه به اکسپونانسیل میباشد دندانه های منحنی بعلت نوع ساختمان ووضع دیوارها بزرگتر است . در هر دو حالت پس آوا بدقت قابل اندازه گیری است (شیب منحنی) .

c) فرم تالار یکنواخت نیست ــ روند منحنی دوشیب مختلف دارد ــ بخش یکم مشخص امواجی است که‌دارای انرژی بیشتر واستهلاک بزرگتری هستند وبخش دوم که شیب‌کمتری داردمتعلق به امواجی است که انرژی کمتر ولی استهلاک کمتری هم دارند ــ دراین‌حالت پس‌آوای اندازه گیری شده دقیق نیست و کاملا" مشخص نمی باشد .

d)تالار بقدری غیر یکنواخت است که‌روند منحنی سه شیب مختلف را نمایش‌میدهد . در این گونه تالارها که فرم هندسی خاصی ندارند روند منحنی (بدون در نظر گرفتن دندانه ها)تقریبا "اکسپونانسیل است ومیتوان در این‌تالارها از روابط‌آکوستیک‌استاتیکی بخوبی استفاده نمود .

اصولا" استفاده از روابط‌آکوستیک استاتیکی در تالارها بستگی به نوع ساختمان ــ فرم تالار و توزیع مصالح آبسوربنت در جهات مختلف تالار دارد ــ چه بسا که در یک تالار غیریکنواخت بتوان بسهولت کلیه مسائل‌را از طریق آکوستیک استاتیکی بررسی‌نمود در حالی‌که در مورد یک تالار دیگر که ظاهرا" شرایط بهتری دارد این روابط نتواندصادق باشد . بعبارت‌ساده‌تر میتوان از بررسی روند منحنی های شکل ۴۸ نتیجه گرفت که هرچه فرم تالار ازفرم‌های هندسی دورتر وغیر یکنواخت‌تر باشد ازنظر بررسی‌آکوستیک‌استاتیکی دقیقتر است و برای تالارهای کنسرت و استودیو و نظایر آن ساختن اینگونه فرم هاتوصیه می گردد . نکته ای‌که قابل توجه است ایجاد عدم یکنواختی در فرم و سطوح تالار است که برحسب تجربه ومحاسبه قابل تعیین است ــ مثلا "اگر سقف ودیوارهای یک تالار موازی با کف و با یکدیگر نباشد تا حدی شرط‌فرم غیر هندسی حاصل میگردد ولی این همواره کفایت نمی نماید و باید برروی دیوارها نیز ناهمواری هائی که ابعاد آنها در حدود طول موج فرکانسهای بم‌قرار گیرند بوجود آورد .بدیهی است‌که این‌ناهمواری وعدم یکنواختی را میتوان بوسیله مصالح آبسوربنت نیز ایجاد کرد . از بحث تئوری امواج در آکوستیک میتوان بطور خلاصه بنتایج زیرین رسید :

۱ ــ ضریب آبسورپسیون مصالح آبسورپنت (جذب کننده)آوا مقدار مشخصه‌وثابت هر جسمی نیست و بلکه از شرایط بکار بردن آن در تالار ، از قبیل زاویه تابشی پرتو آکوستیکی ،توزیع فشار درفضا و نظایر آن ، تبعیت می نماید .علاوه‌بر آن نوع فرکانسهای رزونانس وفرم تالار وهمچنین محل‌نصب مصالح آبسوربنت‌در ضریب آبسورپسیون‌میتواند بخوبی مؤثر باشد .

۲ ــ چنانچه روندتباهی فشارآوا در مدت پس‌آوا اکسپونانسیل نباشد دیگر نمیتوان سخن از پس‌آوا ، بصورتی که تعریف گردید ، بمیان آورد .

۳ ــ برای‌داشتن آکوستیک خوب در تالار باید پس‌آوای مناسب وجود داشته باشد که در مدت دوام آن فشار آوا بصورت اکسپونانسیل تباه گردد . این امر در صورتی‌عملی است که فرم تالار غیر قرینه وغیر هندسی و سطوح تالار نیز ناهموار ساخته شوند ومصالح آبسورپنت بطور درهم در تالار بکار برده شوند .

با بودن شرایط فوق میتوان از روابط‌آکوستیک استاتیکی و بخصوص از فرمول سابن برای محاسبات و طرح تالارها استفاده نمود .

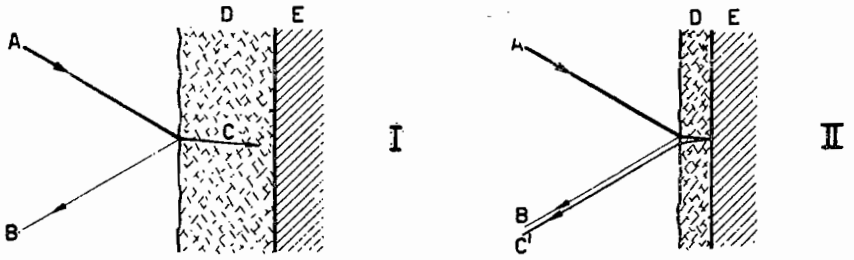
۲ ــ تباهی آکوستیکی (آبسورپسیون[1])

هنگامی که‌پرتو آکوستیکی به‌دیواری برمیخورد مقداری از انرژی آن‌بازتاب ومقداری هم جذب می گردد (شکل ۴۹) ــ مفهوم جذب انرژی آوا توسط دیوار،تباهی و تبدیل شدن آن به گرما می باشد . از این رو ضریب بازتاب[2] r را میتوان بسهولت تفسیر نمود که عبارتست از نسبت دامنه موج بازتاب شده به دامنه موج تابیده .

---

1)- Absorption

2)- Reflexion



شکل ۴۹ ــ آبسورپسیون آوا در یک طبقه آبسوربنت D

a : انرژی تابیده

b : انرژی بازتابیده از آبسوربنت

c : انرژی جذب شده

d : انرژی بازتابیده از دیوار پشت

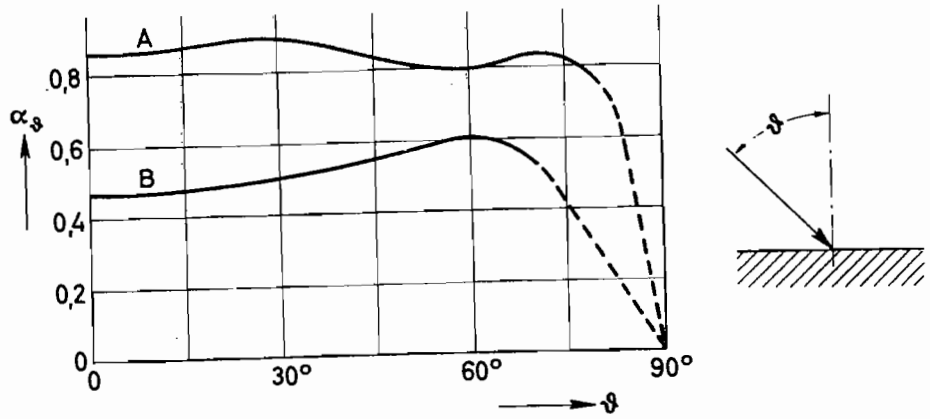
ضریب آبسور پسیون α نیزباتوجه به شکل ۴۹ عبارتست از نسبت انرژی آکوستیکی جذب شده به انرژی کلی (تابیده‌شده) ــ باتوجه به تعاریف فوق و اینکه انرژی با تــوان دوم دامنه متناسب است رابطه این دو ضریب بقرار زیر خواهد بود :

$$\alpha = 1 - r^2.$$

ضریب آبسورپسیون چنانچه میدانیم برای یک‌فرکانس معین مقداری است‌ثابت و وابسته به جنس پوشش دیوار ، ولی این‌مقدار ثابت طبق شکل ۵۰ برحسب زاویه‌تابش‌پرتو آکوستیکی متغیر میشودوهرگاه زاویه تابش۹۰ درجه‌شود (پرتو مماس برپهنه باشد)مساوی صفر می گردد ولی عملا "نمیتوان این‌تغییرات را در محاسبات دخالت داد و مقدار α را همواره ثابت فرض می نمایند .

آبسورینت ها

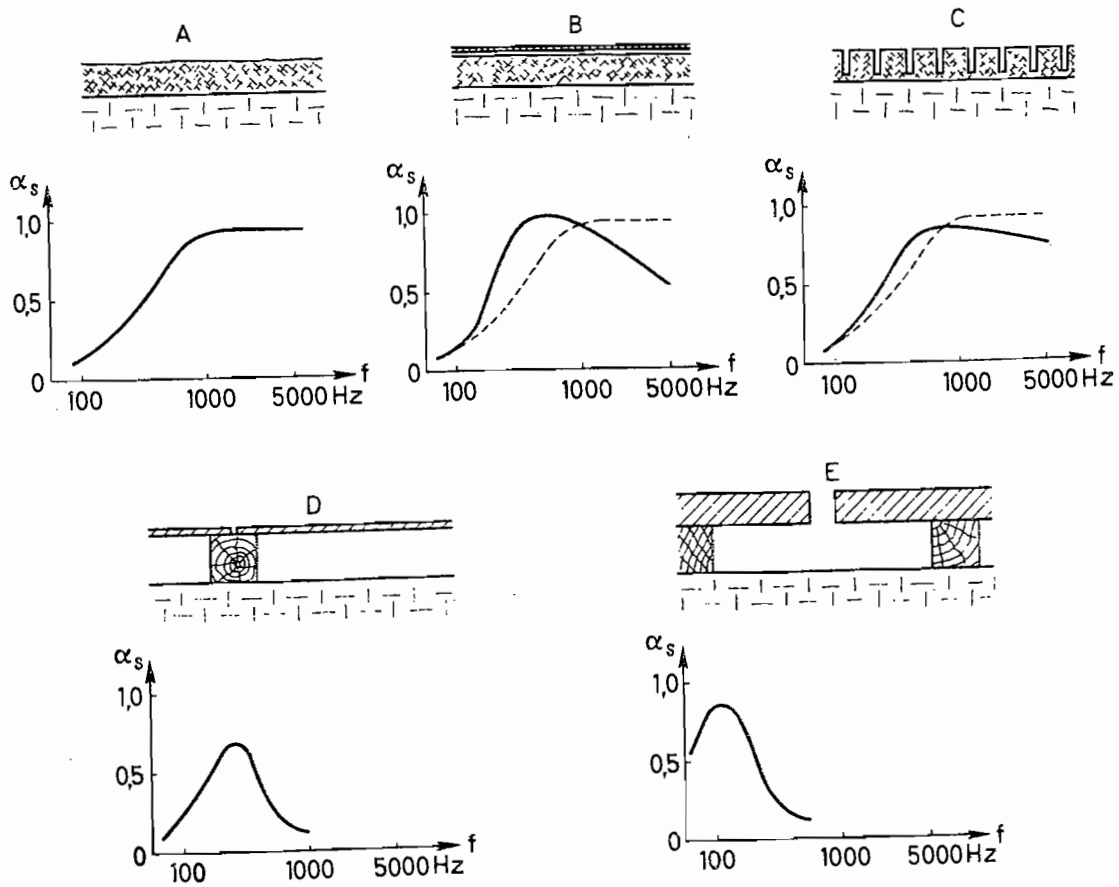
موادی‌که‌برای‌آبسورپسیون‌صو ت بکاربرده میشوندانواع‌مختلفی دارندکه‌شناسائی مشخصات‌آنها وبخصوص منحنی تغییرات ضریب آبسورپسیون آنها برحسب فرکانس ،نوع کار برد آنها را تعیین مینماید .



شکل ۵۰ ــ منحنی تبعیت ضریب آبسورپسیون از زاویه تابش انرژی در فرکانس ۱۰۰۰ هرتس

A ــ ۴/۵ سانتیمتر پشم شیشه

B ــ ۲ سانتیمتر پشم شیشه



شکل ۵۱ــ۰ شکل ۵۱ ــ حالات مختلف آبسورپسیون مصالح آبسوربنت

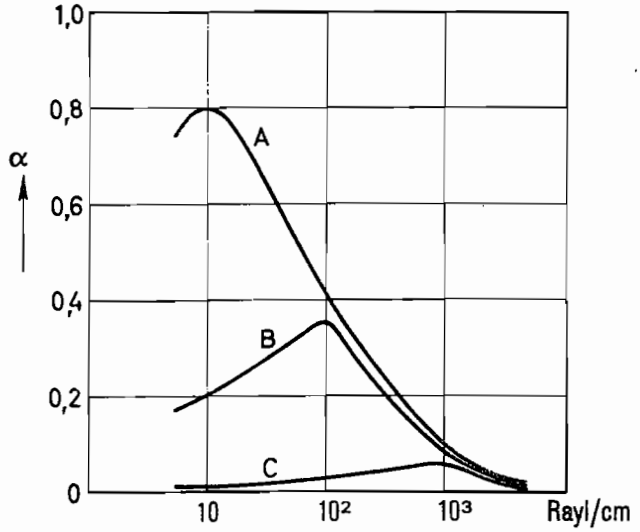
A ــ جسم الیافی B ــ جسم الیافی با روکش C ــ آکوستیک تایل

D ــ اجسام پوسته ای (آبسوربنت پانل) E ــ رزوناتر

درشکل ۵۱ آبسوربنت‌های عمده بامنحنی تغییرات ضریب آبسورپسیون مربوطه آنها ترسیم گردیده است و با توجه مختصری میتوان نتیجه گرفت که برای داشتن آبسورپسیون یکنواخت در نوار فرکانس مورد نظر لازمست که ترکیبی از این مصالح را بکار برد .

درترسیم منحنی‌های تغییرات ضریب آبسورپسیون (شکل ۵۱) فرض براین است که ضخامت مواد آبسوربنت بحد کفایت زیاد باشد (در شکل ۴۹ I) بطوریکه کلیه انرژی داخل شده در جسم پوروز (الیافی) بکلی جذب و تباه گردد ــ در غیر اینصورت طبق شکل ۴۹ II ممکن است ضریب آبسورپسیون وحتی شکل منحنی نیز ، بعلت بازتاب انرژی از دیوار پشت ماتریال آبسوربنت و اختلاط آن با انرژی بازتابیده از رویه آن ، تغییر نماید . بر اساس مطالعات دقیقی که توسط دانشمندان معروف آکوستیک از سالهای ۱۹۳۵ تا کنون در مورد خواص و مشخصات مواد آبسوربنت بعمل آمده معلوم گردیده است که علاوه بر پوروزیته و ضخامت ماده آبسوربر ، فشردگی آن نیز سهم عده ای را در تعیین ضریب آبسور پسیون و منحنی ضریب آبسورپسیون بعهده دارد . فشردگی جسم پوروز را میتوان با مقاومت نشت r تفسیر نمود که عبارتست از اختلاف فشاری (کیلوگرم) که برای عبور دادن مقدار معینی هوا (مثلا "یک متر مکعب) از واحد سطح جسم پوروز مورد نیاز می‌باشد . چنانچه مقاومت نشت r کوچک باشد (جسم پوروز فشرده نباشد) بدیهی است که ازسطح جسم پوروز انرژی کمتری بازتاب میگردد ولی انرژی داخل‌شده بجسم پوروز در آن تباهی نیافته از دیوار پشت جسم پوروز بازتاب و در نتیجه ضریب آبسور پسیون را کاهش میدهد از این رو برای هر قشر معینی از جسم پوروز فشردگی خاصی لازمست تا ضریب آبسور پسیون حد اکثر خود را دارا گردد . بطوریکه از روند منحنی شکل ۵۲ مشهود است برای ضخامت قشر پوروز معادل ۱۰ سانتیمتر حد اکثر ضریب آبسور پسیون هنگامی است که فشردگی جسم معادل $\gamma = 10^{4}$ باشد . در حالیکه برای همان جسم که ۳

سانتیمتر ضخامت داشته باشد حداکثر ضریب آبسور پسیون $r = 10^5$ و چنانچه فقط یک سانتیمتر باشد در $r = 10^4$ حد اکثر میشود با توجه مختصری به شکل ۵۲ واضح گرددکه هرگاه ضخامت طبقه آبسوربنت بحدکفایت نباشد ضریب آبسورپسیون بمقدارقابل توجهی کاهش می‌یابد ــ بدین ترتیب‌که باتبدیل ضخامت جسم‌پوروز ۱۰سانتیمتر به‌یک سانتیمتر حد اکثر ضریب آبسور پسیون از ۸۰٪ به ۵٪ کاهش می یابد .

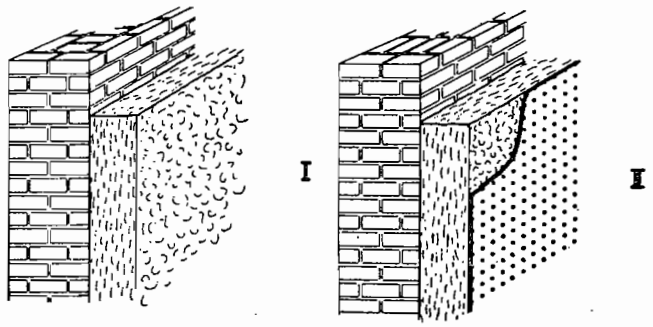


شکل ۵۲ ــ تبعیت ضریب آبسورپسیون از مقاومت نشت

A ــ ضخامت طبقه آبسوربنت ۱۰ سانتیمتر

B ــ " " " ۳ " "

C ــ " " " ۱ " "



شکل ۵۳ ــ متریال آبسوربنت بر روی دیوار سخت

I : جسم الیافی (متریال پوروز) II : جسم الیافی با روکش

بطور خلاصه میتوان خواص مصالح آبسوربنت‌را بصورت زیرین خلاصه کرد .

۱ ــ ضریب آبسور پسیون یک جسم پوروز با افزایش فرکانس بیشتر میگردد .

۲ ــ ضریب آبسورپسیون زیاد برای فرکانسهای بم (پائین) باضخامت‌زیادجسم‌پوروز (در حدود ۱۰ سانتیمتر) و کم بودن فشردگی آن بستگی دارد .

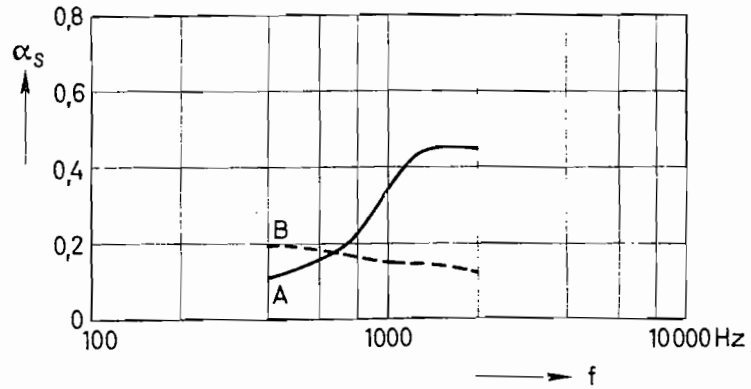
۳ ــ ضریب آبسورپسیون اجسام فشرده بسیار کم وافزایش ضخامت قشرپوروز تاثیری در ازدیاد آبسور پسیون آن ندارد .

برای ساختن انواع مصالح آبسوربنت مواد الیافی‌و مواد نرم را با چسبهای خاصی که فقط این الیاف رابیکدیگر ربط دهندمخلوط کرده بصورت ورق و صفحات باضخامت‌های مختلف در میآورند . در جدول زیرین نمونه ای از این مصالح جمع آوری گردیده‌است .

نوع الیاف	مصرف
الیاف بافتنی (پنبه ــ پشم ــ ابریشم)	مصالح نرم ورقی
» گیاهی (نارگیل وکنف ونظایرآن)	
» شیشه‌ای ــالیاف‌معدنی	
چوب (پوشال وخاك اره)	صفحات پرس‌شده با موادچسبی.
سلولز ــ شیشه ــ پنبه نسوز ــ آسبست	
آسبست ــ شیشه	مصالح پاشیدنی (مانند رنگ)

تاثیر فضای خالی

چنانچه مابین پوشش آبسوربنت (جسم پوروز) و دیوار پشت یک فاصله خالی (هوا) وجود داشته باشد و یا بعبارت دیگر مواد آبسوربنت را برروی بست های چوبی که بدیوار کوبیده شده‌اند قرار دهند ضریب آبسورپسیون مصالح آبسوربنت در فرکانسهای بم (۱۰۰ تا ۳۰۰ هرتس) بیش از دوبرابر ازدیاد می یابد (جدول شماره ۳۲) بدین ترتیب میتوان با بکار بردن این روش ساده (که منحصرا" باید روش کار قرار گیرد) حد اکثر استفاده‌را از مواد آبسوربنت در نوار فرکانس بم و زیر بعمل آورد. چنانچه مواد آبسوربنت را رنگ نمایند ضریب آبسور پسیون آنها ممکن است بمقدار قابل توجهی تقلیل یابد ــ شکل ۵۴ تاثیر رنگ روغنی رابرروی ضریب آبسورپسیون یک صفحه متشکل از الیاف چوبی پرس‌شده بقطر ۱٫۷ سانتیمتر نمایش میدهد. منحنی A تغییرات ضریب‌را در حالت معمولی ومنحنی B تغییرات ضریب را هنگامی که برروی صفحه رنگ روغنی زده شده است نمایش میدهد. با توجه به‌تاثیر رنگ معلوم می گردد که از رنگهای روغنی و پلاستیک بهیچوجه دراینگونه موارد نباید استفاده گردد و فقط در صورت لزوم استفاده از رنگهای قابل انحلال در آب که بمقدار کم و با پیستوله پاشیده شوند مجاز می باشد.



۵۴ ــ تاثیر رنگ در ضریب آبسورپسیون ۱٫۷ سانتیمتر پشم شیشه

A ــ بدون رنگ B ــ با رنگ روغنی

مصالح آبسوربنت با ضریب آبسورپسیون
بسیار زیـــاد

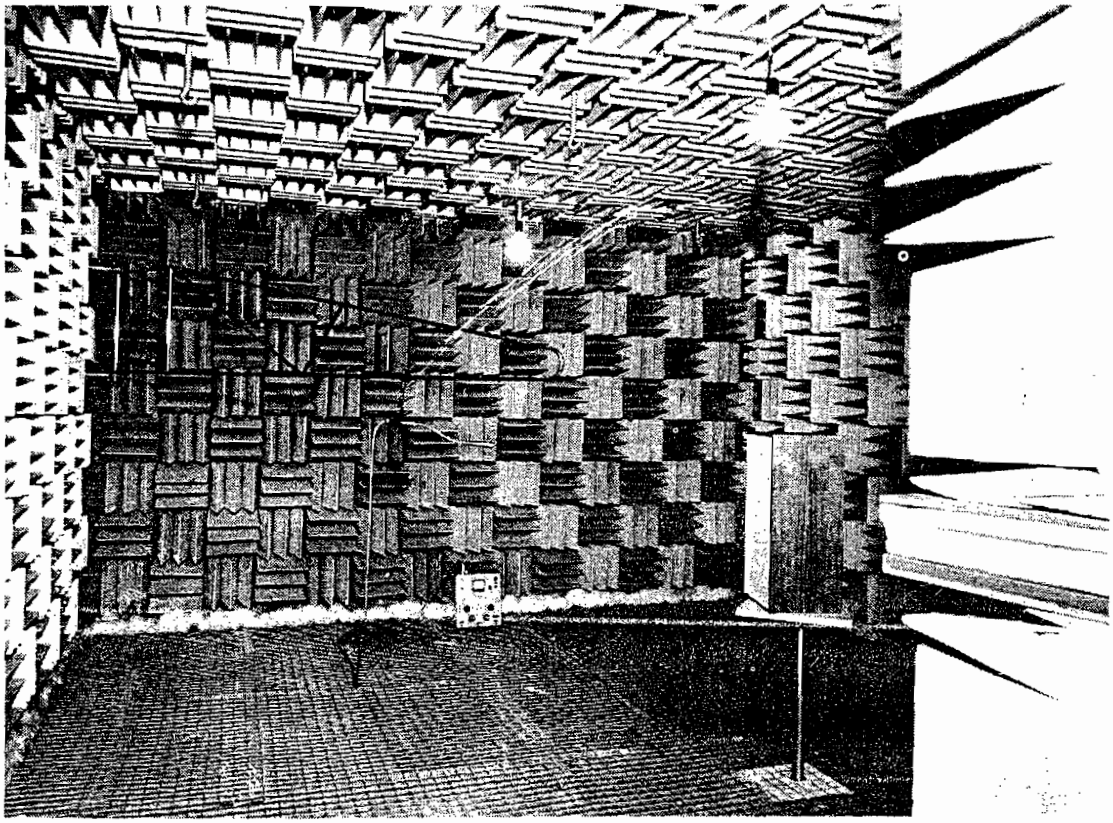
برای اجرای آزمایشهای آکوستیکی از قبیل تهیه مشخصات فنی و مطالعات علمی در باره میکروفن‌ها و بلندگوها و نظایر آنها امواج آکوستیکی پیشرونده مورد نیاز میباشندکه بدون بازتاب همواره از سرچشمه دور و تباه شوند . یک چنین حالتی را فقط میتوان در شرایط معینی دربام یک ساختمان بسیار بلند بوجود آورد که در اطراف آن پهنه‌های بازتابنده وجود نداشته باشند ــ بدیهی است‌که در صورت وجود این شرایط هم بازازنظر اندازه گیری آکوستیکی وضعیت ایده آل وجود ندارد زیرا غوغای محیط (از قبیل صدای پرندگان ،هواپیماوعوامل جوی)را نمیتوان‌نادیده گرفت‌ازاین‌رو برای ساختن‌لابراتوارهای میدان آزاد آکوستیکی که بدانها اطاق صامت[1] نیز گفته می شود پهنه دیوارها را از مواد آبسوربنت ۱۰۰% می پوشانند تاهیچ نوع بازتابی در برابر امواج آکوستیکی رخ ندهد .

بدیهی است که عملا" مواد آبسوربنت ۱۰۰% وجود ندارد و بایستی با دادن فرم خاص به‌مواد آبسوربنت الیافی (هرم ــ مخروط و گوه) نتیجه مطلوب را بدست‌آوردبرای این‌منظور ازمواد آبسوربنتی نظیر پشم شیشه ــ پنبه‌نسوز وغیره بطول ۵۰ تا ۱۰۰سانتیمتر استفاده می گردد و بوسیله این مصالح رویه دیوارهای اطاق صامت را پوشش مینمایند تا امواج آکوستیکی از ملاء نرم (هوا) به ملاء سخت (مواد آبسوربنت) بتدریج وارد شده و در الیاف ماده آبسوربنت بعلت سایش تبدیل به گرما گردد . (ضمنا" سطح آبسوربنت نیز چندین برابر می گردد) ضریب آبسور پسیون یک اطاق صامت با گوه هائی از پشم شیشه بطول ۵۰ سانتیمتر برای فرکانس های بیش از ۱۲۰ هرتس قریب ۹۹% می باشد ــ چنانچه جذب اصوات با فرکانسهای پائین تر نیز مورد نیاز باشد لازمست که طول گوه ها

---

1)- Anechoic chambre

را بیشتر انتخاب نمایند . در شکل ۵۵ منظره داخلی یک اطاق صامت مشاهده می‌گردد .



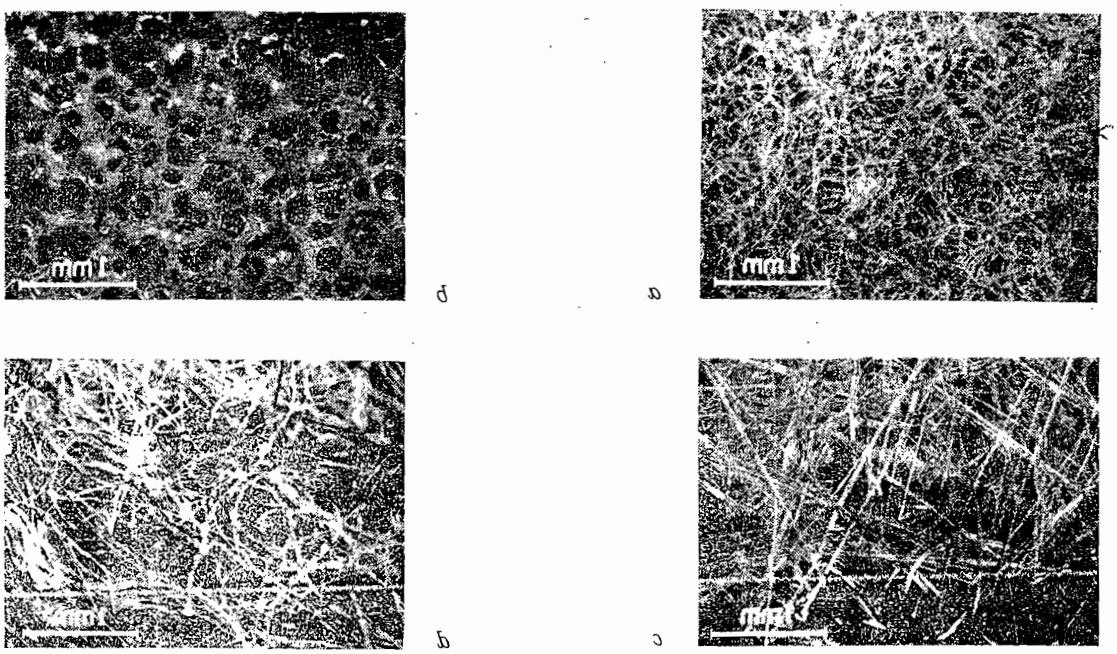
شکل ۵۵ ــ لابراتوار میدان آزاد برای سنجش و پژوهشهای آکوستیکی

مواد آبسوربنت شیمیائی :

انواع مختلف مواد آبسوربنت شیمیائی ازطرف کارخانه های گوناگون ساخته وببازار عرضه می گردد که در هر مورد بایستی‌مشخصات داده شده از طرف کارخانه سازنده و یا آزمایشگاههای مربوطه در مد نظر قرار داده شود ــ مقاومت نشت این گونه مواد با مقایسه با اجسام طبیعی با ضریب آبسور پسیون مشابه زیاد تر است و علت آن حفره دار بودن این گونه مواد است که باوجود مقاومت نشت زیاد (غیر قابل نفوذ برای هوا) بعلت وجود حفره های ریز و درشت (نظیر اسفنج و ابر) میتوانند نوار فرکانس نسبتا " وسیعی را جذب نمایند ــ در شکل ۵۶ تصاویر میکروسکپی چند نوع آبسوربنت نمایش داده شده است . از بررسی شکل ۵۶ میتوان بخوبی به اختلاف بین مواد پوروز طبیعی (نمد،پشم شیشه ــ اسفنج طبیعی)که دارای الیاف‌جدا ازیکدیگرودر نتیجه مقاومت‌نشت کم‌میباشند ،

و مواد پوروز شیمیائی (ابر) که فقط حفره دارند و مقاومت نشست آنها زیاد میباشند ، پی برد ــ علت زیاد بودن مقاومت نشت این مواد اینست که حفره‌های داخل جسم به‌یکدیگر متصل نیستند .

اخیرا "ابرهائی که دارای شرایط آکوستیکی متناسب می‌باشند در ابعاد وضخامت‌های مختلف به بازار عرضه شده است که بعنوان مصالح آبسوربنت آکوستیکی بکار برده میشود .



شکل ۵۶ ــ عکس میکروسکپی از مصالح الیافی

a ــ اسفنج طبیعی

b ــ اسفنج مصنوعی

c ــ پشم شیشه

d ــ نمد

مواد آبسوربنت با روکش سوراخدار

چنانچه قبلا" نیز اشاره گردید استفاده ازمواد آبسوربنت بصورت خام اشکالاتی از جمله عدم امکان استفاده ازرنگ دلخواه واشکال نظافت دیوارها و نظایر آنرا دربردارد .

از این‌رو غیر ازلابراتوارهای آکوستیکی واستودیوهای تلویزیون و پشت پرده‌سینماها و همانند آن ها ، در بقیه موارد از مواد آبسوربنت روکش دار استفاده می گردد که‌روکش آنها را میتوان از هرنوع ماتریال سخت و دلخواهی انتخاب نمود بشرط‌آنکه برروی سطح آن تعداد کافی سوراخ یا شیار وجود داشته باشد . (شکل ۵۳ II) .

برای صفحات مشبک باسوراخهای گرد که‌بیشتر بکاربرده میشوندفرمول تجربی زیرین برای محاسبه فرکانس حد وضع گردیده است . $f = \frac{3500a}{d^2}$ هرتس

که‌درآن a قطرسوراخها و d فاصله مرکز هردو سوراخ‌ازیکدیگر برحسب سانتیمترمی‌باشد .

مثال . فرکانس حد یک‌قشر آبسوربنت‌باروکش سخت‌که درآن‌سوراخهائی بامشخصات زیرین :

سانتیمتر ۰/۴ = a و سانتیمتر ۱ = d ساخته‌شده است‌عبارتست از (سطح مشبک ۱۳%)

$$f = \frac{3500 \times 0/4}{1} = 1400 \text{ Hz}$$

که در بسیاری از موارد متناسب با احتیاجات میباشد .

مشخصات صفحه مشبک داده شده درمثال فوق‌بخصوص در مورد تایل های مقوائی وچوبی (یا نظایر آن)بضخامت ۳ تا ۵میلیمتر وتایل‌های گچی ریخته باضخامت بیشتر وهمچنین تایل‌های فلزی‌که در موارد استفاده‌از شوفاژ سقفی ناچاراز بکار بردن آن‌هستند ،متناسب می باشد .

در استخرهای سرپوشیده که رطوبت و تاثیرات ناگوار آب کلر دار مانع از بکاربردن مصالح عادی آبسوربنت میباشد برای آرامش غوغا و صدای آب صفحات مشبک آلومینیمی که در پشت آن مواد آبسوربنتی مانند پشم شیشه وآسبست و نظایر آن پر کرده اند در سقف و دیوارها نصب مینمایند .

چنانچه سطح مشبک بزرگتری موردنیاز باشد بجای صفحات مشبک از تورهای خاصی که ازچوبهای نازک (بکلفتی چوب کبریت) بافته شده اند استفاده میگردد که هم‌زیبائی

خاصی دارند و هم در فرکانس‌های بالاتاثیر چندانی برروی ضریب آبسورپسیون ندارند .

آکوستیک تایل

در سال ۱۹۲۲ برای اولین بار در آمریکا و سپس در سایر کشورها اختراعی به ثبت رسید که برای آرامش غوغا در مکانهای پر هیاهو از قبیل رستورانها ــ مغازه ها ــ ادارات بانکها ــ کارخانجات ــ سالن ورزش ــ کریدرهای ادارات ــ کلاسهای درس ــ سربازخانه‌ها بیمارستانها ــ هتل ها و نظایر آن میتوان برای پوشش سقف آنها از تایلهای مقوائی با شیارها یا حفره هائی در سطح آن (شکل ۵۷) استفاده نمود تاثیر حفره ها و شیارها را در منحنی آبسور پسیون میتوان در شکل 51C مورد بررسی قرار داد .

بموجب این اختراع ابتدا یک کارخانه آمریکائی و اینک کارخانه‌های دیگری در دیگر کشورها تایل های مقوائی با :

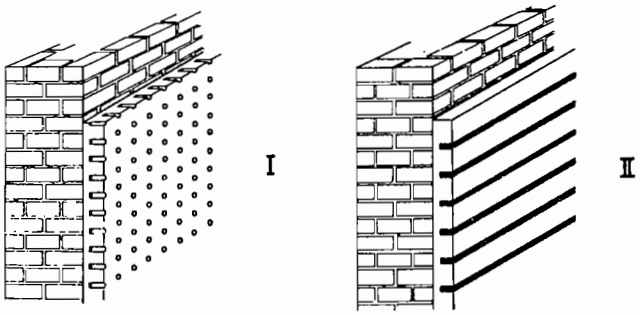
میلیمتر ۱۵ = d میلیمتر ۳ و ۵ = a

که عبارت از ۴۴۱۰ حفره در متر مربع میباشد می‌سازند که بنام آکوستیک تایل در کلیه موارد نامبرده در فوق مورد استفاده قرار می گیرند . بدیهی است که اعداد داده شده بطور تجربی تعیین گردیده اند و برخی از سازندگان دستورالعمل های خاص خود را که مغایر با دستور فوق می باشد بکار می برند . (بجای حفره شیار نیز جایز است) .

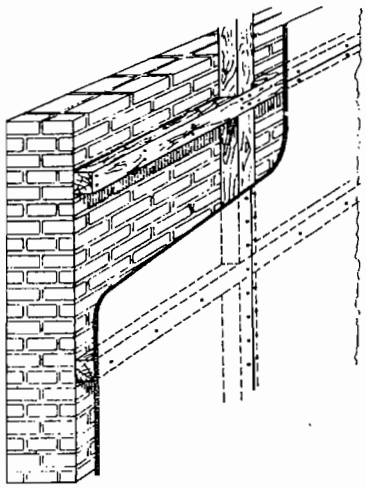
بدیهی است‌که مشخصات فنی‌و منحنی‌تغییرات ضریب آبسور پسیون برای آکوستیک تایلها کاملا" متفاوت و در هر مورد بایستی به کاتالک کارخانه سازنده مراجعه گردد .

آبسوربنت های پوسته ای (پانل)

چنانچه صفحات نازکی‌را که دارای مقاومت نشت بسیار بزرگی نیز می باشند (نظیر تخته سه لائی و نئوپان و فیبر) بوسیله یک داربست چوبی بر روی دیوار نصب نمایند (شکل ۵۸) .



شکل ۵۷ ــ I آکوستیک تایل متخلخل II آکوستیک تایل شیاردار



شکل ۵۸ ــ آبسوربنت بم . صفحه لرزنده برروی تخته بندی

ملاحظه می‌شود که این صفحات همانند آنچه که در ابتدای بخش مصالح آبسوربنت (شکل ۵۱) مورد بررسی قرار گرفت میتوانند در فرکانسهای کم ، ضریب آبسورپسیون نسبتا "زیادی‌بوجودآورندکه فرکانس‌روزنانس fo (فرکانسی که در آن‌ضریب آبسورپسیون ماکزیمم می شود) طبق رابطه تجربی .

$$f_0 = 600 \sqrt{\frac{1}{M\,d}} \quad [\mathrm{Hz}]$$

تعیین می گردد که در آن M جرم صفحه برحسب کیلوگرم در هر متر مربع و d فاصله هوائی پشت صفحه (ضخامت چوبهای داربست) برحسب سانتیمتر می باشند .

مثلا" برای یک صفحه نئوپان بوزن ۱۰ کیلوگرم در متر مربع و فاصله هوائی ۳٫۶ سانتیمتر ،فرکانس حد ۱۰۰ هرتس می‌باشد . ضریب آبسور پسیون در این نوع آبسور برها

بستگی به تقسیمات داربست داردوبابکاربردن‌موادپوروزدرپشت‌پوسته‌ها میتوان‌ضریب ــ آبسور پسیون را تا ۵۰٪ الی ۷۰٪ رسانید .

بدین‌سان‌باوجود صرفه‌جوئی درمصرف مواد آبسوزبنت ،میتوان ضریب آبسورپسیون قابل‌ملاحظه‌ای که بامواد پوروز فقط باضخامت خیلی زیاد میسر می‌گردید ،بدست آورد .

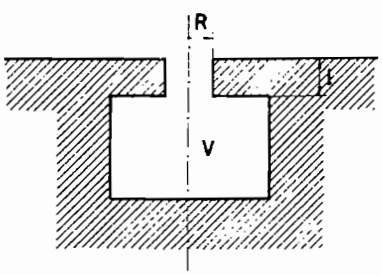
ازروند منحنی شکل ۵۱(D) دیده می شود که آبسوربنت های پوسته ای را فقط در صورتی که مواد آبسوربنت‌نوع دیگری نیز بکار برده شده باشد میتوان مورد استفاده قرار داد .

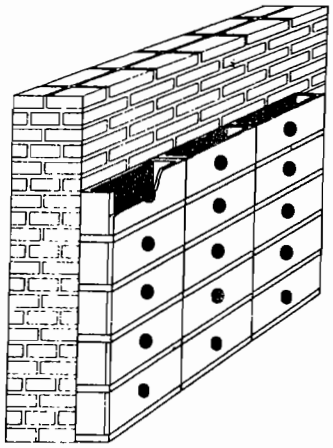
آبسوربنت های پوسته ای در منازل خود بخود وجود دارند ــ زیرا کلیه گنجه ها و کمدها و کلیه دیوارهای نازک (تیغه)و در وپنجره وغیره‌اثر جذب نغمه‌های بم را دارند . در مکانهائی که لوازمی از این قبیل وجود ندارد (تونل ــ زیر زمین ــ حمام ــ بناهای بتونی و نظایر آن) اثر نامطلوب پس آوای طولانی نغمات با فرکانسهای بم را میتوان بخوبی احساس نمود .

کاواک (رزوناتر)

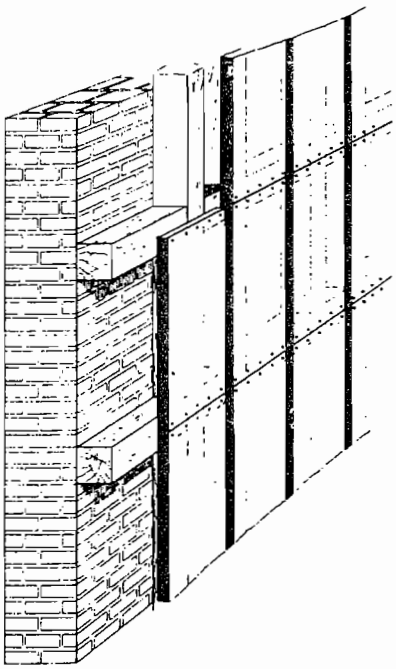
درسال ۱۸۶۲هلمهولتس دانشمندفیزیکدان آلمانی‌روابطمربوطبه‌کاواکهای (محفظه) توخالی (رزوناتر)رابصورت قوانین فیزیکی رزوناترها وضع نمود که امروزه آن درفیزیک و معماری استفاده فراوان میشود . بدیهی است که کاربرد رزوناتر برای جذب نغمه‌های‌بم می باشد که طبق شکل ۵۹ ساخته میشود و بعلت گرانی قیمت و اشکالات اجرائی فقط‌برای موارد خاص (از قبیل استودیوهای رادیو و تلویزیون) قابل اجراء میباشد .

ساختن رزوناتر با مصالح عادی مشکل است و از این رو در عمل برای این منظور از





شکل ۶۰ـ کاواک از آجر توخالی



شکل ۶۱ ـ آبسوربنت کاواکی ازمصالح آبسوربنت با شکاف

آجرهای توخالی (شکل ۶۰) و همانند آن‌ها و یا از آکوستیک تایل‌ویاآبسوربنت های پوسته ای که با فاصله ای از یکدیگر نصب گردند استفاده می گردد .

فرکانس رزونانس رزوناتر هلمهولتس برطبق رابطه زیر که‌واضع آن دانشمندانگلیسی لرد رایلی[1] است تعیین می گردد (شکل ۵۹) .

$$\frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{\pi R^2}{V\,[l + (\pi/2)\,R]}}$$

(c سرعت انتشار آوا ـ R شعاع و l طول گردنه سوراخ V حجم درونی رزوناتر)

چنانچه بجای آجرهای توخالی سوراخدار از صفحات شیار دار استفاده گردد (شکل ۶۱) فرکانس رزونانس از رابطه زیر که واضع آن دانشمند دانمارکی پروفسور اینگر سلو و همکار او نیلسن[2] میباشند محاسبه می گردد :

$$f_0 = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{l'V}}$$

(S سطح شیار در هر متر V حجم پشت شیار در هر متر l عمق موءثر شیار که عبارتست از :

$$l = l + 0{,}5\,b + \frac{2b}{\pi}\ln\frac{\lambda_r}{\pi b}$$

b ـ عمق شیار پهنای شیارکه درمقابل λ_r طول موج‌صوت‌در حالت رزونانس بایستی کوچک باشد .

نمونه ای از ضریب آبسورپسیون مصالح آبسوربنت آکوستیکی

درجدولهای زیرین وشکلهای۶۲ و ۸۴ضرائب آبسورپسیون مهمترین‌مصالح‌آبسوربنت درج گردیده است‌که بیشتر این‌ضرائب در آزمایشگاه EMPA (سوئیس) و مرکزپژوهش PTT (سوئیس) برحسب توصیه های ISO/R 345-1963 سنجش و تدوین گردیده است .

---

1)- Lord Rayleigh
2)- F.lngerslev &A.K. Nielsen

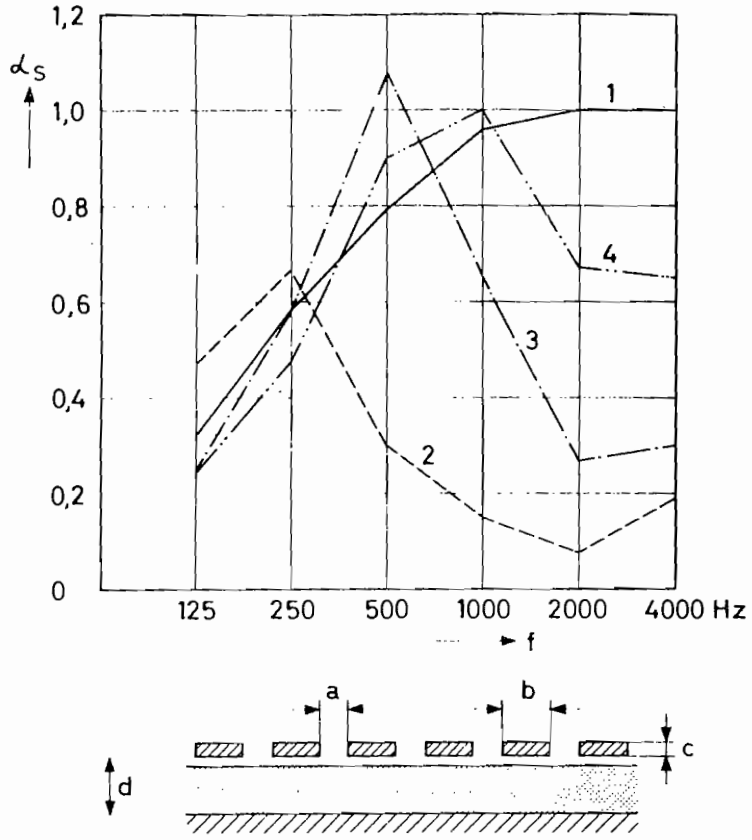
جدول شماره ۳۲ ــ ضریب آبسورپسیون مهمترین مصالح آبسوربنـــت آکوستیکی

مصالح	ضریب آبسورپسیون در فرکانس					
	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰
روکار مسطح (گچ پلاستر) برروی دیوار آجری یا بتونی	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴
قف کاذب گچی	۰/۲۵	۰/۲	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱
پوشش دیوار از آبسوربنت پوسته‌ای (پانل) برروی :						
چوب‌کوبی ۵سانتیمتر ،وفواصل‌چوب‌کوبی ۷۰سانتیمتری :						
تخته پنج لائی ۷ میلیمتری با لائی الیافی	۰/۵	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱
تخته‌چوبی (یانئوپان) ۱۶میلیمتری‌بالائی الیافی	۰/۳۵	۰/۲۰	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱
تخته چوبی (یانئوپان) ۱۶میلیمتری‌بدون‌لائی‌الیافی	۰/۲	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱
کف پوش سخت (چوب ــ چوب پنبه ــ لاستیک)	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱
کف کاذب (پارکت با چوب کوبی)	۰/۲	۰/۱۵	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵	۰/۱
کف پوش الیافی (قالی و موکت)	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۲	۰/۳	۰/۳۵	۰/۴
پرده (میانگین)	۰/۱	۰/۱۵	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶
پنجره بسته	۰/۱	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲

جدول شماره ۳۳ ــ نمونه ای ازضرائب آبسور پسیون آکوستیک تایلهـــا

مصالـــــح	ضریب آبسورپسیون در فرکانس ۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰
تایل گچی سوراخدار با لائی الیافی	۰/۳	۰/۵	۰/۶۵	۰/۵	۰/۵	۰/۳
تایل فلزی سوراخدار با لائی الیافی	۰/۳	۰/۶	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸	۰/۷
تایل مقوائی چسبیده به دیوار	۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۴	۰/۵	۰/۵	۰/۴
تایل مقوائی : روی چوب کوبی	۰/۳	۰/۵	۰/۶۵	۰/۷	۰/۷	۰/۶
تایل از مواد شیمیائی (یونولیت) :						
چسبیـــده به دیـــوار	۰/۱۵	۰/۳	۰/۴۵	۰/۵	۰/۶	۰/۵۵
روی چـــوب کوبـــی	۰/۲	۰/۶	۰/۹	۰/۸۵	۰/۸	۰/۸۵
رنگهای آکوستیکی پاشیدنی (۱۰میلیمتر)	۰/۰۵	۰/۲	۰/۴	۰/۶	۰/۶	۰/۵

مصالح الیافی را می‌توان با روکش‌های زیبائی ازقبیل فلز سوراخدار ــ گچ‌سوراخدار یا نوارهای چوبی محفوظ نمود که هم از دید آکوستیکی ارزش خود را دارا است و هم راه حلهای جالبی برای تزئینات داخلی بناها بوجود می‌آورد که در شکل ۶۲ نمونه ای ازآنها نمایش داده شده است .در شکل ۶۲ دیده می‌شود که ازمصالح الیافی بدون روکش (منحنی شماره ۱) تاروکش‌بسته (منحنی شماره ۲) می‌توان ترکیب‌های گوناگون برحسب مورد ایجـــاد نمود که مناسب ترین آنها منحنی شماره ۴ با چوبهای ۶ سانتیمتری و ۶ سانتیمتر فاصله هردو چوب می باشد .



شکل ۶۲ ــ منحنی ضریب آبسورپسیون ۴۵ میلیمتر الیاف معدنی با روکشی از نوارهای چوبی

با مشخصات : c=1 , 2cm , d=5cm , b=6cm

منحنی شماره ۱ : b=o (بدون روکش)

منحنی شماره ۲ : a=0، (روکش بسته)

منحنی شماره ۳ : a=1 (سانتیمتر)

منحنی شماره ۴ : a=6 (سانتیمتر)

آبسور پسیون تماشاگران و کرسیها

بدیهی است که‌علاوه برآبسور پسیون دیوارها ، کرسی ها و تماشاگران نیز درجذب انرژی آکوستیکی دخالت تامی‌دارند که بایستی هنگام محاسبه پس آوای یک تالار مورد دقت قرار گیرد .

برای‌محاسبه تاثیرکرسی‌هاوتماشاگران واعضاءارکستر درپس آوای تالارهاآبسورپسیون معادل هرنفر (یاواحد) را برحسب متر مربع تعیین می نمایند که در جدول زیرنمونه‌ای

از آنها مورد بررسی قرار داده میشود .

آبسوربنت	آبسورپسیون بحسب مترمربع برای هرواحد				
	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰
تماشاگران (مترمربع برای هرنفر ، ایستاده یانشسته (صندلی چوبی)	۰ر۱۵	۰ر۳	۰ر۵	۰ر۵۵	۰ر۶	۰ر۵
تماشاگران (مترمربع برای هرنفر) ایستاده یانشسته (صندلی مبلی)	۰ر۲	۰ر۴	۰ر۵۵	۰ر۶	۰ر۶	۰ر۵
ارکستر باسازهای مربوطه درروی صحنه (برای هنرنفر)	۰ر۴	۰ر۸	۱ر	۱ر۴	۱ر۳	۱ر۲
کرسی چوبی بدون تماشاچی	۰ر۰۱	۰ر۰۱	۰ر۰۲	۰ر۰۳	۰ر۰۵	۰ر۰۵
" مبلی (پارچه‌ای) بدون تماشاچی	۰ر۱	۰ر۳	۰ر۳۵	۰ر۴۵	۰ر۵	۰ر۴
" " (چرمی) بدون تماشاچی	۰ر۱	۰ر۲۵	۰ر۳۵	۰ر۳۵	۰ر۲	۰ر۱

بدیهی است که اعداد فوق از تعداد کرسی‌ها در واحد سطح تبعیت می نماید و این اعداد برای صندلی‌هائی بعرض ۵ر۰ متر که فاصله هردو ردیف از یکدیگر معادل ۰/۸ ــ ۰/۷ متر باشد صدق مینماید (در تعیین اعداد فوق فرض براین است که کف تالار کلا "مستور باشد .)

براساس این فرض و با در نظر گرفتن راهروهائی بعرض یک متر دانشمند آمریکائی برانک[1] جدول زیرین را برای ضریب آبسور پسیون تعیین نموده است (کف پوش تالار در تعیین این اعداد تاثیری ندارد) .

سطوح اشغال شده توسط:	ضریب آبسورپسیون					
	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰
تماشاگر ــ ارکستر ، کر	۰/۵۲	۰/۶۸	۰/۸۵	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۸۵
کرسی‌های مبلی پارچه‌ای (بدون تماشاچی)	۰/۴۴	۰/۶۰	۰/۷۷	۰/۸۹	۰/۸۲	۰/۷۰
کرسی‌های مبلی چرمی (بدون تماشاچی)	۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۵۸	۰/۶۱	۰/۵۸	۰/۵۰

1)- L.L. Beranek (1962)

طراحی تالارها

برای طراحی عملی تالارها بایستی از اصول تئوری ذکر شده نتایجی بمنظوررسیدن به بهترین راه باتوجه به‌تجربیات گذشتگان برای تعیین فرم‌و حجم وپوشش‌دیوارهابدست آورد . بدین ترتیب سه عامل اصلی که برای طرح تالار مورد نیاز میباشد عبارتست از :

۱ ــ حجم

۲ ــ فرم

۳ ــ طنین (پس‌آوا)

که مورد هریک در این مبحث بتفصیل گفتگو می گردد .

حجم :

چنانچه حجم V تالار را بزرگتر نمایند بهمان نسبت نیز سطوح آن S و در نتیجه آبسورپسیون کلی A بزرگتر میشود و چون همواره سرچشمه آوا دارای توان معین P میباشد لذا با بزرگتر انتخاب کردن حجم ، چگالی انرژی W در فضای تالار طبق رابطه زیرین کاهش می یابد :

$$W = \frac{4P}{cA} .$$

(C سرعت انتشار آوا در شاره) .

بدیهی است که توان سرچشمه آوا بستگی بنوع سرچشمه دارد که مقدار آن برای یک سخن گویا یک‌ساز تنها خیلی کوچک وبعکس برای یک ارکستر سمفونیک یا کر یا ارگ‌نسبتا " بزرگ‌میباشد .چگالی انرژی آوا W نیز بایستی بیش ازآستانه شنوائی‌و بمقدارکافی‌انتخاب گردد تاتماشاچیان بسهولت بتوانندسخنان گوینده (یاارکستر) را بشنوند و ضمنا "بیش از حد نیز نباشد که باعث آزار شنونده گردد .

از مقدمات فوق میتوان نتیجه گرفت که برای هر سرچشمه آوای معینی فقط یک حجم مجاز میتواند تعیین گردد که بموجب رابطه نامبرده محاسبه می گردد .

بدیهی است که استفاده از این رابطه مستلزم در دست داشتن P و W میباشد که هر دو اعدادی نا معین هستند زیرا انرژی رچشمه ها (مثلا " سخنرانی) همواره وبرای همه یکسان نیست و دارای تلرانس زیادی است و همچنین چگالی انرژی W نیز علاوه بر شنوندگان از وضعیت محیط تالار (محیط ساکت یا محیط پر غوغا) تبعیت می نماید ـ از این رو بامطالعه روی تالارهای موجوددرسالیان دراز نتایج تجربی بعمل آمدهکه درجدول شماره ۳۶ جمع آوری گردیده است .

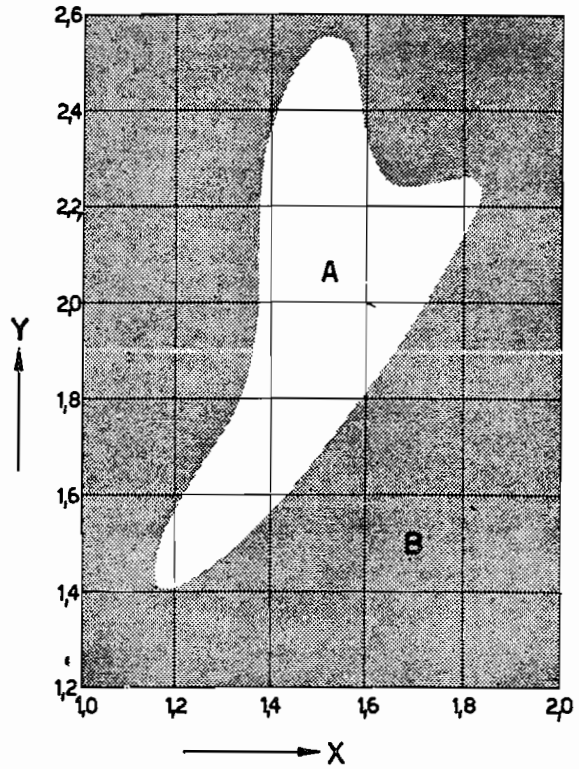
سرچشمه آوا	حداکثرحجم تالار برحسب مترمکعب
سخنران عادی	۳۰۰۰
سخنران حرفهای(گویندگان‌مذهبی‌وهنرپیشگان‌تآتر)	۶۰۰۰
سازسلو یا آواز	۱۰۰۰۰
ارکستر سمفونیك ـ اپرا	۲۰۰۰۰
آواز دسته جمعی (کر)	۵۰۰۰۰

چنانچه احتیاج ایجاب نمایدکه حجم تالار برای سرچشمه آوای معینی‌بیش‌ازمقادیر داده شده درجدول فرق انتخاب گرددیگر چگالی‌انرژی W مقدار متناسبی‌نخواهدداشت و بهتر است در این گونه موارد از بلندگو استفاده گردد . بدیهی است که در این صورت حجم حد اکثری وجود ندارد و میتوان حجم تالار را هر مقدار دلخواهی انتخاب نمود .

فرم :

در مورد تعیین فرم تالارها نخستین نکته ای که بررسی می شود نسبت طول،عرض و ارتفاع به‌یکدیگر میباشد که سابقا " مسئله اساسی آکوستیک آرشیتکتورال بود و درکتابهای قدیمی آکوستیک نسبت هائی از قبیل ۵ : ۳ : ۲ و یا $1 : \sqrt[3]{2} : \sqrt[3]{4}$ بعنوان دستورالعمل اساسی بچشم می‌خورد ـ امروزه محاسبه‌ابعاد داخلی‌تالارها ازطریق تئوری‌امواج‌آکوستیکی و با توجه به فرم انتخاب شده دیگر جزء مسائل لاینحل نیست ـ ولی با مطالعات انجام

شده درسالهای اخیر بثبوت رسیده است که توجه به این قضیه راه حـل قطعی مسئله آکوستیک آرشیتکتورال نیست بلکه ابعاد وفرم تالارباید طوری‌انتخاب گرددکه‌حتی‌الامکان امواج ویژه یکنواخت پخش گردند که این خود مستلزم اجتناب از انتخاب ابعاد صحیح می باشد .



شکل ۶۳ ــ نغمات خاص در یک تالار با دیوارهای متوازی بابعاد X : Y : 1

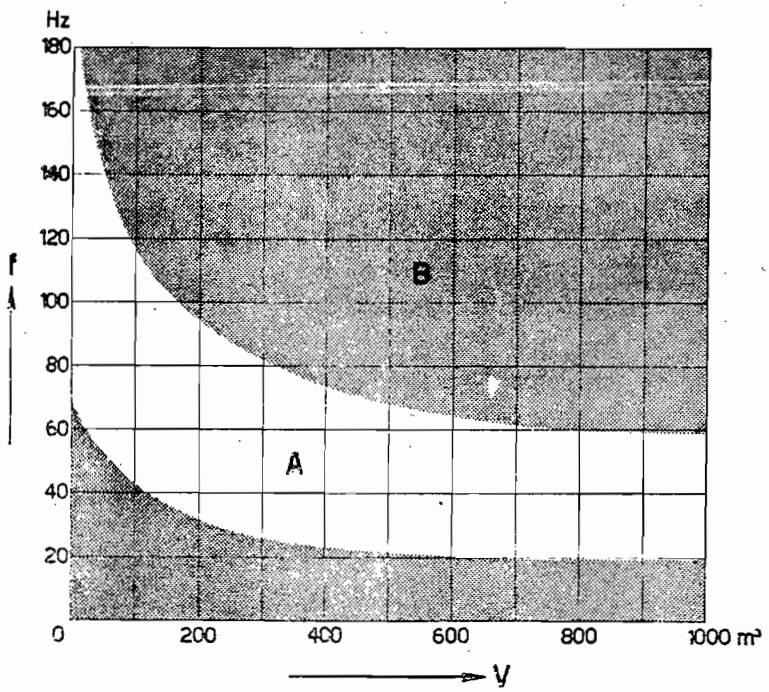
A ــ ابعاد متناسب

B ــ ابعاد نامتناسب (امکان تطابق دو نغمه خاص بریکدیگر وجود دارد)

دانشمند آمریکائی‌بولت[1] راه عملی‌برای انتخاب نسبت‌های متناسب ابعاد تالارهای مربع مستطیل ارائه داده است که در شکل ۶۳ نمایش داده شده است و برای فرکانسهائی که از دیاگرام شکل ۶۴ استخراج می گردد صادق می باشد .

---

1)- R.H. Bolt



شکل ۶۴ ــ حوزه صدق ابعاد تعیین شده در شکل ۶۳

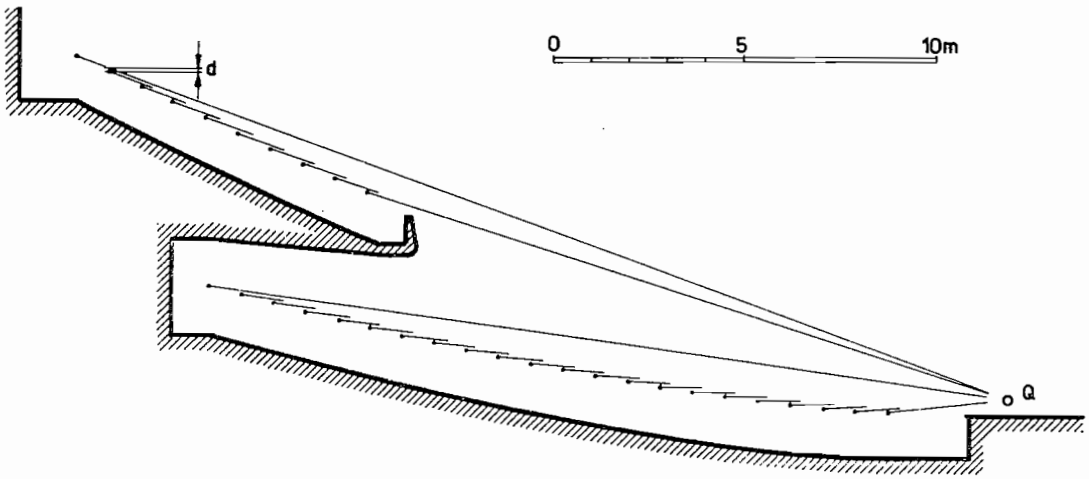
A ــ متناسب

B ــ نامتناسب

در طرح کوپ تالار ها در مورد وجود راه مستقیم و نزدیک از سرچشمه آوا تاشنونده باید دقت کافی مبذول گرددزیرا امواج بازتابیده ازدیوارها وسقف تالار برای فهم مطالب کافی نیستو در هرصورت راه‌مستقیم اهمیت بیشتری دارد و بخصوص نسبت انرژی صوتی مستقیم وانرژی صوتی بازتابیده درخوبی آکوستیک تالارتاثیر مستقیم دارد . بویژه‌رعایت این‌نکته درساختمان استودیوها کدشنوندگان صدارا از راه‌میکروفن می‌شنونداهمیت بسزائی دارد .

درتالارهائی که‌شنوندگان مستقیما " انرژی صوتی را از سرچشمه آوا دریافت میدارند (سینما ــ کنسرت هال ــ تاتر ــ اپرا و نظایر آن)بایستی دقت گرددکه بخصوص‌شنوندگان دور ازسرچشمه آوا که‌برای آنهااصوات مستقیم‌متناسب باتوان دوم‌فاصله‌تضعیف‌می‌گردد ، در هرحال دید مستقیم داشته باشندو از این‌رو بایستی ردیف‌های مختلف نسبت‌به‌ردیف

سابقا "اختلاف ارتفاع و ردیف‌های مختلف‌را ازیکدیگر ۱۲ سانتیمتر انتخاب می‌نمودند ولی امروزه طبق استاندارد فرانسه ۸ سانتیمتر کفایت مینماید .



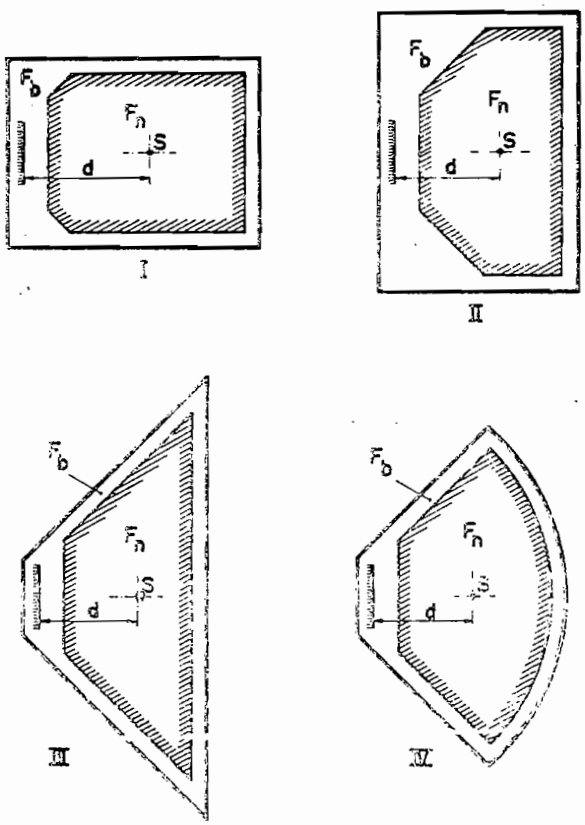
شکل ۶۵ ــ تعیین کوپ یک تالار با توجه به وجود راه آزاد از صحنه تا تماشاچی

d ــ اختلاف بلندی هر ردیف با ردیف قبلی مساوی ۸ سانتیمتر

وجود راه نزدیک و آزاد صوتی از سرچشمه تا شنونده ایجاب می نماید که فرم تالار طبق شکل ۶۶ بعوض مربع مستطیل ــ ذوذنقه انتخاب گردد و بخصوص فرم IV از هرلحاظ نسبت به سایر فرم ها برتری دارد .

برای بررسی در شکل های ۶۶ بایستی نسبت Fn/Fb (سطح قابل استفاده) و d/dI (مرکز ثقل فرمهای مختلف به مرکز ثقل شکل I) را مورد بررسی قرار داد .

بطوریکه ملاحظه می‌گردد در شکل III و IV حد اکثر سطح قابل استفاده با حداقل فاصله مرکز ثقل توام می باشد و چنانچه تالارهای با گنجایش بیشتری مورد نیاز باشد که درآنها فاصله مرکزثقل بیش‌از حدمجاز گردد میتوان بااستفاده ازبالکن (یا بالکن‌هائی) و همچنین گالری‌هائی گنجایش را باحفظ فاصله مجاز افزایش داد . بدیهی است که بااین ترتیب پس آوا کاهش می یابد . ضمنا " باید توجه داشت که استفاده از شکل لوزی بعلت بازتابهای نامطلوب (شکل ۶۷) خالی از اشکال نمی باشد .



شکل ۶۶ ــ فرم های اصلی تالارها

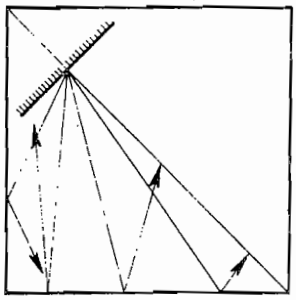
F_n ــ سطح قابل استفاده

F_b ــ سطح کلی تالار

S ــ مرکز ثقل

d ــ فاصله متوسط تماشاچیان از صحنه

	I	II	III	IV
F_n/F_b	0,63	0,55	0,64	0,67
d/d_I	1	0,83	0,78	0,79

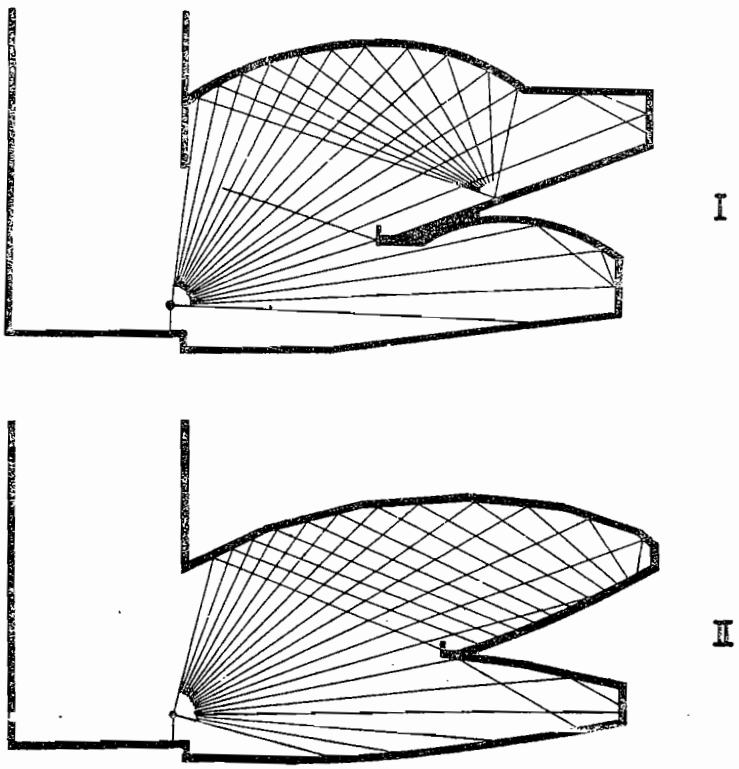


شکل ۶۷ ــ فرم لوزی ــ نمایش بازتابهای نامتناسب

فرم سقف :

برای مشخص کردن فرم سقف میتوان با استفاده از قوانین آکوستیک هندسی فرم متناسب را انتخاب نمود .

در شکل ۶۸ دو نمونه از سقف های نا متناسب و متناسب نمایش داده شده است که در شکل I بعلت گود بودن سقف تجمع امواج در یک نقطه باعث پخش غیر یکنواخت



شکل ۶۸ ــ قانون بازتاب هندسی

I ــ سقف گود که ایجاد بازتابهای نامتناسب در یک نقطه می نماید

II ــ سقف شکسته که بازتابهای یکنواخت بوجود می آورد

انرژی میگردد در صورتیکه در شکلII با فرم خاصی که بسقف داده شده است بازتابهادر سطح بالکون پخش شده انرژی آوای بیشتری را در بالکون که نسبت به سرچشمه آوا فاصله بیشتری دارد پخش می نماید .

با توجه به مثال گفته شده میتوان نتیجه گرفت که در تالارها از ایجاد سطوح گـود در هرصورت بایددوری جست بویژه در صورتی که شعاع انحناء این سطوح در حدودابعاد تالار باشد . بدیهی است که سطوح گود باشعاع انحناء کوچک اشکال چندانی ایجاد نمی نمایند ولی سطوح گود با شعاع انحناء بزرگ (حتی بزرگتر از ابعاد تالار) ممکن ایجاد باز آوا (اکو[1]) نماید که از وضوح گفتار میکاهد و در مورد ارکستر نیز برای سازهای ضربه ای (نظیر طبل) ممکن است باعث اختلال در نظم و ریتم ارکستر گردد .

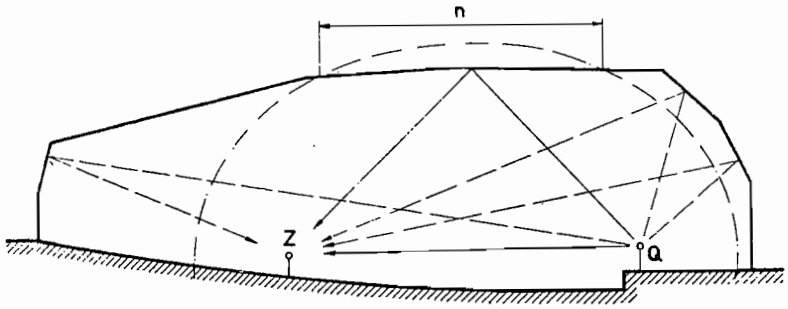
باتوجه بمطالب ذکر شده معلوم می‌گردد کهامواج منتشره ازسرچشمه آوا از راههـای مختلفی (پس از بازتاب در سقف و دیوارها) بگوش شنونده میرسد و از این رو ممکن‌است بعلت طولانی بودن راه برخی از بازتابها مدتی پس از آوای اصلی بگوش برسد که اگر این فاصله زمانی بیش از ۵۰ هزارم ثانیه (میلی سکوند) باشد برای آوای بازتابیده کوتاه (نظیر یک ضربه طبل و یا زدن دست) کاملا " متمایز و مشخص از آوای اصلی و بطوروضوح شنیده میشود که آنرا پژواک (باز آوا) می‌نامند ــ ولی اگر آوای بازتابیده در مدتی کمتر از ۵۰ هزارم ثانیه بازگشت نماید با آوای اصلی مخلوط شده فقط اثر و دوام آوا را درگوش زیادتر مینماید که بدان پس‌آوا اطلاق می‌گردد ــ در عمل سعی می‌گردد که اختلاف‌زمان ما بین رسیدن آوای اصلی‌و آوای بازتاب از۳۵ الی ۴۵ هزارم ثانیه بیشتر نباشد که‌معادل است با اختلاف راه از ۱۲ تا ۱۵ متر ــ معمولا " مقدار کمتر را برای تالارهای سخنرانی و

---

1)- Echo

کلاس درس و تاتر و مقدار متوسط را برای کنسرت هال و مقدار بیشتر را برای کلیساها و تالارهای کُر انتخاب می نمایند ــ بدیهی است که رعایت این شرط در تالارهای کوچک کاملا" میسر است ولی در تالار های بزرگ فقط برخی از پهنه دیوارها و قسمتی از سقف ممکن است حائز این شرط باشند و بقیه پهنه ها را باید ، یا طوری شیب داد که بازتاب مربوط بدانها به‌نقاط دیگری بتابندو یا با مواد آبسوربنت پوشانیده شوندکه باز آوا (اکو) از بین برود. برای بررسی اینگونه پهنه ها میتوان با توجه بشکل ۶۹ بوسیله ترسیم یک بیضی که کانونهای آن سرچشمه Q و شنونده E میباشند ، اختلاف طول راه (a+b-C) معادل مقدار فاصله مجاز پهنه های ایجاد کننده اکو را که در خارج از بیضی قرار میگیرند پیدا نمود .

با توجه مختصری میتوان نتیجه گرفت که برای کنترل دقیق لازمست که بیضی اکو



شکل ۶۹ ــ اختلاف راه بین صوت مستقیم و بازتاب . فقط قسمت n که بوسیله بیضی قطع گردیده است بازتابهای متناسب میدهد

برای تعدادی از ردیف‌های تالار ترسیم گرددکه هیچگاه برای هیچیک‌از ردیف‌ها وجایگاه تماشاچیان اکو بوجود نیاید .

دیفوزیته[1]

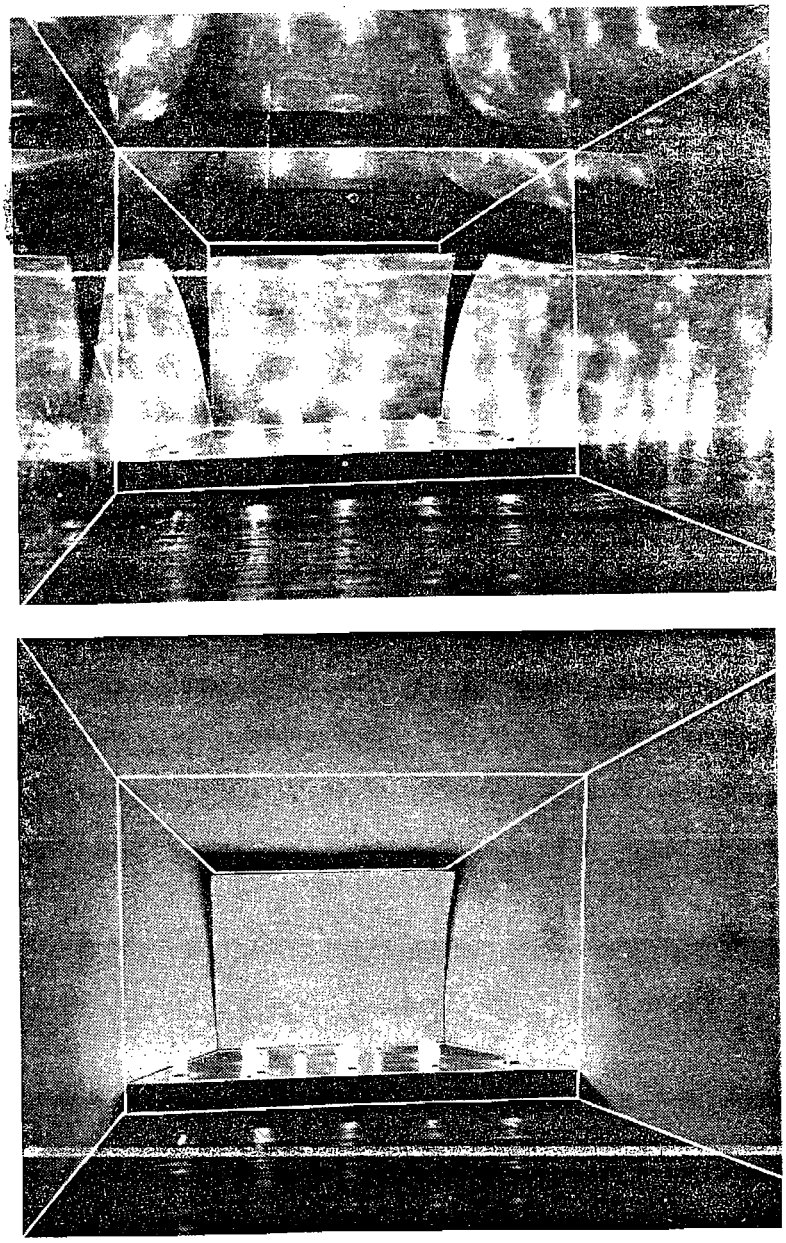
علاوه بر پخش یکنواخت انرژی در حجم تالار نکته مهم دیگری که باید همواره در طرح تالارها در مد نظر قرارداده شود میرائی یکنواخت امواج با فرکانس ویژه می‌باشد

---

1)- Diffusitée

که برای حصول آن پخش یکنواخت مصالح آبسوربنت در تمام پهنه های تالار از فرضیات میباشد . بدیهی است که اجرای این امر بسهولت میسر نیست و بلکه در اکثر موارد محال می‌باشد زیرا تماشائیان را که خود بخش عمده مصالح آبسوربنت تالار راتشکیل میدهند ، نمیتوان بطور یکنواخت وبرروی کف و سقف و دیوارها پخش نمود و فقط با پیش بینی‌های قبلی میتوان به آن نزدیک گردید . باتوجه باین اِشکال واضح می گردد که بخصوص در استودیوها وتالارهای بافرم هندسی موزون (مکعب ونظایر آن) که دارای دیوارهای متوازی و مسطحی باشند خطر وجود امواج ویژه با شدت های متفاوت بسیار زیاد است که این‌ها از یکنواختی آوا میکاهد و از این رو برای احتراز از آن لازمست که از توازی دیوارها و مسطح ساختن آنها خودداری نمود تامیدان آوا همگن (دیفوز) گردد . همگن یا یکنواخت‌شدن میدان آکوستیکی پدیده‌ای است که برای بهتر درک کردن آن ، میتوان آنرا با نور مقایسه کرد . چنانچه دیوارهای تالاری را از آئینه بپوشانند و بجای سرچشمه های آوا چراغهائی تعبیه نمایند (در ماکت)ملاحظه می‌گردد که اشعه نورانی ساطعه ازچراغها بر روی دیوارها بصورت لکه‌های نورانی (نظیر ستارگان) ظاهر شده و انرژی نورانی در کلیه جهات‌فضای تالار یکسان نخواهد بود (شکل ۷۰) در صورتیکه اگر بجای آئینه دیوار را با مصالح کدر (مصالح بنائی ــ چوب و غیره)بپوشانیم دیگر لکه های نورانی ظاهر نمیشوند و بلکه‌نور یکنواخت تالار را فرا می گیرد که در این حالت نور تالار را همگن می نامند . علت این امر آنست‌که پهنه های‌کدربازتاباننده دارای ناهمواری هائی میباشند که این‌ناهمواریها در مقابل طول موج نور نسبتا " بزرگ بوده و باعث پراکندگی نور در کلیه جهات می گردندو ازتمرکز اشعه نورانی دریک جهت جلوگیری می‌نماید ــ برای اینکه تالاری ازنظرآکوستیکی نیز دیفوز باشد لازمست‌که نظیر این پهنه‌های ناهموار را برای طول موج مورد نظر بوجود آورد که باتوجه بسرعت انتشار آوا در هوا (۳۴۰ متر در ثانیه) چنانچه برای‌فرکانسهای پائین محاسبه گردد این ناهمواریها ابعاد کاملا " نامتناسبی را در حدود یک تا ده متر

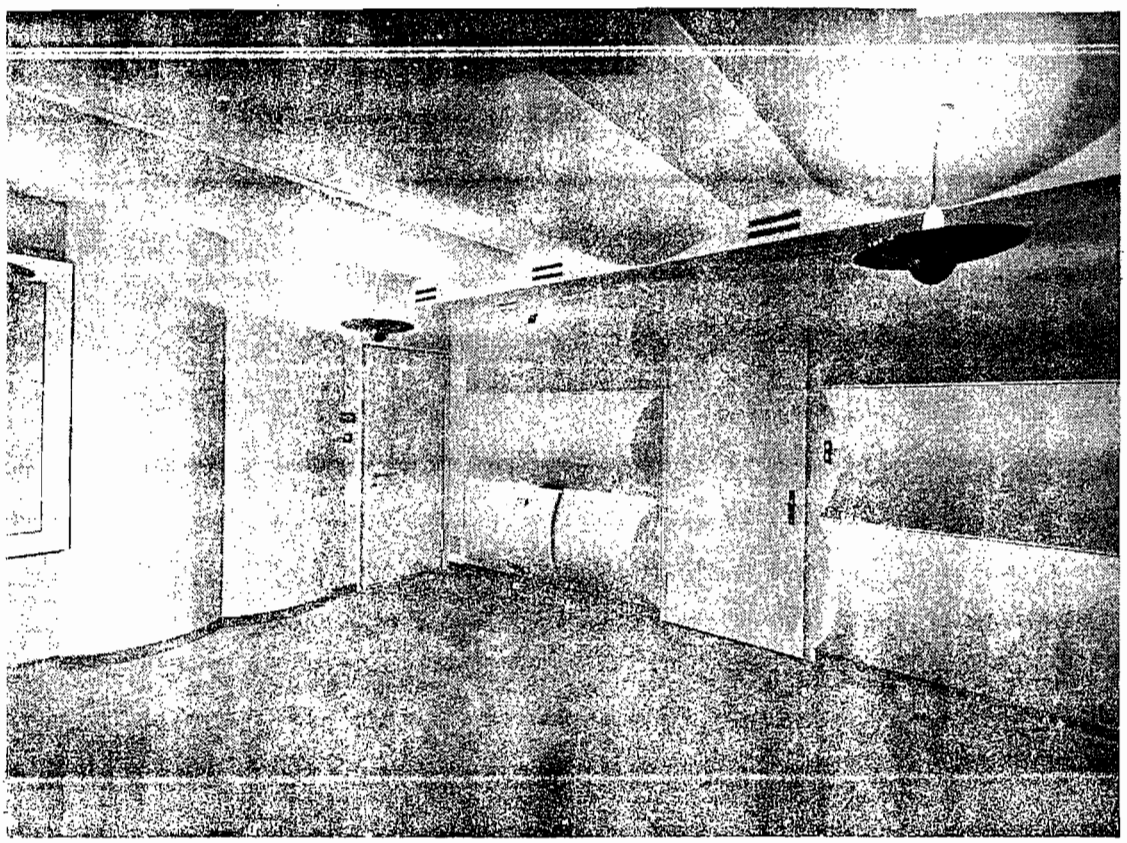
دارا می‌گردند ــ بدیهی است که اجرای این نظر فقط در موارد خاصی از قبیل استودیوها وتالارهای بزرگ عملی است ودر بقیه موارد بسهولت میسر نمیباشد . برخی از سازندگان برای دیفوز کردن تالارها سعی می نمایند که دیوارها را از ناهمواریهای کوچک بپوشانند ولی با دقت مختصری واضح می گردد که اگر ابعاد این مواد ناهموار در حدود سانتیمتر باشد هیچگونه اثرمطلوبی دردیفوز کردن میدان‌برای‌فرکانسهای نغمه‌های‌موسیقی‌ندارند .



شکل ۷۰ ــ الگوی نوری یک تالار که در آن سرچشمه های آوا را با نقاط نورانی جایگزین نموده اند

A ــ سقف دیوارها صیقلی است

B ــ سقف و دیوارها کدر هستند



شکل ۷۱ ــ دیفوزورهای استوانه ای در یک استودیوی رادیو (برن)

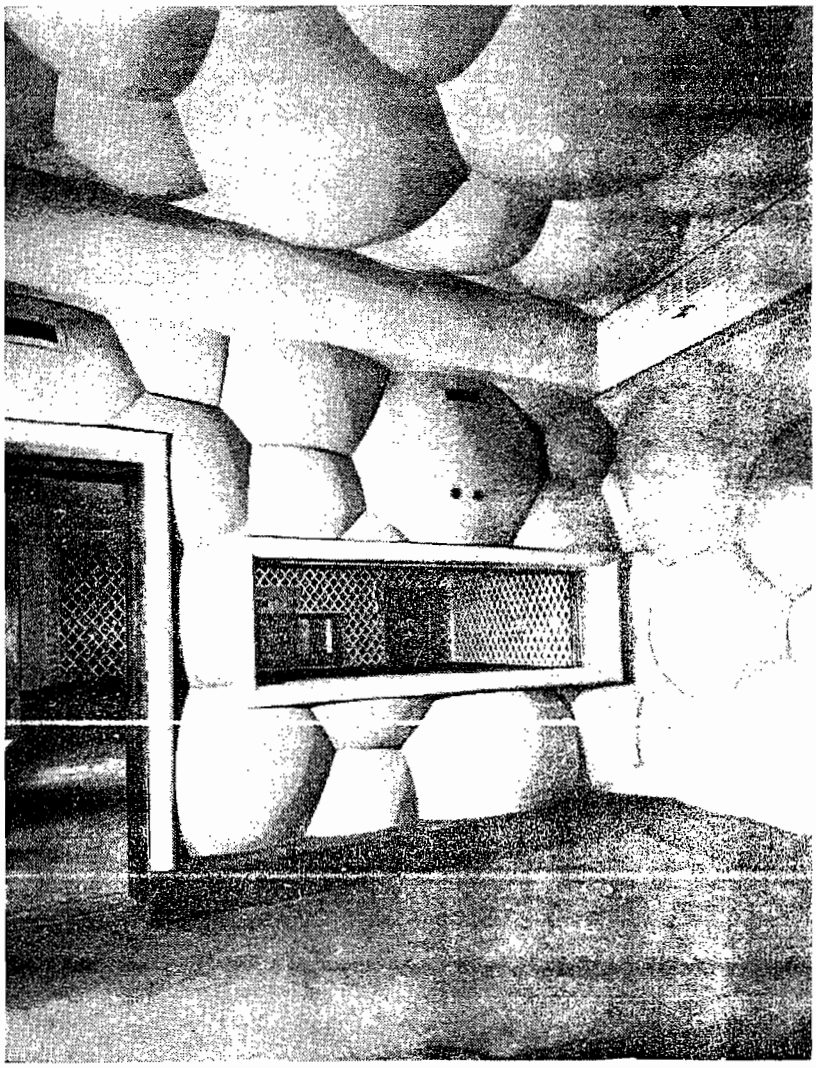
سه نوع پهنه ناهموار در عمل بکار برده میشوند :

۱ ــ پهنه‌های نیمه استوانه‌ای که درکلیه دیواره‌ها وسقف قطعاتی از استوانه هائی باابعاد بزرگ (شعاع در حدود چند متر)که درجهات مختلف (معمولا " افقی وعمودی) و همچنین با ابعاد مختلف قرار می گیرند . از این قبیل استودیوها میتوان استودیوی رادیو برن (سویس) را نام برد .(شکل ۷۱) .

۲ ــ نوع دیگر پهنه‌های دیفوزور قطعاتی از کراتی باشعاع بزرگ (در حدود چند متر) میباشند که اثر آنها در دیفوز کردن تالار بیش از پهنه های استوانه ای میباشندکه از آن قبیل استودیوی رادیوی سانتر رودن[1] پاریس (فرانسه) میباشد . (شکل ۷۲) .

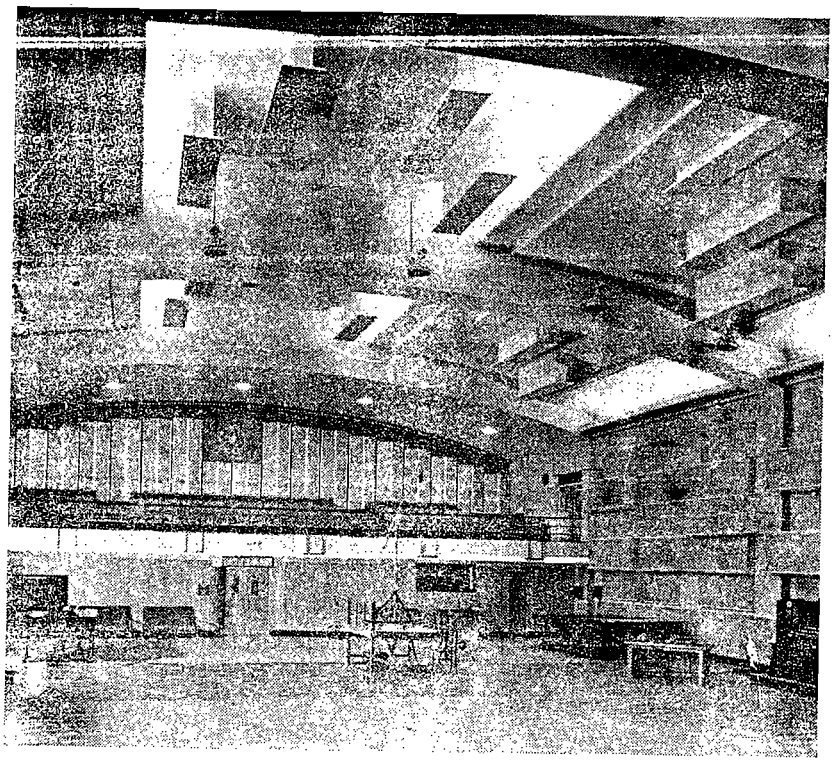
---

1). Centre Rodin



شکل ۷۲ ــ دیفوزورهای کروی در یک استودیوی رادیو (سانتر رودن پاریس)

۳ ــ همچنین میتوان دیفوزورهای مسطحرا که بافواصل مختلفی ازدیوارها وسقف نصب می‌گردند نیز برای‌دیفوز کردن صدای تالار بکاربرد که‌نمونه آن‌استودیورادیو BBC لندن (انگلستان) میباشد . (شکل ۷۳) .



شکل ۷۳ ــ دیفوزورهای مسطح در یک استودیو رادیو (بی بی سی لندن)

در هر حال دیفوزورها باید نامرتب و با ابعاد مختلف انتخاب گردند و روکش دیفوزورها را نیز باید با توجه به ضریب آبسور پسیون مورد نظر انتخاب نمود .

تاثیر دیفوزور را عملا" میتوان با مقایسه دو استودیوی مشابه (از نظر حجم V و پس آوای T) بخوبی درک کرد که حتی افراد بی تجربه نیز تفاوت عمده ای را احساس مینمایند .

برای محاسبه وتعیین تئوری ضریب دیفوزیته وابعاد پهنه‌های دیفوزور فرمولهای تجربی از طرف دانشمندان مختلف پیشنهاد گردیده که از همه مهمتر فرمول دیفوزیته جهت دار میباشد که‌توسط پروفسور اروین‌مایر[1] وضع گردیده است ولی تاکنون فرمول عملی و قابل استفاده ای در دست نمیباشد و اغلب تجربیات مهندسین آکوستیک در این مورد ملاک عمل قرار می گیرد که روءس آن بقرار ذیل است .

۱ ــ ابعاد پهنه های استوانه ای طوری انتخاب می گردد که پهنای موثر آن بین

---

1)- E. Meyer

۰/۷ تا ۲ متر و برجستگی آن ۱۵ تا ۲۰ درصد پهنا باشد .

۲ ــ دیفوزورهای مسطح دارای طولی‌از ۰/۸ تا ۲ متر و عمقی معادل ۰/۴ تا ۰/۵ متر میباشند . بجای پهنه های مسطح مستطیلی میتوان پهنه های مثلثی یا دندانه داری با ابعاد ۰/۸ تا ۲ متر و عمق ۰/۴ تا ۰/۵ متر نیز بکار برد .

دیفوزورهای مسطح را ازجنس مواد آبسوربنت متناسب (چوب ــ گچ وامثال آن) با روکش و یا بدون روکش با پایه های متناسبی بطور متفرق و با فاصله از یکدیگر بصورت فرو رفته و برآمده نصب می‌نمایند و از نظر اجرا از دیفوزورهای استوانه ای وکروی‌سهل‌تر و ارزانتر میباشند .

بکاربردن دیفوزورها درکلیه استودیوها وتالارهای مکعب‌شکل وموزون، از بدیهیات واصول اساسی است و در استودیوها و تالارهای ناموزون نیز استفاده از دیفوزورها توصیه گردیده است برای سهولت امر می‌توان قواعد زیرین رابرای طرح فرم استودیوها وتالارها وضع نمود .

الف) برای داشتن راه کوتاه مستقیم شنوائی بین صحنه و تماشاچی بهترین فرم برای مقطع افقی (پلان) ذوذنقه است و برای تعداد تماشاگران زیاد ناچار از ساختن بالکن و گالری می باشند .

ب)راه شنوائی مستقیم وکوتاه بین‌سرچشمه وتماشاگر ایجاب می‌نماید که ردیفهای پشت نسبت به‌ردیفهای جلوبحدی بلندتر ساخته شوند که هر ردیف از ردیف قبلی خود باندازه هشت تا ۱۲ سانتیمتر بلندتر باشد .

ج) برای جلوگیری از تجمع انرژی در یک نقطه و پخش یکنواخت انرژی صوتی در تمام سطح تالار باید ازساختن پهنه‌های گود حتی الامکان خودداری گردد و بخصوص سقف و دیوار پشت تالار از این نظر اهمیت بیشتری را دارند .

د) ابعاد و فرم تالار را باید بنحوی انتخاب نمود که هیچگاه اختلاف طول راه

رفت و برگشت صوت برای تمام نقاط از ۱۲ تا ۱۵ متر بیشتر نگردد .

هـ)برای داشتن میدان آکوستیکی دیفوز لازمست که از ساختن دیوارهای متوازی و بخصوص مسطح خودداری و کلیه پهنه ها را طوری ناموزون و ناهموار نمایند که ابعاد این ناهمواریها از حدود متر کمتر نباشد .

مدت پس آوا[1] :

چنانچه قبلا "نیز اشاره گردیده است مدت دوام آوا پس از خاموش شدن سرچشمه آوا رامدت پس آوا ویا ازنظر سهولت بیان ، پس آوا می نامند که کمیتی است قابل محاسبه و قابل اندازه گیری و فعلا " تنها وسیله محاسبه و پیش بینی وضعیت آکوستیک در طرح تالارها می باشد .

میدانیم که برای هر تالار یا استودیو فقط یک پس آوای متناسب وجود دارد که این مقدار متناسب برحسب حجم و نوع استفاده از تالار یا استودیو تعیین می گردد ـ افزون بر این پس آوا تابع فرم و بخصوص دیفوزیته تالار نیز میباشد که در این موردهنوز رابطه دقیقی در دست نیست ، فقط برحسب تجربه میتوان گفت که برای تالارهای دیفوز می توان پس آوا را بیش از تالارهای غیر دیفوز انتخاب نمود .

ازنظر پس آوای متناسب ،تالارها بطور کلی بدودسته تقسیم می‌گردند . تالارهای کنفرانس و تآتر ـ تالارهای کنسرت .

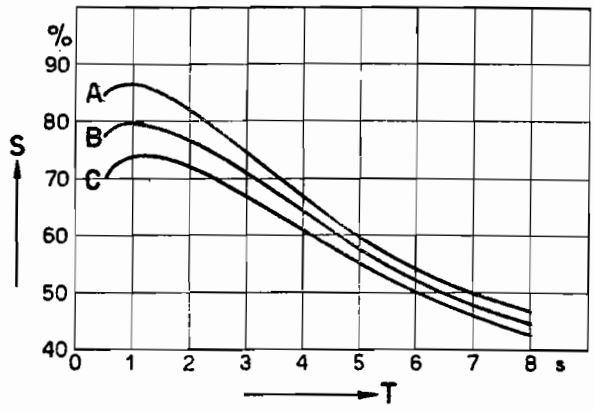
آکوستیک در تالار کنفرانس :

چنانچه تالاری فقط بمنظور سخنرانی یاتآتر ساخته شود بدیهی است که شنوائی خوب ودرک کلمات گویندگان مطلوب ومورد نظراست ـ از این رو در چنین مواردی میتوان کمیت قابل اندازه‌گیری بنام وضوح تعیین نمود که برحسب درصد مشخص میگردد وبموجب بررسی هائی که در این مورد بعمل آمده است تابع پس آوای تالار نیز میباشد .

---

1)- Reverberation time

V.O.Knudsen درسال ۱۹۲۹طی آزمایشاتی تبعیت وضوحرا ازپس‌آوای تالارها اندازه‌گیری و نتیجه آزمایشات خود را بصورت منحنی های شکل ۷۴ نمایش داده است .



شکل ۷۴ ــ تبعیت وضوح S از پس‌آوای T تالار

A ــ حجم تالار ۷۰۷ متر مکعب

B ــ " " ۱۱۳۰۰ متر مکعب

C ــ " " ۴۵۲۰۰ متر مکعب

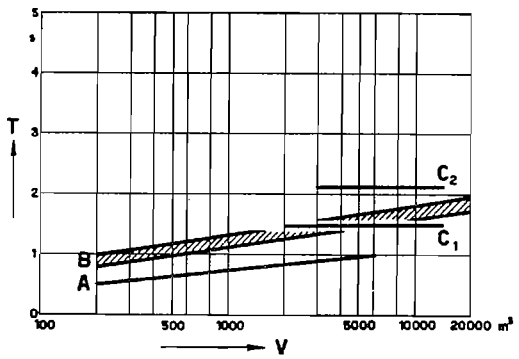
از روند منحنی ها مشخص مي گردد که هرچه پس‌آوا بزرگتر باشد وضوح کمتر خواهد بود و این با توجه به پدیده پس‌آوا امری بدیهی است ، زیرا بعلت دوام انرژی ، سیلابها یکدیگر راپوشانیده وفهم گفتار مشکل می‌گردد ــ همچنین اگر پس‌آوا از حد متناسب تالار نیز کمتر باشد باز وضوح کاهش می یابد ، زیرا در این حالت چگالی انرژی کم می شود ــ از این‌رو می توان گفت که برای هر تالار کنفرانس فقط یک پس‌آوای متناسب برحسب‌حجم آن وجود دارد که در آن وضوح حد اکثر می باشد .

آکوستیک در تالار کنسرت

برخلاف‌تالار کنفرانس‌که آکوستیک‌آن باوضوح قابل‌توجیه‌میباشددرموردآکوستیک در تالار کنسرت هیچگونه کمیت مشخصی در دست نمی باشد که بتواند در این موردنیز راهنمای طراح تالار باشد زیرادر اینجا فقط‌احساس ونظرات شنوندگان که خود ممکن‌است

از طبقات و ملیت‌های مختلفی باشند مبدا مقایسه است و این خود آنقدر متفاوت و متغیر است که‌بسهولت نمیتوان آنراتحت نظام وقواعد فیزیکی و ریاضی درآورد ــ اگر به‌نظرات عده خاصی (مثلا" موزیکدانها و موزیک شناسها) اکتفا گردد و بخصوص عقاید آنان را در مورد تالارهای معروف جهان جمع آوری نمائیم میتوان با توجه به نظراتی که از بدو ساختمان آن‌تالارها تاکنون ابراز گردیده نتایجی برای طرح تالارهای جدید بدست‌آورد . بطور کلی تالارهای معروف جهان بدو دسته تقسیم می گردند . آنان‌که بسبب آکوستیک خوب شناخته شده اند و آنان که بعلل تاریخی معروفیت دارند .

عده‌ای از آهنگسازان قدیمی عادت داشته اند که قطعات ساخته خود را درتالار خاصی اجرا نمایند (مانند یوهان سباستیان باخ و کلیسای توماس درلایپزیک آلمان) و این خود بطور نامحسوس در کارهای این افراد موثر بوده و میبایستی مشخصات آکوستیکی این تالارها را نیز برای بدست آوردن ضابطه ای مورد توجه قرار داد ــ باروشهای نوین اندازه گیریهای آکوستیکی که بعدا "شرح داده خواهد شد میتوان پس‌آوا و سایرمشخصات آکوستیکی این تالارها را اندازه‌گیری نمود و برای طرح تالارهای جدید مورد استفاده‌قرار داد ــ بخصوص تعیین‌مشخصات آکوستیکی‌این تالارها در حالتی‌که مملو ازتماشاچی میباشند بایستی مورد نظر قرار گیرند زیرا اختلاف آکوستیک این نوع تالارهای قدیمی در حالت پریا خالی کاملا" متفاوت می باشند .



شکل ۷۵ ــ طنین متناسب T برای تالارهای مختلف برای فرکانس ۱۰۰۰ هرتس

A ــ گفتار ــ B موزیک ــ C_1 : مقدار متناسب برای موزیک کلاسیک و مدرن .

C_2 ــ مقدار متناسب برای موسیقی مذهبی .

درنتیجه این بررسیها وآزمایشات مقادیرمختلفی بدست آمده است که حتی نظرات دانشمندان فن و محققین مختلف اختلاف زیادی با هم دارند و از این رو نمیتوان در هر حال مقادیر دقیقی برای محاسبه و طرح تالارها بدست داد . ولی در هر حال با استفاده از روشهای آماری منحنی‌های شکل ۷۵ ترسیم گردیده است که بخصوص برای موزیک (منحنی B) نمیتوان مقادیر تحقیقی (نظیر منحنی A) بدست آورد و فقط برای تالارهای خیلی بزرگ (بیش از سه هزار متر مکعب) میتوان مقادیر دقیق تری بدست آورد (منحنی های C_1 وC_2) که حتی با مطالعات جدیدتری نیز صحت آنان بثبوت رسیده است . مطالعات علمی که و ــ کول[1] ازسال ۱۹۵۴ درمورد رابطه پس آوا با انواع مختلف سبکهای موزیک بعمل آورده است نشان میدهد که حتی میتوان برای هرسبک موزیک و یابعبارت دیگر آثار مصنفین مختلف پس آوای مشخصی را مجاز دانست .بدین معنی که بعقیده کول پس آوا در تالارهای بزرگ (۲۰۰۰ تا ۱۴۰۰۰ متر مکعب) تابع حجم تالار نیست بلکه تابع نوع موزیک است که مثلا برای موزیکهای کلاسیک (نظیرکارهای موتسارت[2])وموزیک مدرن (نظیرکارهای استراوینسکی[3]) ۱/۵ ثانیه و برای موزیکهای رمانتیک (نظیر کارهای برامس[4]) ۱ ٫ ۲ ثانیه میباشد که اگر تالار برای انواع مختلف موزیک ساخته شود ۱٫۷ ثانیه متناسبتر میباشد .

بدیهی است که مطالعات فوق مربوط به پس آوای تالارها باحضورتماشاگران می باشد زیرا تاثیر تماشاگران در آکوستیک تالار فوق العاده قابل توجه است ، بخصوص اگر مبلمان

---

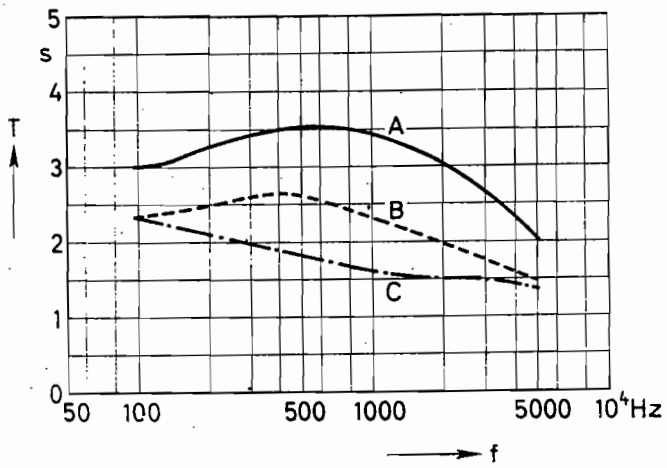
1)- W.Kuhl

2)- W.A. Mozart

3)- Strawinsky

4)- Brahms

تالار نا متناسب باشد .



شکل ۷۶ ــ پس‌آوای تالار کازینوی دولتی بال (۱۸۷۶)

A ــ تالار خالی با صندلیهای چوبی (۱۹۳۶)

B ــ „ „ قسمتی از صندلیها پوشش شده اند (۱۹۵۷)

C ــ تالار پــر

از شکل ۷۶ بخوبی مشهود است که با مبل های چوبی میان پس‌آوای تالار خالی و تالار مملو از جمعیت در حدود ۵ ر۲ ثانیه اختلاف موجود است،در حالی که با پوشاندن قسمتی از مبلها با مواد آبسوربنت این اختلاف به کمتر از نصف رسیده است وچنانچه‌این امر بامطالعه و دقت کافی انجام گیرد حتی ممکن است این اختلاف را بصفر نیز رسانید ــ بدین‌معنی که اگر آبسورپسیون هر مبل‌معادل آبسورپسیون یک‌نفر تماشاگر باشد (میانگین) مسلم است که با ورود هر نفر بسالن مقداری به‌آبسور پسیون کلی اضافه می شود در حالی که پس ازنشستن او روی مبل همان مقدار را مستور و کم می نماید و در نتیجه آبسورپسیون کلی سالن تغییر محسوس نمی نماید .

در تالارهای کنسرت مدرن سعی می‌گردد که علاوه بر مبله کردن کلیه صندلیهای سالن ، زیر مبل ها را نیز با مواد آبسوربنت (مثلا " آکوستیک تایــل) بپوشانند تا در حالت خالی بودن سالن که صندلیها بر گردانیده شده اند نیز تغییری در آکوستیک تالار

داده نشود . (شکل ۱۱۴) .

باتوجه به مطالعات فوق نتیجه می شود که پس آوای یک تالار بزرگ نخست تابع تماشاگران است و از این رو برای تالارهای بزرگ (۶۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ متر مکعب) قوانین تجربی وضع گردیده که مثلا "حجم تالار بایستی با تعداد تماشاگران رابطه ای داشته‌باشد که برای هرتماشاگر حد اقل شش تا هفت متر مکعب و حتی الامکان ۸ تا ۹ متر مکعب‌فضادر نظر گرفته شود .

چنانچه فضای در نظر گرفته شده برای هر نفر ، ۸ تا ۹ متر مکعب باشد پس آوا معادل ۲ ثانیه که مقدار لازم برای ارکسترهای سمفونی و بخصوص سبکهای رمانتیک است خواهد بود بدیهی است که با این پس آوا وضوح ارکستر کمتر می شود و فقط برای برخی ازقطعات سمفونی متناسب می‌باشد . با مقدار فضای حداقل (۶ تا ۷ متر مکعب) میتوان پس آوائی معادل ۱٫۵ ثانیه بدست آورد که برای اجرای قطعات سمفونی مدرن و کلاسیک که در آنها وضوح حائز اهمیت می باشد متناسبتر می باشد . از بررسیهای فوق می توان نتیجه گرفت که اگر در طرح تالارها ۷ تا ۸ متر مکعب فضا برای هر تماشاگر مبنای محاسبه قرار داده شود هردو نظررا می توان تامین نمود . برای قطعات سمفونی مذهبی (موزیک کلیسائی)حتی می توان تا ۲٫۵ ثانیه را نیز مجاز دانست و اینرو در هنگام طرح کلیساها بایستی باین‌نکته توجه نمودکه بزرگ بودن پس‌آوا در کلیسا غیر مجاز نیست ولی‌در وضوح موثراست و می بایستی برای درک کلمات (سخنرانی های مذهبی) وسیله دیگری در نظر گرفته شود (استفاده ازبلندگو)و یااینکه پس آوا رابمقدار متناسبی (مثلا " ۱٫۲ ثانیه) محدود نمود .

چند مثال از طرز محاسبه پس آوای تالارها

در مثالهای زیرین پس آوای یک‌تالار کنسرت ــ یک‌سینما ویک کلیسابعنوان‌نمونه محاسبه گردیده است ــ باید درنظر داشت که در این محاسبات نمیتوان پس آواراد‌قیقا "

بدست آورد زیرا اولا " ممکن است مشخصات مواد آبسوربنت بکاربرده شده با مصالحی‌که بهمان نام در جداول ذکر گردیده است ،متفاوت باشندو ثانیا "تلرانس ضریب آبسورپسیون ممکن‌است‌تا $\pm$ ۲۰ % نیربرسد ،علاوه برآن‌تعیین‌مقداردقیق S (پهنه‌های‌آبسوربنت) میسر نیست و همواره ممکن است بعلت فرمهای خاصی که این پهنه ها بخود میگیرند (گچ بری ــ ستون، خلل وفرج ونظایر آن) تلرانسهائی هم در تعیین S بوجود آیدودرهرصورت هرچه محاسبات دقیق‌تر باشد . به‌طنین دلخواه نزدیک تر خواهیم بود که مقدار دقیق را بایستی پس ازاجراء بااندازه گیری تعیین نمودو حتی در صورت لزوم امکاناتی هم‌برای تغییر در سطوح یا مواد آبسوربنت پیش بینی نمود .

۱ ــ محاسبه طنین یک تالار کنسرت بحجم ۱۰۰۰۰ متر مکعب و گنجایش ۱۳۰۰ تماشاچی (۷٫۷ متر مکعب برای هر تماشاگر) .

مقدار A به‌حسب‌مترمربع						مصالح‌آبسوربنت	S (مترمربع)
۴۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵		
۸۰	۴۰	۴۰	۸۰	۱۶۰	۲۰۰	سقف‌کاذب‌ازصفحات‌گچی	۸۰۰
۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	پوشش‌های‌چوبی (دیواره‌ها)	۱۰۰۰
۲۴	۱۸	۱۲	۱۲	۶	۶	دیوارهای گچی ساده	۶۰۰
۸۰	۴۰	۴۰	۳۲	۲۴	۱۶	کف پارکت	۸۰۰
۵۲۰	۶۵۰	۵۸۵	۴۵۵	۳۹۰	۱۳۰	مبل	عدد ۱۳۰۰
۹۰۴	۸۴۸	۷۷۵	۷۷۹	۸۸۰	۷۵۲	جمع آبسورپسیون بدون حضورتماشاگران	
۱۳۰	۱۳۰	۱۹۵	۲۶۰	۱۳۰	۶۵	تفاوت آبسورپسیون هزاروسیصدتماشاگربا مبلهای خالی	
۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۰۰	۸۰	۴۰	آبسورپسیون هیئت ارکسترصد نفری	
۱۱۵۴	۱۱۰۸	۱۱۱۰	۱۱۳۹	۱۰۹۰	۸۵۷	جمع کل با تماشاگران و ارکستر	

استفاده از رابطه سابن $T=0,16\frac{V}{A}$ خواهیم داشت :

f هرتس :	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰
تالارخالی T ثانیه (خالی) :	۱ر۸	۱ر۲	۱ر۲	۱ر۱	۹ر۱	۷ر۱
تالارپر (باحضورتماشاگروارکستر) T ثانیه (پر) :	۱ر۹	۱ر۵	۱ر۴	۱ر۵	۱ر۵	۱ر۴

بطوریکه ملاحظه می گردد اختلاف طنین تالار خالی و پر خیلی کم است بعلت صندلیهای بازروکش) ومقدار متوسط آن برای انواع ارکسترها متناسب می باشد . (شکل ۷۵)

۲ـ محاسبه یک سینما بگنجایش ۵۶۰ نفر و حجم ۲۲۰۰ متر مکعب (۳,۹ متر مکعب برای هر نفر)

مقدار A بحسب متر مربع						مصالح آبسوربنت	S (مترمربع)
۴۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵		
۲۸	۱۴	۱۴	۲۸	۵۶	۷۰	سقف کاذب ازصفحات گچی	۲۸۰
۸	۶	۴	۴	۲	۲	دیوار گچی ساده	۲۰۰
۲۴	۱۲	۱۲	۲۴	۳۶	۴۸	پوشش چوبی روی دیوارها	۱۲۰
۴۲	۴۲	۴۲	۳۶	۱۸	۱۲	پوشش آکوستیک تایل	۶۰
۳۰	۱۵	۱۵	۱۲	۹	۶	کف معمولی (سخت)	۳۰۰
۳۲	۲۸	۲۴	۱۶	۶	۴	قالی	۸۰
۲۴	۲۰	۱۶	۱۲	۶	۴	پرده	۴۰
۲۲۴	۲۸۰	۲۵۲	۱۹۶	۱۶۸	۵۶	مبل	۵۶۰عدد
۴۱۲	۴۱۷	۴۷۹	۳۴۸	۳۰۱	۲۰۲	مجموعه آبسورپسیون A بدون تماشاگران	
۵۶	۵۶	۸۴	۱۱۲	۵۶	۵۶	اختلاف آبسورپسیون ۵۶۰ تماشاچی با مبلها	
۴۶۸	۴۷۳	۴۶۳	۴۶۰	۳۵۷	۲۵۸	جمع کل A با تماشاگران	
۱ر۷۵	۱ر۲	۱ر۰	۰ر۸۴	۰ر۸۵		T برای تالار خالی (ثانیه) =	
۱ر۳۶	۱ر۰	۰ر۸	۰ر۸	۰ر۷۵	۰ر۷۶	T برای تالار پر (ثانیه) =	

از این مثال بخوبی مشهود است که قسمت عمده آبسور پسیون مربوط است به تماشاگران و مبلها و بعلت وجود مبل اختلاف طنین در حالت پرو خالی خیلی کم است و در حدود اپتیمم برای آکوستیک تالار کنفرانس قرار دارد (شکل ۷۵) که برای سینما هم متناسب می باشد .

۳ ــ محاسبه یک کلیسا بگنجایش ۷۰۰ نفر وحجم ۷۰۰۰ متر مکعب (۱۰ متر مکعب برای هر نفر) .

مقدار A بحسب متر مربع						مصالح آبسوربنت	S برحسب
۴۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵		متر مربع
۱۲۰	۶۰	۶۰	۱۲۰	۱۸۰	۲۴۰	سقف کاذب چوبی	۶۰۰
۳۲	۲۴	۱۶	۱۶	۸	۸	دیوار گچی ساده	۸۰۰
۵	۵	۵	۸	۱۰	۲۵	پنجره	۲۵۰
۵۴	۲۷	۲۷	۲۲	۱۶	۱۱	کف معمولی (سخت)	۵۴۰
۱۴۰	۱۴۰	۱۴۰	۱۲۰	۶۰	۴۰	پوشش آکوستیک تایل	۲۰۰
۳۵	۳۵	۲۱	۱۴	۷	۷	نیمکت های چوبی	۷۰۰ عدد
۳۸۶	۲۹۱	۲۶۹	۳۰۰	۲۸۱	۳۳۱	جمع A برای کلیسای خالی	
۳۵۰	۴۲۰	۳۸۵	۳۵۰	۲۱۰	۱۰۵	آبسورپسیون ۷۰۰ نفر	
۷۳۶	۷۱۱	۶۵۴	۶۵۰	۴۹۱	۴۳۶	جمع آبسورپسیون A با حضور ۷۰۰ نفر	
۲/۹	۳/۹	۴/۰	۳/۷	۴/۰	۳/۴	برای کلیسای خالی $= T$	
۱/۵	۱/۶	۱/۷	۱/۷	۲/۳	۲/۶	برای کلیسا باحضور ۷۰۰ نفر $= T$	

بطوریکه از این مثال نیز بوضوح معلوم می گردد اختلاف **بین‌حالت خالی‌و پـر** یک کلیسا فوق العاده زیاد است و اگر ۲۰۰ متر مربع آکوستیک تایل بکار برده نمیشد این اختلاف بازهم بزرگتر می شد و در صورتی که بخواهیم تغییراتی در زمان پس‌آوا بدهیم از بررسی نتیجه معلوم می گردد که با بکار بردن آبسوربنت های پوسته ای (سقف کاذب چوبی) می توان برای نغمه های بم و با بکار بردن آکوستیک تایل بیشتری برای تغمه زیر تغییرات لازمه را در روند منحنی پس‌آوا بوجود آورد .

۴ ــ اندازه گیری کمیت های آکوستیکی .

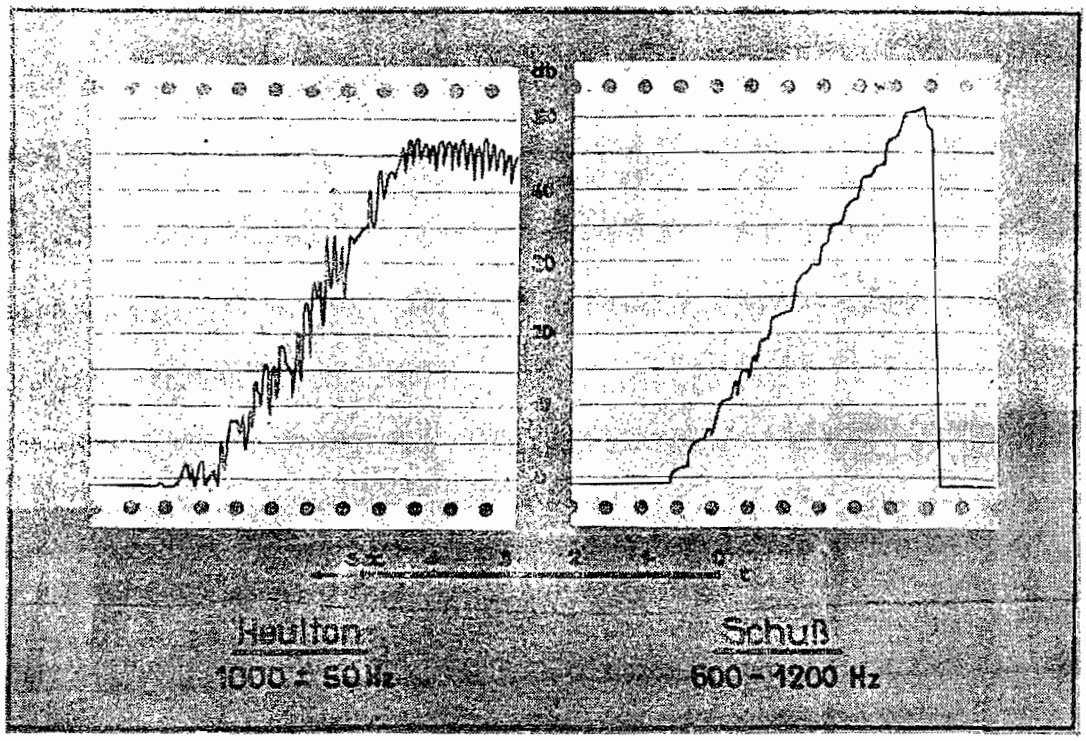
اندازه‌گیری زمان پس‌آوا . با استفاده از یک اسیلوسکوپ و بکمک عکاسی ازصفحه آن و یا بکار بردن اسیلو گراف نوری (که مستقیما " نوسانات را برروی نوار کاغذ حساس ثبت می‌نماید)و یادستگاههای نگارنده[1] (رجیستر) می توان طبق شکل ۷۷ روند تباهی طراز فشار آوا را ثبت و با مقایسه با نوسان مقیاس زمان (۱۰۰۰ هرتس) و یا با توجه بسرعت حرکت نوار کاغذ پس‌آوا را مستقیما " بدست آورد . برای اندازه گیری پس‌آوا دستگاههای نگارنده ویژه ای که برای اندازه گیریهای آکوستیکی ساخته شده است و برای ثبت نوسانات آکوسیکی متناسب می باشد بکار برده می شود و سرچشمه‌آوا را نیز طوری انتخاب می نمایند که حاوی کلیه نوسانات آکوستیکی در نوار فرکانس مورد نیاز باشد که برای این منظور ازترکش طپانچه گازی و یازوزه (نوائی‌که فرکانس آن‌در نوار معینی‌مرتبا " تغییر نماید) استفاده می گردد . در شکل ۷۸ دو نمونه از نوار ثبت شده توسط دستگاه نگارنده نمایش داده شده است .علاوه برترکش و زوزه می‌توان از صدای پارازیت[2] (رادیو) نیز که بوسیله نوسان سازهای ویژه ایجاد می گردد ، برای اندازه گیری پس‌آوا استفاده نمود .

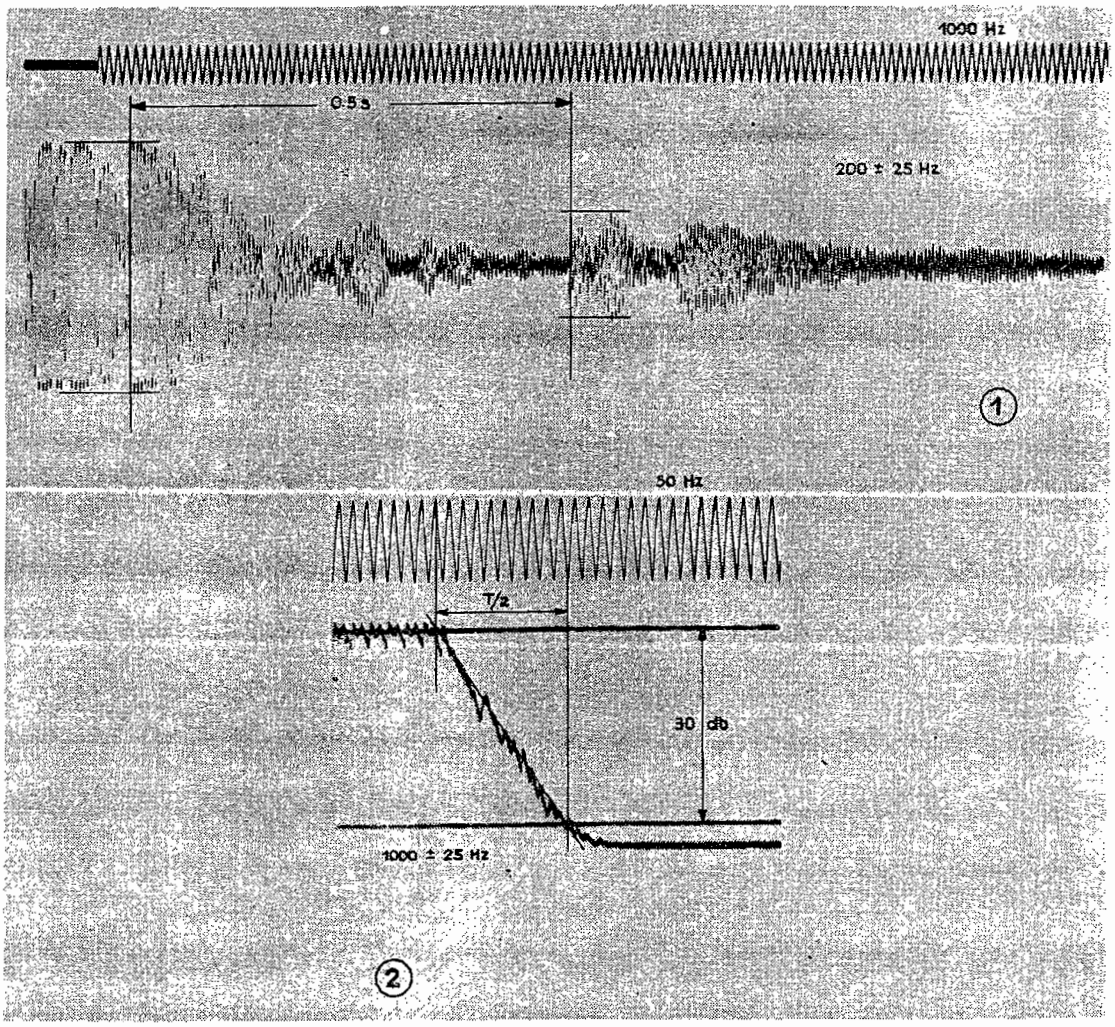
1- Level recorder = Hypsographe

2- Noise

پژوهش با الگو (مدل)

چنانچه میدانیم پژوهش‌های آکوستیکی ترسیمی (آکوستیک هندسی) همواره راه حل تقریبی استو در مواردی که فرم ساختمان پیچیده باشد نمی‌توان بسهولت‌ودقت بازتابها را پی‌گیری وترسیم نمود .ازاینرو در این موارد سعی می گردد که با ساختن‌مدلی از مقطع ساختمان مسیر بازتابها را عملا" جستجو نمود . سابقا" با ریختن آب در الگوی مقطع ساختمان وایجاد موج در آن درچگونگی بازتابها پژوهش می نمودند ولی با توجه‌به دوبعدی بودن الگو و کندی سرعت انتشار امواج در آب تشابه بین مدل و ساختمان اصلی وجود نداشت و از اینرو این پژوهش نمی توانست گرهی را بگشاید ــ برخی از دانشمندان روش عکاسی در مدل را که در شکل ۷۹ نمونه ای از آن نمایش داده شده است برآزمایش با آب ترجیح میدادند ــ بدین سان که الگوی دو بعدی مقطع ساختمان را مملو از دود می نمودند و با استفاده از جرقه الکتریکی که امواج فراسوی آوا منتشر می نمود و عکاسی سریع از آن‌مسیر بازتابها را پیاپی بدست می آوردند ــ ولی از این آزمایشات نیز نتیجه عملی بدست نمی‌آمد و کم کم روش پژوهش بامدل که در سالهای حدود ۱۹۳۰ معمول‌بود بکناری نهاده شده بود ، که پس از پیدایش دستگاههای ضبط مغناطیسی و میکروفنهای





شکل ۷۷ ــ اسیلوگرام طنین

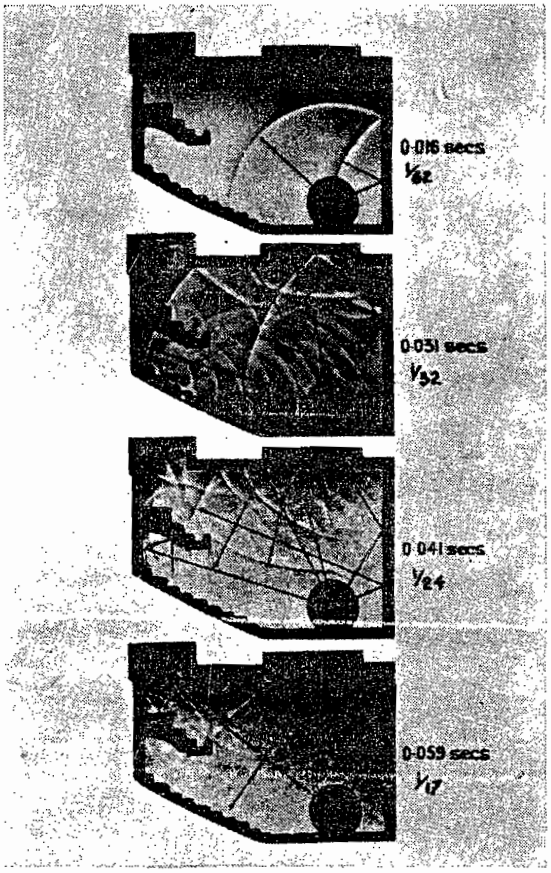
۱ ــ ترسیم خطی (برای احراز دقت بیشتر ۰٫۵ ثانیه پس از خاموشی سرچشمه درجه تقویت کننده ۱٫۵ برابر ازدیاد یافته است) .

۲ ــ ترسیم لگاریتمی با یکسو سازی

فراسوی آوا دوباره این روش از طرف تنی چند از پژوهندگان در مدل های سه بعدی کمبا مقیاس کوچکتری (مثلا " ۱/۱۰) ساخته شده بود بکار برده شد و امروزه بررسی مسائل آکوستیکی ساختمانهای پر ارزش (نظیر اپرا و کنسرت) با استفاده از مدل سه بعدی و امواج فراسوی آوا جزء بدیهیات است .

در این روش می توان علاوه بر ترکش و زوزه ، گفتار و موزیک که فرکانس آنها به نسبت کوچک شدن ابعاد الگو (n) افزایش یافته است (سرعت ضبط صوت n برابر شده است) نیز استفاده نمود ومثلا " قطعه موسیقی را درتالار سعی که بافرکانس ۵۰ تا ۱۰۰۰۰ هرتس پخش وضبط می گردد باسرعت n برابر (که معمولا " ۱۰ برابر است) در مدلی که ابعاد آن نسبت به تالار واقعی n برابر (۱۰ برابر) کوچکتر شده است پخش نمود . بدین ترتیب فرکانس آوای پخش شده در ماکت ۱۰ برابر بیشتر و در حدود فراسوی آوا (۰/۵ تا ۱۰۰ کیلو هرتس) قرار می گیرد .

بدین ترتیب باکوچک شدن طول موج نسبت طول موج با ابعاد تالاردرتالارواقعی و مدل آن یکسان می‌گردد و ازاینرو چنانچه تشابه پوشش‌های دیوارهای الگو و تالارواقعی از نظر ضریب آبسور پسیون رعایت گردد می توان کلیه مشخصات بنای واقعی را قبل از شروع ساختمان و درالگو مورد پژوهش، و در صورت لزوم تغییر و اصلاح قرار داد .نحوه آزمایش بدین قراراست که قطعه موزیک ویاگفتارراکه دریک میدان آزاد آکوستیکی (آزمایشگاه) ضبط نموداند باسرعت n برابربیشتردرالگواجراوضبط می نمایند. سپس نوار ضبط شده را با سرعت η برابرکمتراجراومورد پژوهش وشنوائی قرارمی دهند .این روش که آکوستیک تالار طرح شده راقبلا "مشخص می نماید مستلزم مخارج نسبتا گزاف و دسترسی به آزمایشگاه ووسائل ویژه این آزمایش است که درهمه جاوهمه حال میسرنیست وساختن مدل نیز با رعایت شرائط آکوستیکی (آبسورپسیون دیوارها وهوای محتوی مدل درفرکانس n برابر) احتیاج به بررسی دقیق و تجربه کافی دارد که عملا "استفاده ازاین روش را باوجود نتایج پرارزشی که از آن حاصل می گردد



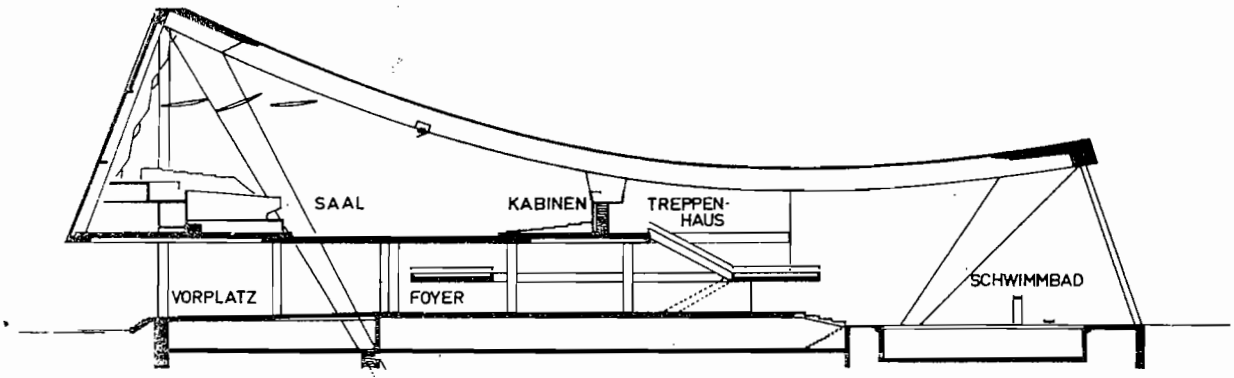
شکل ۷۹ ــ آزمایش در الگو با فراسوی آوا و عکاسی با دود

مشکل و پر خرج می نماید .

با اینهمه بنا به گفته پروفسور W.Reichardt "بنای تآتر یا تالار کنسرت و همانند آنها بدون بررسی و پژوهش با الگو خیانت است " .

برای پژوهش با الگو برای ساختمان های کوچکتر و کم اهمیت تر بررسی اکوگرام (عکس برداری ازبازتابها) آنها کفایت می نماید که با شناسائی بازتابهای آزار دهنده و بازتابهائی‌که ایجاد اکو می‌نمایند می‌توان بابکار بردن رفلکتورهائی که در محل مناسب آویخته می شوند از ایجاد اکو جلوگیری کرد .

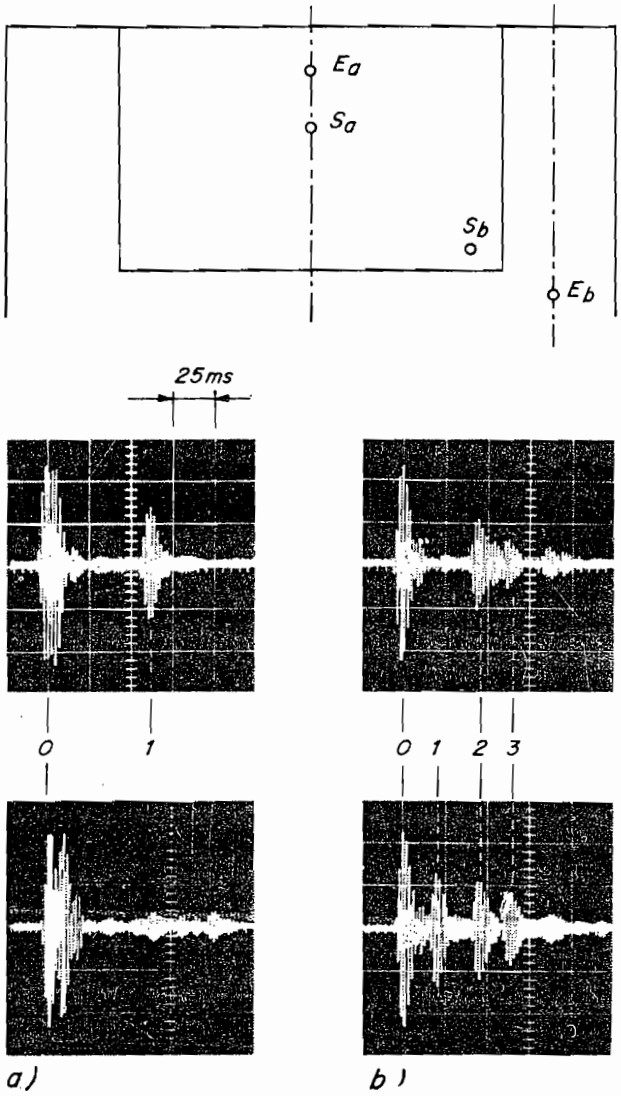
در شکل ۸۰ کوپ ساختمان " کنگرس هاوس " در بیل (سوئیس) نمایش داده شده است .



شکل ۸۰ ــ کنگرس هاوس بیل، آرشیتکت

Max Schlup

برای کنستروکسیون این بنا از الگو واکو گرام بهره وری شده است که در شکل ۸۱ نتیجه این بررسی نمایش داده شده است که با نصب رفلکتوها بازتابها پیاپی و بدون آزار گردیده‌اند .



شکل ۸۱ ــ اکوگرام در الگوی آکوستیکی ۱/۱۶ کنگرس هاوس بیل با کف و دیوارها پوشش شده از مصالح آبسوربنت .

a ــ فرستنده در S_a ــ گیرنده در E_a : 0 پالس ارسالی از فرستنده ــ I پالس بازتاب شده از سقف (که پس از نصب رفلکتور از بین رفته است) .

b ــ فرستنده در S_b و گیرنده در E_b : 0 پالس ارسالی از فرستنده

1 ــ بازتاب از رفلکتور ــ 2 : بازتاب از سقف

3 ــ بازتاب از کتیبه سقف

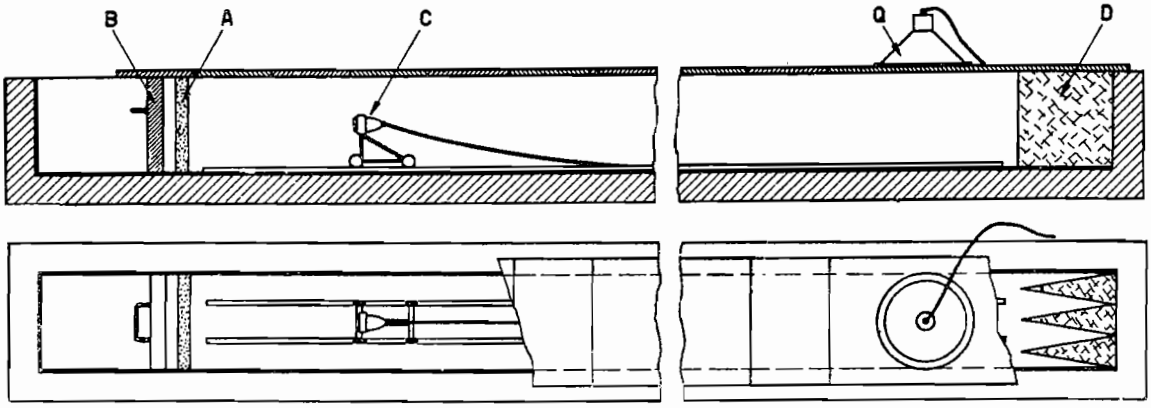
اندازه گیری ضریب آبسور پسیون :

اندازه گیری ضریب آبسور پسیون با روش مختلف در کتابهای آکوستیک فیزیکال

مورد بررسی قرار می‌گیرد ــ عملا "دوروش اندازه‌گیری در لوله با استفاده از امواج‌ایستاده و اندازه‌گیری در آزمایشگاه آکوستیک کهاهمیت بیشتری دارند امروزه منحصرا" بکار برده می شوند :

اندازه گیری در لوله :

این روش براساس لوله‌کنت (A.Kundt 1866) استوار است ودرشکل ۸۲ طرح دستگاه اندازه گیری ضریب آبسور پسیون با لوله نمایش داده شده است .



شکل ۸۲ ــ لوله کنت برای اندازه گیری ضریب آبسورپسیون

A ــ نمونه مورد آزمایش ــ B . درپوش لوله ــ C . میکروفون متحرک

D ــ پوشش انتهائی آبسوربنت ــ Q . سرچشمه آوا

ابعاد لوله برای نغمه های بم (۴۰ تا ۵۰۰ هرتس) ۳۰×۳۰ سانتیمتر است که طول آن‌با توجه به نیمه طول موج بم ترین نغمه ها در حدود ۶ متر می باشد ، ولی برای‌نغمات زیر (بیش از ۵۰۰ هرتس) لوله های با ابعاد کوچکتر نیز ساخته می شود .

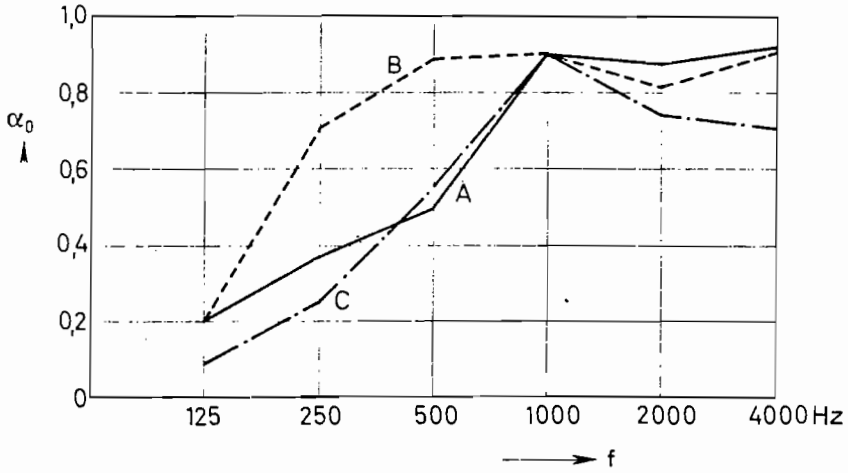
ساختمان لوله اندازه گیری همچنانکه در شکل ۸۲ نمایش داده‌است مرکب است از یک‌فرستنده آوا (بلند گو)که در انتهای لوله بطور جانبی نصب گردیده است‌وانتهای لوله را در قسمت فرستنده آوا با متریال آبسور بنت پوشش نموده اند تا هیچگونه بازتابی از این‌انتها بوجود نیاید ــ در انتهای‌دیگر لوله دریچه ای تعبیه گردیده است که درآنجا نمونه مورد آزمایش راقرار میدهند و در پشت آن نیز درپوشی از یک جسم سخت می‌نهند

تا ایجاد بازتاب کامل از این سو گردد . از تداخل امواج بازتاب با امواج اصلی نقاط گره و شکم ایجاد می گردد که آنان را بایک میکروفن متحرک در درون لوله می توان جستجوو اندازه‌گیری کرد . بااندازه گیری دومقدار بیشینه (ماکزیمم)و کمینه (می نیمم) می‌توان ضریب بازتاب r و با داشتن آن نیز ضریب آبسور پسیون α_0 را محاسبه نمود :

$$q = \frac{p_{min}}{p_{max}} = \frac{1 - r}{1 + r}$$

$$r = \frac{1 - q}{1 + q}$$

باروش اندازه گیری در لوله می توان با داشتن نمونه کوچکی از متریال موردنظر و با دستگاههای نسبتا " ساده و کوچکی ضریب آبسور پسیون را بسهولت و سرعت بدست آورد در شکل ۸۳ نمونه ای از نتایج حاصله از این اندازه گیری نمایش داده شده است ، که در آن اثر فاصله هوائی پشت مصالح آبسوربنت را می توان بخوبی بررسی نمود .



شکل ۸۳ ــ ضریب آبسورپسیون اندازه گیری شده با لوله

A ــ ۵ سانتیمتر آسبست بر روی دیوار سخت

B ــ ۵ سانتیمتر آسبست با فاصله ۴ سانتیمتر از دیوار

C ــ ۲ سانتیمتر پشم شیشه با ۴/۵ سانتیمتر فاصله از دیوار

اندازه گیری در میدان دیفوز (اکوچمبر)

با آنکه روش اندازه گیری در لوله سهل و سریع است ولی دقت در اندازه گیری

بعلت کوچکی نمونه و مشابه‌نبودن شرایط لوله با تالار واقعی بسیار کم است . در روش اندازه گیری در میدان دیفوز می توان از اشتباهات احتمالی اندازه گیری بعلت مشابهت محیط آزمایشگاه با تالار واقعی دوری جست . روش اندازه گیری بر این اصل استوار است که پهنه بزرگ S از متریال آبسوربنت مورد آزمایش را بر دیوارهای آزمایشگاه میدان دیفوز که برای اندازه گیری های آکوستیکی ساخته می شود ، بهمان نحو که در عمل باید بکار برده شود نصب می نمایند . چنانچه زمان پس آوا T_o آزمایشگاه بدون متریال آبسوربنت قبلا" اندازه گیری شده باشد و پس آوای پس از نصب متریال آبسوربنت T_x گردد می توان بسهولت ضریب آبسور پسیون را محاسبه نمود :

$$\alpha_S S = 0{,}16\, V \left\{ \frac{1}{T_x} - \frac{1}{T_0} \right\}$$

از رابطه فوق می توان پی برد که هرچه اختلاف بین T_o و T_x بزرگتر باشد دقت درمحاسبه بیشتر خواهد شد ــ ازاینرو سعی می‌گردد که T_o را حتی الامکان بزرگ انتخاب نمایند ، که برای داشتن زمان پس آوای بزرگ ناچار از ساختن اطاقی با دیوارهای سخت (بتونی) می باشند که آنرا اصطلاحا" اکوچمبر[1] نام می نهند .

برای یکسانی روش کار و نتایج اندازه گیریها از طرف موءسسه استانداردجهانی[2] ابعاد اکوچمبر و سایر مشخصات ساختمانی آن بدین ترتیب توصیه گردیده است که حجم اکوچمبر هیچگاه کوچکتر از ۱۸۰ متر مکعب انتخاب نگردد ــ چنانچه اکوچمبر کوچکتری در اختیار باشد از آن می توان تا فرکانس حد :

$$f' = 125 \left[\frac{180}{V} \right]^{1/3} \quad H_z$$

استفاده‌نمود ولی در هر حال اکوچمبر کوچکتر از ۱۰۰ مترمکعب نمی‌تواند برای اندازه‌گیری

---

1)- Echo room (chambre)

2)- ISO (1960)

ضریب آبسورپسیون مورد استفاده قرار گیرد (فرکانس حد ۱۵۲ هرتس) . طنین‌اکوچمبر نیز باید از مقادیر زیرین بیشتر باشد :

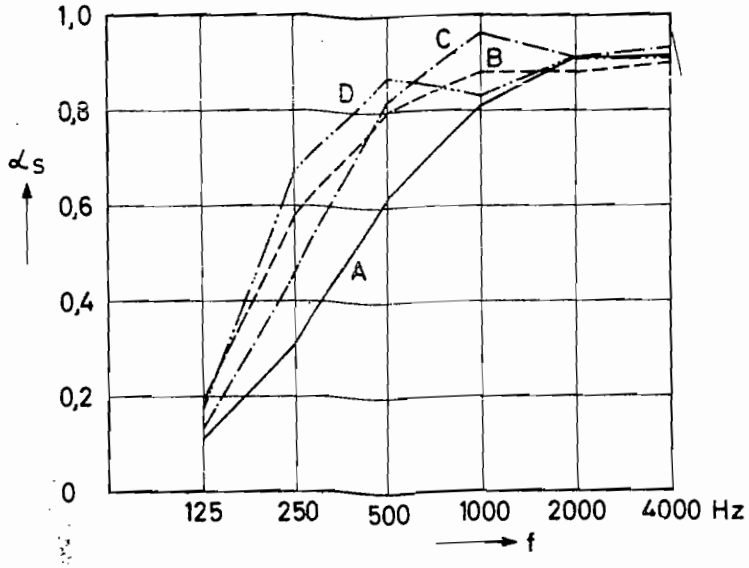
هرتس	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰
ثانیه	۵	۵	۵	۴٫۵	۳٫۵	۲

بزرگی پهنه S متریال آبسوربنت نیز که دراکوچمبر نصب می‌گردد باید ۱۰ تا ۱۲ مترمربع باشد . مهمترین نکته ای که در اکوچمبر باید رعایت گردد دیفوز بودن میدان آکوستیکی است . برای حصول نتیجه مطلوب‌لازمست که‌در اکوچمبر قطعاتی ازفیبرسخت بابعاد ۰٫۸ تا دو متر مربع و بطور پراکنده آویزان نمایند . مجموعه سطوح دیفوزور نبایستی کمتر از مساحت کف اتاق باشد .

سرچشمه آوا رانیز برای این‌آزمایشات زوزه‌ای انتخاب می‌نمایند که‌نوسان‌فرکانس آن ۱۰% وتعداد نوسان فرکانس ۶ بار در ثانیه باشد (برای نواهای بالاتر از ۵۰۰ هرتس نوسان فرکانس ۵۰ ± هرتس کفایت می نماید) .

با توجه مختصری می توان پی برد که روش اکو روم که مطمئن ترین و دقیق‌ترین راه اندازه‌گیری ضریب آبسور پسیون است ، روشی فوق‌العاده مشکل‌و گرانبها است‌ومستلزم دسترسی به‌لابراتوار مجهز وساختمان خاصی‌است که‌فقط برای‌مراکز پژوهشی بزرگ‌دسترسی بدان میسر می باشد .

درشکل ۸۴چند نمونه از منحنی‌های اندازه گیری ضریب آبسور پسیون دراکوروم نمایش داده شده است . در منحنی I می توان تاثیر ضخامت متریال آبسوربنت را بررسی نمود . منحنی IIنمایشگر اثر هوای پشت متریال آبسوربنت میباشد و بالاخره در منحنی IIIمی توان نحوه جذب رزوناتری را که فرکانس رزونانس آن درحدود ۲۰۰ هرتس است بررسی نمود .

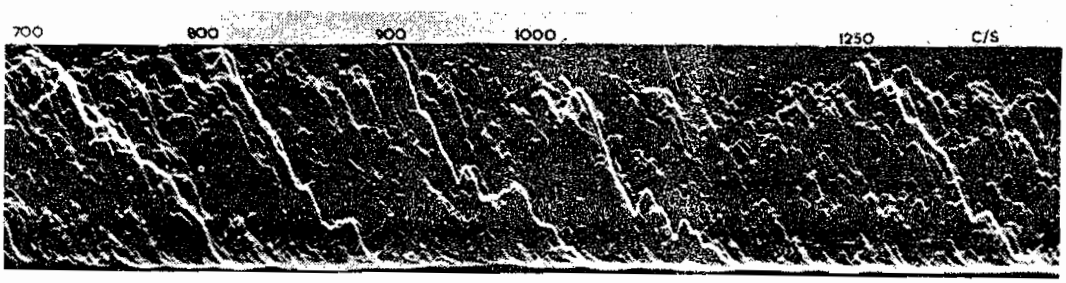


شکل ۸۴ ــ ضریب آبسورپسیون تایلهای آسبستی . منحنی A : تایل ۳۰ میلیمتری چسبیده بدیوار . منحنی B : تایل ۶۰ میلیمتری چسبیده بدیوار . منحنی C : تایل ۳۰ میلیمتری با ۵ سانتیمتر فاصله از دیوار . منحنی D : تایل ۶۰ میلیمتری با ۵ سانتیمتر فاصله از دیوار .

(اعداد منحنی‌ها و جداول داده شده در این کتاب باستثنای شکل ۸۳ و ۱۳۴ دراکوروم اندازه گیری شده اند) .

اندازه گیری دیفوزیته :

با آنکه مفهوم میدان آوای دیفوز همچنانکه گفته شد بر یکسانی پخش انرژی در تمام جهات فضای تالار می باشد ، بدلیل اختلاف نظر دانشمندان بر تفسیر دیفوزیته هنوز روش اندازه گیری مشخص و قابل قبول همگان برای آن پیدا نشده است . آنچه که همه در آن‌اتفاق نظر دارند پیشگیری ازبازتاب نواهای خاص می‌باشد که این نواها بعلت ایجاد رزونانس ازیکسانی میدان‌آوا میکاهد ،همچنین دیوارهای تالار را باید طوری‌ساخت که بازتاب آن در یک جهت نباشد ، بلکه بازتاب بصورت‌دیفوز وهمه جانبه گردد .جمعی از دانشمندان درسالیان گذشته کوشش نموده‌اند که‌با بررسی در نتایج‌حاصله‌ازاندازه‌گیری روند طراز در نوار فرکانس مورد نظر ضابطه ای برای بیان دیفوزیته بیابند ولی ازاین‌راه نتیجه ای تا کنون بدست نیامده است .

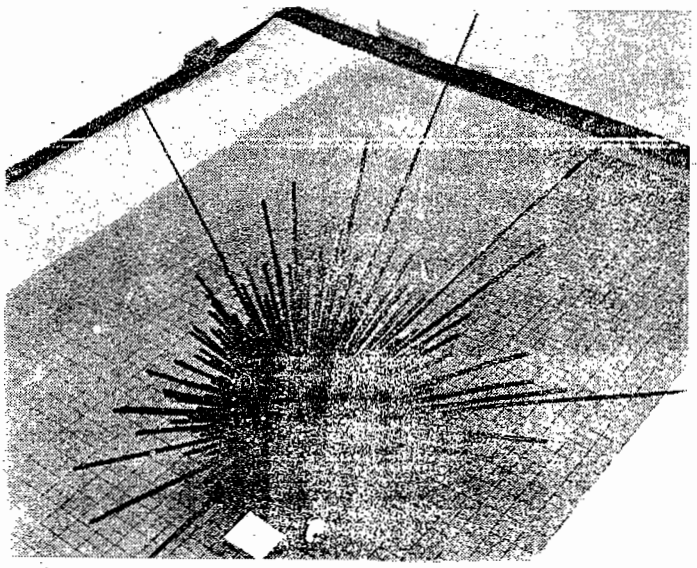


شکل ۸۵ ــ پدیده طنین برای نغمات نزدیک بهم در نوار فرکانس از ۷۰۰ تا ۱۲۵۰ هرتس

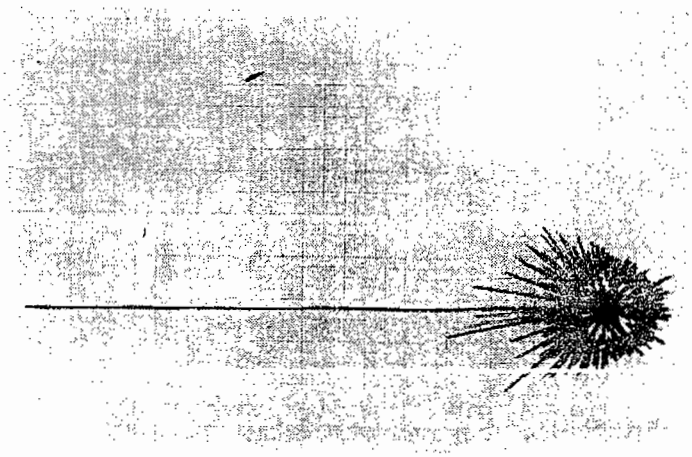
از جمله این پژوهندگان R.Somerville است که منحنی طنین نواهای خالص (سینوسی)نزدیک بهم راثبت نموده است (شکل ۸۵) که اگر این روش نتواند کلیه مسائل را حل کند ، لا اقل حاوی اطلاعات جالبی در این زمینه خواهدبود .

R. Thiele در سال ۱۹۵۳ اصطلاح دیفوزیته جهت دار را پیشنهادنمودکه کمیتی قابل اندازه گیری می‌باشد و خود روش اندازه گیری آنرابوسیله میکروفن یک جهته (میکروفنی‌که در کانون یک بازتابنده شلجمی قرار دارد و یا میکروفن با لوله هادی)ابداع نموده است . در این روش با گردانیدن میکروفن بدور خود بازتابها را ازجهات مختلف دریافت و به‌تناسب زاویه وشدت هریک از آنهاسوزنی دریک توپ پلاستیکی‌فرو می‌نمایند (شکل۸۶) که اگر " جوجه تیغی " حاصله چون‌شکل A ۸۶ یکنواخت باشد ، میدان آوای تالار دیفوز و اگر مانند شکل B ۸۶ ناموزون باشد میدان آوا نا دیفوز می باشد .

علاوه بر این R.Thiele روش اندازه گیری وضوح را نیز بکمک‌آوای ترکش (طپانچه گازی) بدین ترتیب وضع‌نموده است‌که باثبت روند میرائی انرژی ترکش در تالار ومحاسبه انرژی در ۰۵ ، ۰ ثانیه نخستین و تقسیم آن بر تمامی انرژی ثبت شده مقیاسی برای بیان وضوح حاصل می‌گردد . در تالارهای بزرگ کنسرت‌و استودیوهای بزرگ که حجم آنها ۵ تا ۶ هزار متر مکعب می باشد باروش فوق می توان وضوح را ۴۰% تا ۶۰% محاسبه نمود . در یک تالار بحجم ۵ هزار متر مکعب ۹۰% ــ ۷۶ و در یک کلیسای بزرگ



A



B

شکل ۸۶ ــ طرز نمایش دیفوزیته جهت دار

A ــ دیفوزیته زیاد

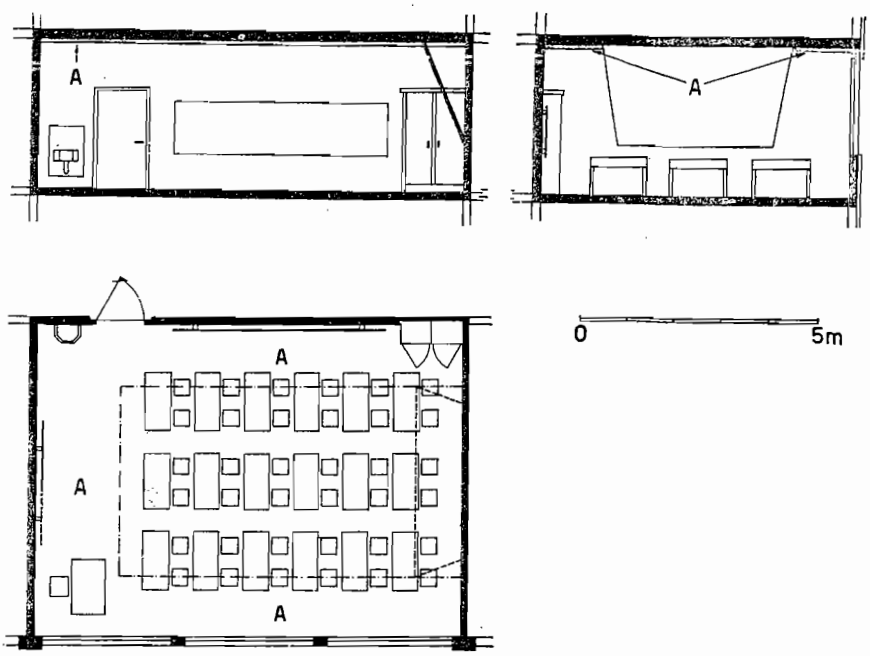
B ــ دیفوزیته کم

خالی %۲۰ ــ ۱۰ تعیین گردیده است .از این بیان می‌توان پی‌برد که وضوح نیز می تواند مقیاسی برای دیفوزیته باشد و ترکیب ضریب دیفوزیته جهت دار و وضوح علاوه بر طنین مشخصه دیگری برای بیان آکوستیک در تالارها می باشد .

اصول طرح تالارها

کلاس درس

چنانچه یک اطاق درس بگنجایش ۲۰ نفر را در نظر بگیریم که ابعاد آن ـ ۹×۶/ ۵×۳=۱۷۵m^3 متر مکعب باشد پس آوای آن در حالت خالی بین ۲ /۱ تا ۵ /۱ ثانیه می گردد که با حضور شاگردان به ۹ /۰ تا ۱۰ /۱ ثانیه کاهش می یابد ـ با توجه به منحنی‌های پس آوای اپتیم برای‌گفتار معلوم می‌گردد که این عدد برای حجم یک‌کلاس کوچک نسبتا "زیاد می‌باشد و می‌بایستی قدری کوچکتر گردد ـ برای کاهش پس آوامی‌توان ۱/۳ تا ۱/۲ سقف‌را بامواد آبسوربنت (مثلا " آکوستیک تایل) پوشانید ـ طبق‌پیشنهاد P.Arni که در فنلاند بصورت استاندارد نیز مورد قبول قرار گرفته است برای‌بالا بردن وضوح در کلاسهای درس طبق شکل ۸۷ قسمتی از سقف راکه با حرف A مشخص گردیده است و قسمتی ازسقف‌که بالای سر معلم و دو طرف طول کلاس می باشد بایستی با مصالح‌آبسوربنت‌پوشانیدوضمنا "دیوارک‌گچی‌در پشت سرشاگردان‌و روبروی تخته‌سیاه‌نصب می‌نمایند که‌آن وقسمت وسط سقف از مصالح سخت (مثلا " گچ یا چوب) ساخته میشوند که بتوانند بازتابهای مفیدی را که باعث ازدیاد وضوح میگردند اضافه نمایند . بعلت آزار غوغای بم بهتر است که قسمتهائی از سطوح کلاس (از قبیل کف یا سقف) بصورت پوسته ای ساخته شوند تا در جذب آوای با فرکانسهای کم موءثر باشند .



شکل ۸۷ ــ وضعیت آکوستیکی درس

A ــ آبسوربنت

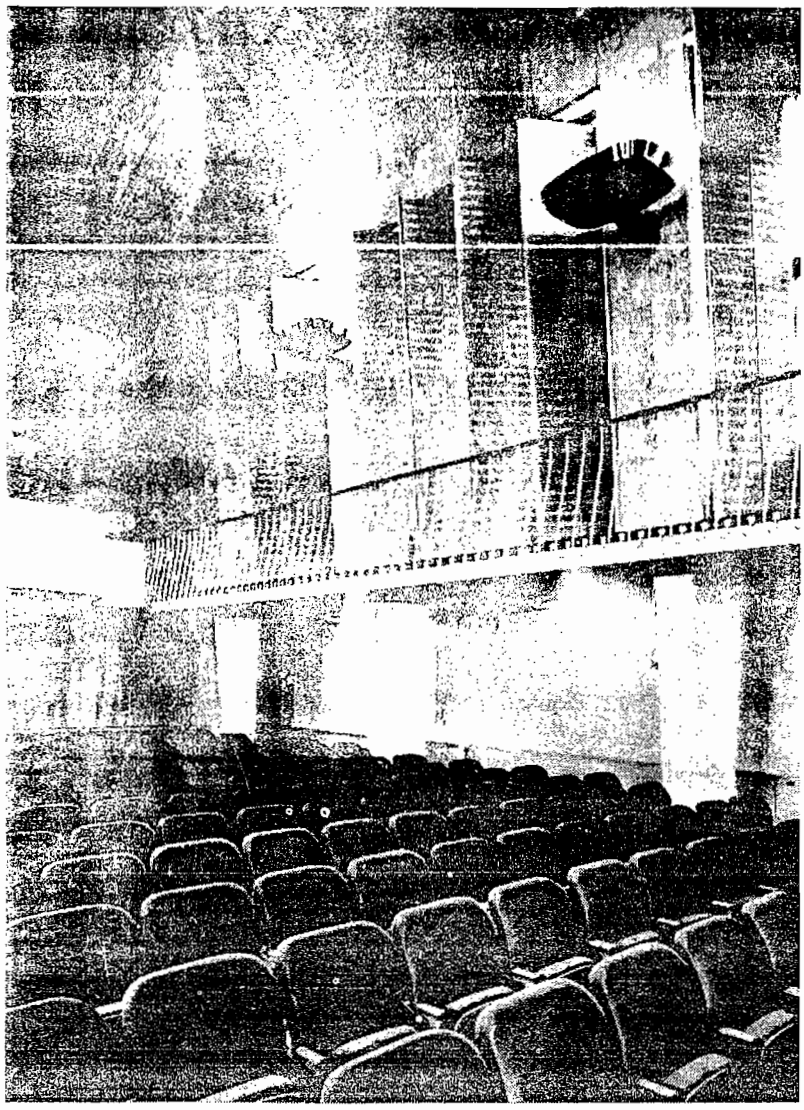
تالار اجتماعات

تالاراجتماعات دبیرستانهاو دانشکده‌ها و یاتالارهای اجتماعات مذهبی معمولا " برای ایراد سخنرانی‌ها و نمایش فیلم‌های علمی ونیز اجرای تاترو کنسرت ویا برنامه های هنری دیگر مورد استفاده قرار میگیرند . از اینرو میتوان گفت که تالار اجتماعات بایستی جامع کلیه مشخصات سایر تالارها باشند با این تفاوت که تعداد تماشائیان در این گونــه تالار ها برحسب موارد استفاده از آن کاملا " متغیر است ، لذا پیش بینی کلیه این موارد و تطابق مشخصات آکوستیکی تالار با موارد استفاده از آن فوق العاده مشکل و حتی گاهی غیر ممکن است ، فقط می توان تا حدی بدان ها نزدیک شد ــ چنانچه ابعاد تالار طوری انتخاب گردد که در هنگام پر بودن تالار ۳ تا ۵ متر مکعب فضا برای هر تماشاگر در نظر گرفته شود دراین صورت می توان بخوبی از تالار برای سخنرانی استفاده نمود و حتی‌یک چنیــن تالاری برای ارکستر های کوچک و آواز نیز نامتناسب نمی باشد ــ ولی پس آوا در این حالت خیلی کم است وبرای ارکسترهای بزرگ و کر کافی نمی‌باشد ــ بطوریکه‌میدانیم

در حالتی که نسبت تماشاچی به حجم سالن زیاد است پس آوا تحت تاثیر آبسور پسیون جمعیت قرار میگیرد و باپیش بینی های ساختمانی نمی‌توان تالار رابرای کلیه مواردآماده نمود وبخصوص ازبکار بردن مصالح آبسور بنت اضافی باید خودداری گردد ــ ولی با این ترتیب در حالت خالی بودن سالن پس آوا خیلی بزرگ بوده و برای سخنرانی نامتناسب می گردد از اینرو در برخی از تالارهای اجتماعات با زیاد کردن دیفوزورها (از قبیل پوترهای نمایان ــ برجستگی های کم و بیش در دیوارها و سقف ــ قرینه نبودن تالار ــ بالکن ــ سقف کج و غیره) می توان ازکم شدن وضوح در حالت خالی بودن تالارجلوگیری کرد و حتی پرده های ضخیم در مقابل پنجره ها اغلب مفید واقع می گردند ــ چنانچه این پیش بینی‌ها کفایت ننمایند و تغییر وضع آکوستیکی تالار در موارد مختلف مورد نظر باشد می توان با ساختن آبسوربنت های متغیر که دو نمونه آن در شکل ۸۸ و ۸۹ نمایش داده شده است طبق برنامه معینی نسبت‌به تغییر دادن پس‌آوا قبل از آغاز برنامه اقدام نمود .

شکل ۸۸ ــ تالار با آکوستیک متغیر . تغییر آکوستیک توسط صفحاتی که یک روی آنها با مصالح آبسوربنت پوشش شده اند (P . Arni هلسینکی) .

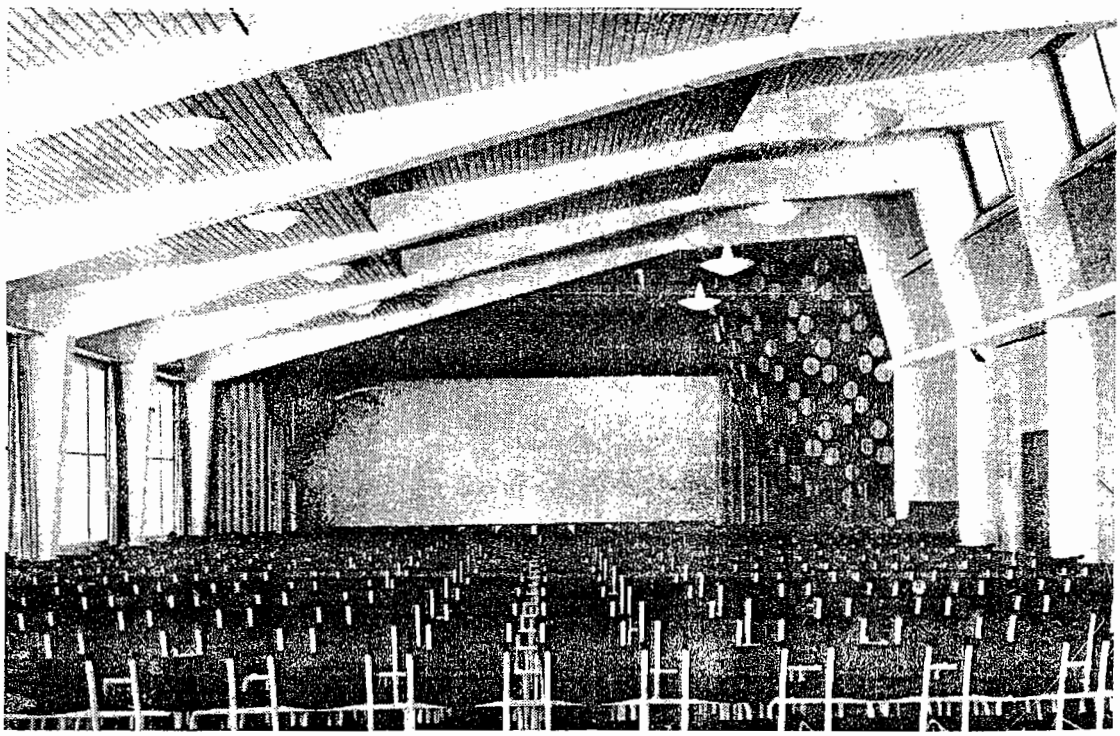
درشکل ۸۸ از تختـــه هائی که یک روی آنها از مصالح آبسور بنت پوشانیده‌شده استفاده گردیده است که می توان با پشت و رو کردن آنها قبل از اجرای برنامه پس‌آوای مورد نظر را باترکیب آنها بوجود آورد ــ درشکل ۸۹ همان تخته ها را در بالای یک‌تالار بزرگ نصب نموده‌اند که می‌توان بوسیله اهرم ومیله حتی درحین اجرای برنامه نیزنسبت به تغییر دادن زاویه و پشت و روکردن آنها اقدام نمود ــ انواع دیگری از تالارهای با ــ آکوستیک متغیر ساخته‌اند که در برخی از آنها در دیوارها استوانه هائی نصب می نمایند که فقط قسمت کوچکی‌از آنها درتالار نمایان میگرددو دور تادور استوانه‌را از مواد مختلف آبسوربنت طوری می پوشاند که با چرخانیدن استوانه ها و ترکیبات مختلف آنها از تالار یا استودیو برای کلیه موارد استفاده گردد .



تالار اجتماعات مدرسه موریفلد[1] (برن)

شکل ۹۰ تالار اجتماعات مدرسه موریفلد و شکل ۹۱ نقشه شماتیک آن را نمایش می دهد .

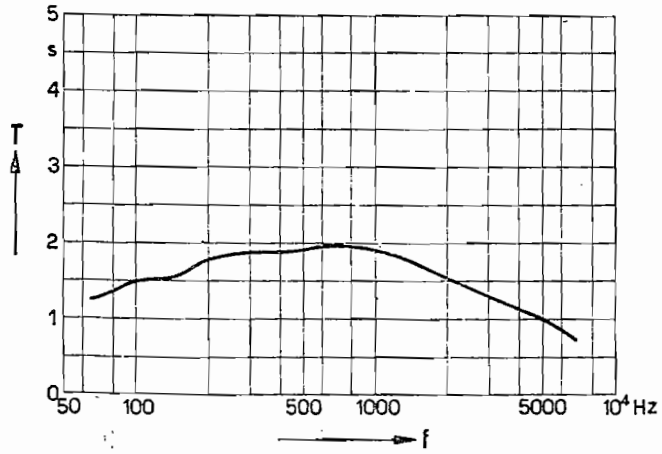
گنجایش این تالار ۳۵۲ نفر و حجم آن ۱۶۰۰ متر مکعب می باشد که در نتیجه حجم مخصوص آن ۵ متر مکعب برای هر نفر خواهد شد ــ با طرز ساختمانی خاص (سقف شیب دار پوترهای برجسته ــ سقف کاذب گچی ــ پنجره‌های بزرگ با پرده وغیره)پس آوای این تالار (شکل ۹۲) بطرز کاملا " جالبی برای کلیه احتیاجات مدرسه متناسب میباشد ، بدین معنی که پس آوا درحالت خالی بودن سالن بین ۵ /۱ تا ۲ ثانیه است که بخصوص



شکل ۹۰ ــ تالار سرود در مدرسه موریفلد

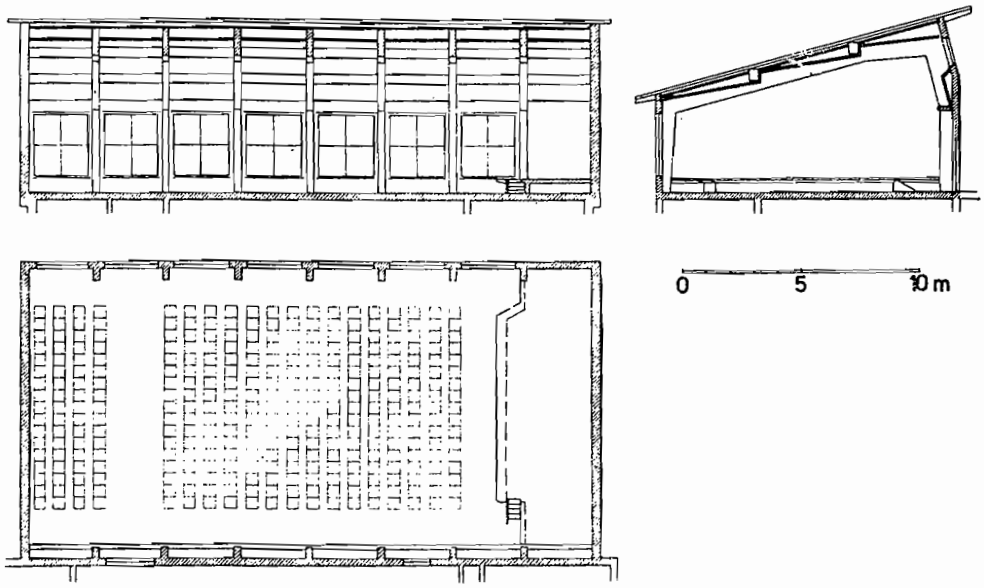
---

1)- Murifeld,Bern



شکل ۹۲ ــ طنین تالار سرود مدرسه موریفلد

بعلت وجود سطوح پوسته ای (سقف کاذب و پنجره ها) پس‌آوا برای نغمه های بم ، کم وبرای سخنراني فوق العاده متناسب میباشدو نیز بعلت زیاد بودن‌پس‌آوا در فرکانسهای میانگین میتوان‌از این تالار برای‌کر و کلاس درس‌آواز وموسیقی نیز بخوبی استفاده‌نمود .



شکل ۹۱ ــ تالار سرود مدرسه موریفلد (آرشیتکت H. Daxelhofer ۱۹۵۳)

پس‌آوای این تالاربا ۳۵۲ نفر تماشاگربه ۹ ,۰ ثانیه تنزل می‌یابد که این‌مقدار برای گفتار کاملا "متناسب است ولی برای آواز وکر خیلی کم است . ولی همچنانکه قبلا " نیز گفته شد این‌وضع رانمیتوان بسهولت‌تغییر دادو این‌مقادیر برای این تالارها تقریبا " مشابه است .

تالار اجتماعات مذهبی فارل[1] (بیل)

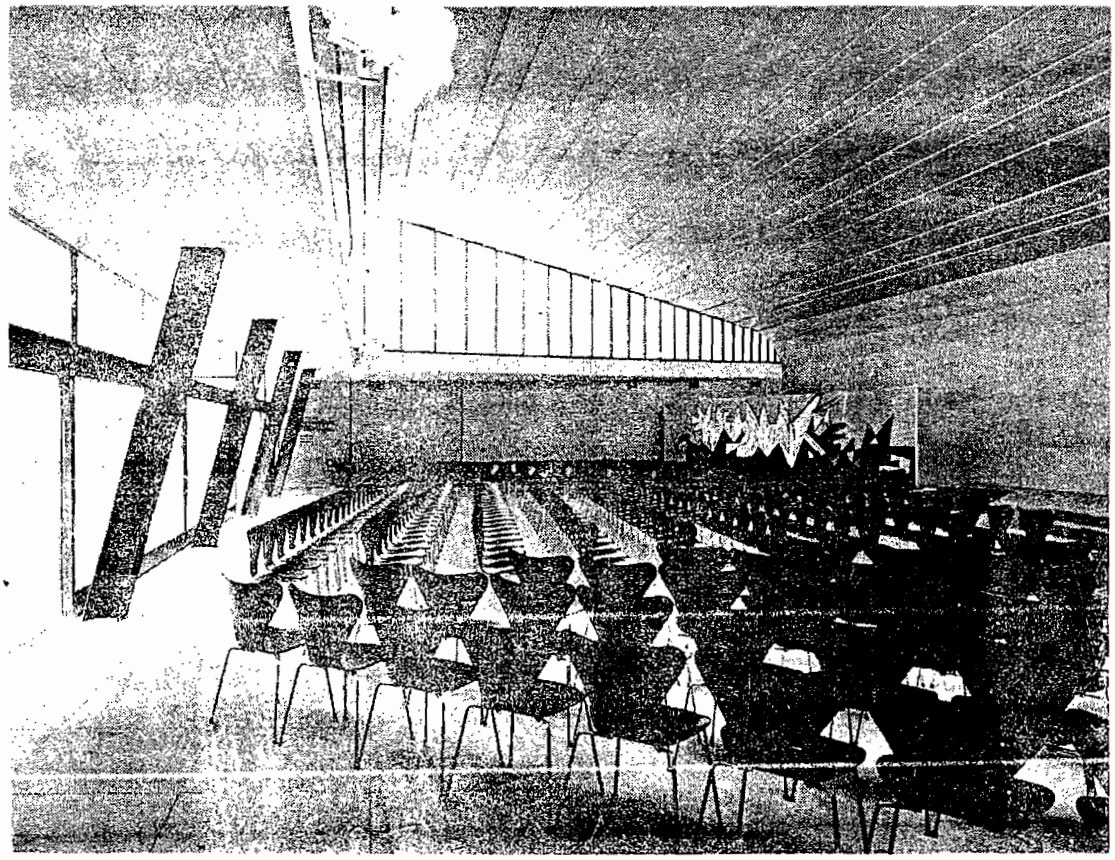
تالارهای اجتماعات مذهبی که معمول در کنار کلیساها و در برخی از نقاط دیگر (نظیر ایستگاههای راه آهن ــ فرودگاهها ــ دهات‌کوچک ــ مدارس ــ دانشکده‌هاوغیره) برای انجام فرائض دینی و سخنرانی های مذهبی تاسیس می گردند بایستی هم دارای خصوصیات تالارهای سخنرانی‌و هم کلیساها باشند که این دو از نظر مشخصات آکوستیکی درست درنقطه مقابل یکدیگر قرار دارند .پس آوای‌این نوع تالارها بایستی طوری‌انتخاب گردد که‌برای هر دو نظر کفایت نماید ازاینرو حجم مخصوص این تالارها را بیش از ۵ متر مکعب برای‌هرتماشاچی در نظر می‌گیرند وبخصوص باید سعی گردد که از بکار بردن‌مصالح آبسوربنت صرف نظر گردد وفقط برای کم‌کردن پس‌آوا برای‌نغمه‌های بم‌از سطوح پوسته‌ای استفاده می گردد .

شکل ۹۳ و ۹۴ نمایش یک نمونه از این تالارها است که تالار فارل در شهر بیل میباشد که ازیک ساختمان‌آهنی غیرقرینه تشکیل گردیده است و سقف کاذب آن‌عبارتست از سطوح چوبی و دارای پنجره های بزرگ نیز می باشد ــ این تالار با گنجایش ۳۲۰ نفرو بحجم ۱۸۰۰ متر مکعب دارای حجم مخصوص ۵ /۵ متر مکعب برای هر نفر می باشد .

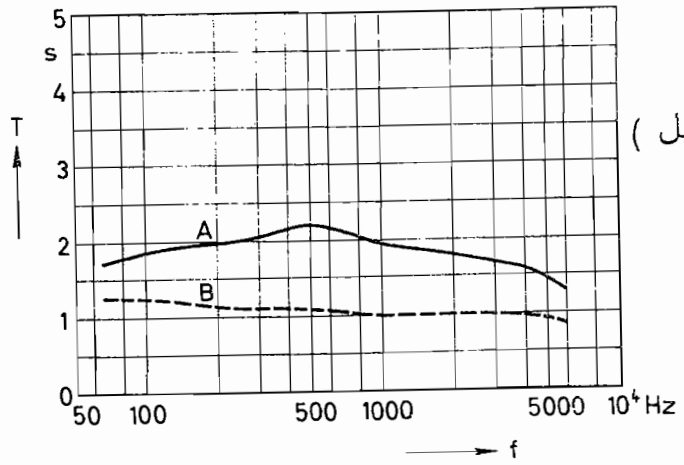
منحنی پس آوای این تالار در شکل ۹۵ نمایش داده شده است که بدون حضور جمعیت بیش‌از۲ ثانیه و باجمعیت در حدود ۱ /۱ ثانیه میباشد که بخصوص یکسان‌بودن آن اجازه میدهد که این تالار را برای سخنرانی های مختلف و حتی برای سخنرانان غیر حرفه ای نیز مجاز دانست و ضمنا " برای اجرای کرهای مذهبی و ارگ نیز میتوان از آن ــ استفاده نمود ولی پس آوا برای این حالت نامتناسب است .

---

1) - Farel - Saal , Biel



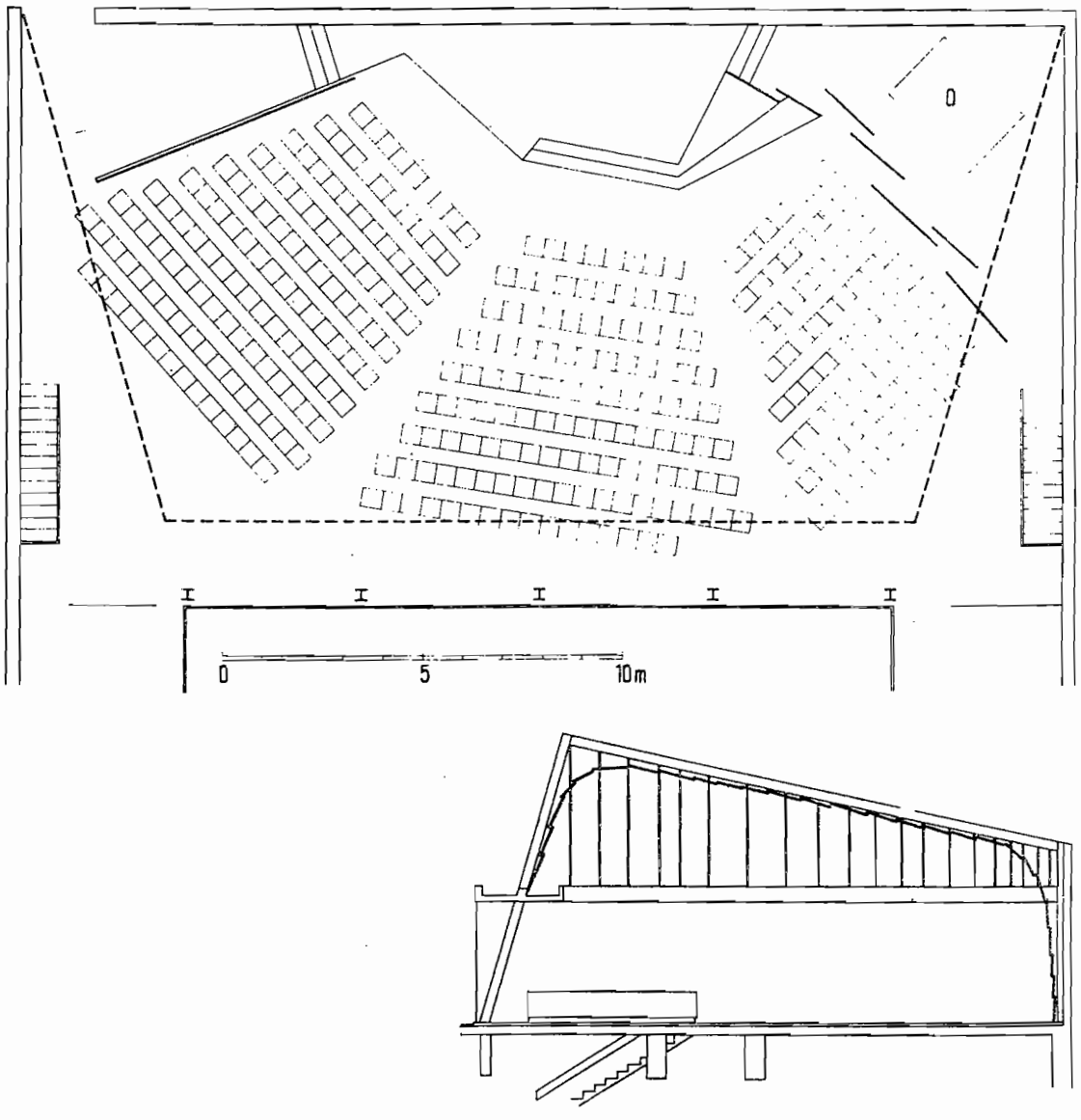
شکل ۹۳ ــ تالار فارل (بیل
ــ محل ارگ ۵



شکل ۹۵ ــ طنین تالار فارل (بیل)

A ــ خالی

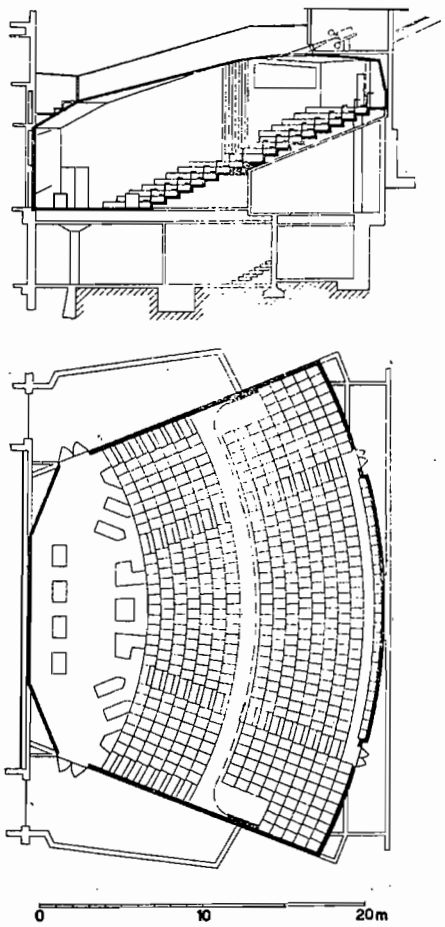
B ــ با جمعیت



شکل ۹۴ ــ تالار اجتماعات مذهبی فارل (بیل)

تالار های کنفرانس

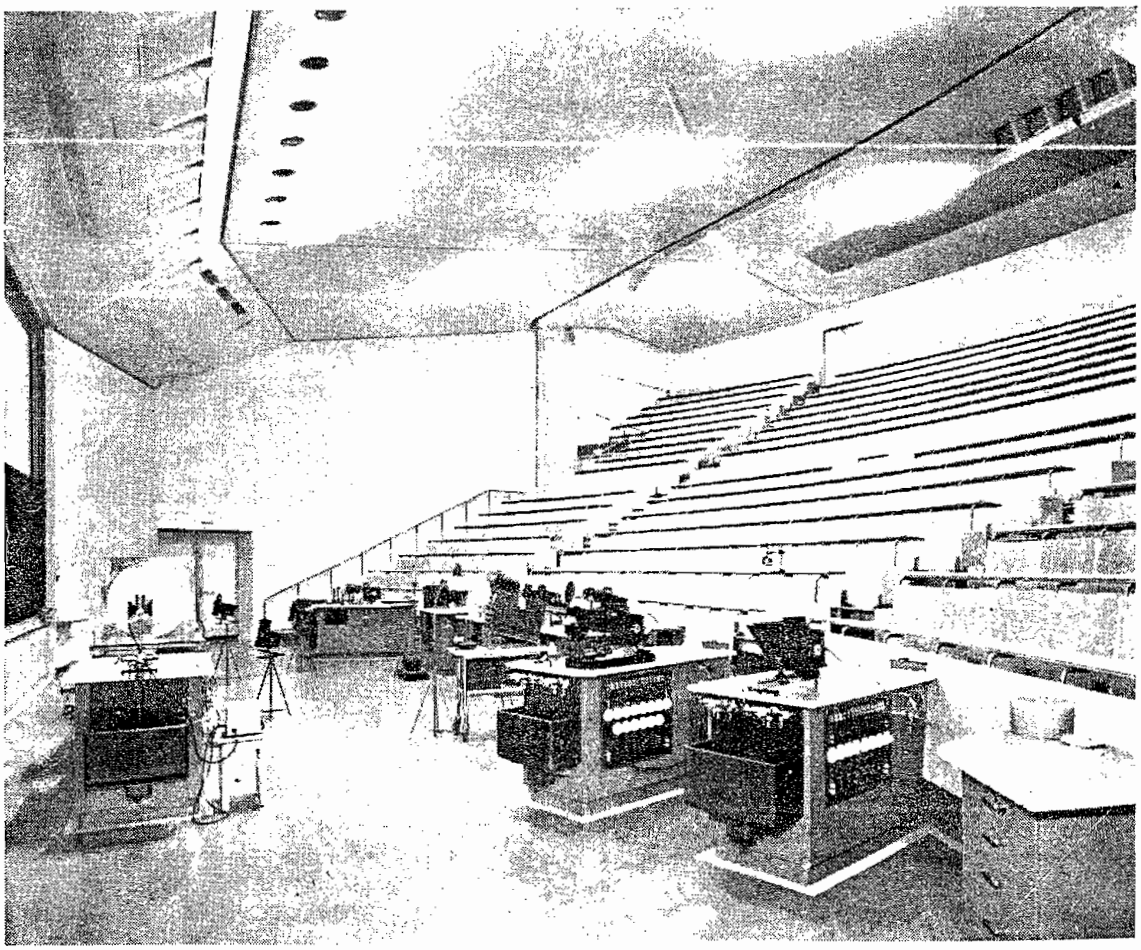
در دانشگاهها معمولا" برای تدریس دروس عمومی (فیزیک ــ علوم ــ ریاضیات پزشکی ــ و غیره) تالارهای کنفرانس بزرگ یا متوسطی ساخته می شوند که منحصرا" برای تدریس و یا نمایش پدیده های علمی یا تشریح و غیره بکار برده میشوند که بایستی برای این حالت خاص علاوه برآکوستیک به دید بدون مانع و مستقیم دانشجویان توجه گردد و ازاینرو اختلاف ارتفاع ردیف‌ها از یکدیگر بایستی خیلی بیش از مقدار مورد لزوم برای آکوستیک باشد و بخصوص به پس‌آوای گفتار نیز بایستی توجه گردد که در اینصورت شیب کف تالار خیلی بیش ازسایر انواع تالارهاو حجم آن‌کمتر از سایر تالارهای مشابه انتخاب می‌گردد وبایستی پس ازآماده شدن سالن نسبت به بکار بردن مواد آبسوربنت درآن‌پس از آزمایش تصمیم اتخاذ گردد .



شکل ۹۶ ــ تالار بزرگ فیزیک در دانشکده فنی زوریخ

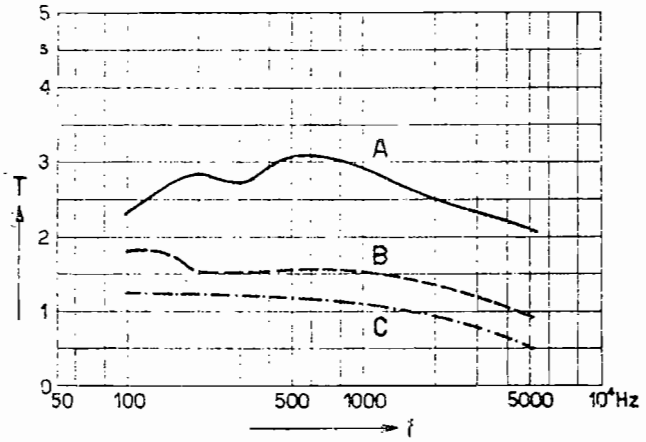
تالار فیزیک دانشکده فنی زوریخ

در شکل ۹۶ و ۹۷ تالار فیزیک دانشگاه فنی زوریخ که بگنجایش ۵۲۰ دانشجو و حجم ۲۶۰۰ مترمکعب (۵ متر مکعب برای هرنفر)و بفرم ذوذنقه ساخته شده‌است مشاهده میگردد، دراین تالارهیچگونه آبسوربنت‌اضافی بکاربرده نشده‌است شکل ۹۸ منحنی پس‌آوای این تالار را در حالات مختلف نمایش می دهد که در منحنی A پس‌آوای سالن خالی ، B با ۲۲۰ نفر و C با ۵۲۰ نفر ترسیم گردیده‌است . چنانچه دیده می شود ، درحالت



شکل ۹۷ ــ تالار بزرگ فیزیک در دانشکده فنی زوریخ

دوم که تالار نیمه پر است طنین در حدود ۵ /۱ ثانیه میباشد که برای گفتار تا حدی‌زیاد است و بهتر است که این تالار با مقداری مواد آبسوربنت پوشانیده شود تا در این حالت نیز قابل استفاده گردد . معمولا" در اینگونه تالارها که‌حجم آنها تا حدود ۱۰۰۰متر



شکل۹۸ ــ پس‌آوای تالار بزرگ فیزیک در دانشکده فنی زوریخ ــ حجم ۲۶۰۰ متر مکعب

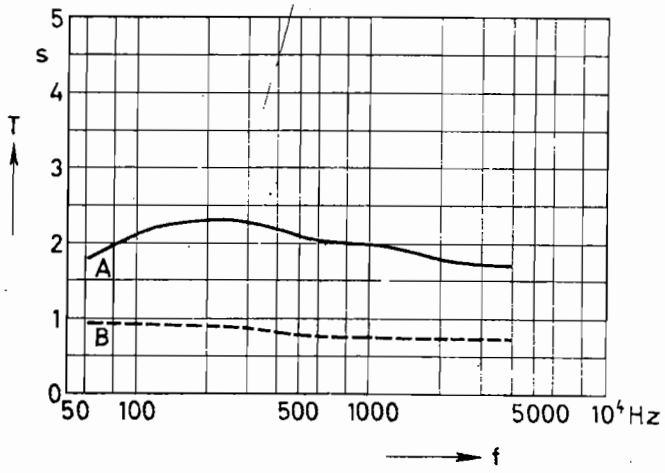
A : خالی B : با ۲۲۰ نفر C : پربا ۵۲۰ نفر

مکعب باشد آبسوربنت بکار نمی برند ولی در تالارهای بزرگتر بایستی مقداری آبسوربنت وبخصوص دردیوار مقابل صحنه بکار برده شود . در تالارهای تدریس خیلی بزرگ (۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر مکعب) استفاده از بلندگو نیز توصیه می گردد .

تالار فیزیک دانشگاه زوریخ

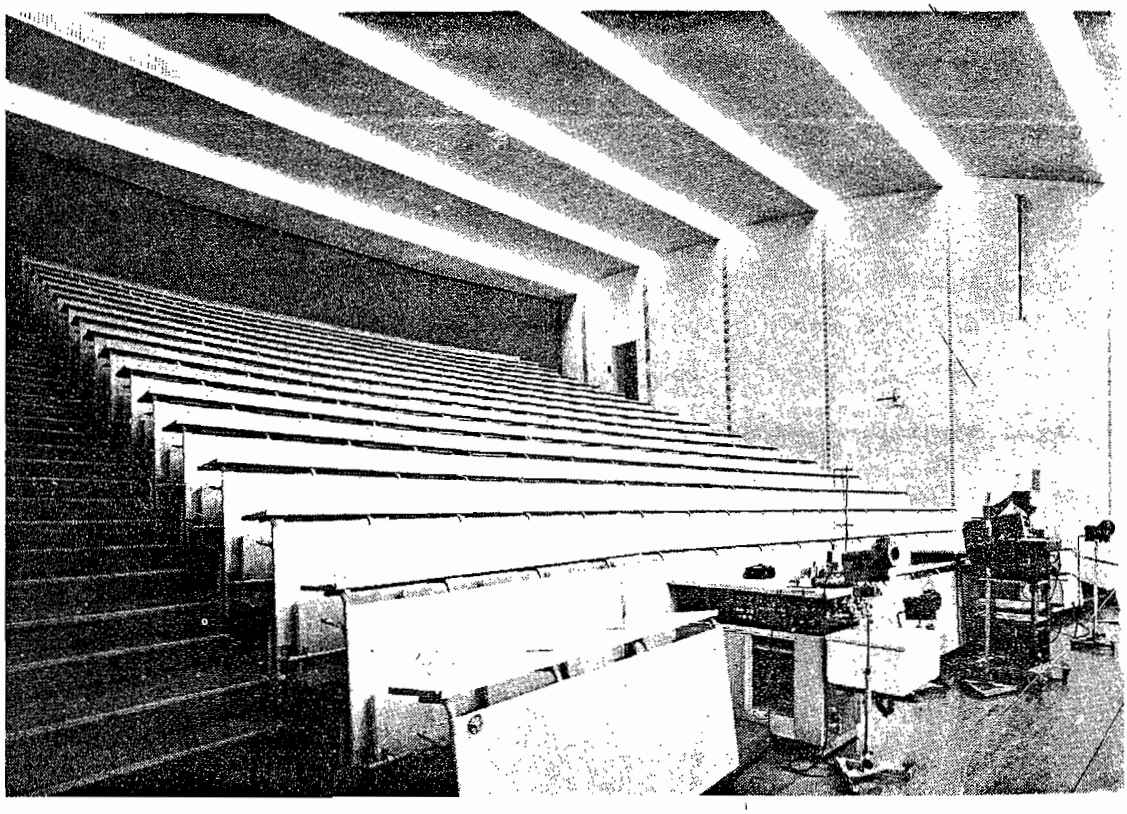
گنجایش این تالار ۲۵۰ نفر و حجم آن ۱۱۰۰ متر مکعب (شکل ۱۰۰ و ۱۰۱) است که دارای ۴ /۴ متر مکعب فضا برای هر نفر میباشد .

در این تالار کوشش شده است که با پیش بینی های لازمه آنرا بصورت نیمه پر نیز قابل استفاده نمایند ــ سقف کاذب‌آن از ۸ قطعه تشکیل گردیده که زاویه هریک‌نسبت بدیگری طوری انتخاب گردیده است که بازتابهای آنها ردیف های از وسط تا آخر را فرا گیرند ــ از همین ترتیب نیز برای پوشش دیوارهای جانبی استفاده شده و آنها را نیز به ۸ قسمت نموده‌اند که دیواره‌ها بطورعمودی در حدود ۷ درجه‌متمایل‌کار گذارده‌شده‌اند .

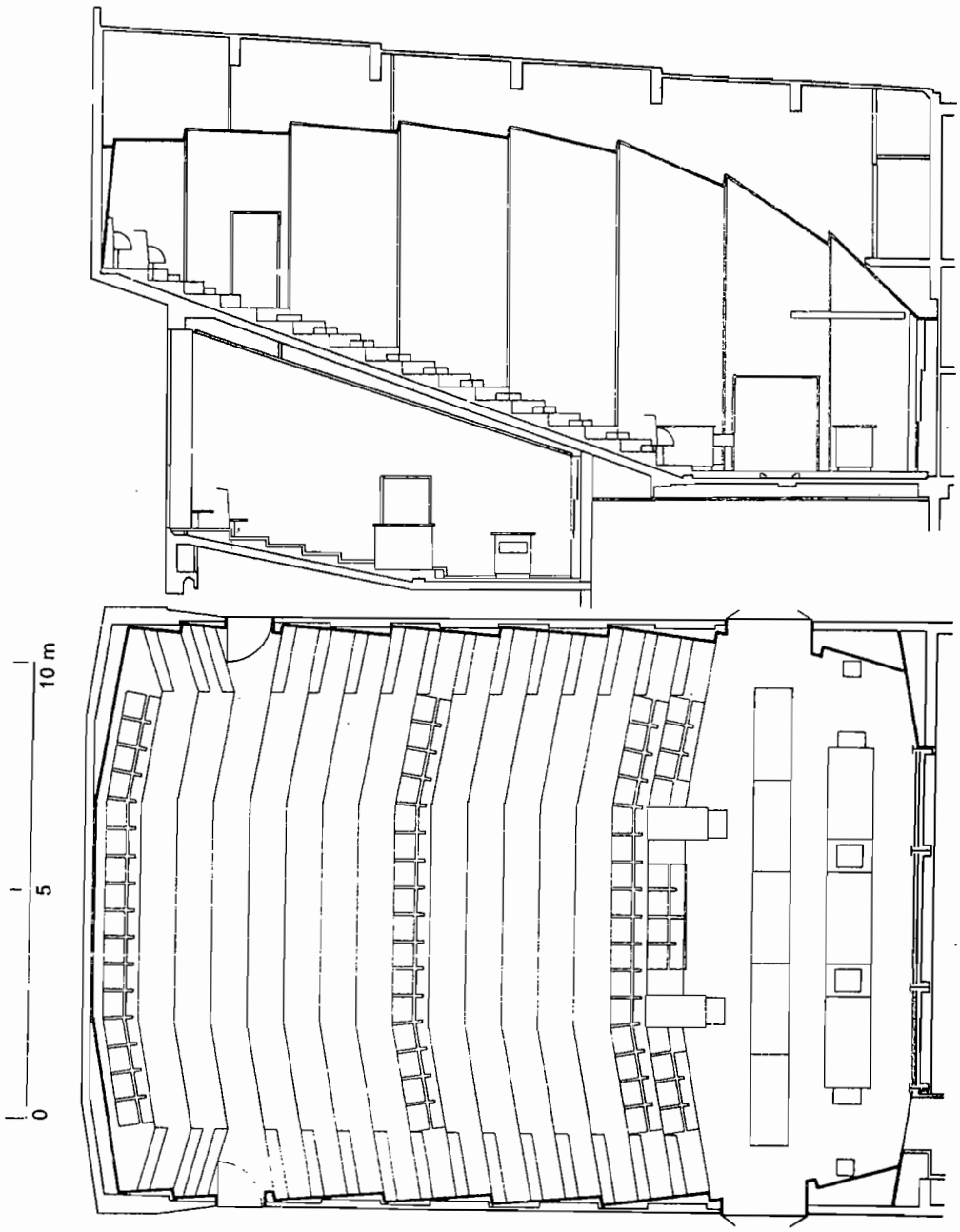


شکل ۹۹ ــ پس‌آوای تالار ۱۱۰۰ متر مکعبی فیزیک دانشگاه زوریخ

A ــ خالی B ــ با ۲۰۰ نفر



شکل ۱۰۱ ــ تالار فیزیک دانشگاه زوریخ



شکل ۱۰۰ ــ تالار فیزیک دانشگاه زوریخ

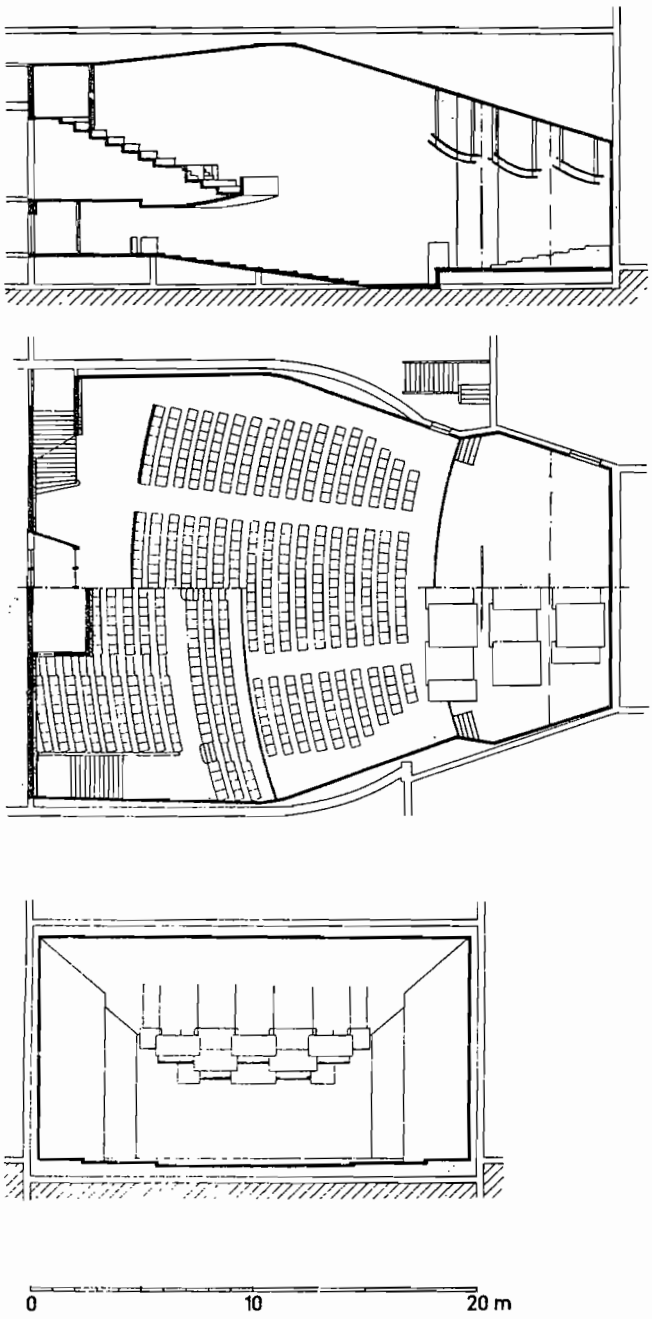
پس آوای آن بطور متوسط در حدود ۲ ثانیه برای تالار خالی و ۰٫۸ ثانیه برای تالار پر میباشد (شکل ۹۹)که مرهون بکار بردن سقف و دیوارهای کاذب و مقداری مصالح پوروز در دیوار عقب تالار میباشد . بسبب سقف کاذب متمایل و منقسم دیفوزیته بسیار خوب و وضوح گفتار در کلیه ردیف ها ایده آل میباشد .

آمفی تاترها

آمفی تاتر موزه مترو پلیتن (نیویورک)

در شکل ۱۰۲ کوپ این آمفی تاتر که در سال ۱۹۵۲ در نیویورک بنا شده است و یکی از بهترین نمونه های آمفی تاترها که برای موارد مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد می باشد ، نمایش داده شده است . گنجایش این تالار ۸۱۰ نفر و حجم آن ۳۳۲۰ متر مکعب میباشدکه در نتیجه حجم مخصوص آن معادل ۴٫۱ متر مکعب برای هر نفر می‌گردد که برای گفتار کاملا "متناسب می‌باشد وهمچنین برای ارکسترهای کوچک نیز قابل استفاده است :

برای کم کردن پس آوا در این تالار دیوارهای عقب تالار را با مصالح آبسوربنت پوشانیده اند و برای بهتر کردن دیفوزیته ورسانیدن بازتابهای مفید به ردیف های عقب و پائین از رفلکتورهائی که بصورت پهنه های برجسته و در بالای صحنه آویخته شده اند استفاده میگردد . برای ازدیاد دیفوزیته رفلکتورها را در دو ارتفاع مختلف بنا کرده‌اند که درشکل ۱۰۲ بخوبی طرز نصب آنها دیده میشود این پهنه ها را میتوان از مصالح شفاف (پلکسی گلاس) ساخت که ضمنا " در صورت وجود گچ بریها یا کاشی کاریهائی دراطراف صحنه ،از پنهان شدن آنان جلوگیری گردد . پوشش دیوارهای این تالار را برای کم کردن طنین نغمه های بم با تخته پوشش نموده اند .



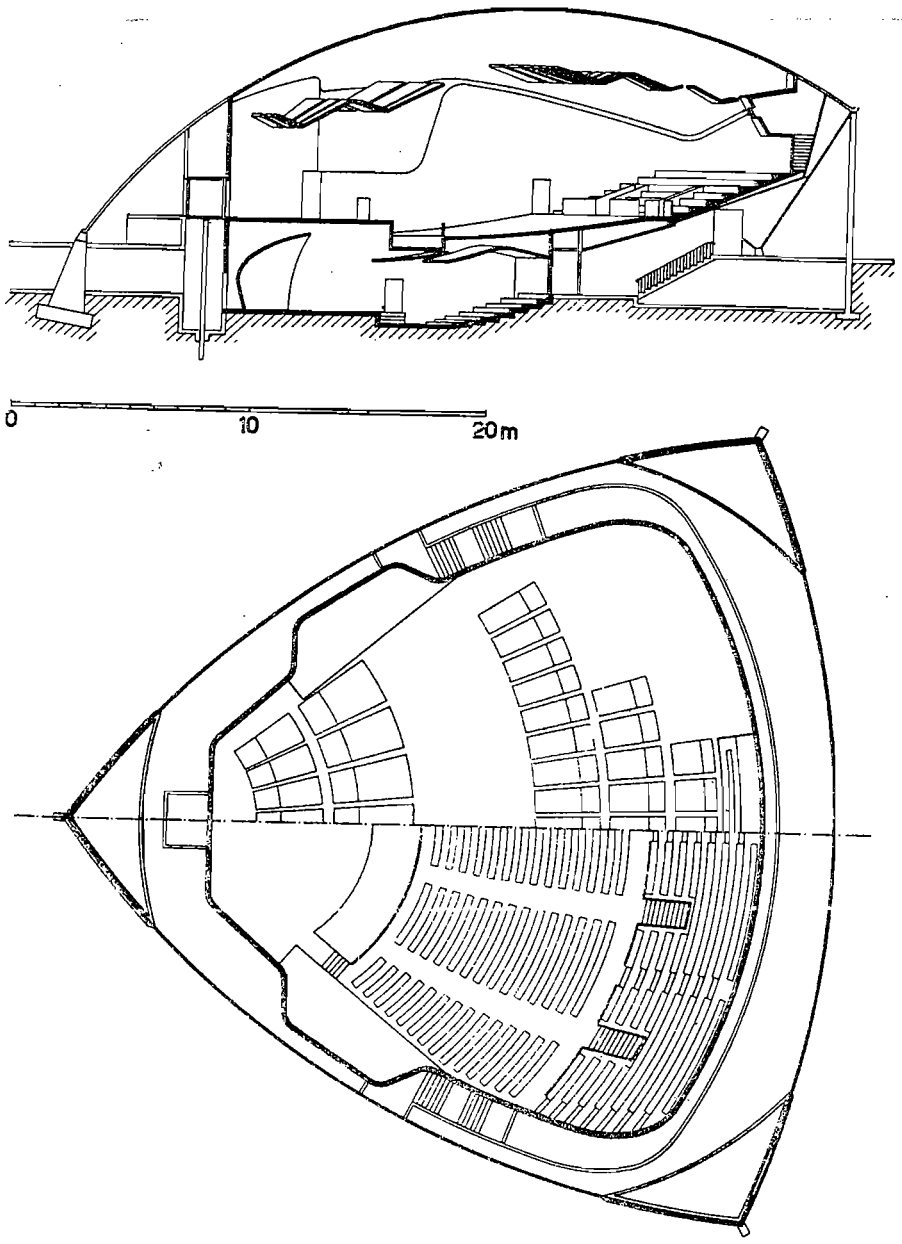
شکل ۱۰۲ ــ تالار اجتماعات موزه متروپلیتن (نیویورک)

آمفی تاتر کر سگ[1] (دانشگاه کمبریج ــ ماساچست)

بعنوان یک‌نمونه از کارهای هنری در ساختمان آمفی تاتر میتوان تالار کر سگ در ماساچوست اینستیتوت آوتکنالوجی‌در ایالت بستن (کمبریج)را نام برد (شکل ۱۰۳) ــ فرم خارجی این تالار عبارتست از کا سه ای از بتن که در سه نقطه متکی می باشد ووظیفه آکوستیکر بکار بردن تدابیری است که از این کاسه بتنی بتوان حد اکثر استفاده را برای موارد مختلف بوجود آورد . بدین ترتیب که با دیفوزورها و رفلکتورهای آویخته درسقف و دیوارها از تجمع انرژی در یک نقطه جلوگیری و میدان آوای یکنواختی ایجاد گردیده است . گنجایش این تالار ۱۲۳۸ نفر و حجم آن ۱۱۰۰۰ متر مکعب می باشد که بدین ترتیب‌حجم مخصوص۹ متر مکعب برای هرنفر می باشد ــ بعلت بزرگ بودن حجم‌مخصوص دراین تالار مقدار زیادی مصالح آبسوربنت بکار برده شده است تا پس‌آوای آن به مقدار مطلوب برای گفتار و مقدار متناسب برای‌موزیک محدود گردد که در نتیجه پس‌آوای تالار خالی ۱/ ۷ ثانیه وتالار باحضور ۱۲۰۰ نفر و ۱/ ۵ ثانیه میگردد که بعلت وجودمبلهای پارچه ای اختلاف بین پس‌آوای تالار خالی و پر خیلی کم است ــ از این تالار معمولا" برای اموردانشگاهی استفاده بعمل می‌آید ولی اغلب‌نیز برای تاترو اجرای‌قطعات موسیقی از آن‌استفاده می‌نمایند ــ برای تدریس و سخنرانی ها در این تالار دستگاه تقویت‌کننده و بلندگوی متناسبی نیز نصب گردیده است .

---

1)- Kresge MIT Cambriege Mass.



شکل ۱۰۳ ـ تالار اجتماعات کرسگ در دانشگاه MIT کمبریج ـ ماساچوست
(آرشیتکت E.SAARINEN ـ آکوستیک . BERANEK-BOLT و
NEWMAN ۱۹۵۵)

سالن ورزش

سالنهای ورزش را معمولا" بابعاد ۸ ۵/ × ۱۲ × ۲۴ متر (۱۶۷۰ متر مکعب) و یا ۷ × ۱۸ × ۳۰ (۳۷۸۰ متر مکعب) می سازند . این سالنهابدون مصرف آبسوربنت‌ها دارای پس‌آوای غیر قابل تحملی میگردند که بخصوص باتوجه به غوغای اینگونه سالنها و صداهای ناشی از وسائل ورزشی با این پس‌آوای زیاد (بین ۴ تا ۶ ثانیه) آزارشدیدی برای کارمندان آن ایجاد مینماید که برای رفع آن بکار بردن مصالح آبسوربنت بخصوص برای فرکانسهای کم و متوسط ضروری میباشد ــ این مواد آبسوربنت را بهتر است درسقف وبصورت پهنه‌های پوسته‌ای بکاربرد . مناسب‌ترین آبسوربنت برای سالنهای ورزش آکوستیک تایل بزرگ است که برروی چوب بست با فاصله برروی سقف و دیوار نصب میگردند ــ ضمنا" کف سالنهای ورزش را نیز معمولا" بصورت کف کاذب می سازند که هم حالت فنری و نرم داشته باشندو هم ازنظر جذب نواهای بم (۱۰۰ تا ۵۰۰ هرتس) موءثر باشد ــ بدیهی است که پنجره های بزرگ سالنهای ورزش نیز در جذب نواهای بم فوق العاده موءثرند .

جدول زیر نمایش مقادیر اندازه‌گیری شده در یک سالن ورزش ساخته شده‌ازآجر و بتون و سقف بتنی میباشد .

طرز اندازه گیری	طنین در فرکانسهای		
	۱۶۰۰ ــ ۶۴۰۰	۴۰۰ ــ ۱۶۰۰	۱۰۰ ــ ۴۰۰
سالن‌ورزش بدون پوشش‌آبسوربنت	ثانیه ۴ ــ ۳	۶ ــ ۵	۸ ــ ۶
سالن‌ورزش فوق‌با پوشش‌آکوستیک تایل درتمام سقف‌برروی‌چوب‌بست	" ۲ ــ ۱/ ۵	۲/ ۳	۳ ــ ۲

چنانچه دربرخی ازشهرهای دنیا معمول است اگر از سالن ورزش استفاده‌دیگری مانند برگزاری جشنها و اجرای‌برنامه های هنری و کنسرت بعمل آید در این صورت باید

توجه گردد که درسالن کوچک ورزش (۱۶۷۰ متر مکعب) میتوان بخوبی ۵۰۰ نفرتماشاگر جای داد که در اینصورت حجم مخصوص آن ۳ /۳ متر مکعب برای هر نفر میگردد که این خود پس آوا را از ۵ ثانیه به ۸۵ /۰ ثانیه تقلیل میدهد و بدیهی است که با توجه به‌این نکته نمیتوان در این گونه سالنها مصالح آبسوربنت بکار برد و ناراحتی ناشی ازپس‌آوای زیاد رابایستی تحمل‌نمود ــ برای اینگونه مواردبهتر است سالنهای ورزش را قدری‌دیفوز بسازند (سقف‌شیب‌دار ــ پوترهای نمایان ــ پنجره‌های تورفته ــ کوپ ذوذنقه‌ای‌وغیره) . معذالک این گونه راه حلها نتیجه چندانی ندارند و بایستی از بنای صحنه و تریبون در سالنهای ورزش بطور کلی خودداری گردد .

پارلمان

درتالارهای پارلمان مسئله اساسی وضوح کامل‌گفتاراست که‌متاسفانه‌بعلت‌نوع‌خاص ساختمان، خوبی آکوستیک در این حالت تحت الشعاع مسائل دیگری از جمله‌آرشیتکتور خاص پارلمان می باشد ــ بخصوص باید در نظر گرفته شود که حجم مخصوص در پارلمان همواره خیلی بیش از مقدار مجاز برای گفتار میباشد .

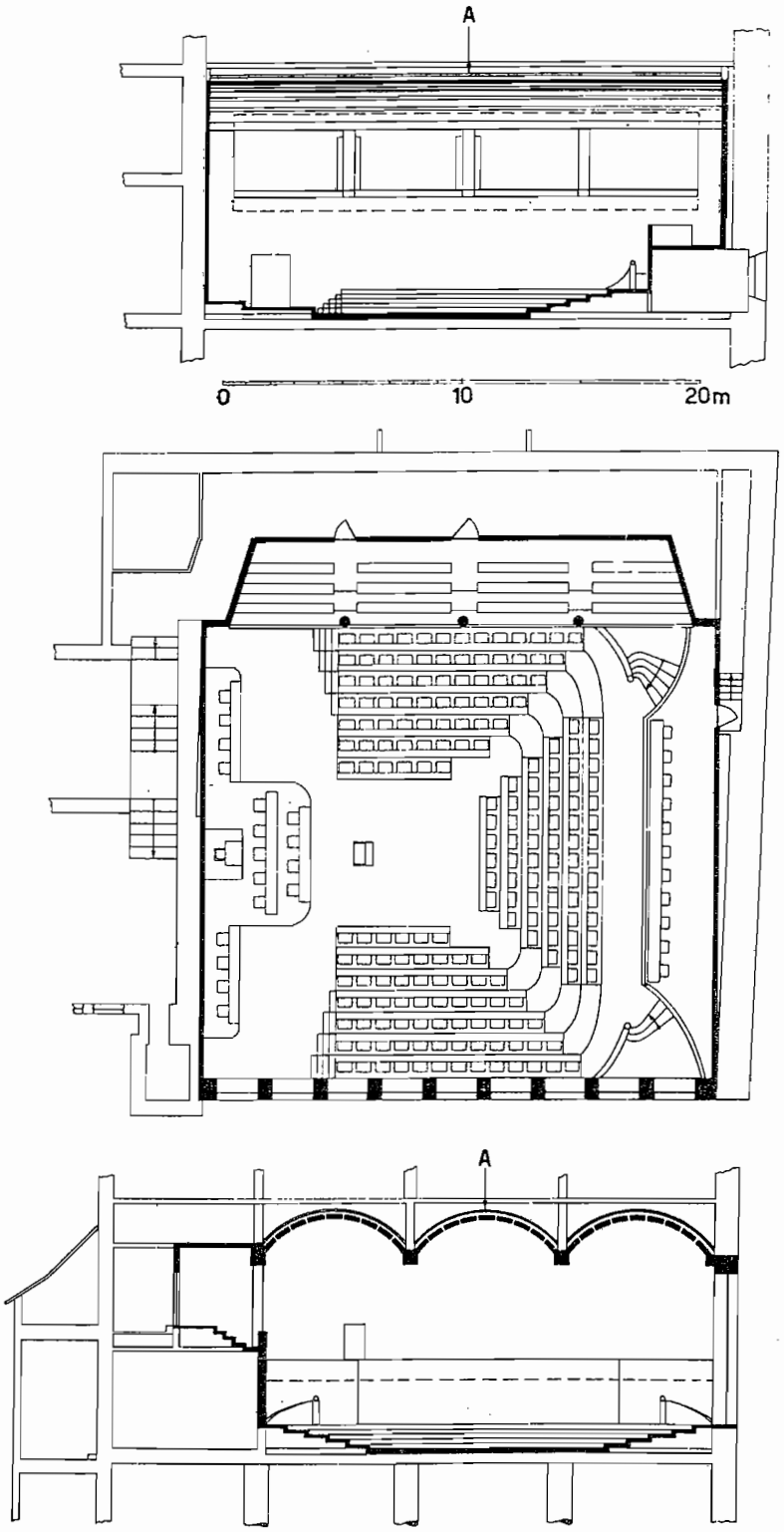
تالار ناسیونال رات دربرن[1] (مجلس شواریملی)

حجم این‌تالار ۶۰۰۰متر مکعب میباشدو گنجایش آن‌بانضمام تماشاگران حداکثر ۵۰۰ نفراست، حجم مخصوص آن ۱۲ متر مکعب برای هر نفر میگردد که این مقدار بمراتب بیش ازمقدار مجاز برای تالار کنسرت نیز می‌باشد . پس آوای این تالار باین ترتیب‌بیش از ۲ ثانیه میباشد که بیش از مقدار مجاز (در حدود یک ثانیه) است و بعلت نوع خاص ساختمان این تالار که دارای گچ بریها و تزئینات داخلی است امکان استفاده از مصالح آبسوربنت وجودنداشته است که بالاجبار برای بالابردن وضوح‌از یک‌دستگاه کامل و گران بهای آمپلی فایر و بلندگو استفاده شده است که هم ازنظر نگهداری احتیاج به کارمندان

---

1)- Nationalrats Sall,BERN

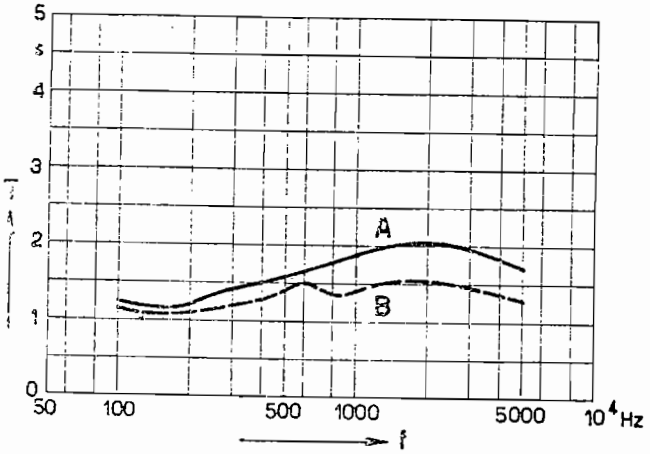
وارد و تعلیم دیده ای دارد و هم برخلاف سنت دیرینه ، نمایندگان مجبورند برای هر نطق کوتاه پشت تریبون و میکروفن قرار گیرند درحالی که بدون بلندگو می توانستند از جای خود در مباحثات و مذاکرات مجلس شرکت جویند .



شکل ۱۰۴ ــ تالار بزرگ شهرداری برن

ب) تالار بزرگ شهرداری برن

تالار بزرگ پارلمان درشهرداری برن‌که درقرون وسطی بنا گردیده است در سال ۱۹۴۲ تعمیر اساسی شده وبصورت امروزی (شکل ۱۰۴) درآمده است ــ حجم این‌تالار ۱۳۵۰ مترمکعب و گنجایش ۳۰۰ نفر را دارد که ۰ر نتیجه حجم مخصوص آن ۱۰ مترمکعب برای‌هرنفرمیگردد . سقف‌آجری‌آن‌که‌با مصالح‌آبسوربنت‌پوشانیده‌شده‌است‌چنان‌درجذب غوغا موثراست‌که‌پس‌آوای یک چنین‌تالاری را بدون حضور جمعیت به ۷ ,۱ ثانیه محدودنموده است و با حضور جمعیت نیز این مقدار به ۴ ,۱ ثانیه تنزل می یابد که مقداری مجاز میباشد (شکل ۱۰۵) .



شکل ۱۰۵ ــ پس‌آوای تالار بزرگ شهرداری برن

A ــ خالی B ــ مملو از جمعیت

باوجود متناسب بودن پس‌آوای این تالار برای گفتار باز بعدا" در این‌تالاریک دستگاه بلند گوی ممتاز بعلت وجود غوغای دائمی در تالار پارلمان و سخن گوئی افرادی که تبحری در این رشته ندارند ، نصب گردیده است .

هاوس چمبر و سنات چمبر[1] در کاپیتول (واشینگتن)

در این دو تالار پارلمان آمریکا در سال ۱۹۵۱ بخصوص از نظر اصلاح آکوستیک

---

1)- House chamber & Senate chamber, Capitol

تجدید بنا و تعمیر شده وسقف آن باپوشش آبسوربنت مستورگردیده است ــ این آبسوربرها عبارتند از صفحات فولاد ضد زنگ سوراخ دار که پشت آنرا با طبقه ای از مواد الیافی پر نموده اند با این ترتیب هم از نظر آکوستیک و هم از نظر تهویه امکانات لازمه در سقف ایجاد گردیده است و ضمنا" از نظر روشنائی نیز اثر مطلوبی داشته است . از طرفی کلیه صندلیهای این تالارها رابا مبلهای پارچه‌ای تعویض نموده‌اند و برخی ازقسمتهای دیوارها را نیز هرجاکه میسر بوده بامصالح آبسوربنت مستور نموده‌اند .پس از اجرای این اصلاحات مشخصات آکوستیکی این دو تالار بشرح زیر بوده است .

پس آوای هاوس‌چمبر باحجم ۱۳۲۰۰ مترمکعب ۱/۷ ثانیه و از آن سنات چمبر با ۷۵۰۰ متر مکعب ۱/۵ ثانیه می باشد ، در هاوس چمبر باوجود آکوستیک خوب برای موارد ضروری دستگاه بلند گو نصب گردیده است ولی در سنات چمبر بعلت سنت دیرینه که سناتورها ازجای خود درمباحثات شرکت می جویند از نصب بلندگو صرف نظر گردیده است .معذالک نصب دستگاه بلندگو درتالارهای پارلمان‌ضروری بنظر میرسد وحتی اخیرا" ضمن تعمیر تالار مجلس عوام انگلستان در آنجا نیز بلندگو نصب شده است .

تالار کنسرت

در مورد مشخصات آکوستیکی تالارهای کنسرت چنانچه قبلا" نیز ذکر گردیده است عقاید دانشمندان و اهل فن یکسان نیست و اختلاف نسبتا" زیادی نیز با یکدیگر دارند ــ باوجود این آنچه که مورد قبول عامه است پس آوای نسبتا" بزرگ برای اینگونه تالارها است که نتیجه عملی آن بزرگ انتخاب کردن ابعاد تالار است که حد اقل حجم مخصوص آن بین ۷ تا ۱۰ مترمکعب فضابرای هرنفر باشد ــ بدین معنی که‌اگر حجم‌مخصوص را از این کمتر انتخاب نمایند تاثیر تماشاگران‌در آکوستیک تالار آنچنان میگردد که برای کنسرت دیگر متناسب نخواهد بود ــ در حالی که اگر پس آوا با حضور تماشاچیان بزرگتر از حد مجاز هم باشد کم کردن آن اشکال چندانی ندارد .

تالارهائی‌که در قرن نوزدهم بناگردیده‌اندعموما "دارای‌فرم‌مستطیلی‌بادیوارهای متوازی می‌باشند وسقف آنها مسطح وافقی بنا گردیده است و دارای بالکن جانبی باریک نیز می باشند . بالکن عقب این تالارها بزرگ می باشد و تقریبا" در امتداد تالار اصلی قرار گرفته است ــ ازجمله‌این‌تالارها سن آندریوزهال ،که‌بزرگترین تالار کنسرت است و سمفونی هال بستن ، که دارای گالری های بزرگی نیز میباشد ، ذکر می گردد .

مسلما" فرم ساختمانی این تالارها که سالیان متمادی تکرار گردیده است ، در آثارموسیقیدانان زمان تاثیر بسزائی داشته و حتی شنوندگان و اجرا کنندگان بسختی بآن فرم وآکوستیک خو گرفته بودند ، و حتی در حال حاضر هم که تجربیات فراوانی درمورد سایر فرم‌ها وآرشیتکتور مدرن بدست آمده است‌معذالک عده‌ای‌ازآرشیتکت‌ها وآکوستیکرها فرم ساده قدیمی را ترجیح میدهند .

برای مقایسه دراینجا مشخصات‌چند تالار کنسرت معروف جهان‌که عموما "بخوبی آکوستیک معروفیت دارند ذکر می گردد (پنج تالار در قرن ۱۹ و بقیه در قرن بیستم ساخته شده اند) .

نام تالار	واقع در	تاریخ بنا	حجم m^3	گنجایش نفر	حجم m^3 نفر	طنین‌متوسط با تماشاچیان
موزیک فراین [1]	وین	۱۸۷۰	۱۵۰۰۰	۱۶۵۰	۹/۱	۲/۰
سن آندریوزهال [2]	گلاسکو	۱۸۷۴	۲۳۰۰۰	۲۵۰۰	۹/۲	۱/۹
اشتادت کازینو [3]	بازل	۱۸۷۶	۱۰۵۰۰	۱۴۰۰	۷/۵	۱/۷
گه واندهائوس [4]	لایپزیک	۱۸۸۶	۱۰۰۰۰	۱۵۰۰	۶/۶	۱/۴
سیمفونی هال [5]	بستن	۱۹۰۰	۱۸۷۰۰	۲۶۰۰	۷/۲	۱/۸
رویال فستیوال هال [6]	لندن	۱۹۵۱	۲۲۰۰۰	۲۴۰۰	۶/۴	۱/۵

1- Musikverein 2- St. Andrewshall
3- Stadt - Casino 4- Gewandhaus
5- Symphony hall 6- Royal - Festival hall

نام تالار	واقع در	تاریخ بنا	حجم m^3	گنجایش نفر	حجم m^3/نفر	طنین‌متوسط با تماشاچیان
تورکو [1]	فنلاند	۱۹۵۲	۱۰۰۰۰		۱۰	۱/۶
موزیک هوخشوله [2]	برلین	۱۹۵۴	۹۶۰۰	۱۴۱۰	۶/۸	۱/۷
لاشودفون [3]	سوئیس	۱۹۵۵	۶۸۰۰	۱۰۳۲	۶/۶	۱/۶
لیدرهاله [4]	اشتوتگارت	۱۹۵۶	۱۶۰۰۰	۲۰۰۰	۸/۰	۱/۷
تی‌وولی [5]	کپنهاک	۱۹۵۷	۱۲۷۰۰	۱۸۷۰	۸/۱	۱/۴
بتهوون هاله [6]	بن	۱۹۵۹	۱۶۰۰۰	۱۴۲۰	۱۱/۲	۱/۸
فستیوال‌هاوس‌نوین [7]	زالتسبورگ	۱۹۶۰	۱۵۰۰۰	۲۱۰۰	۷/۲	۱/۵
فیلهارمونیک هال [8]	نیویورک	۱۹۶۱	۲۴۰۰۰	۲۶۰۰	۹	۱/۵
فیلهارمونی‌نوین [9]	برلین	۱۹۶۲	۲۲۰۰۰	۲۲۳۰	۱۰	۲

ارقام بالا از کتاب " موزیک ـ آکوستیک و آرشیتکتور " تالیف L.L.Beranek اقتباس شده است که در این کتاب نویسنده نامدار آن ۵۴ تالار شناخته شده جهان رازیر بررسی وموشکافی قرار داده‌است برای آشنائی بیشتر مشخصات چند تالار معروف دراینجا مورد مطالعه قرار داده می شود .

1- Turku
2- Musikhochschule
3- La chaux de Fond
4- Liederhalle
5- Tivoli
6- Beethovenhalle
7- Neues Festivalhaus
8- Philharmonic Hall
9- Neue Philharmonie

تالار کنسرت موزیک هوخشوله برلین[۱]

دارای پارکت (طبقه هم کف) خیلی باریک (۱۸ × ۳۷ متر) می باشد که در گالری ها عرض آن بیشتر میشود (۳٫۵ متر) و بشکل یک ذوذنقه در می آید (حد اکثر عرض ۲۱ متر) گالری های خالی دارای عرض کمتری می‌باشند (۲٫۸ متر برای سه ردیف) و گالری میانی عمیق‌تر است (۱۰ متر برای ۱۱ ردیف) و حد اکثر طول این تالار ۴۵متر میباشد ــ سقف این‌تالار بصورت پارابل پله پله ساخته و باعث پخش شدن یکنواخت‌صوت در تمام تالار میگردد ــ ارگ بزرگی را که در این تالار نصب گردیده است میتوان بوسیله دیوارهای کشوئی (در صورتیکه مورد نیاز نباشد) از انظار پنهان نمود .

فرم لیدرهاله اشتوتگارت (آرشیتکت A-Abel&R - Gutbrod

آکوستیکر L-Cremer)در تمام‌جهات نامنظم می‌باشد ــ دیوار طرف راست یک‌دیوار بتنی‌محدب است وهمچنین دیوارطرف چپ‌و دیوار عقب‌سالن نیزطوری برجسته ساخته شده اند که هیچگونه تقارنی و یا توازنی با یکدیگر ندارند سقف آن نیز مسطح است و فقط برروی صحنه رفلکتورهای چوبی نصب گردیده است که صوت را بخوبی برای کلیه ردیف ها پخش می نماید ــ دیوارهای سخت بتونی برجسته را بوسیله برجستگی ها و فرورفتگی‌هائی که طول آنها ۳ تا ۴ متر وعمق آنها در حدود نیم متر می باشد و همچنین برجستگی های دنده‌اره‌ای از حالت سختی خارج و بصورت دیفوزورهائی در آورده اند ،و نیز لژهای پیشرفته که در اطراف سالن ساخته شده به‌دیفوز شدن میدان آواکمک مینماید ، گالری میانی که۱۲ ردیف دارد مستقیما "از هم کف شروع می شود . تالار تیوولی کپنهاک (آکوستیکر V.L. Jordan) دارای فرم ذوذنقه بطول ۳۲ متر و عرض‌متوسط

آرشیتکت P- Baumgarten

آکوستیک H- Gabler

۲۸ متر می باشد که سقف آن مسطح و بفرم فلس ساخته شده است (بارتفاع ۱۳ متر) در قسمت عقب تالار گالری‌های جانبی باریکی نیز ساخته شده است و گالری عقبی تالار کمی عریض تر است و ۹ ردیف جای می گیرد ، چون از این تالار علاوه بر کنسرت برای اجرای تآتر نیز استفاده می گردد از این رو در بالای صحنه رفلکتور خاصی نصب گردیده است که وضوح را در حالت تآتری بیشتر نماید .

باتوجه به‌مشخصات تالارهای معروف جهان میتوان دستور العمل زیرین راجهت طرح تالارهای کنسرت مورد توجه قرار داد .

۱ ــ فضای لازم برای‌هر نفردر تالارهای کنسرت‌حد اقل۵ ر ۶مترمکعب می‌باشد ، (در صورتیکه کمتر از این انتخاب شود باعث بدی آکوستیک تالار خواهد شد) ، مقدار اپتیمم ۷ ــ ۸ متر مکعب است و حد اکثر آن که همواره با مقداری پوشش آکوستیکی توام می باشد ۱۰ متر مکعب می باشد .

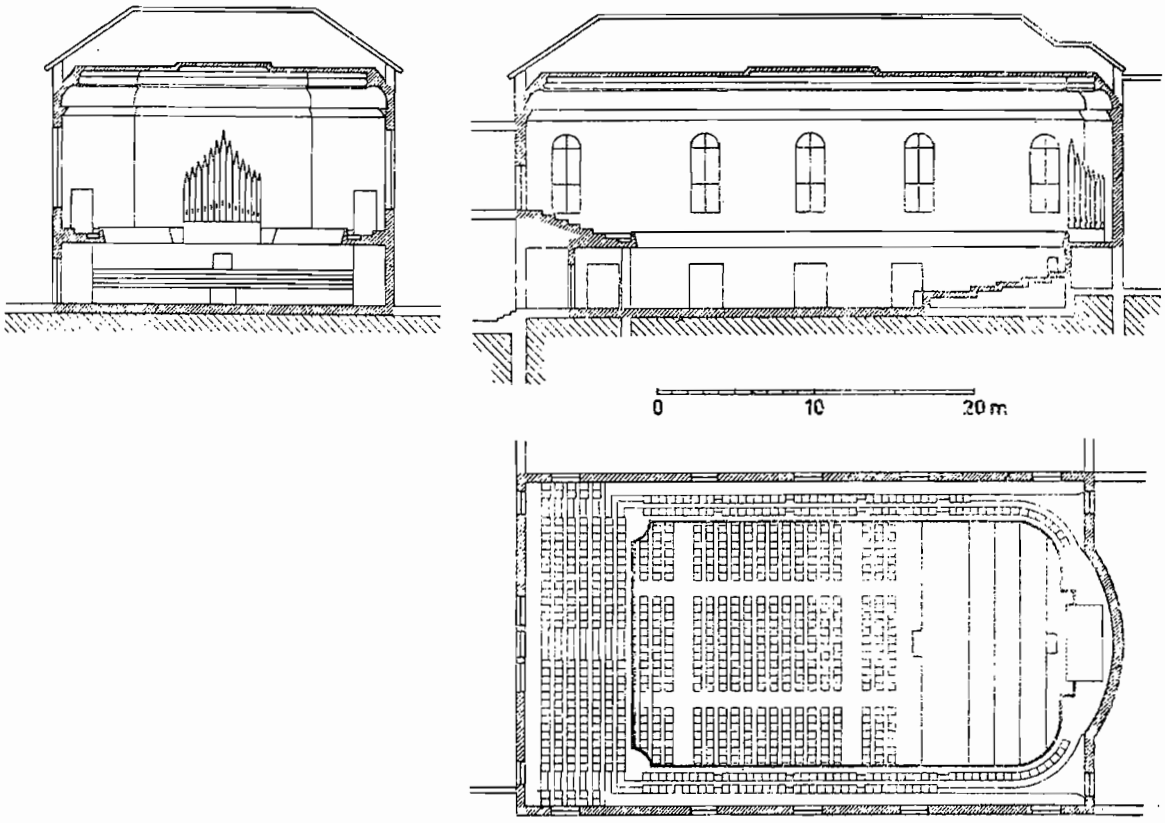
۲ ــ حد اکثر حجم تالار ۲۰۰۰۰ متر مکعب است که برای مقادیر بالاتر از آن کیفیت ارکستر و رسائی صدای برخی از سازها تحت تاثیر قرار میگیرند ، مقدار اپتیمم‌آن ۱۰۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ متر مکعب است و نبایستی از ۷۰۰۰ تا ۶۰۰۰ متر مکعب کمتر انتخاب گردد .

۳ ــ مقدار گنجایش مجاز یک تالار کنسرت برای احراز شرایط مناسب آکوستیکی در حدود ۲۰۰۰ نفر میباشد .

۴ ــ بر خلاف تآتر که احتیاج به سن دارد ، برای تالار کنسرت یک سکوی‌هیئت ارکستر که در خود تالار ساخته میشود متناسبتر است .

تالار کنسرت اشتادت کازینو[1] (بال)

تالار کنسرت اشتادت کازینوی بال و تالار کنسرت گواند هاوس در لایپزیک (که در زمان جنگ آسیب دیده است) از معروف ترین تالارهای کنسرت از نقطه نظر خوبی آکوستیک می باشند .



شکل ۱۰۶ ــ تالار کنسرت کازینوی دولتی بال (۱۸۷۶)

1)- Stadt - Casino, Basel

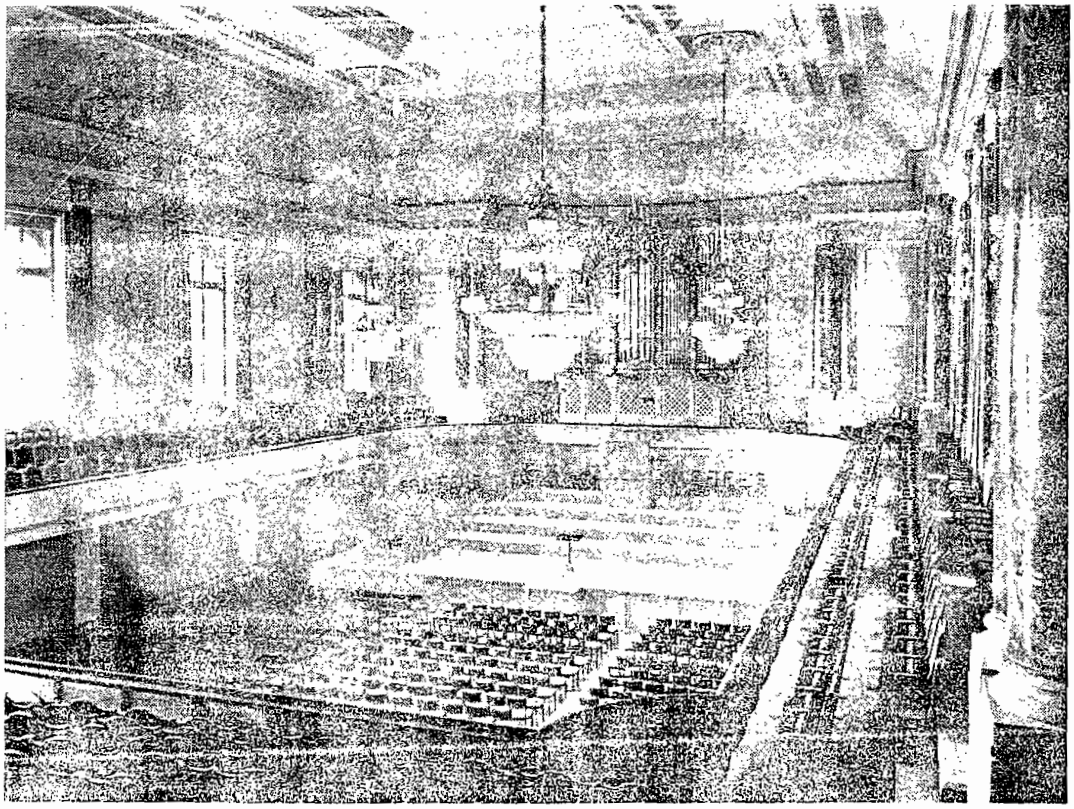
درشکل ۱۰۶ و ۱۰۷ کوپ ومنظره‌ای از تالار کنسرت اشتادت کازینوی بال‌نمایش داده شده است ،بطوریکه ازشکل ۱۰۶ بخوبی مشهود است ساختمان تالار فوق‌العاده‌ساده و چهار گوش میباشد و بسبک معماری قرن نوزدهم بنا گردیده است و همین تزئینات‌سالن خود بخوبی آکوستیک کمک کرده و دیفوزیته را درسالن زیاد نموده است . کف این تالار مسطح و باپارکت چوبی مفروش شده است زیرااز این‌تالار برای‌جشنها ومجالس شب‌نشینی و بال ماسکه و غیره نیز استفاده می گردد که برای اینگونه موارد بناچار کف مسطح مورد نیاز میباشد و این تنها عیب این تالاربرای اجرای کنسرت‌است . قبلا "صندلی‌های‌هم‌کف را تک‌صندلی انتخاب نموده بودند که در جشن ها بتوان آنها را برچید که بعدا " بجهت تاثیر نامطلوب‌آن در آکوستیک با مبلهای پارچه ای تعویض گردیده است و امروزه پس‌آوای این تالار با حضور تماشاچی قریب به ۱,۷ ثانیه میباشد که نسبت به حجم آن متناسب میباشد،سقف کاذب—پوشش های چوبی و غیره که در این تالار وجود دارد ، سبب جذب اصوات بافرکانسهای کم شده وبخوبی آکوستیک کمک مینماید . چون این تالار در قرن‌پیش بنا شده است‌اپـز ولاسیون صوتی کافی برای جلوگیری از غوغای ترافیک ندارد و از این‌رو با غوغای زندگی امروز تناسب ندارد .

تالار کنسرت موزیکا در لاشودوفون[1]

این تالار هم دارای فرم ساده چهار گوشه میباشد و بعلت طرح جالب دیفوزیته آن بسیار مناسب میباشد شکل۱۰۸ طرح این‌تالار را نمایش می دهد ، بطوریکه در شکل ۱۰۹بخوبی دیده می شود بوسیله نصب فرمهای چوبی برجسته در دیوارهای جانبی بـرای ازدیاد دیفوزیته اقدام گردیده است و بخصوص درساختمان سقف‌این تالارریزه کاریهای‌آکوستیکی بسیاری نیز بکار رفته است . از جمله محفظه های گچی‌که‌درسقف‌ساخته شده برای ازدیاد دیفوزیته سهم بسزائی داشته است .درحاشیه سقف یک نوار مسطح و مورب کارگذارده‌شده

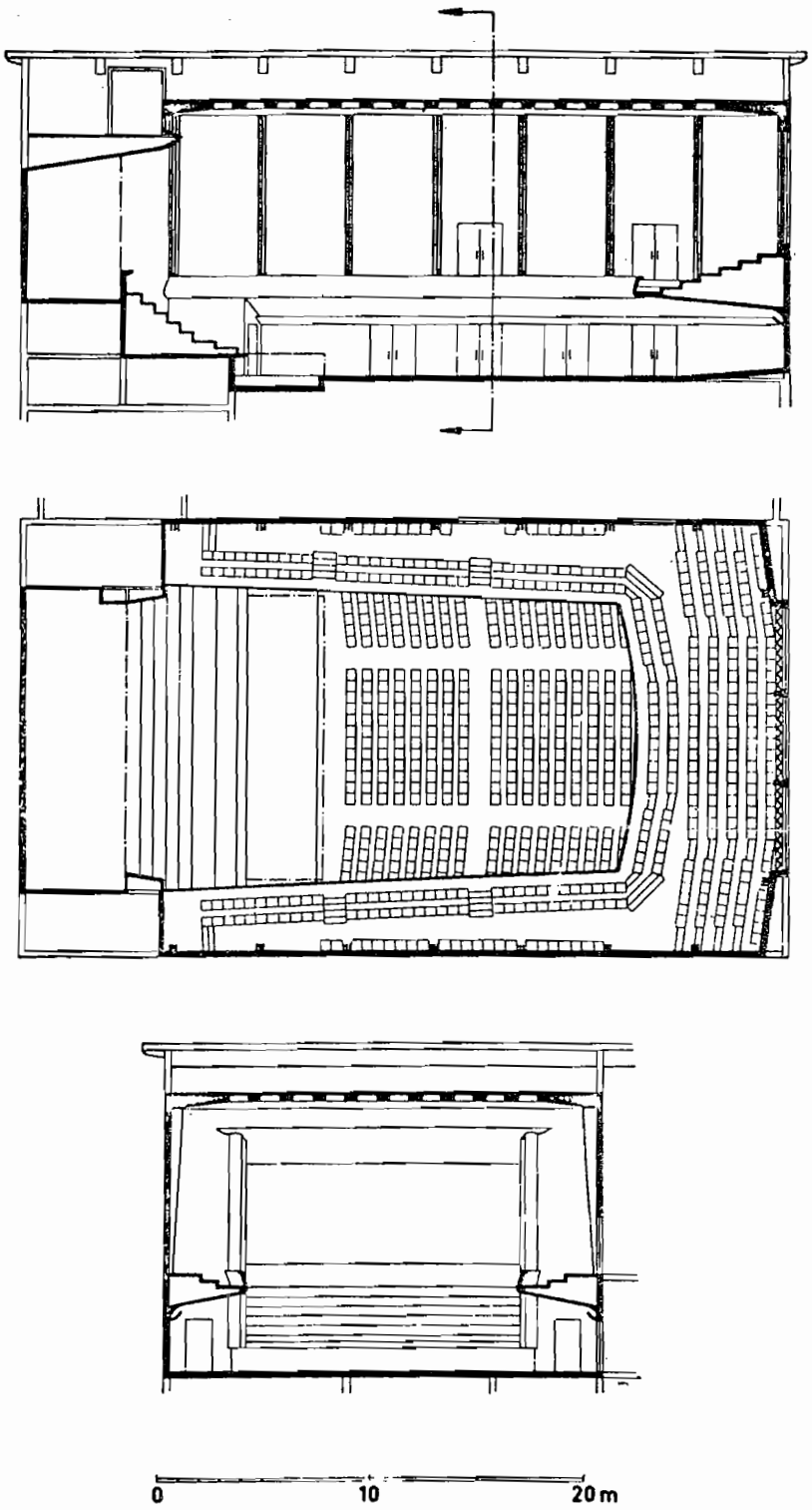
---

[1] Musica, La Chaux - de - Fonds



شکل ۱۰۷ ـ تالار کنسرت کازینوی دولتی بال

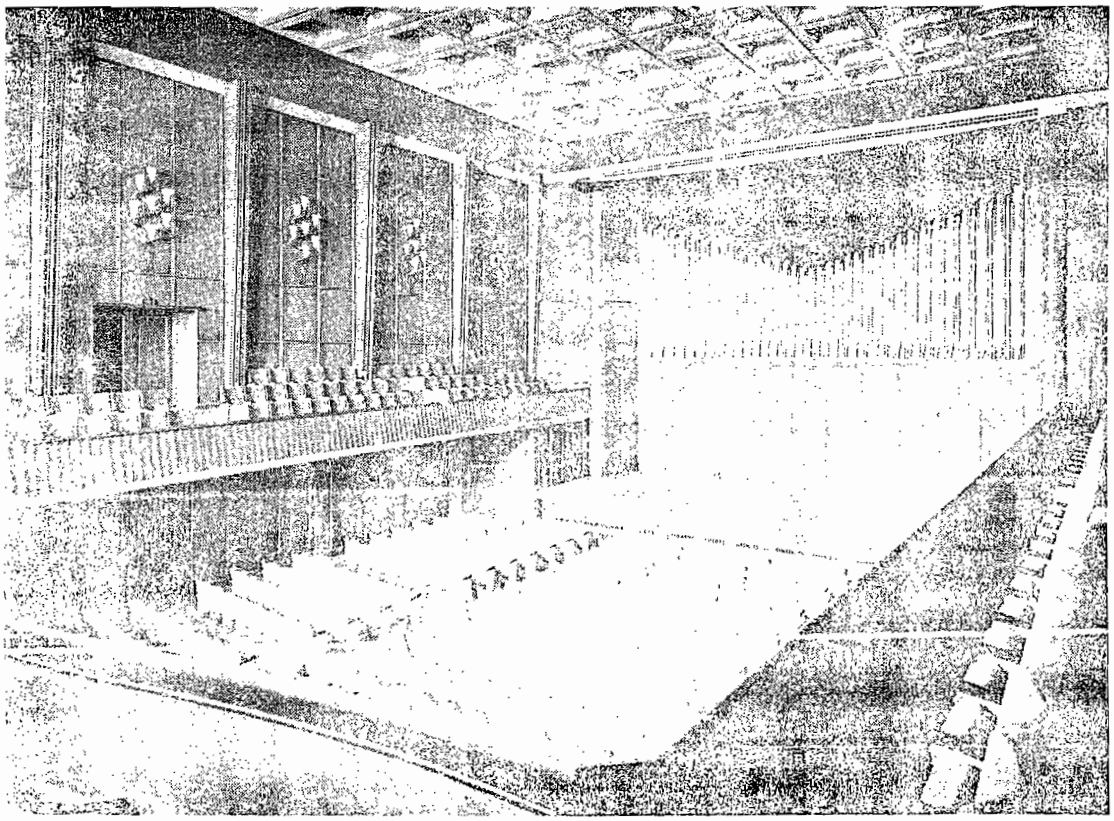
است که‌شیب آنها درحدود ۱۰% است . دیوارها از تخته هائی که برروی چوب کوبی‌نصب گردیده اند تشکیل شده است که از چوب نازک و قابل ارتعاش انتخاب گردیده است . چوب کوبی دیواره ها طوری محاسبه شده که در پشت تخته های روکوب محفظه های خالی بابعاد مختلف ایجاد گردد و با تغییر دادن ضخامت تخته ها و ابعاد محفظه پشت آنها بتوان اصوات بافرکانسهای مختلف‌بم رایکنواخت جذب نمود . در هنگام طرح این‌تالار، برای پخش یکنواخت صوت در کلیه ردیف‌ها ، در نظر گرفته شده بود که برروی صحنه یک سلسله رفلکتورهای گچی یاچوبی آویخته شود ولی بعدا " بسبب نصب ارگ بزرگ ازاجرای این‌امرصرفنظر گردید . ارگ بزرگ که در عقب صحنه نصب گردیده است درارتفاعی‌نصب شده که در هنگام اجرای کرهای بزرگ خوانندگان جلوی آنرا نپوشانند .



شکل ۱۰۸ ــ تالار کنسرت لاشو دوفون (۱۹۵۵)

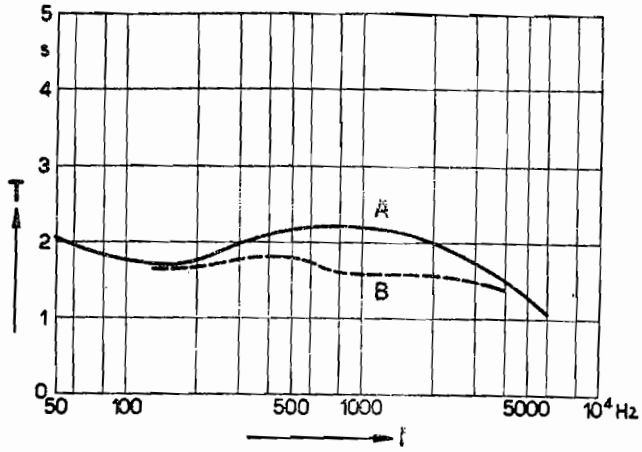
صحنه‌طوری‌ساخته شده‌است که‌برای‌اجرای کنسرت‌های کوچک بتوان آنرا کوچکتر کرد و در نتیجه تعداد تماشاچیان از ۱۰۳۲ به ۱۱۵۰ نفر افزایش می‌یابد که هم از نظر فنی و هم از نظر اقتصادی مقرون بصرفه است . در دیوار عقب پنجره‌ای وجود دارد که

بدلائل‌مختلفی وجودآن موردنیاز بوده است (شکل ۱۱۱) و چون آویختن پرده ازخوبی آکوستیک تالار میکاست بنابراین بجای پرده از یک دیوار پلاستیکی آکوردئونی استفاده گردیده است که در هنگام اجرای برنامه بسته میشود که هم باعث جلوگیری از نفوذ نور و غوغای‌خارجی‌گردد و هم از نظرآکوستیک‌باسایردیوارهای‌سالن‌مشابه‌می‌گردد .



شکل ۱۰۹ـ فرمهای برجسته چوبی در دیوارهای تالار کنسرت

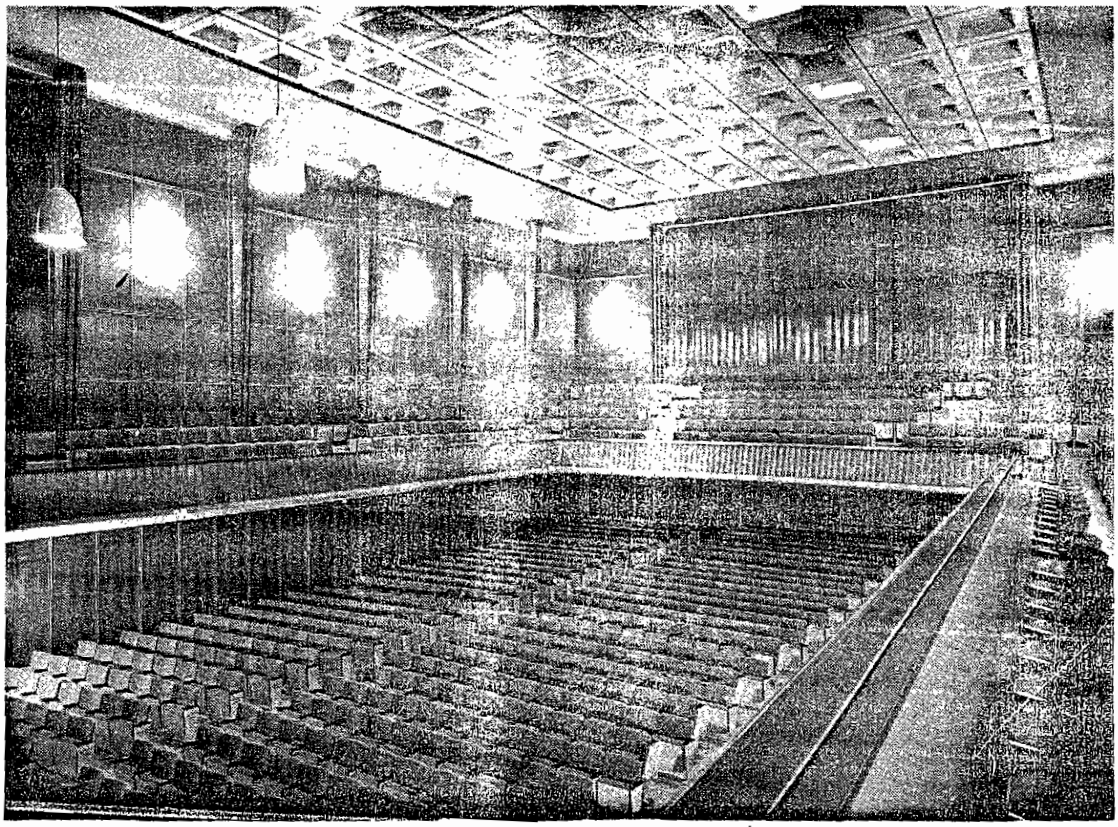
در شکل ۱۱۰ منحني طنين اين‌تالار برحسب فرکانس نمایش داده شده است که مابين‌حالت پر و خالی آن کمي اختلاف وجود دارد ولي اين اختلاف چندان زياد نيست وحتي در حالت پرمنحني طنين دارای فرم ايده‌آل و متناسبی نيز مي‌باشد .



شکل ۱۱۰ ــ طنین تالار کنسرت موزیکا در لاشو دوفون

A ــ تالار خالی

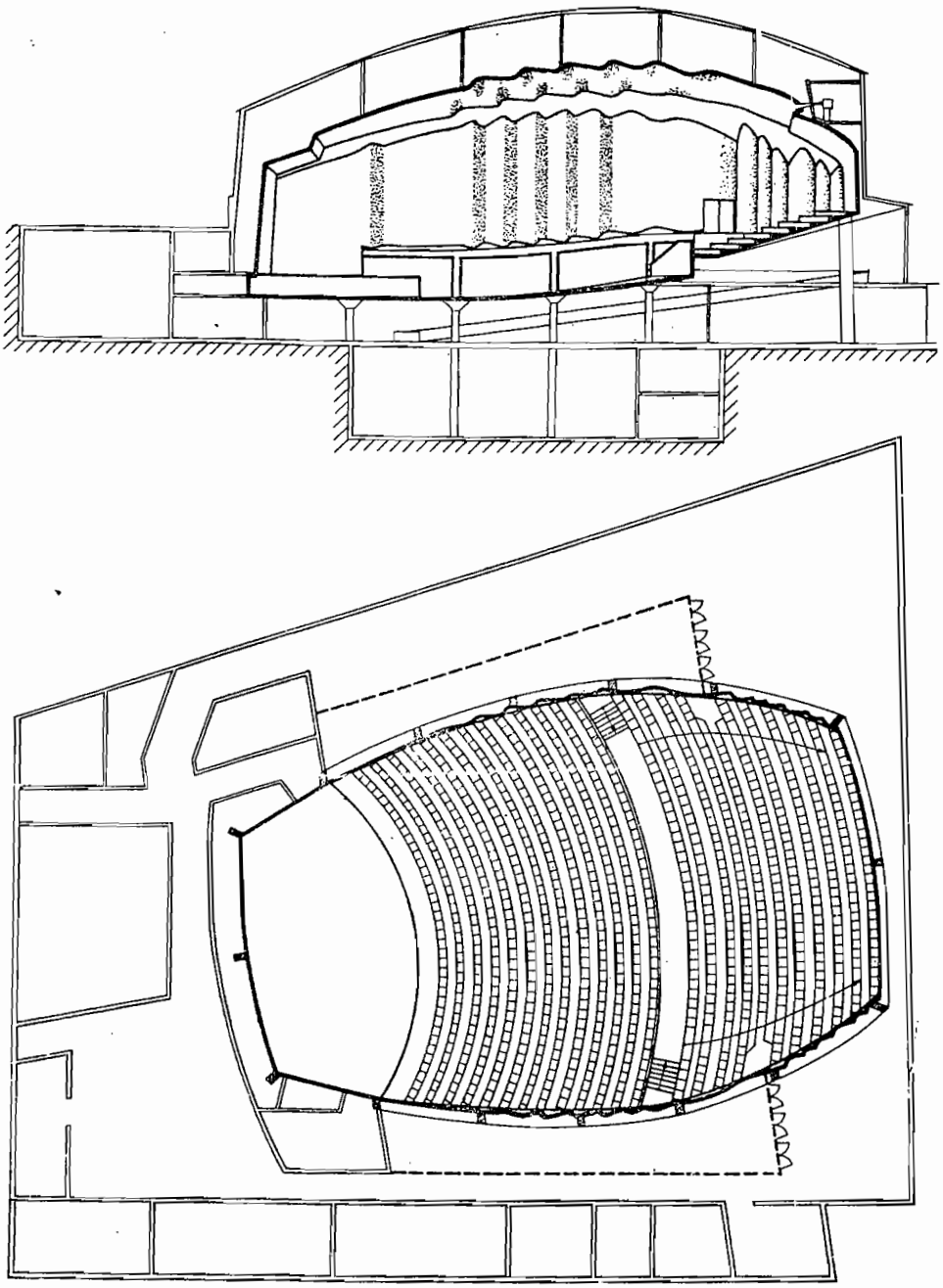
B ــ با حضور ۱۰۳۰ تماشاچی و ارکستر ۷۰ نفری و کر ۱۴۰ نفری



شکل ۱۱۱ ــ تالار کنسرت لاشو دوفون (منظره عقب تالار)

تالار کنسرت تورکو[1] (فنلاند)

این تالار از نقطه نظر آکوستیک و آرشیتکتور یکی از جالبترین تالارهای کنسرت



شکل a ۱۱۲ ـ تالار کنسرت تورکو (آرشیتکت R.V. LUUKKONEN

آکوستیک P.ARNI ـ ۱۹۵۳)

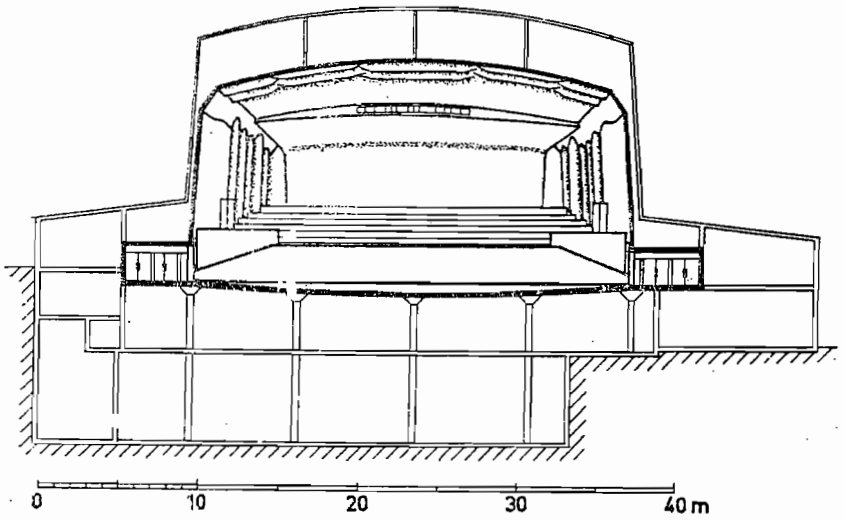
---

1)- Turku (Finnland)

دنیا محسوب می‌گردد و میتوان گفت که بسرحد ایده‌آل نزدیک گردیده است . شکل‌های ۱۱۲ و ۱۱۳ و ۱۱۴ مقاطع مختلف و منظره این تالار را نمایش میدهد . بطوریکه ملاحظه میگردد فرم این تالار با سایر فرمهای معمول متفاوت است و آرشیتکت با توجه به نکـات آکوستیکی خود را کاملاً از تبعیت ازسنت‌های دیرین آزاد نموده است . حجم مخصوص این این تالار ۱۰ مترمکعب برای هر نفر میباشد . پس‌آوای آنرا با بکاربردن مصالح آبسوربنت محدود به ۱/۶ ثانیه نموده‌اند .

شکل ۱۱۳ ــ تالار کنسرت تورکو (فنلاند) منظره سقف

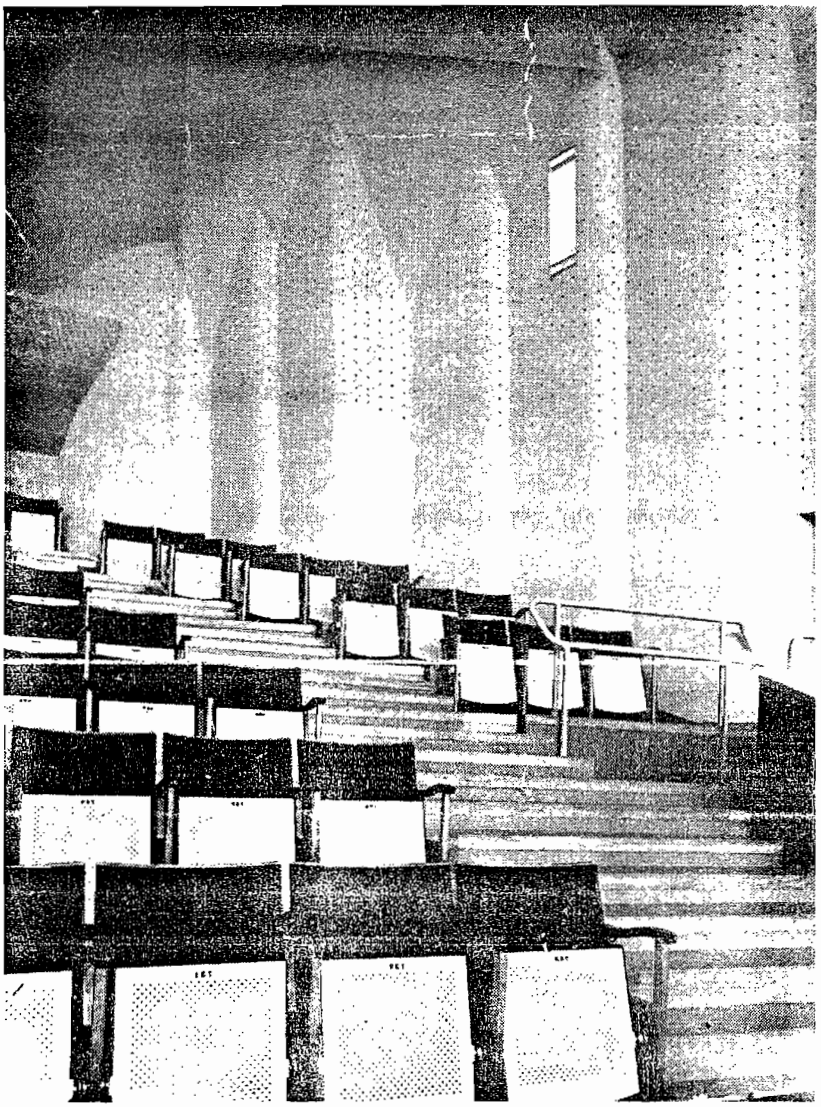
بطوریکه در شکل ۱۱۳ بخوبی دیده می‌شود ردیف‌ها طوری ترتیب داده‌شده‌اند



شکل ۱۱۲b ــ تالار کنسرت تورکو

که‌تماشاچیان‌علاوه برمیدان آکوستیکی‌آزاد ازلحاظ دید نیز حداکثر امکانات را دراختیار دارند . کلیه سطوح بزرگ سقف و دیوارها را غیرهموار و قطعه‌قطعه نموده‌اند تا دیفوریته میدان افزایش یابد و دیفوزورهای برجسته را توام با تزئینات‌داخلی‌بکاربرده‌اند .

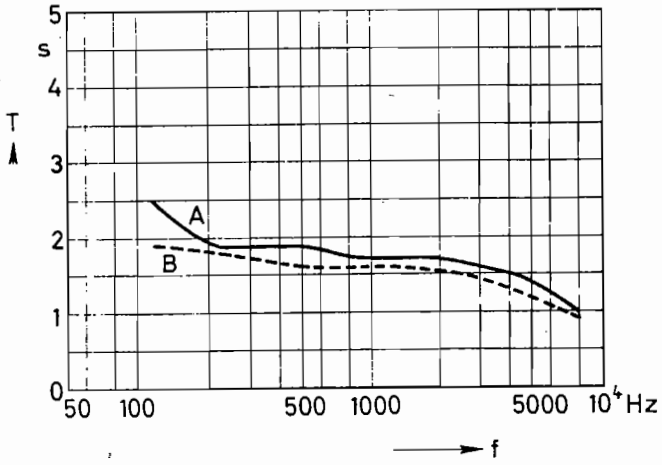
دراین تالار ازبکاربردن پوشش‌های چوبی بکلی صرف‌نظر گردیده وجذب اصوات با فرکانسهای‌کم (۱۰۰ تا ۴۰۰هرتس) را بوسیله محفظه‌های‌توخالی که سوراخهای آنها درشکل۱۱۳ بخوبی‌مشهوداست انجام‌میدهند . جدار داخلی دیوارها که باجدارخارجی یک‌فاصله‌هوائی دارد خود از نظر جذب فرکانسهای‌بم محاسبه گردیده و فرکانس‌رزونانس آنها کمتر از ۵۰ هرتس نیز می‌باشند .



شکل ۱۱۴ ــ تالار کنسرت تورکو ــ فنلاند ــ منظره دیوار جانبی

در شکل ۱۱۵ اثر این آبسوربنت‌ها را در منحنی پس‌آوائی میتوان بخوبی مورد بررسی قرار داد .

اصوات بافرکانس بالاتر از ۴۰۰ تا ۳۰۰۰ هرتس را بطوریکه میدانیم خود تماشاگران جذب می‌نمایند و چون صندلیهای این تالار بخوبی با پوشش آبسوربنت مستور شده‌اند علیهذا اختلاف پس‌آوای حالت پر و خالی بسیار ناچیز است و حتی بطوریکه در شکل ۱۱۴ مشهوداست پشت صندلیها رانیز با مصالح آبسوربنت پوشانیده‌اند تا در صورتیکه صندلی برگردانده شده‌باشد نیز از نظر آبسورپسیون تفاوتی حاصل نگردد .



شکل ۱۱۵ ــ پس‌آوای تالار کنسرت تورکو

A ــ خالی B ــ با ۱۰۰۰ نفر

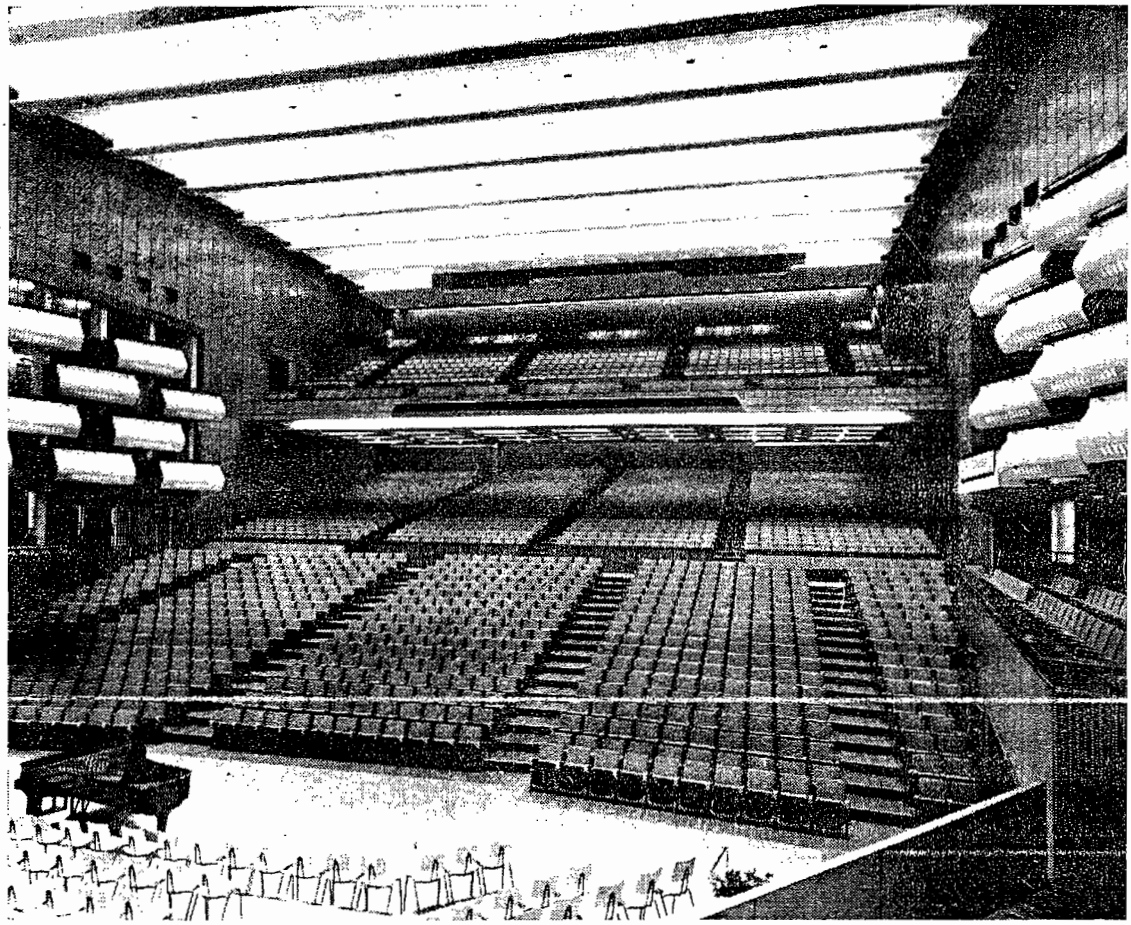
تالارکنسرت‌رویال فستیوال هال[1] (لندن)

این‌تالار باگنجایش ۳۴۰۰ نفر و حجم ۲۲۰۰۰ مترمکعب بزرگترین تالار کنسرت دنیامحسوب‌می‌گردد . بزرگی‌ابعاد این تالار را میتوان دراین جمله خلاصه کرد که فاصله صحنه‌تا آخرین‌ردیف ۴۵متراست که‌بهمین دلیل‌مجبور بوده‌اند که شیب‌کافی برای‌رعایت نکات‌آکوستیک و اپتیک در نظر بگیرند (شکل ۱۱۶و ۱۱۸) بطوریکه در شکل ۱۱۷و ۱۱۸ بخوبی مشهود است بمنظور پخش یکنواخت صوت در کلیه نقاط تالار چهار رفلکتور بزرگ چوبی‌بربالای صحنه (سکوی ارکستر) نصب گردیده است ، ضمنا " سقف کاذب این‌تالار را نیز طوری بنا کرده‌اند که‌هم دیفوزیته را زیادتر مینماید و هم پخش‌انرژی آکوستیکی را دربالکن‌و ردیف‌های‌عقب‌بیشترمینماید ، همچنین با ساختن بالکن‌های جانبی برجسته‌ای که‌ضمنا "هیچ‌نوع‌تقارنی‌هم‌ندارندبرای‌ازدیاد‌دیفوزیته‌میدان‌آکوستیک‌اقدام‌گردیده‌است .

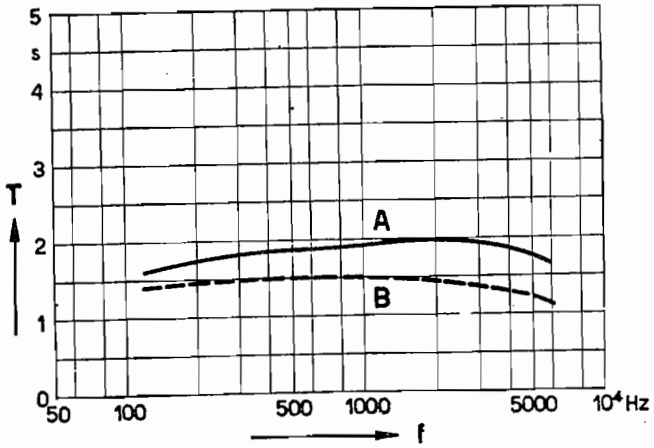
بطوریکه در شکل ۱۱۹ ملاحظه میگردد ، منحنی پس‌آوای این تالار در حالت‌پر وخالی‌چندان‌اختلافی‌باهم‌ندارند ،علت‌کاهش‌درفرکانسهای‌کم‌وجود‌سطوح‌پوسته‌ای فراوان در گوشه و کنار تالار میباشد .

---

1) Royal Festival Hall London

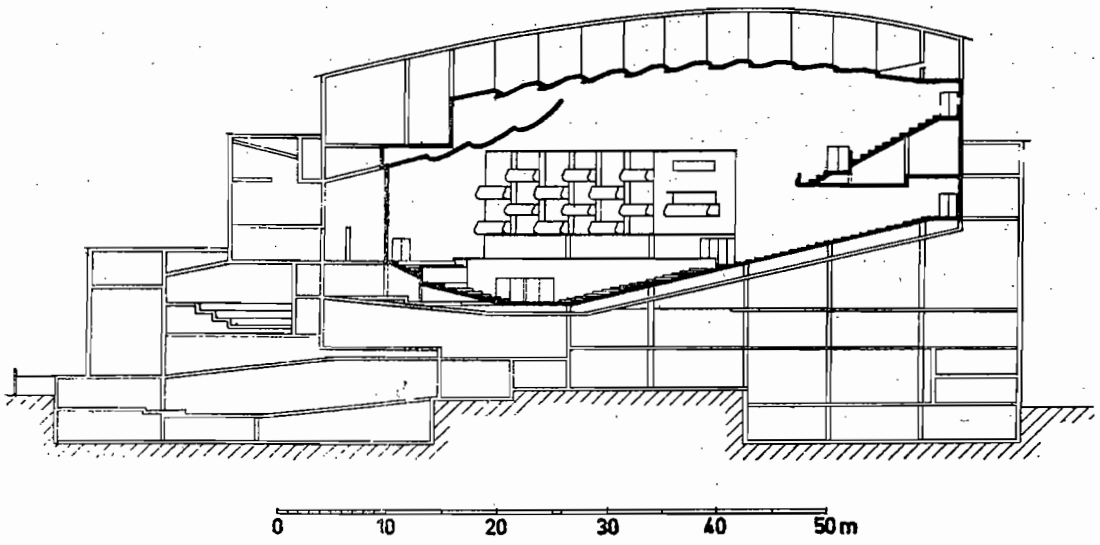


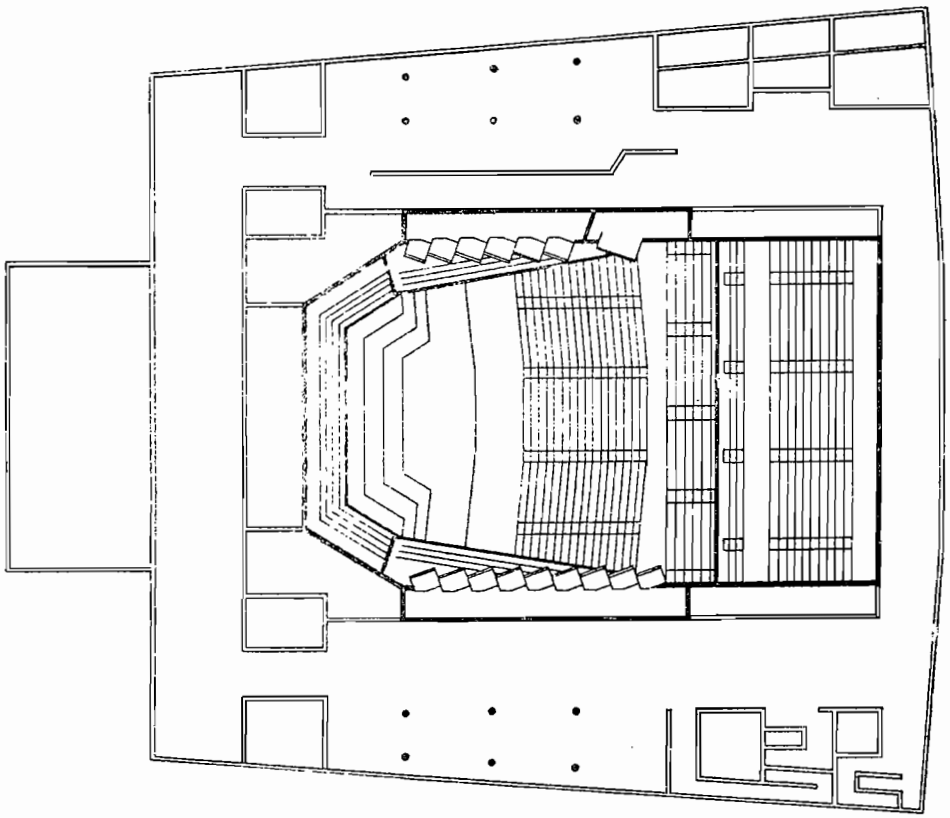
شکل ۱۱۶ ــ تالار کنسرت رویال فستیوال هال (لندن)



شکل ۱۱۹ ــ پس آوای رویال فستیوال هال ــ لندن

A ــ تالار خالی B ــ باحضور تماشاچیان

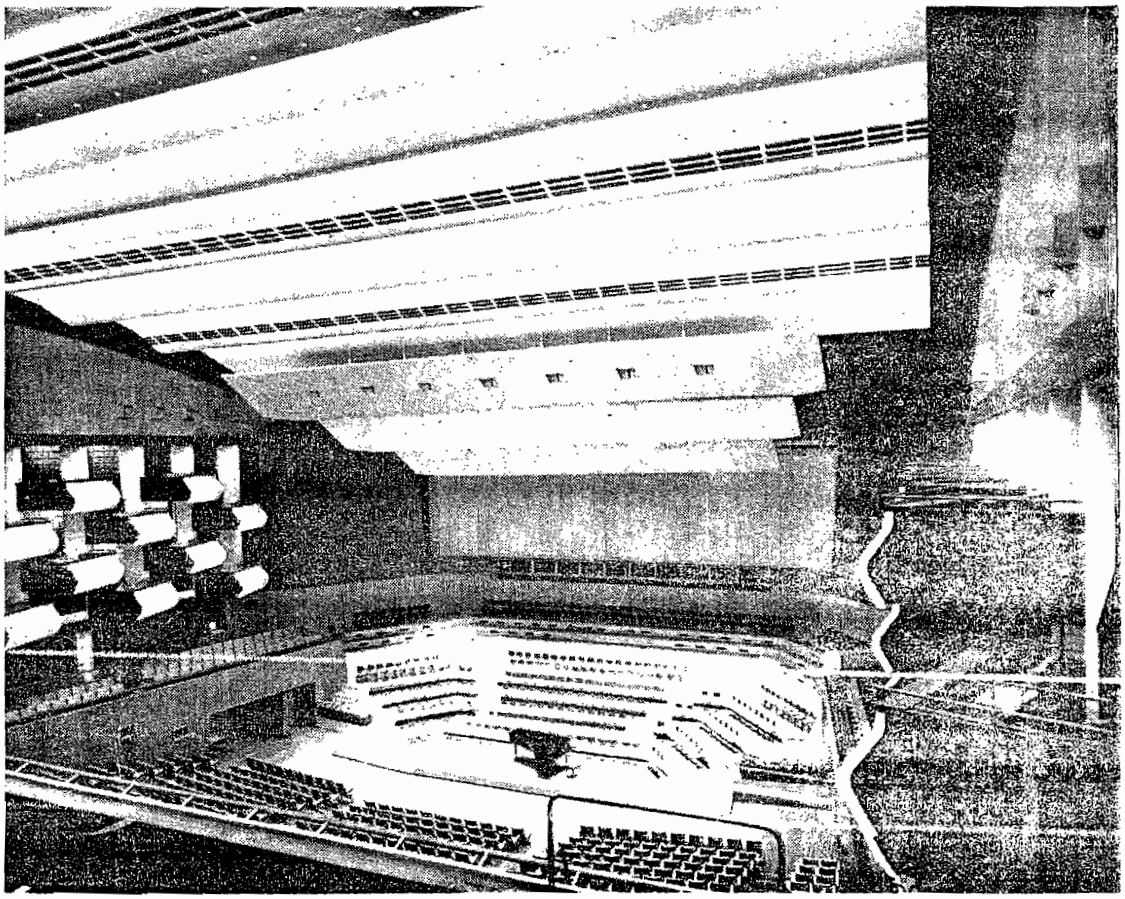




شکل ۱۱۷ ــ تالار کنسرت رویال فستیوال هال ــ لندن

آرشیتکت ــ ROBERT MATTHEW

آکوستیک ــ P.H.PARKIN'HOPE BAGENAL



شکل ۱۱۸ ــ رویال فستیوال هال ــ لندن

تئاتر و اپرا

در طرح ساختمان تئاترها بایستی در نظر داشت که سرچشمه‌های آوا ، دکلامه و گفتارو آوازهای فردی‌میباشند و ارکستر در اینجا در مرتبه دوم است که معمولا ارکسترهای متوسط و گاهی‌هم دسته‌کر متوسط یا کوچک میباشند و تماشائیان نیز بایستی هرچه ممکن است به صحنه نزدیکتر باشند تا بتوانند صحنه را بهتر ببینند و بهتر بشنوند ــ با توجه باین‌اصول معلوم‌میگردد که مشخصات‌آکوستیکی یک تئاتر و یا اپرا میبایستی بایک‌کنسرت هال تفاوت‌زیادی داشته باشد . زیرا از دید پس‌آوا یک تئاتر بایستی برای گفتار ودکلامه ویک اپرابرای‌دکلامه و آوازو ارکسترمتناسب‌باشد که هم کلمات مفهوم گردند وهم‌پس‌آوای قابل‌قبول برای ارکستر وجود داشته باشد ــ با توجه بهمین نکات بوده است که حتی در

قرون‌گذشته هم در ساختمان تئاترهای یونانی و رومی سبک خاصی بکار برده شده است‌که نظایر آنرا میتوان در شهرهای باستانی اروپا مشاهده کرد که برای رعایت فاصله کم بین تماشاچی‌و صحنه‌حتی تئاتررا مدور میساختند . تکنیک‌ساختمان اپرا در قرن ۱۸ درایتالیا نیز که سالیان متمادی بعنوان سرمشق اپراسازی در تمام دنیا مورد قبول همه بوده است نیز از همین اصل تبعیت مینماید که نمونه‌بارز آن اپرای اسکالا در میلان میباشد که بافرم نعل‌اسبی و گالری‌هائی که درچندین‌طبقه تا نزدیک سقف ساخته شده‌اند حداکثراستفاده از جا بعمل آمده است بطوریکه در حجم ۱۰۰۰۰ مترمکعب در حدود ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ نفر تماشاچی‌جاداده‌اند که حجم مخصوص آن ۴ تا ۴/۵ متر مکعب برای هرنفر میگردد .حجم این‌اپرا را می‌توان‌حداکثر حجم‌ممکنه دانست‌که درآن فقط خوانندگان بسیارقوی میتوانند هنرنمائی‌نمایند و برای خوانندگان ضعیف و یا صحنه‌های باگفتگوی خیلی سریع این‌حجم مناسب نیست و وضوح کاملی ندارد و بایستی از تئاترهای کوچکتر برای این‌قبیل‌نمایشات استفاده‌بعمل‌آید .با انتخاب حجم مخصوص این‌تالارها درحدود۵متر مکعب‌برای هرنفر ، تاثیرآبسورپسیون‌تماشائیان‌در مشخصات‌آکوستیکی‌حائزدرجه اول اهمیت میباشدوپس‌آوای تالار را صرفنظر از مصالحی که‌درساختمان‌آن‌بکاربرده‌شده‌است‌محدودمی‌نماید .

برای توجه بیشتر دراین مورد نیز در جدول زیرین مشخصات تئاترهای معروف جهان با یکدیگر مقایسه گردیده است :

تئاترهای بزرگ (اپرا)

تآتـــر	حجـــم	گنجایش	حجـــم‌ویژه	زمان‌پس‌آوا
	m^3		m^3	s
Grosse Operntheater				
Scala, Mailand	10 000	2300	4,3	1,1
Covent Garden, London	9 000	2020	4,4	1,1
Staatsoper, Hamburg	9 700	1650	5,9	1,25
Städtische Oper, Köln	8 650	1346	6,4	1,5
Staatsoper, Karlsruhe	5 920	1055	5,6	1,3
Staatsoper, Berlin-Ost	7 000	1488	4,7	1,0
Mittlere Theater				
(Oper und Schauspiel) Stadttheater in Basel, Bern, Zürich, Genf usw.	4000–5000	1000–1500	3,5–4	1,0–1,2
Kleinere Schauspielhäuser	3000 und weniger	800 und weniger	3–4	0,8–1,0

تئاترهای بزرگ قدیمی (نظیر اسکالا[1] و کاونت‌گاردن[2]) با ۱٫۱ ثانیه طنین‌برای موسیقی کلاسیک (نظیر آثارباخ ــ بتهون ــ موتسارت و غیره) متناسب نیستند ولـــی آهنگسازانی از قبیل وردی ،روسینی ، واگنر و غیره که اختصاصا " اپراساز بوده‌اند وبااین بناها سروکار داشته‌اند این مسئله را ضمن کمپوزیسیون‌های خود در مد نظر داشته‌اند و اجرای ساخته‌های آنان دراین گونه بناها لطف خاصی دارد .

دراپراخانه‌های جدیدی که در سالهای اخیر در آلمان ساخته شده‌اند سعی شده است‌که با بزرگتر انتخاب‌کردن حجم مخصوص تالار قدری طنین بیشتر شود که نمونه آنها درجدول داده‌شده است (هامبورگ ــ کلن ــ کارلسروهه) . درتئاترهای متوسطی که برای اپراونمایشات تواءما " بکار برده میشوند انتخاب حجم بیش از ۴۰۰۰ تا ۵۰۰۰ مترمکعب

1)- La Scala 2)- Covent Garden

مجازنمیباشد که درآنها ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ تماشاچی بخوبی جای میگیرند (حجم مخصوص ۳،۵ تا ۴مترمکعب برای هرنفر) بااین ترتیب طنین این تالارها ۱تا۲ ,۱ثانیه خواهد بود .

درتئاترهائی که مطلقا " برای اجرای نمایشات ساخته میشوند حداکثر حجم مجاز ۳۰۰۰ مترمکعب است کهاگر ۸۰۰ تماشاچی در آن جای داده شود حجم مخصوص آنها ۳،۵ تا ۴مترمکعب برای هرنفر و طنین ۹ ۰تا ۱ثانیه خواهد بود .

تئاتر (اپرا) اسکالا ــ میلان (۱)

تئاتراسکالا شایدمشهورترین اپراخانه دنیا باشد که بخصوص معروفیت آن بیشتر مرهون آرشیتکتور خاص آن است و علاوه برآن جنبه هنری آن نیز دراین معروفیت سهم بسزائی را داراست .

تزئینات و مشخصات آکوستیکی داخل آن امروزه بعنوان یکی از نمونههای بارز تئاترسازی تلقی میگردد .

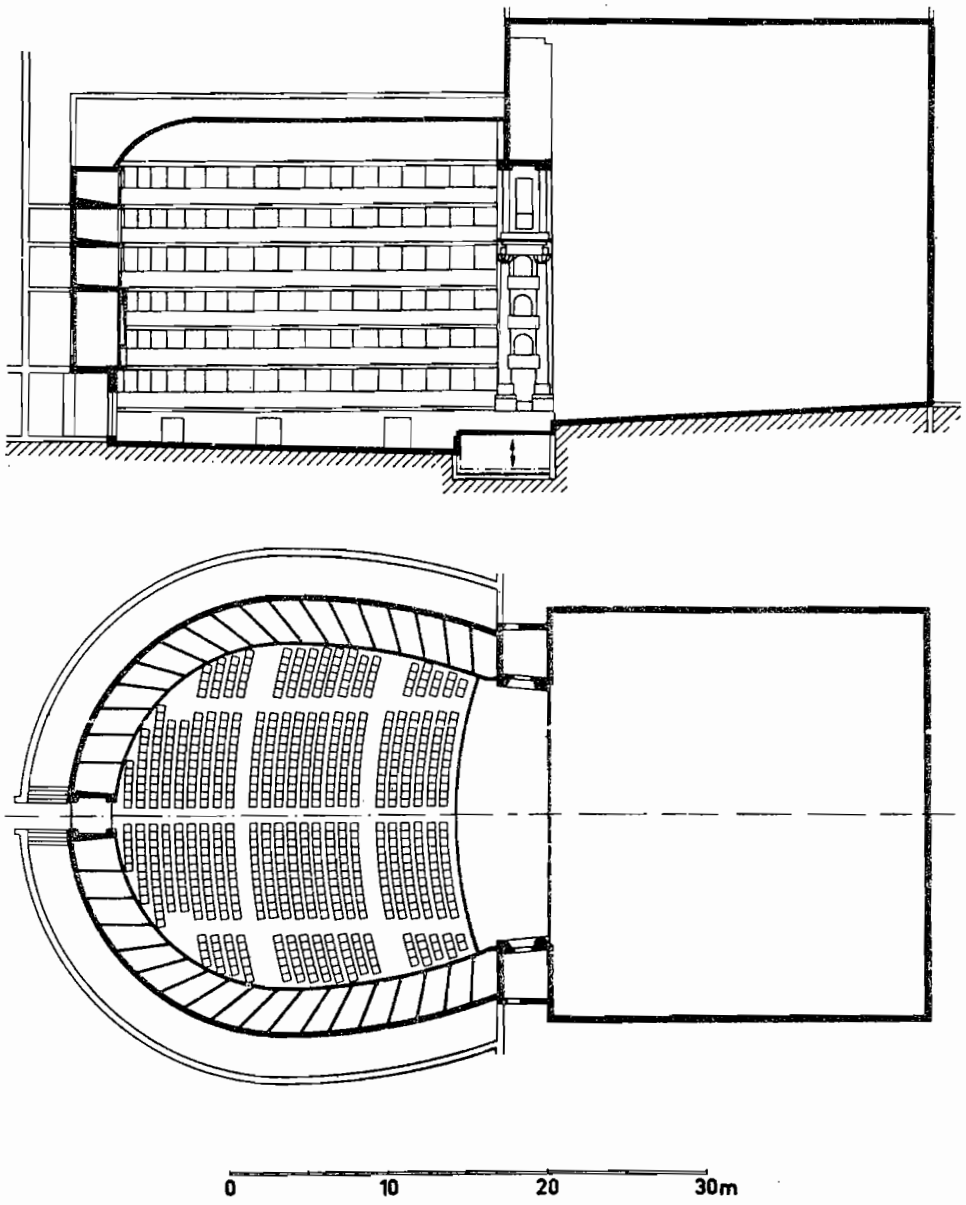
این تئاتر در سال ۱۸۸۷ بوسیله جوزپه پیرمارینی (۲) (آرشیتکت) ساخته شده است و درسال ۱۹۴۳ بر اثربمباران خسارت دیدهو درسال ۱۹۴۶ مجددا " بسبک قدیم تجدید بنا شده است .

گنجایش این تالاردرهم کف وشش گالری کهبه لژهای متعدد تقسیم شده است مجموعا " ۲۲۸۷نفراست ولی بعلت یک سنت قدیمی که لژها بطور در بست و سالیانه اجاره دادهمیشوند واجارهکنندگان لژها میتوانندمهمانان خودرا کهتعداد آنها حتی بیش از صندلیهای موجود در لژ باشد نیز همراه بیاورند ، بنابراین احتمال دارد که تعداد تماشاچیان درپارهای از موارد به بیشاز سههزارنفر نیز برسد که دراین صورت حجم مخصوص این تالار درحدود ۳، ۳ متر مکعب برای هرنفر میگردد .

---

1)- Teatro alla Scala, Milano

2)- Giuseppe Piermarini



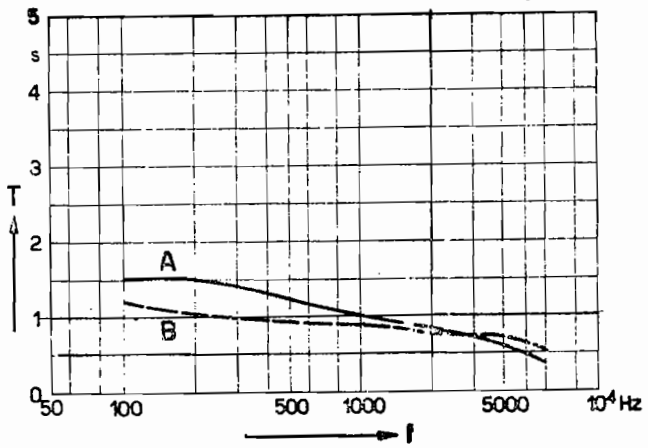
شکل ۱۲۰ ــ اپرا خانه اسکالا در میلان (قرن ۱۹)

مشخصات ساختمانی و آکوستیکی این تالار در شکل ۱۲۰ ملاحظه میگردد که با فرم نعل اسبی پلان تالار و گالری‌هائی که درشش طبقه تانزدیک سقف ساخته شده‌اند حداکثر استفاده از جا با کمترین فاصله مرکزثقل تماشاگران تا صحنه حاصل گردیده است که کلیه تماشائیان هم از راه آزاد صوتی و هم از دید خوب صحنه برخوردارند .

بدیهی است که برخی از لژهای جانبی که نزدیک بصحنه قرار گرفته‌اند از نظر دید قدری با اشکال مواجهه میباشند ولی با توجه به بزرگی صحنه و نزدیکی اینگونه لژها به ارکستر

این عیب را میتوان نادیده انگاشت . بزرگترین فاصله تماشاگران از صحنه دراین‌تئاتر حداکثر ۲۵ متر میباشد . سقف این تالار ، برخلاف اپراخانه پاریس که بعلت داشتن‌گنبد آکوستیک‌چندان‌دلچسبی‌ندارد ، (آرشیتکت : Garnier ۱۸۸۶) سقف کاذب‌چوبی مسطحی‌است‌که‌بخصوص‌اثر مطلوبی دربازتاب‌وپخش‌صوت درکلیه‌نقاط تالارداراست .

دراکثر تئاتر هائی که در اواخر قرن نوزدهم و اوائل قرن بیستم‌بناگردیده‌اند عیوبی‌نظیر گنبداپراخانه‌پاریس بچشم می‌خورد که همانها باعث عدم اشتهار این تالارها گردیده‌است ــ درتئاتر اسکالا ساختمان جای ارکستر طوری است که حتی سازهای مخصوص نغمات‌زیر (فلوت‌پیکولو ــ ویلن ــ چمبالو و نظایر آن) بخوبی اثر خودرا در ارکسترظاهر میسازند و این بعلت پیش‌آمدگی جای ارکستر در جلوی سن و کم‌عمق‌بودن آنست درحالی که‌برخی‌از تئاترهای دیگر که باین موضوع توجهی نشده است اثر اینگونه سازها را نمیتوان بخوبی احساس نمود .



شکل ۱۲۱ ــ پس‌آوای تالارهای اپرا

A ــ اسکالا ــ میلان

B ــ مونیسیپال ــ ژنو

شکل ۱۲۱ نمایش‌تغییرات زمان‌پس‌آوابر حسب فرکانس برای دو اپراخانه معروف ، اسکالاو مونیسیپال‌میباشد که با حضور تماشاگران اندازه‌گیری شده است . بطوریکه ملاحظه

می‌گردد در فرکانس ۱۰۰۰ هرتس پس‌آوای اسکالا ۰ / ۱ ثانیه میباشد که میتوان آنرا برای آکوستیک‌گفتاراپتیمم دانست‌و وضوح کلمات‌چه‌بصورت‌گفتارو چه‌بصورت آواز بسیارخوبست . کوتاه‌بودن پس‌آوا دراین اپرا باعث شده است که برای جبران آن ارکسترهای خیلی بزرگ وخوانندگان‌قوی‌دراین جاهنرنمائی‌نمایند و همین‌باعث شده است که بزرگترین‌خوانندگان اپرای دنیا از تئاتر اسکالا بدنیا عرضه شده‌اند ــ در شکل ۱۲۱ علاوه بر منحنی پس‌آوای اسکالا منحنی پس‌آوای تئاتر مونیسیپال ژنو هم که از نظر فرم و ساختمان شباهت تامی به اسکالا دارد نمایش داده شده است ــ این تئاتر کوچکتر است و فقط گنجایش ۱۱۳۰ نفر و ۴۴۰۰متر مکعب حجم دارد .

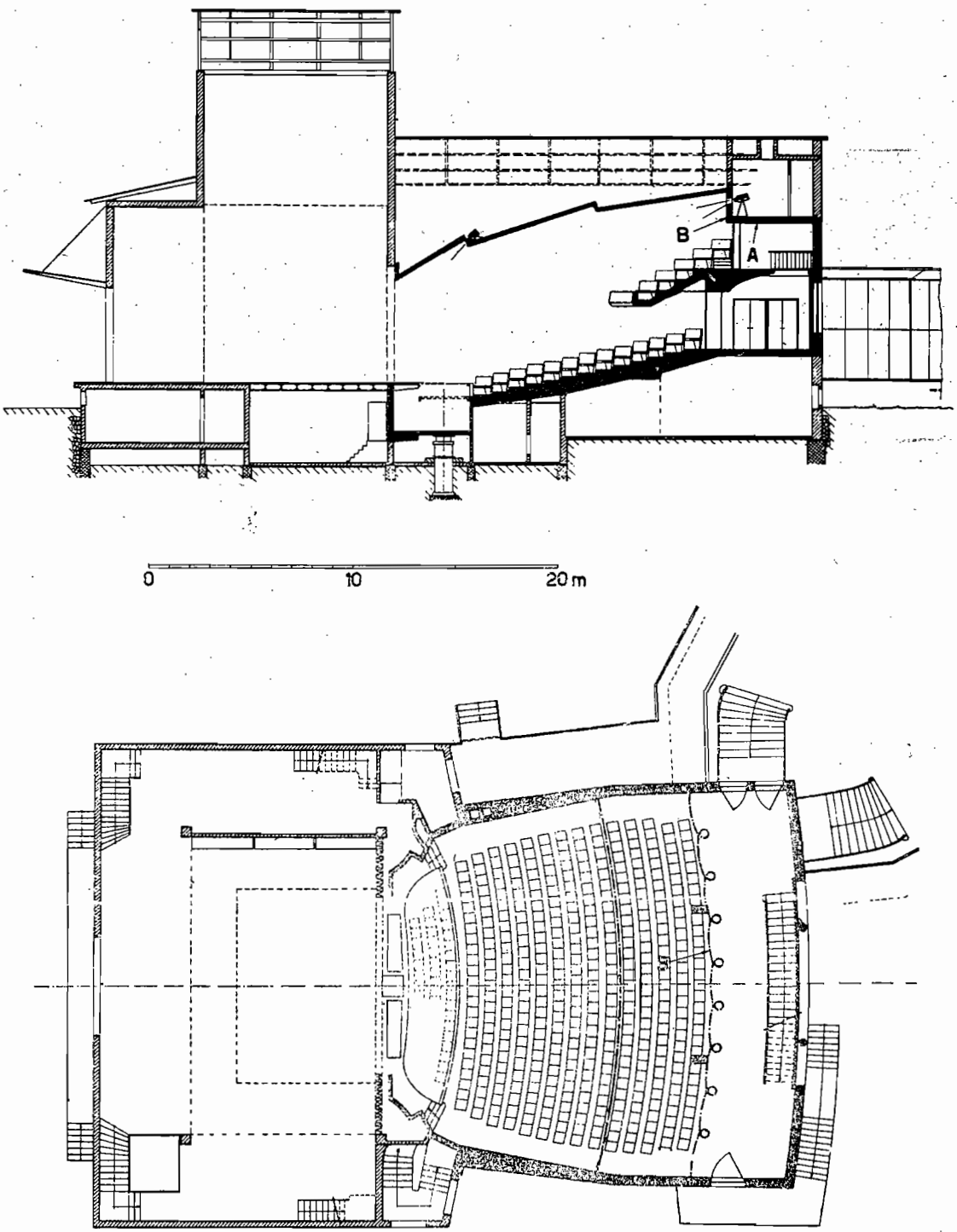
بطورکلی‌مشخصات‌آکوستیکی و استیل ساختمانی تئاترهائی که در حدود سالهای ۱۸۸۰تا ۱۹۱۰بناگردیده‌اندشباهت‌تامی‌بااین‌دوتئاترکه‌بطورنمونه‌ذکرگردیده‌دارند .

تئاتر ویلای بـادن (زوریـخ)

بعنوان‌نمونه یک‌تئاتر کوچک مدرن ، میتوان تئاتر ویلای بادن را که در شکل ۱۲۲ نمایش‌داده شده‌است نام برد . این تئاتر ۲۲۰۰ مترمکعب حجم و ۵۳۰نفر گنجایش دارد که با این ترتیب حجم مخصوص آن ۴٫۱ مترمکعب می‌گردد .

درطرح این‌بنا بخصوص به نکات آکوستیکی‌آن توجه خاصی مبذول گردیده‌است . کلیه دیوارها وسقف و دیوار عقب از مواد سخت مستور گردیده‌اند و دیوار عقب گالری دارای برجستگی‌های سیلندری است که در انعکاس دیفوز صوت‌موءثر است . پس‌آوای این تالاردر ۱۰۰۰ هرتس معادل ۱ثانیه میباشد (خالی) . سقف و دیوارهای جانبی بصورت دندانه‌ره‌ای ساخته شده‌اند .

در این تئاتراهرو با جایگاه‌تماشاگران‌یکجا ساخته شده و حتی پله‌های گالری را نیز در راهرو تعبیه نموده‌اند و از اینرو برای جلوگیری از ایجاد اکووتوازن آکوستیکی بین این دوفضا مجبور به استفاده از آکوستیک تایل در راهرو شده‌اند .



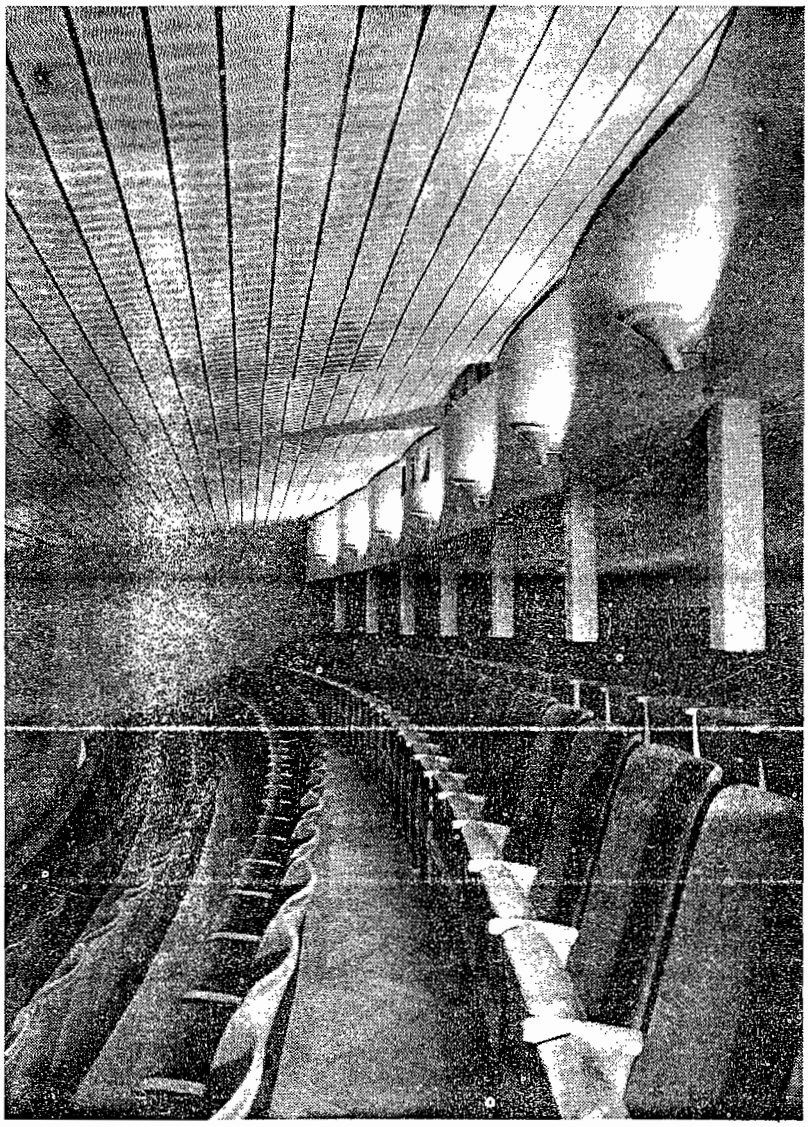
شکل ۱۲۲ ــ تئاتر بادن در حومه زوریخ

(آرشیتکت LISBETH SACHS ۱۹۵۲)

A ــ راهرو (فوایه)

B ــ دیوار عقب برای بازتابی دیفوز

شکل ۱۲۳ نمایش گالری و دیوار موج‌دار آن و قسمتی از راهرو میباشد ــ ضمنــا " ساختمان سقف را نیز از این شکل بخوبی میتوان مورد مطالعه قرار داد .



شکل ۱۲۳ ــ دیوار عقب در تئاتر بادن

تئاتر دوبولیو[1] (لوزان)

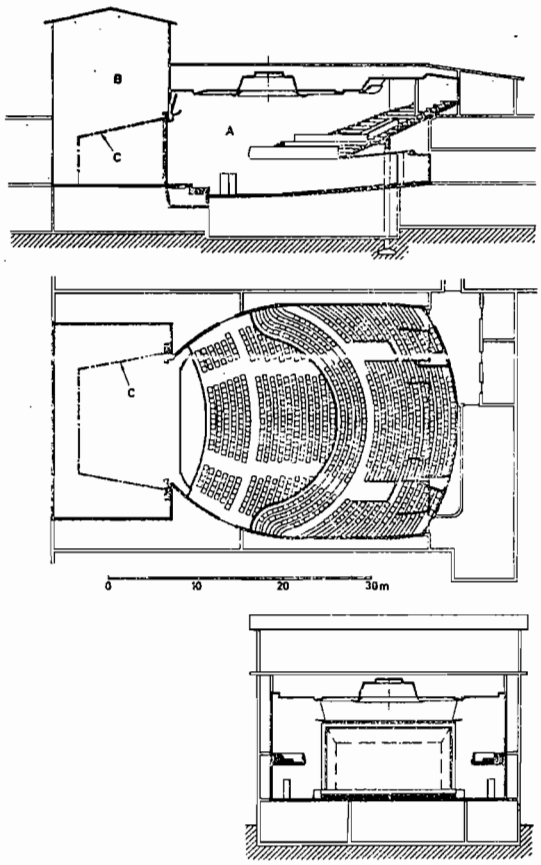
تئاتر بولیوبا ۶۶۰۰مترمکعب حجم و ۱۹۰۰نفرتماشاچی (۳٫۵ مترمکعب برای هرنفر) یکی از تئاترهای جدید می‌باشد که برای اجرای برنامه‌های اپرا ساخته شده است . سقف این تئاتر از مصالح سخت و در وسط آن گنبدی جهت نصب چلچراغ قرار داده شده است و ضمناً " برای ازدیاد دیفوزیته سقف کاذب نیز به‌قسمت‌های مختلف تقسیم گردیده‌است .

---

1)- Teatre de Beaulieu, Lausanne

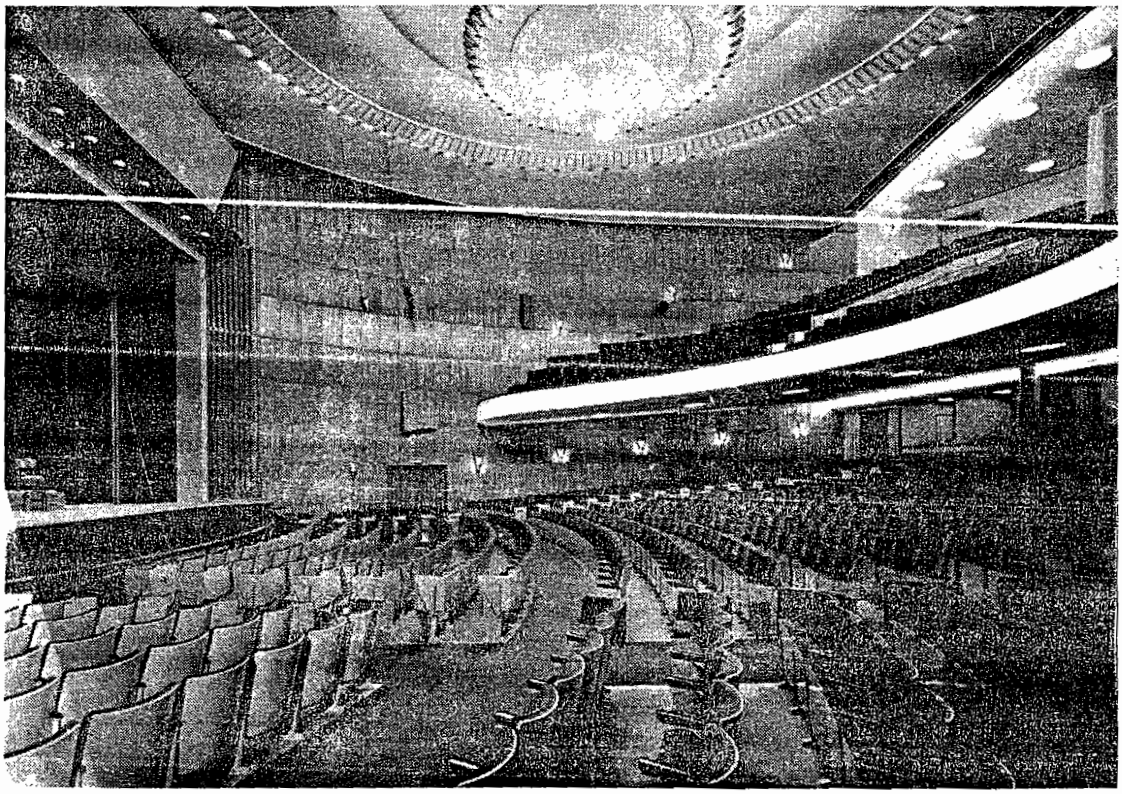
درشکل ۱۲۴ و ۱۲۵ میتوان جزئیات ساختمانی و نمای داخلی این تئاتر را مورد بررسی قرار داد .

دیوارهای‌جانبی مقعر این تالار ممکن است برای اصواتی که از عقب تالار برآنها برخوردمینمایندایجاد اکو بنمایند ولی چون عملا دراین قسمت تالار هنگام اجرای‌برنامه سکوت‌حکمفرما است علیهذا اشکالی از این بابت تاکنون ایجاد نگردیده است چون ازاین تالاربرای اجرای‌کنسرت نیزاستفاده‌می‌گرددازاینروبرای اجرای کنسرت در صحنه رفلکتور چوبی خاصی‌درنظرگرفته شده است که طبق شکل ۱۲۵ هنگام اجرای کنسرت بنا می‌گرددو در سایر موارد برچیده میشود



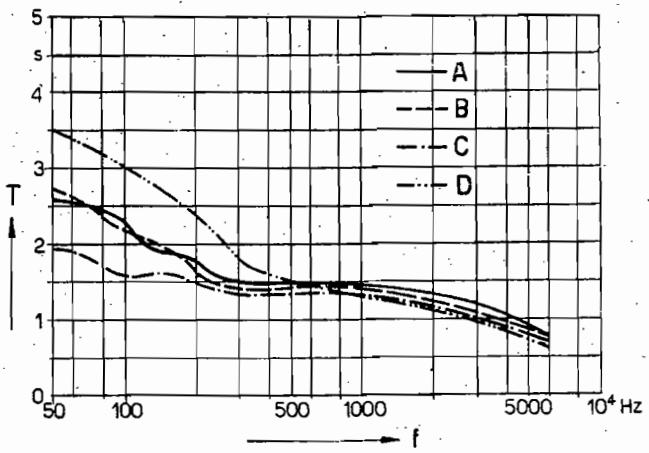
شکل ۱۲۴ ــ تئاتر دوبولیو ــ لوزان

درشکل ۱۲۶ منحنی پس‌آوای این تئاتر در قسمتهای مختلف ترسیم گردیده‌است کهمنحنی A مربوط به‌کلیه تئاتربا صحنه‌بدون تماشاگران و B با تماشاگران اندازه‌گیری



شکل ۱۲۵ ـ تئاتر دوبولیو ـ لوزان (آرشیتکت MARCEL MAILLARD ۱۹۵۴)

A ـ جایگاه تماشاچیان ـ B . صحنه ـ C . رفلکتور برای ارکستر



شکل ۱۲۶ ــ پس‌آوای تئاتر دوبولیو ــ لوزان

A ــ جایگاه تماشاچیان و صحنه بدون تماشاگر

B ــ جایگاه تماشاچیان و صحنه با تماشاگر

C ــ جایگاه تماشاچیان ۶۶۰۰ متر مکعب (صحنه با پرده آهنین جدا شده است

D ــ صحنه جداگانه (۵۴۰۰ متر مکعب)

گردیده‌است ــ منحنی C مشخص‌جایگاه تماشاگران بدون صحنه است (دراین‌اندازه‌گیری صحنه‌را بوسیله‌پرده‌آهنین‌از جایگاه‌تماشاچیان‌جدا نموده‌اند . این پرده آهنین دراغلب تئاترهاوجوددارد‌وبمنظورمحافظت‌تماشاگران‌هنگام‌بروزحریق‌درصحنه‌بکاربرده‌میشود) .

بطوریکه از منحنی پس‌آوا برمی‌آید پس‌آوای تالار بدون صحنه بطور متوسط ۱,۴ ثانیه است که بعلت وجود مبلهای پارچه‌ای پس‌آوای حالت پر و خالی آن تقریبا " بدون تفاوت است و مقدار آن قدری کمتر از مقدار اپتیمم میباشد که باتوجه به حجم‌مخصوص‌آن (۳,۵ مترمکعب‌برای‌هرنفر) بیش‌از این امکان نداشته‌است . صحنه بزرگ و مرتفع این‌تالار باعث‌ازدیاد پس‌آوای‌کلی تالار برای نغمات بم میباشد که از نظر ارکستر چندان نامناسب نیست . بدیهی است که از این تالار در درجه‌اول برای اجرای نمایشات و اپرا استفاده می‌گردد و اجرای کنسرت دراین تالار در درجه دوم اهمیت است .

تالار مموریال اوبرلین ــ اوهایو (۱)

(۲)

این تالار نمونه یک تالار مدرن سبک امریکائی است که توسط بولت ــ برانک و نیومن در سال ۱۹۵۱ ساخته شده است ــ در شکل ۱۲۷ طرح این تالار ملاحظه میگردد .

حجم این تالار ۴۴۸۰ مترمکعب و گنجایش آن ۴۸۰ نفر است (علت کمی گنجایش آن نداشتن بالکن و گالری دراین تالار است) با این ترتیب حجم مخصوص این تالار ۹ متر مکعب برای هرنفر میگردد و این مقدار بطوریکه میدانیم برای تئاتر خیلی زیاد است و میبایستی بنحوی جبران گردد که برای جبران طولانی بودن پس آوا دیوار عقبی تالار را با پوشش آبسوربنت مستور نموده اند . بااین وصف پس آوای این تالار برای تئاتر نسبتا "زیاد است و برای اجرای کنسرت متناسبتر بنظر میرسد . معذالک بعلت فرم خاص این تالار که دیوارهای مسطح متوازی دراین جا وجود ندارد و سقف آن نیز بفرم خاصی دارای شکل زیگزاک میباشد ، دیفوزیته و وضوح آن بسیار خوب و با وجود پس آوای زیاد اجرای نمایشات و اپرا در آن بخوبی میسر میباشد .

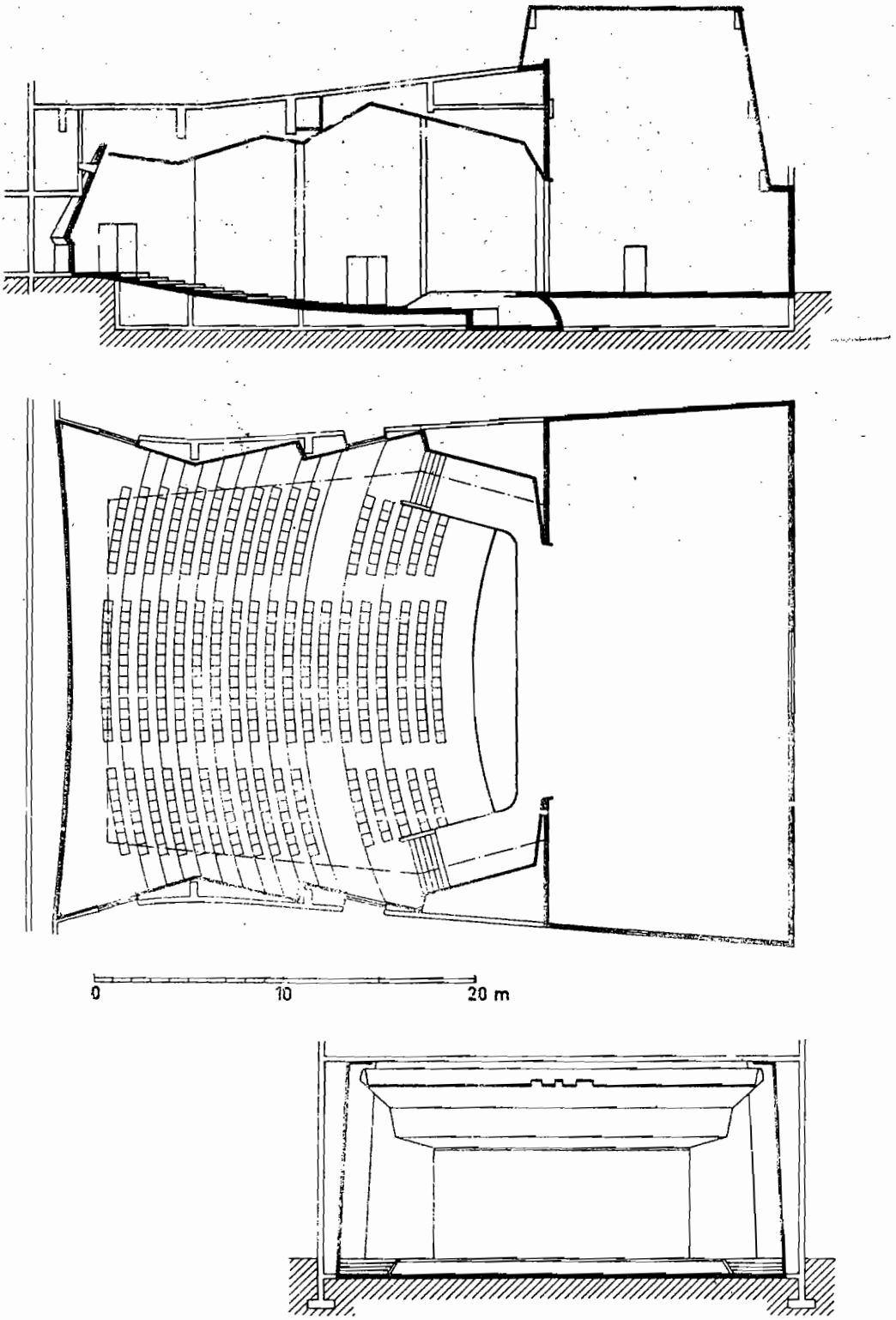
کلیـــسا :

درساختمان کلیساها دو نکته متضاد در برابر یکدیگر قرار دارند : وضوح بـرای موعظه و پس آوای کافی برای ارگ و کر . بذیهی است که این هردو را نمیتوان در یکجا جمع کرد . ازاینرو برای ساختمان کلیساها دستورمنجزی نظیرآنچه که در مورد تالارهای کنفرانس و کنسرت وضع گردیده است در دست نمیباشد و هریک از سازندگان برحسب تجربه راهی را انتخاب می نمایند . مثلا دراغلب موارد پس آوای کلیسا را نسبتا " بزرگ (۳ تا ۵ ثانیه) انتخاب مینمایند و برای وضوح گویش ، منبر سخنران را در میان جمعیت قرار می دهند تا

---

1)- Hall Memorial Auditorium Oberlin Ohio

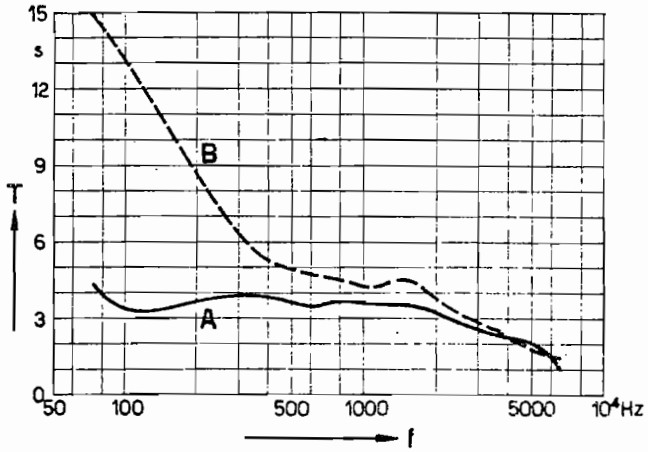
2)- BOLT BERANEK & NEWMAN (1951)



شکل ۱۲۷ ــ تالار یادبود اوبرلین ــ اوهایو ۱۹۵۱ (BOLT-BERANEK&NEWMAN)

بعلت نزدیکی گوینده و شنونده تاثیر پس‌آوای بزرگ در گفتار محسوس نگردد . برای کلیساهائی که حجم کلی آنها بیش از ۱۰۰۰۰ متر مکعب نباشد میتوان قواعد تجربی زیرین را توصیه نمود : پس‌آوای کلیسا با حضور جمعیت در نوار فرکانس ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ هرتس نباید بیش از ۲ ثانیه باشد و پس‌آوای همین کلیسا بدون حضور جمعیت از ۳ تا ۳٫۵ ثانیه نباید متجاوز گردد تا در مواردی که جمعیت کافی حضور نداشته باشد باز آکوستیک آن قابل تحمل باشد . برای رعایت شروط فوق ناچار از بکاربردن مصالح آبسوربنت بخصوص برای نغمه های بم میباشند (سقف کاذب) .

درشکل ۱۲۸ منحنی پس‌آوای دو کلیسا با یکدیگر مقایسه گردیده است : منحنی A



شکل ۱۲۸ ــ منحنی طنین کلیساها

A ــ کلیسای مارکوس در برن ــ دارای سقف کاذب چوبی و حجم کلی ۷۰۰ متر مکعب

B ــ کلیسای آنتونیوس بحجم ۸۷۵۰ متر مکعب و سقف بتنی

مربوط به کلیسائی است که در شکل ۱۲۹ منظره‌ای از آن ملاحظه میگردد ــ دراین دو کلیسا علاوه بر ۲۰۰ مترمربع آکوستیک تایل در کلیسای A سقف کاذب چوبی نیز ساخته شده است درحالی که در کلیسای B سقف از بتن بدون پوشش تشکیل گردیده است و بطوری که از روند منحنی بخوبی استنباط میگردد پس‌آوای نغمات بم در کلیسای B بیش از حد و غیر قابل تحمل میباشد .

راه عملی و ساده‌ای که برای رفع این نقیصه وجود دارد ، بکاربردن پوشش های آبسوربنت است ، که برحسب ابعاد کلیسا بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ مترمربع مورد نیاز می‌باشد ، بدیهی است که بکاربردن این راه‌حل در مواردی که کلیسا همواره پرباشد چندان مناسب نیست و پس‌آوای کلیسا را برای موزیک کم مینماید .

راه‌دیگرکه قدری‌گرانتر ولی‌مناسبتراست پوشش‌کردن‌نیمکت‌های کلیسا باروکشهای الیافی و متخلخل‌میباشد . بخصوص برای‌کف نیمکتها میتوان از مصالح‌ارزان ازقبیل‌ابرویا تشک دنلوپیلو بخوبی استفاده نمود و از پوشش تکیه‌گاهها نیز صرف‌نظر می‌گردد .

کلیسای مـارکوس در بـــرن :

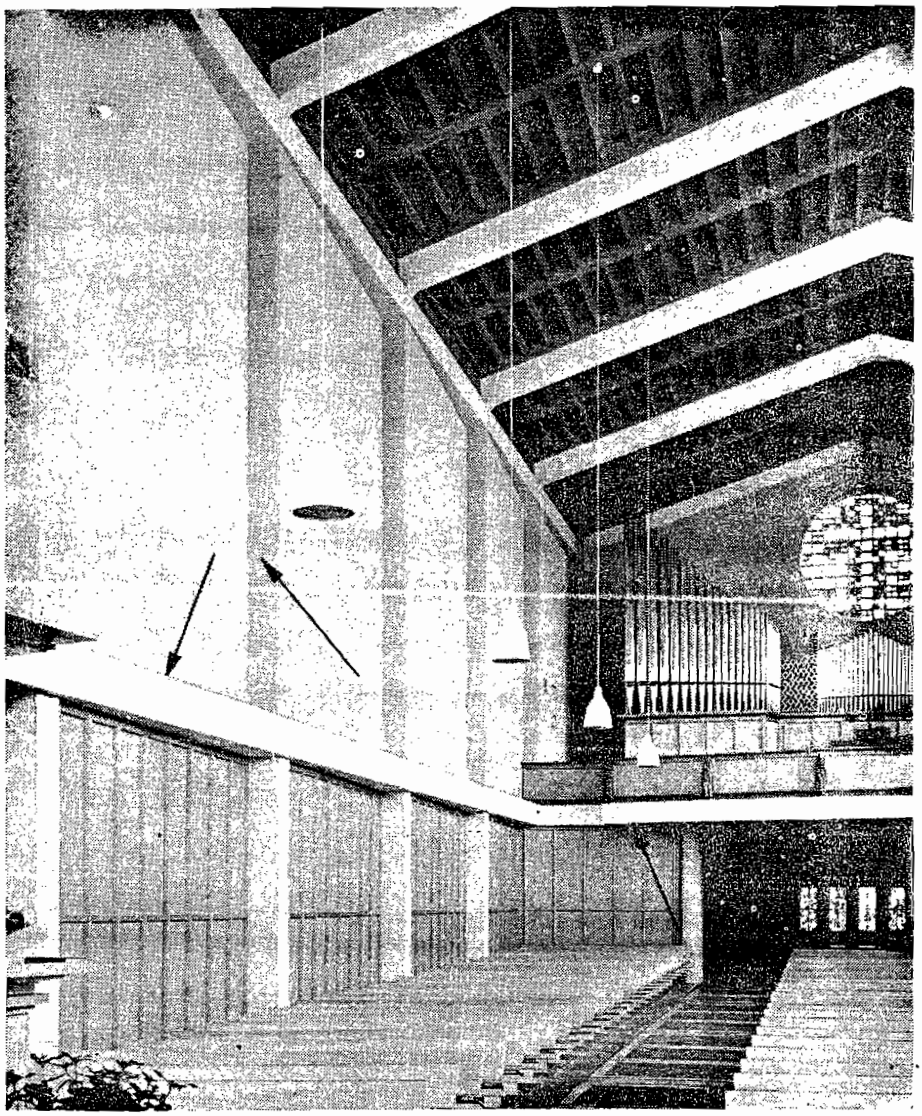
دراین کلیساکه درسال ۱۹۵۱ در برن ساخته شده است میتوان نکات ذکر شده‌را موردبررسی قرارداد : در شکل ۱۲۹ مشخصات ساختمانی این کلیسا بخوبی مشهود است که با زاویه‌دادن بدیوارها از اثرات نامطلوب دیوارهای پارالل جلوگیری گردیده است و نیزدر سطوح‌مخفی‌و بطوریکه‌به‌آرشیتکت‌رکلیسا لطمه‌ای وارد نگردد مقداری آکوستیک تایل بصورت پراکنده نصب گردیده است .

در جدول زیرین مشخصات این کلیسا رامیتوان دقیقتر مورد مطالعه قرار داد :

(حجم کلیسا ۶۷۰۰ متر مکعب)

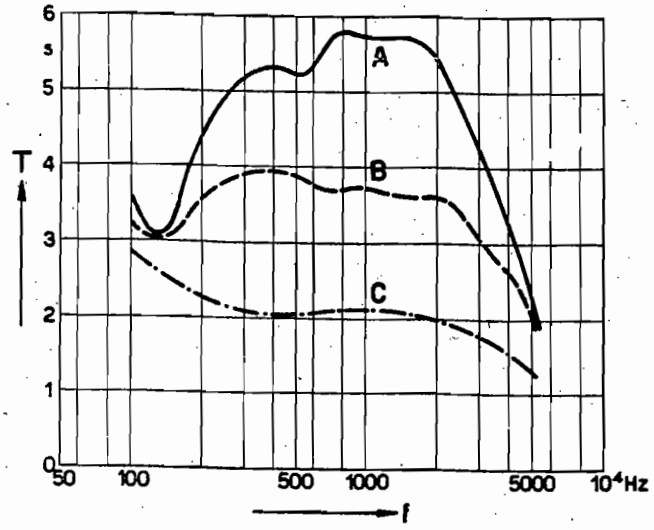
پوشش آبسوربنت	آبسورپسیون کلی	پس آوا (ثانیه)	موعظه	ارگ
بدون پوشش وبدون جمعیت	۲۰۰ مترمربع	۵,۴	بد	خیلی‌خوب
» » و۳۰۰ نفر »	۳۵۰ »	۳,۰	بد	»
» » و۶۰۰ » »	۵۰۰ »	۲,۱	قابل‌استفاده	»
باپوشش ۲۰۰مترمربع آکوستیک تایل وخالی	۳۰۰ »	۳,۶	بد	»
» » » ۳۰۰ نفر »	۴۵۰ »	۲,۴	قابل استفاده	»
» » » ۶۰۰ » »	۶۰۰ »	۱,۸	خوب	خوب

باتوجه به جدول‌فوق میتوان دریافت که اگر مصالح آبسوربنت بیشتری بکاربرده



شکل ۱۲۹ ــ کلیسای مارکوس‌دربرن (فلش‌ها سطوح آبسوربنت‌را مشخص‌می‌نمایند)

میشدبازهم آکوستیک کلیسا برای موعظه مناسبتر میگردید ، درحالی که برای ارگ وکرهم قابل استفاده می‌بود ــ در شکل ۱۳۰ منحنی پس‌آوائی کلیسا در سه حالت مختلف نشان داده شده است .



شکل ۱۳۰ ــ منحنی پس‌آوای کلیسای مارکوس (برن)

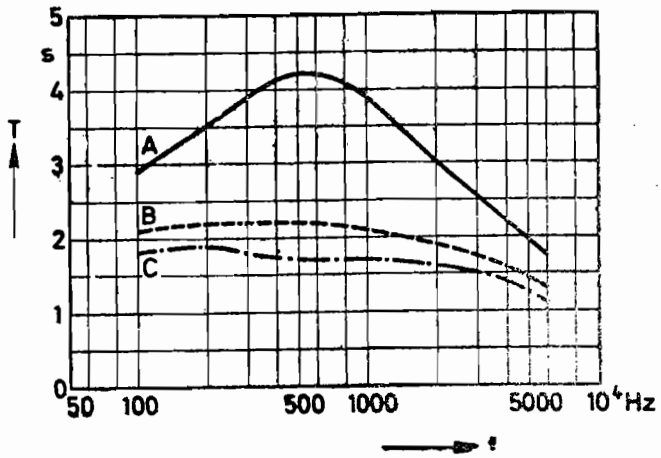
A ــ پس‌آوای کلیسا بدون مصالح آبسوربنت

B ــ پس‌آوای کلیسا با ۲۰۰ متر مربع آکوستیک تایل

C ــ پس‌آوای کلیسا با حضور جمعیت

کلیسای استفانوس ــ برن :

این‌کلیسا که‌در سال ۱۹۵۹ افتتاح گردیده است نمونه یک کلیسای مدرن باسقف تیز (نظیرچادر) میباشد . حجم این کلیسا ۳۲۰۰ مترمکعب (سطح زیربنا ۲۰ × ۲۰متر و ارتفاع موءثر ۱۳ متر) است و دارای گنجایش ۴۹۰ نفر است که در نتیجه برای هرنفر ۶٫۵ متر مکعب فضا وجود دارد . در شکل۱۳۲منظره‌سقف‌بزرگ چوبی این کلیسا که باعث کاهش پس‌آوای نغمات بم گردیده است بخوبی دیده میشود . بر اثر سقف چوبی بزرگ پس‌آوای‌کلیسا بطوریکه در شکل ۱۳۱ نیز نمایش داده شده است حتی بدون حضورجمعیت قدری بیشاز ۳ثانیه میباشد ــ ولی با وجود این چون این پس‌آوا برای موعظه زیاد است لذا ناچار از بکاربردن مقداری پوشش آبسوربنت بوده‌اند که بصورت متریال‌خام در پشت سطوح شکاف داری نصب گردیده است .

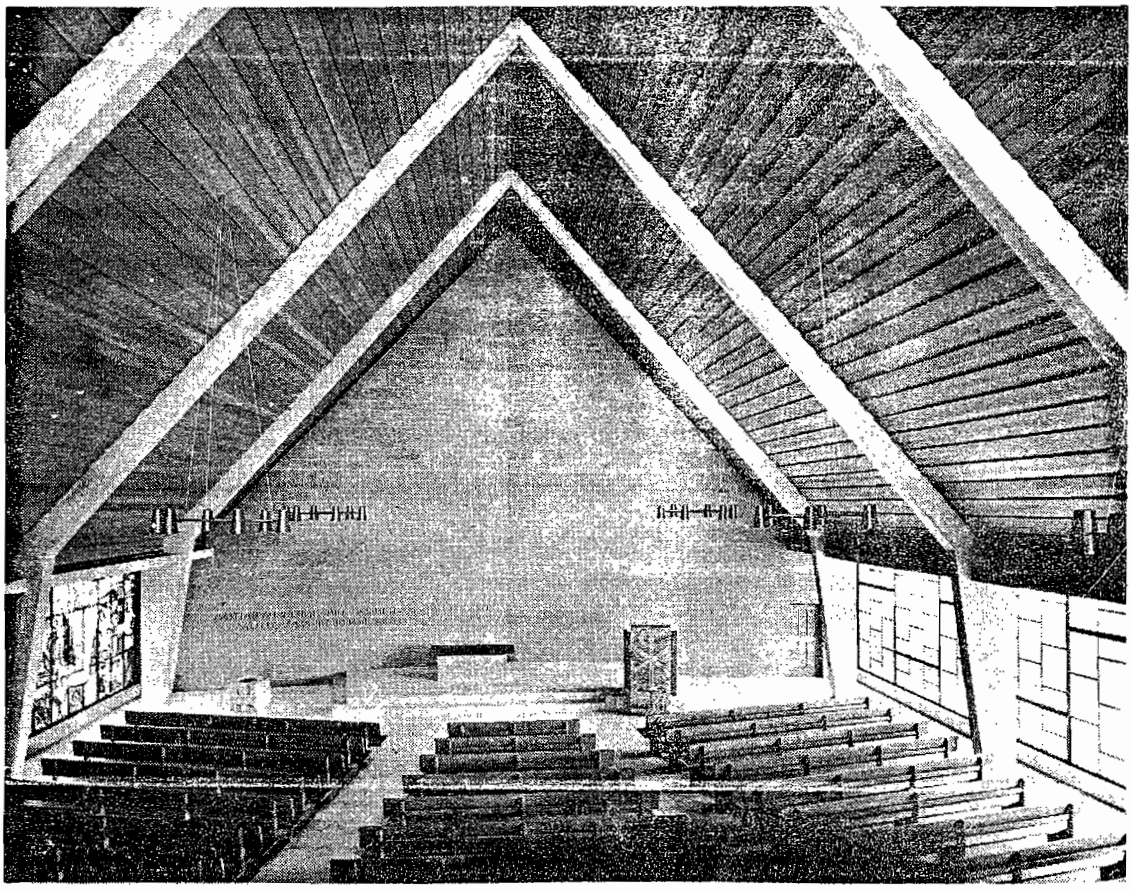


شکل ۱۳۱ ــ کلیسای استفانوس (برن)

A ــ منحنی پس‌آوا بدون حضور جمعیت

B ــ منحنی با حضور نیمی از جمعیت

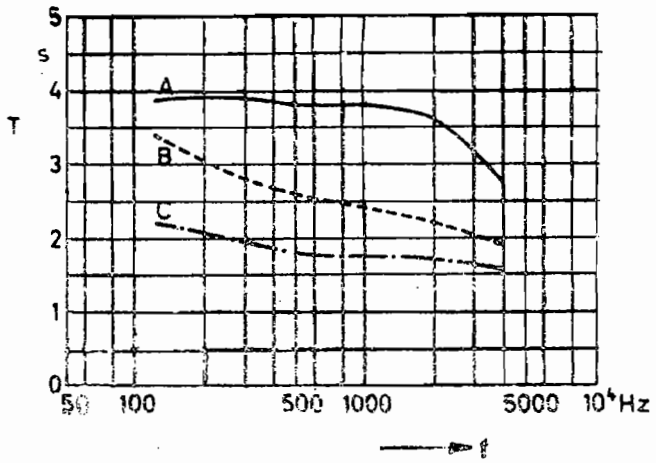
C ــ منحنی با حضور تمام جمعیت



شکل ۱۳۲ ــ کلیسای استفانوس (برن)

کلیسای پروتستان در کلوتـــن :

این کلیسا که در اواخر قرن‌نوزدهم در حومه زوریخ ساخته شده است دارای‌سطح ۱۶×۲۸ مترو ارتفاع ۱۲متر است‌که حجم‌کلی آن ۵۱۱۰ مترمکعب میباشد . در سال۱۹۵۹ دراین‌کلیسا تجدیدبنا گردیدو بابکاربردن‌تدابیری اشکالات‌آکوستیکی آن تا حدی‌برطرف گردیده است‌ولی پس‌آوای آن بطوریکه در شکل ۱۳۳ ملاحظه می‌گردد بدون حضورجمعیت ۴ثانیه و نسبتا " زیاد است . برای اصلاح اکوستیک کلیسا چون راه‌حل دیگری عملی نبود لذاباپوشش کردن نیمکتها باتشک‌های‌دنلوپیلو بضخامت ۳،۵ سانتیمتر که روکش آنها نیز از پارچه میباشد طنین را بطوریکه در شکل ۱۳۳ دیده میشود کاهش داده‌اند .



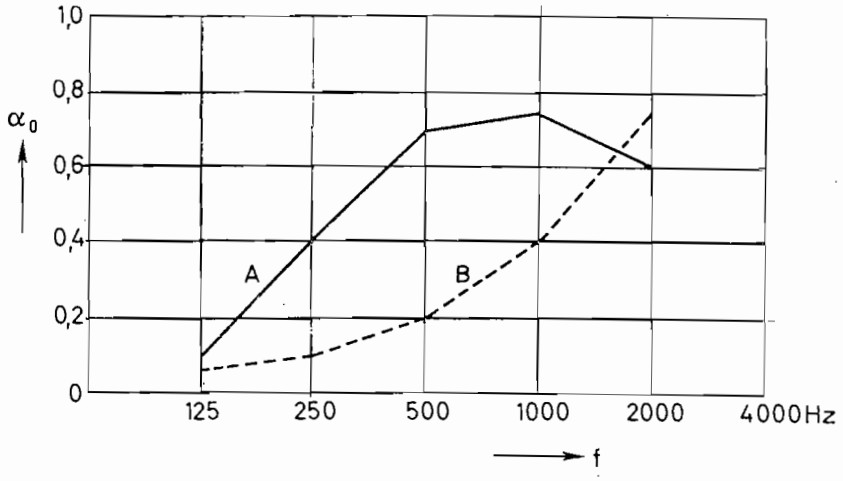
شکل ۱۳۳ ــ کلیسای پروتستان در کلوتن . منحنی پس‌آو

A ــ خالی و بدون روکش نیمکت ها

B ــ خالی با روکش نیمکت ها

C ــ پر با روکش نیمکت ها

درشکل ۱۳۴ روندضریب آبسورپسیون تشک دنلوپیلو با مقایسه با آکوستیک‌تایل پشم‌شیشه نمایش‌داده شده است که بخوبی اثر آبسورپسیون تشک دنلوپیلو بخصوص برای نغمات بم بررسی می‌گردد .



شکل ۱۳۴ ــ ضریب آبسورپسیون (اندازه گیری شده در لوله)

A ــ تشک دنلوپیلو بضخامت ۵ ر ۳ سانتیمتر

B ــ آکوستیک تایل پشم شیشه بضخامت ۲ سانتیمتر

بانصب تشک‌های دنلوپیلو درکلیسای کلوتن بطوریکه درشکل ۱۳۳ ملاحظه میگردد پس‌آوای تالار خالی از ۳،۸ ثانیه به ۲،۵ ثانیه کاهش یافته است و با حضور جمعیت نیز به ۱،۸ ثانیه میرسد .

سینما :

چون سینما فقط بمنظور نمایش فیلم و پخش صدا با بلندگو ساخته میشود لذا ازنظر آکوستیک میبایستی صامت باشد وبعلت وجود پس‌آوای مصنوعی لازم (منطبق با صحنه) درصدای فیلم ، سالن نبایستی هیچگونه تغییری در کیفیت صدای فیلم ایجاد نماید ــ بااین‌ترتیب معلوم می‌گردد که سینمای ایده‌آل بایستی نظیر یکاطاق صامت و دارای پس‌آوائی معادل صفرباشد ــ ولی اجرای این امربعلت عدم دیفوزیته در میدان صوتی اطاق صامت ویکسان نبودن غلظت انرژی صوتی در تمام نقاط فضا عملی نیست ، زیرا برای رسانیدن صدا بهمه نقاط سالن صامت احتیاج به قدرت صوتی فوق‌العاده میباشدکه از یکطرف باعث ناراحتی افراد نزدیک به سرچشمه میگردد و از طرف دیگر احتیاج به بلندگوهای متعددی دارند که بتوانند صوت رادر تمام جهات پخش نمایند . ازاینرو در سالنهای سینما باوجود بکاربردن

مصالح آبسوربنت و حجم مخصوصی معادل ۳ تا ۴مترمکعب برای هرنفر ،سعی می‌گردد که پس‌آوائی معادل پس‌آوای تالارهای سخنرانی حاصل گردد .

مصالح آبسوربنتی که در تالارهای سینما بکار برده میشوند معمولا در دیوارعقب تالار و بخصوص بصورت آبسوربنت های نغمات بم(چوب با پروفوراسیون و مخلوط با آکوستیک‌تایل متناسب) بکار برده میشوند .

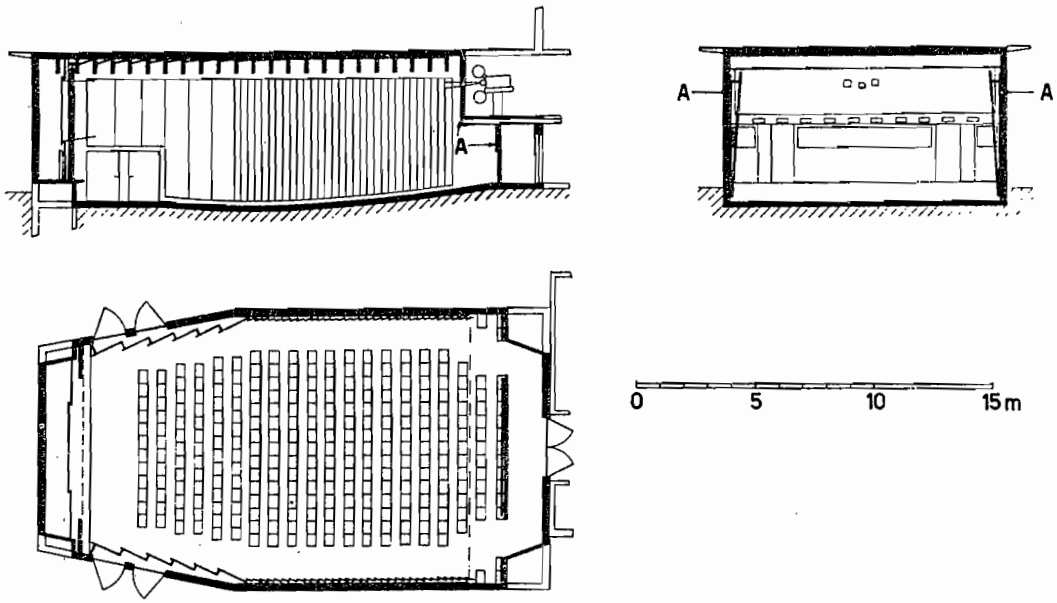
برای‌جلوگیری‌از تبعیت پس‌آواز تعداد تماشاچی که بخصوص در سینما ممکن‌است کاملا متغیر باشد بایستی صندلیهای سینما را از روکش آبسوربنت (معادل‌آبسورپسیون تماشاگران) مستور نمود ــ بکار بردن روکش‌های پلاستیکی و یا نایلونی برای صندلیهای سینمامجاز نمیباشدو باعث تغییرات مشخصات صوتی با تغییر تعداد تماشاگران میگردد ــ برای‌نمونه دراینجا مشخصات چندسینما مورد بررسی قرار داده میشود :

سینمای اوسترموندیگن (برن)

این سینما نمونه‌ای است از یک سینمای‌کوچک بگنجایش ۲۸۰ نفر و بحجم ۱۲۰۰ مترمکعب که نقشه بنای آن در شکل ۱۳۵ مورد بررسی قرار داده میشود .

دراین سینما بالکن وجود ندارد و حجم مخصوص آن ۳ ,۴ مترمکعب برای هرنفر میگردد و از این‌رو احتیاج بمقداری پوشش آبسوربنت دارد که در دیوار عقب بکار برده شده است .

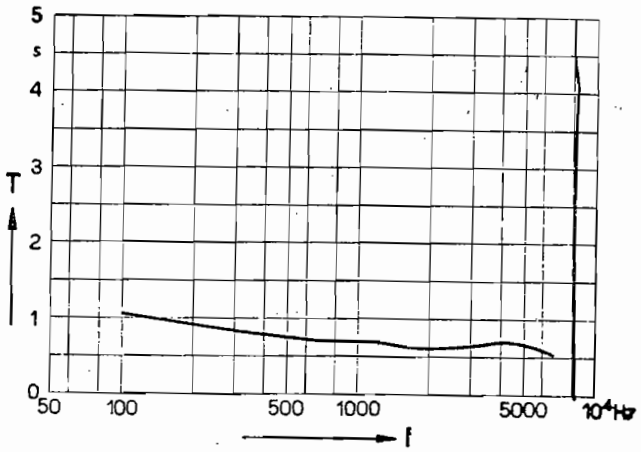
برای‌بالابردن دیفوزیته دراین سینما از صفحات‌گچی بعرض ۴۰سانتیمتر که‌بطور مورب در دیوارهای‌جانبی‌کارگذارده‌شده‌اند استفاده شده است و در دیوار نزدیک‌پرده‌نیز از صفحاتیکه بصورت دنده‌اره‌ای کار گذارده شده‌اند برای همین منظور استفاده شده است در سقف‌بعلت وجودپوترهای نمایان‌و برای‌جلوگیری‌ازاکومابین‌سطوح موازی آن و همچنین مابین سقف و زمین دربین پوترهای جلوی سینما صفحات چوبی موربی بکار برده‌اند که بتدریج‌بطرف عقب‌تالارکوچکتر شده و از بین میرود . شکل ۱۳۶ نمایش منحنی پس‌آوای



شکل ۱۳۵ ــ سینمای اوستر موندیگن در برن

A ــ سطوح آبسوربنت

این سینما بدون حضور تماشاگران می‌باشد که بطور متوسط قریب ۰٫۸ ثانیه است .



شکل ۱۳۶ ــ پس‌آوای سینمای اوستر موندیگن

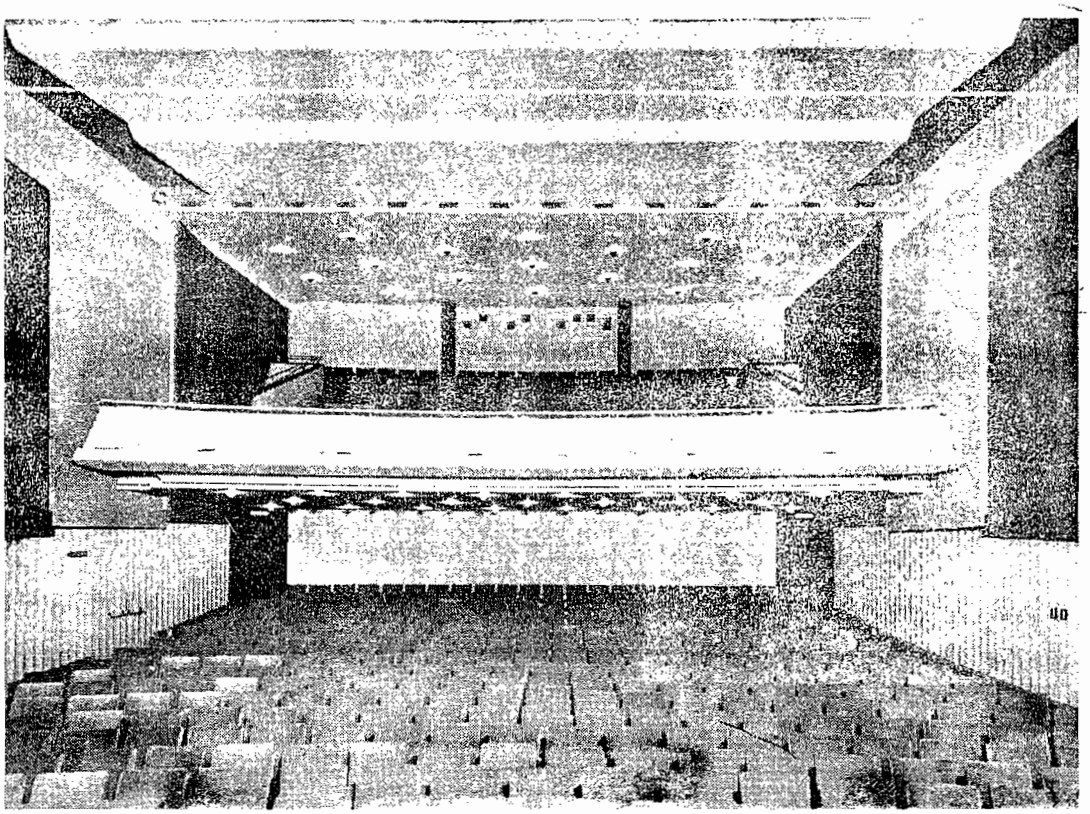
سینمای آریستون (بلینسونا)

سینمای آریستون که بعنوان یک سینمای متوسط در اینجا ذکر میگردد دارای ابعادی است که برای بنای سینما متناسب است و اغلب سینماها با این ظرفیت بنا می‌گردند .

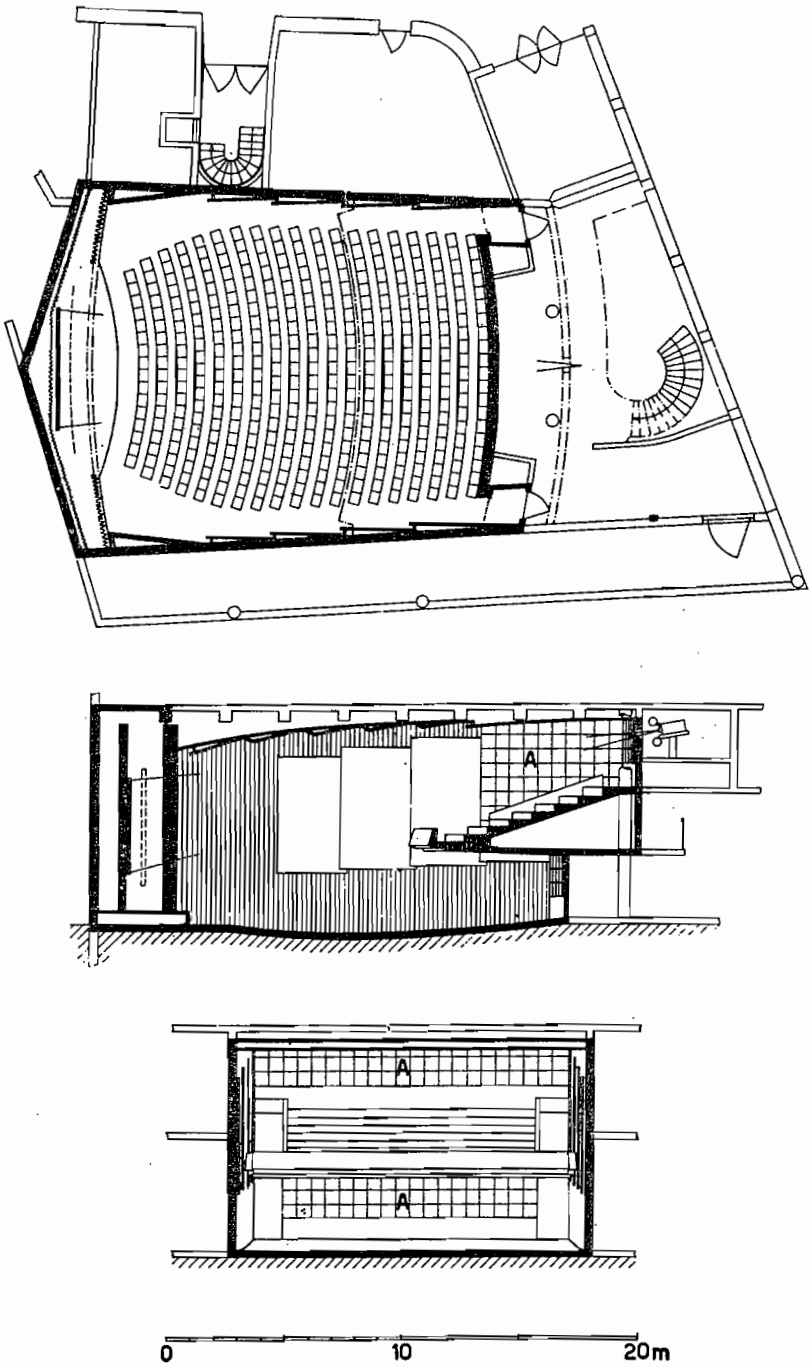
حجم این تالار ۲۲۰۰ مترمکعب و گنجایش آن ۵۶۲ نفر است که با این ترتیب حجم مخصوص آن ۳,۹ مترمکعب برای هر نفر میگردد و پس آوای آن با حضور تماشاچیان بطور متوسط ۰/۸ ثانیه میباشد . مشخصات این سینما قبلا در فصل اصول طراحی ساختمانها بعنوان مثال ذکر گردیده است .

بطوریکه از شکل ۱۳۷ مشخص میگردد بر دیوار عقب تالار مقداری مصالح آبسوربنت مستور نموده‌اند و قسمتی از اطراف بالکن را نیز با پوشش آبسوربنت پوشانیده‌اند .

سایر قسمتها و سقف این تالار با صفحاتی که در سطوح مختلف قرار گرفته و بمنظور از دیاد دیفوزیته پیش‌بینی گردیده‌اند ، پوشانیده شده است . دیوارها از پروفیل‌های گچی و صفحات بزرگ مورب و سقف نیز بصورت دندانه اره‌ای بناگردیده است ــ دیوار عقب که قدری گرد ساخته شده است دارای شیب مختصری بطرف بالا میباشد که از ایجاد کانون جلوگیری می‌گردد و بازتابهای آن بطرف بالا هدایت می‌شوند .



شکل ۱۳۷ ــ سینمای آریستون



شکل ۱۳۸ ــ سینمای آریستون در بلینسونا

A ــ سطوح آبسوربنت

درشکل ۱۳۸مشخصات ذکرشده دربالا رامیتوان بدقت‌مورد مطالعه‌قرار داد .

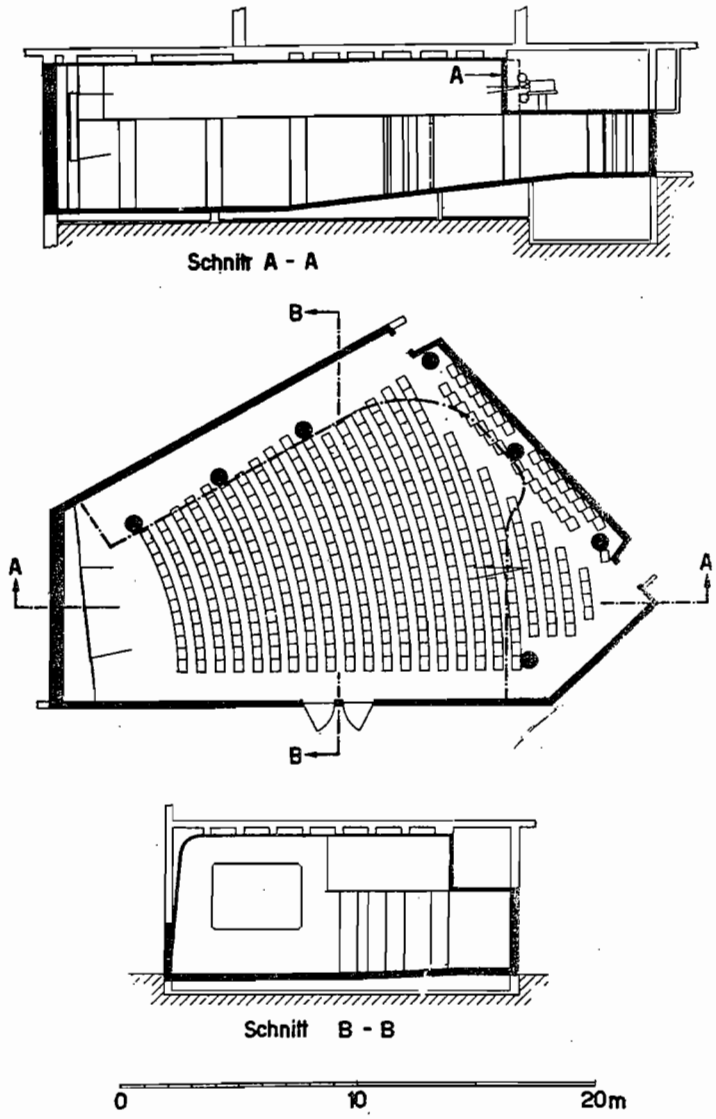
سینمای " استودیو ۴ " (زوریخ)

شکل ۱۳۹ نمایش یک سینمای خاصی است که بعلت نامتناسب‌بودن زمین بصورت پنج‌ضلعی ساخته‌شده‌است و چون ارتفاع تالار بعلت نوع ساختمان محدود بوده است علیهذا از ساختن بالکن نیز صرف‌نظر گردیده و برای حصول استحکام کافی (بعلت وجود طبقات ساختمانی در بالای تالار سینما) در اطراف تالار ستونهائی نیز بناگردیده است . حجم این تالار ۱۵۰۰ مترمکعب و گنجایش آن ۴۰۰ نفر است که در نتیجه حجم مخصوص آن ۳,۷ مترمکعب برای هرنفر میگردد و این مقدار با توجه به عدم بالکن دراین تالار نشانه استفاده کافی از جا بوده است .

باوجود فرم غیرمنتظم و ستونهای اطراف سالن میتوان آکوستیک متناسبی ازاین تالار انتظار داشت که برای اطمینان بیشتر یکی از دیوارهای جانبی نیز کمی مورب ساخته شده (بطرف بالا) و نیز دیوار روبروی پرده‌هم دارای پوشش کمی از مصالح آبسوربنت میباشد و جز این تغییرات دیگری از نظر آکوستیکی در اینجا مورد لزوم نبوده است برای جلوگیری از تغییر آکوستیک به تبعیت از تعداد تماشاگران کلیه صندلیهای آن پوشش و راهروها را نیز مفروش نموده‌اند ــ آکوستیک خوب و ایده‌آل این سینما نشانه‌ای از تاءثیر فرم غیرمنتظم و کاملا غیرقرینه این تالار در آکوستیک آن است .

استودیوهای رادیو ، تلویزیون و ضبط صدا

بنای یک استودیو از جمله کارهای نادری است که بیک آرشیتکت غیرمتخصص مراجعه میگردد و از این‌رو توضیح مفصل دراین مورد از بحث این کتاب خارج است و علاقمندان باین رشته بایستی بکتب و نشریات اختصاصی مراجعه نمایند . علاوه بر آن دراین رشته هنوز اطلاعات نهائی در دسترس عموم قرارندارد و هر متخصصی بسته به نظریه وتجربیات خود و درهرموردی تدبیر خاصی بکار میزند که از نظر اصولی مشابه ولی از نظر جزئیات و نوع استودیو تفاوت فاحشی با یکدیگر دارند .



شکل ۱۳۹ ــ سینمای استودیوی ۴ ، زوریخ

A ــ سطوح آبسوربنت

دربنای‌استودیوها چون مسئله آکوستیک سایر مسائل را تحت‌الشعاع قرار میدهد بنابراین‌توجه به‌نکات معماری در آنها خالی از اشکال نیست و در درجه دوم اهمیت‌قرار داده‌میشود . بخصوص‌برای‌بنای‌استودیوهای رادیو و صدابرداری (برای فیلم وتلویزیون و صفحه) اطلاعات‌کافی‌و وافی‌در رشته آکوستیک تالارها و داشتن تجربه‌کافی ازبدیهیات است . در بنای استودیوهای رادیو که از سال ۱۹۲۲ آغاز گردیده است تاکنون تغییرات

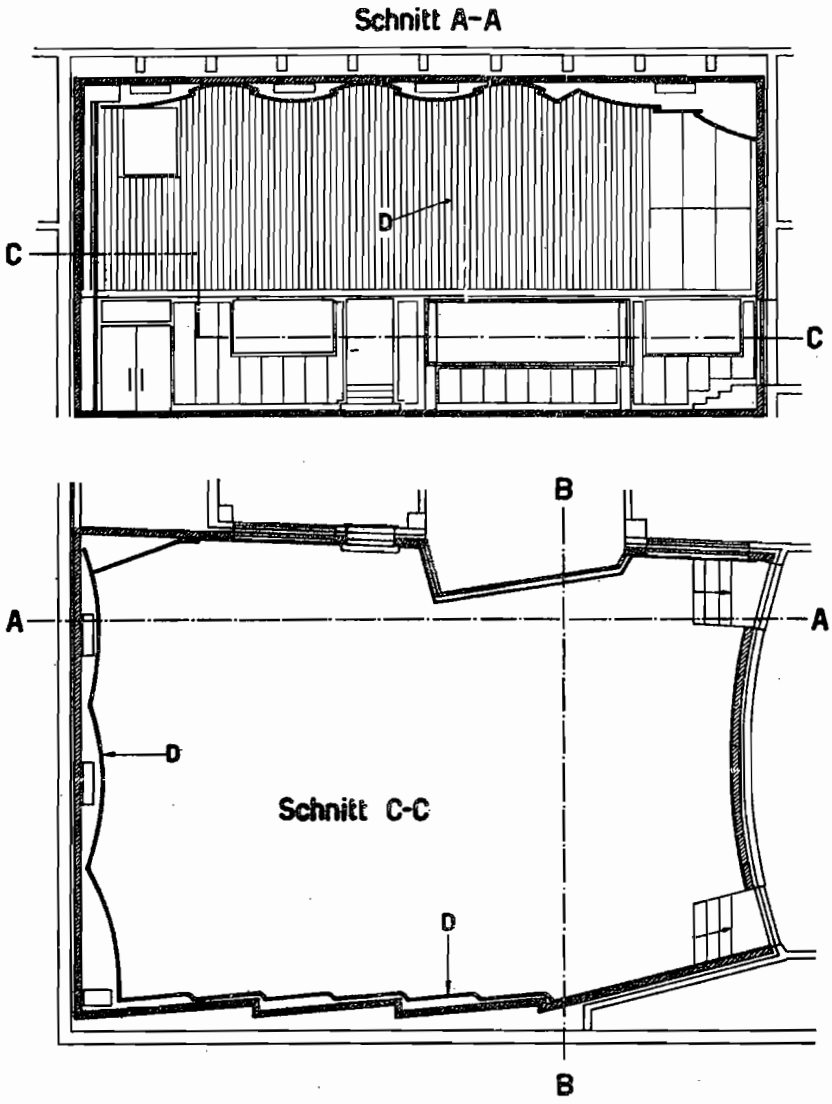
بسیاری‌داده شده و وضع امروزی آنها با آنچه که سابقا " ساخته شده است تفاوت آشکاری دارد .

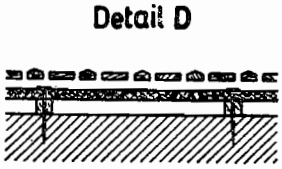
معمولا برای یک فرستنده رادیو یا نظایرآن فقط یک استودیو یا یکنوع استودیو ساخته نمیشود بلکه برای مصارف مختلف استودیوهائی باابعاد پس‌آوا و سایر مشخصات متفاوت ساخته‌میشود ــ مثلا استودیوی گفتارو اخبار یا استودیوی اجرای تئاترهای‌رادیوئی ویابرنامه‌شنوندگان‌ویااستودیوی‌اجرای‌کنسرت‌های‌کوچک‌ویابزرگ ، همچنین استودیوهائی که‌در آنها برنامه باحضور تماشاگران‌اجرامیگردد اختلاف اصولی دارند و باید برای‌هریک از این برنامه‌ها استودیوی جداگانه ساخته شود که نوع کار آن با برنامه‌ای که درآن اجرا می‌گردد تناسب داشته باشد .

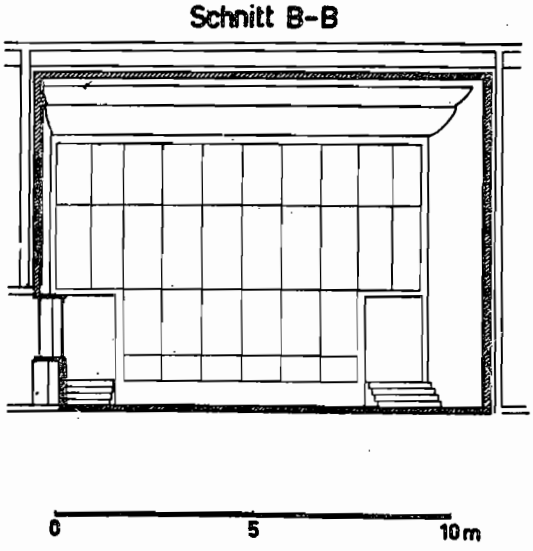
دراستودیوهای‌بزرگ‌بخصوص‌مسئله‌دیفوزبودن‌میدان‌صوتی‌اهمیت‌بسزائی‌دارد .

درشکل ۱۴۰ نمونه‌ای ازیک استودیوی بزرگ (رادیو لوزان) نمایش داده شده و ضمنا "سه‌نمونه دیگر (استودیو رادیو پاریس ــ برن و لندن) قبلا مورد بحث قرارداده شده است . اغلب اوقات رعایت نکات‌ذکرشده با آرشیتکتور و تزئینات داخلی استودیو تناسب ندارد و میبایستی در اینگونه موارد برای پوشش دیوار از مصالح خاصی استفاده گردد که مانع عبور صوت نگردد و در پشت‌آن مصالح آبسوربنت قرار داده شود ــ مثلا بطوریکه در شکل ۱۴۰ در دیتیل D نمایش داده شده است ، قسمتی از دیوارها را با دماغه‌های چوبی که بطرز زیبائی تراشیده شده‌اند پوشانیده‌اند و پشت آنها را از مواد آبسوربنت‌مستور نموده‌اندکه در نتیجه از شکافهای مابین دماغه‌های چوبی موادآبسوربنت در میدان صوتی تاثیر می‌نمایند و ضمنا " دماغه‌های چوبی نیز در جذب فرکانسهای بم موءثر میباشند .

درشکل ۱۴۱ نمای داخلی‌استودیوی شماره ۵رادیو لوزان مشاهده میگردد که‌حجم آن ۱۱۰۰مترمکعب میباشد و برای ارکسترهای متوسط ، برنامه شنوندگان وواریته‌ها مورد







شکل ۱۴۰ ــ استودیوی شماره ۵ رادیو لوزان (آرشیتکت MARCEL MAIIARD ۱۹۴۵)

استفاده قرار میگیرد ــ این استودیو دارای دیفوزیته خوب میباشد که فرم پوشش برجسته دیوارهادراین موردسهم بسزائی دارندکه باوجود مشخصات ایده‌آل صوتی ازنظر آرشیتکتور نیز حداکثر ظرافت در آن بکار رفته است .

در مورد بنای استودیوهای فیلم‌برداری و تلویزیون نمیتوان مقررات خاصی‌وضع نمودو فقط بایددر نظرداشت‌که این‌استودیوهابرای اجرای نمایشات و برداشتن صحنه‌های مختلف‌ساخته میشوندو مسئله‌آکوستیک در اینجا در درجه دوم اهمیت است زیرا باتکنیک مونتاژ و دوبله‌کردن معمول امروز دیگر فیلمبرداری و صدابرداری تواءما " انجام نمیگیردو پس‌از تهیه فیلم صحنه‌ها ، صدا را بعدا " بآن اضافه مینمایند .

برای تهیه فیلم‌هائی که آواز و موسیقی در آن‌ها اساس‌صحنه را تشکیل میدهد (نظیر اپرا) ابتدا صدا را در استودیوی صدابرداری ، ضبط مینمایندوسپس‌بااجرای آن دراستودیوی‌فیلمبرداری ،هنرپیشگان‌در حین فیلمبرداری سعی مینمایند که حرکات‌دهان خودرا باصدا تواء م‌نمایندکه در نتیجه با مونتاژ صدا و عکس میتوان صحنه طبیعی بوجود آوردبدون آنکه در صحنه ، میکروفن‌بچشم بخورد و ضمنا " هنرپیشگان نیز با این ترتیب ازآزادی‌عمل‌بیشتری‌برخوردارند . باتوجه‌بمطالب فوق ابعاد استودیوهای فیلم‌وتلویزیون را بایستی طوری انتخاب نمود که برای صحنه‌های بزرگ تئاتر و سینما جای کافی داشته باشدضمنا " ارتفاع‌آن بحد کفایت زیاد باشد که بتوان پروژکتورهای لازمه را در بالای آن نصب نمود (اغلب‌تاچندصدپروژکتوردریک استودیومورد نیاز میباشد) ــ با این ترتیب حجم استودیوهای‌فیلمبرداری‌وتلویزیون‌بین ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ مترمکعب (و درصورت‌لزوم بازهم‌بزرگتر) انتخاب میگردد ، که برای جلوگیری از پس‌آوای زیاد ، سقف و دیوارهای آنرا با مصالح آبسوربنت ارزان و متناسب (بدون توجه به منظره آن که بعدا " در پشت دکورها قرارمیگیرند)مستور مینمایند ــ یکاستودیو فیلم یاتلویزیون‌علاوه بر تالاراصلی دارای تالارها و اطاقهای متعدد دیگری است که برای کارهای متفرقه دیگر از قبیل اطاق

شکل ۱۴۱ ــ استودیوی شماره ۵ رادیو لوزان

کنترل ــ استودیوی ضبط صدا ــ استودیوی مونتاژ و دوبلاژ ــ استودیوی سندافکت و غیره بکاربرده میشوندو اغلب در اطراف استودیوی اصلی قرار گرفته‌اند و ساختمان آنها طوری است‌که درصورت‌لزوم‌بایک پنجره دوبله (برای جلوگیری از نفوذ صدا) از آنجا می‌توان کلیه‌اموردا‌خل استودیورا کنترل‌نمود ــ بدیهی‌است که از نظر آکوستیک باین‌استودیوهای فرعی‌توجه بیشتری‌میگردد ولی استودیوی اصلی را فقط سعی مینماید که هرچه ممکن است صامت نمایند تا اصوات حاصله از حرکت دکورها و همهمه ماءمورین فیلمبرداری و رژیسور و غیره ایجادناراحتی‌ننمایدو از این‌رو دیوارها و سقف را با مواد آبسوربنت ارزان‌قیمت با ضخامت زیاد (پشم شیشه)وسطوح پوسته‌ای یا رزوناترها مستور مینمایند .

تالارهای بزرگ برای اجتماعات و برنامه‌های هنری

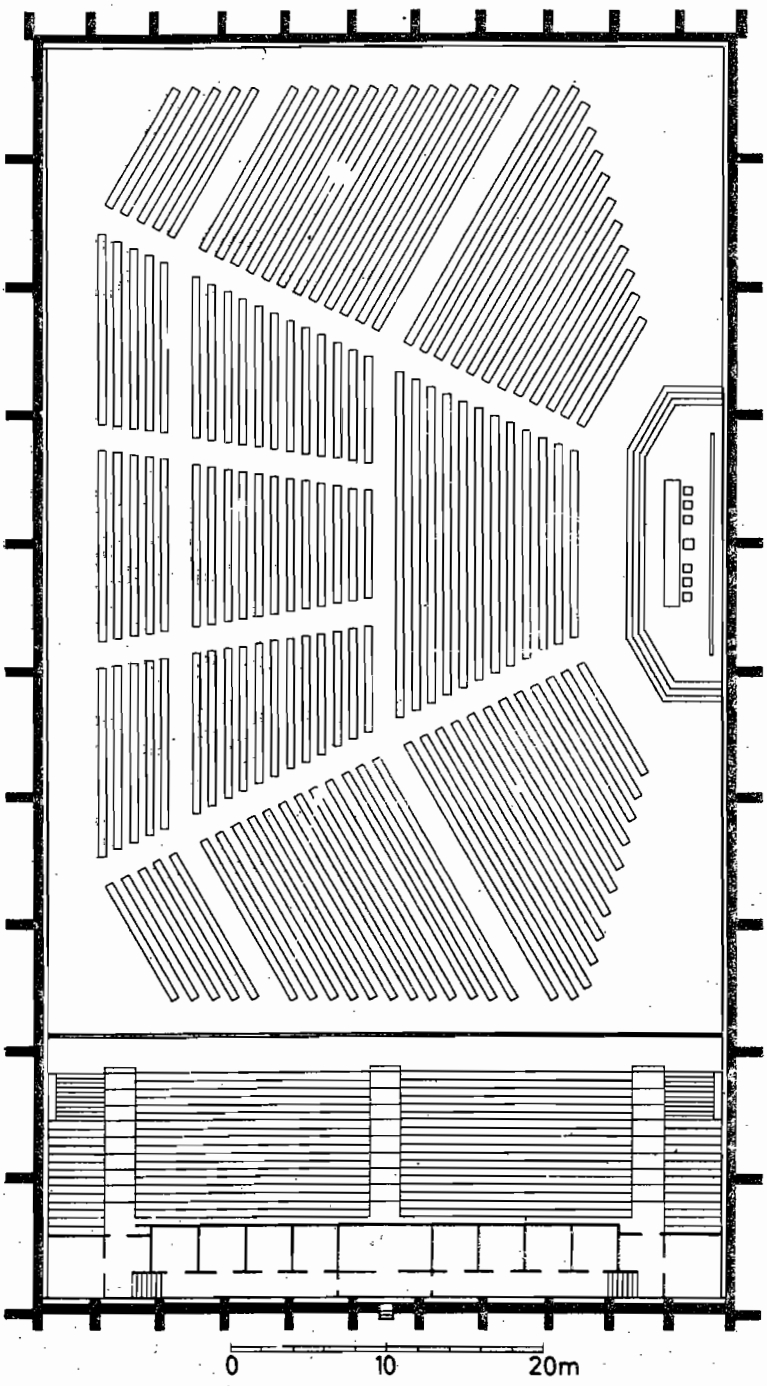
برای طرح و بنای تالارهای بسیار بزرگ که برای اجتماع هزاران نفر پیش‌بینی میگردنددیگر نمیتوان‌قواعد ذکر شده‌را رعایت نمود و حجم این گونه تالارها آنقدربزرگ انتخاب میگردد که‌اغلب هیچگونه سرچشمه آوائی بدون استفاده از دستگاههای الکترو آکوستیکی (میکروفن و بلندگو) رسائی ندارند ــ از این رو برای جلوگیری از پس‌آوای بیش‌ازحد مجازو ناراحتی تماشاگران بهتر است که اینگونه تالارها را از مصالح آبسوربنت کافی مستور نمایند تا استفاده از بلندگو بدون اشکال میسر گردد .

رادیوسیتی موزیک‌هال (نیویورک)

دراین تالار که معروفیت‌جهانی دارداز ظهرتا نیمه‌شب‌و پیاپی برنامه‌های هنری نمایش فیلم ــ واریته ــ باله و ارکستر اجرا میگردد ــ حجم این تالار ۵۰۰۰۰ متر مکعب‌و گنجایش‌آن ۶۲۰۰ نفراست ــ برای‌رسائی صدا به تمام زوایای این تالار مجبور گردیده‌اند که‌یک‌دستگاه‌کامل‌الکتروآکوستیکی درآن نصب‌نمایندو کلیه‌صندلیها را با پوشش آبسوربنت و دیوارهارا نیز با مصالح‌آبسوربنت بپوشانند تا پس‌آوای آن در ۱٫۵ ثانیه محدودگردد و بدین ترتیب اکثرتماشاگران احساس نمی‌نمایند که از اصوات مستقیم محروم‌هستند و فقط از طریق بلندگو می‌شنوند ولی بعلت بزرگی تالار که فاصله ردیف عقب تا صحنه حتی بیش‌از ۵۰متر نیز میباشد از نظر دید قدری با اشکال مواجهه میگردند .

تالار کنگره موسترمسه (بال)

در سال ۱۹۶۰هال‌بزرگ‌نمایشگاه‌صنعتی بال (سوئیس) بصورت یک تالارکنگره تجهیز گردید که جمعا " حجم آن با گالری مربوطه ۳۷۰۰۰ متر مکعب و ابعاد آن ۸۰ متر طول ــ ۴۳ متر عرض و ۱۲ متر ارتفاع میباشد (شکل ۱۴۲ و ۱۴۳)

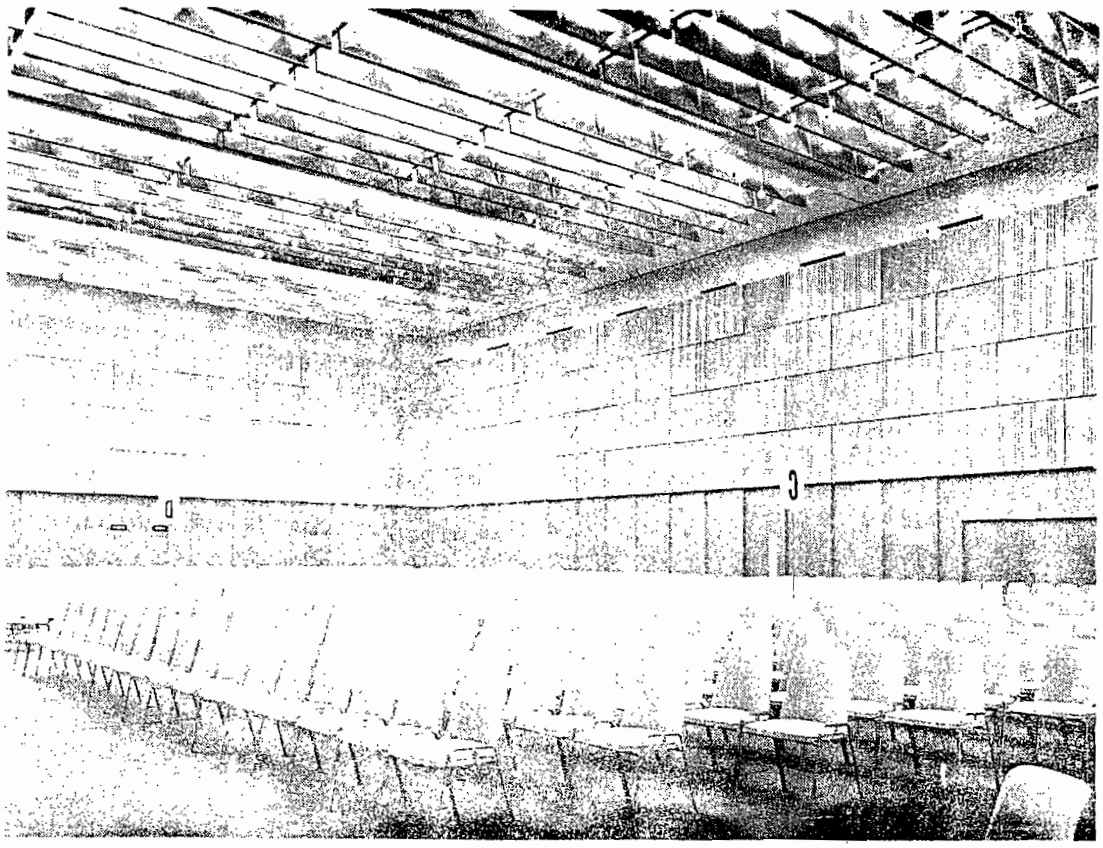


شکل ۱۴۲ ــ تالار کنگره موسترمسه (بال)

دراین تالار ۳۰۲۰ عدد صندلی تکی که کف و پشت آنها از مواد پلاستیکی (چرم مصنوعی) روکش شده ، قرار داده شده است (۳۲۰ عدد در گالری قرار دارد) .

چون علاوه بر تشکیل مجالس سخنرانی ، اجرای قطعات هنری ، ارکستر و تئاتر

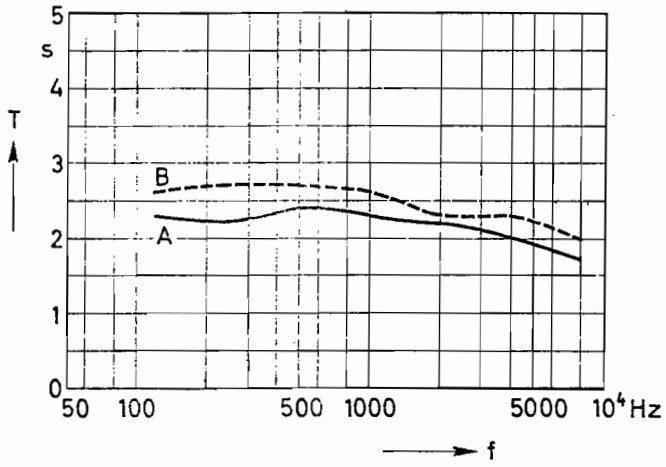
و غیره ، از این‌تالاربرای منظوراصلی (تشکیل‌نمایشگاهها) نیز استفاده میگردد علیهذا از صندلی ثابت و تجهیزات آکوستیکی متناسب صرف نظر گرده است و حتی پنجره‌های بزرگ برای استفاده از نور روز نیز در آن باقی گذارده شده است . از نظر تجهیزات آکوستیکی مخصوص این‌تالارمیتوان‌صفحات‌آلومینیومی مخصوصی را که دارای برجستگی‌ها



شکل ۱۴۳ ــ تالار کنگره موسترمسه ــ بال

و فرورفتگی‌های‌هرم شکلی میباشند که یک روی آنها براق و روی دیگر با مصالح آبسوربنت پوشانیده‌شده است‌نام‌برد . این صفحات که هریک یک متر مربع است بوسیله یک سیستم هیدرولیکو از دورقابل فرمان‌میباشند و میتوان‌آنها را یکجا و یا دسته دسته بهروضعیتی کهلازم‌باشد متمایل‌کرد . برای‌موارد استفاده‌نمایشگاهی صفحات را طوری ترتیب‌می‌دهند که سقف را با فلز براق مستور نمایند تا برای بازتاب نور و روشن نمودن تالار مفید باشد

و درسایر موارد برای کم کردن پس‌آوای تالار میتوان روی مستور از مواد آبسوربنت آنهارا بطرف‌تالارمنحرف‌نمود . بااستفاده ازاین پوشش‌سقف وهمچنین‌پوششهای چوبی‌دیوارهای جانبی‌تالار که بصورت‌پوسته بکاربرده شده‌اند منحنی پس‌آوای آن طبق شکل ۱۴۴ حاصل گردیده است .



شکل ۱۴۴ ــ پس‌آوای تالار موسترمسه با حضور ۳۰۰۰ نفر تماشاچی

A ــ با سقف آبسوربنت

B ــ با سقف بازتابنده

بطوریکه از شکل ۱۴۴ برمیآید تاءثیر پوشش سقف در حالتی که کلیه صندلیها اشغال‌شده باشند چندان زیاد نیست ولی در غیر اینصورت تاءثیر آنها قابل توجه‌است . منحنی A مربوط است به تالار با سقف آبسوربنت با ۳۰۰۰ نفر تماشاچی و منحنی B با همان شرائط و سقف براق .

برای‌بیان‌تاثیرصفحات‌آلومینیومی‌پوشش‌سقف‌جدول‌زیرین‌بهترین راهنمااست .

وضعیت تالار	وضعیت سقف	میانگین پس‌آوا برحسب‌ثانیه
بدون حضور تماشاچی	براق	۳ ، ۰
	آبسوربنت	۲ ، ۴
با تماشاچی	براق	۲ ، ۵
	آبسوربنت	۲ ، ۲

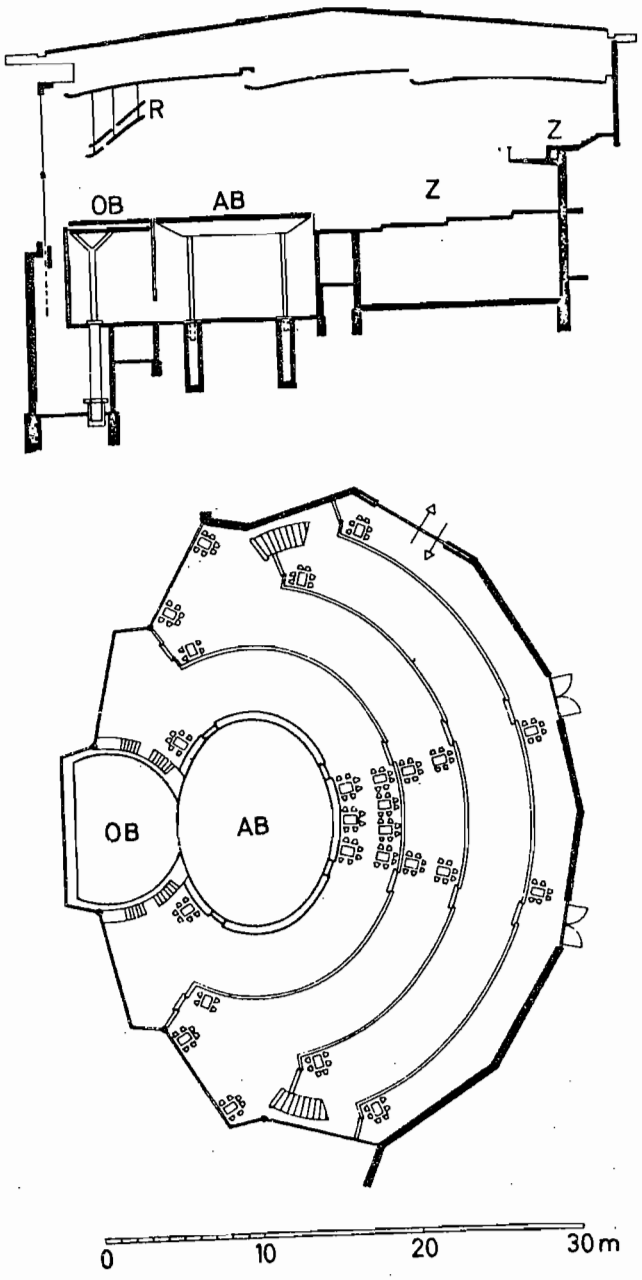
تالار کورزال (برن)

تالار کنسرت کورزال برن در سال ۱۹۵۹ تجدید بنا گردیده است و آن را برای مواردا ستفاده مختلف آماده نموده‌اندکه برای ارکسترهای مجلسی بزرگ و کوچک ــ باله ــ واریته ــ کاباره ــ بانکت و رقص استفاده میگردد . حجم این تالار ۱۰۰۰۰ متر مکعب است وگنجایش ۱۳۰۰ نفررانیزداردوچون درتجدیدبنا دست آرشیتکت مربوطه (W.Jaussi) کاملابازنبوده است ، امکان بوجودآوردن یک تالار با تمام مشخصات آکوستیکی موردنظر میسر نگردیده است .

درشکل ۱۴۵ مقطع طولی و افقی این تالار نمایش داده شده است و بطوریکه‌ملاحظه میگردد دارای یک شکل چندبری است که از نظر آکوستیکی چندان متناسب نمیباشد .زیرا دراین فرم بازتابها بسهولت دارای کانون میگردند که نامتناسب میباشد ، ضمنا " برای رعایت زیبائی ، کلیه دیوارهای رو بباغ را دراین بنا با جامهای بزرگ شیشه‌ای (کــه در صورت لزوم نیز برداشته‌میشوند) پوشانیده‌اندکه تماشاگران در ضمن استفاده از برنامه‌های هنری در زمینه‌پشت ، از زیبائیهای طبیعی نیز استفاده نمایند . از این‌رو امکان استفاده از سطوح آبسوربنت دراین قسمت وجود نداشته است و فقط برای اصلاح آکوستیک در قسمت روبروی صحنه‌گالرهائی درنظرگرفته‌شده‌که باتوجه‌به‌تعداد تماشائیان خود به آبسورپسیون کلی تالارکمک‌کافی مینماید . بمنظور استفاده برای موارد متعدد از این تالار ، صحنه‌های ارکسترو آتراکسیون (یا پیست‌رقص) را بوسیله جکهای هیدرولیکی متحرک نموده‌اندکه میتوان آنان را بطور دلخواه بالاتر یا پائین‌تر برد .

طرز ساختمان صحنه ارکستر این تالار با وجود امکانات بسیاری که ازنظر ارکستر دارد از نظر انتشار صوت در تالار متناسب نبوده است و بخصوص رسائی صدای سازهای آرام (نظیر ویلون) به ردیف‌های آخر بسیار کم بوده است .

ازاین روبرای اصلاح این وضع مجبور باستفاده از سطوح رفلکتور در بالای‌صحنه



شکل ۱۴۵ ــ تالار کنسرت کورزال (برن)

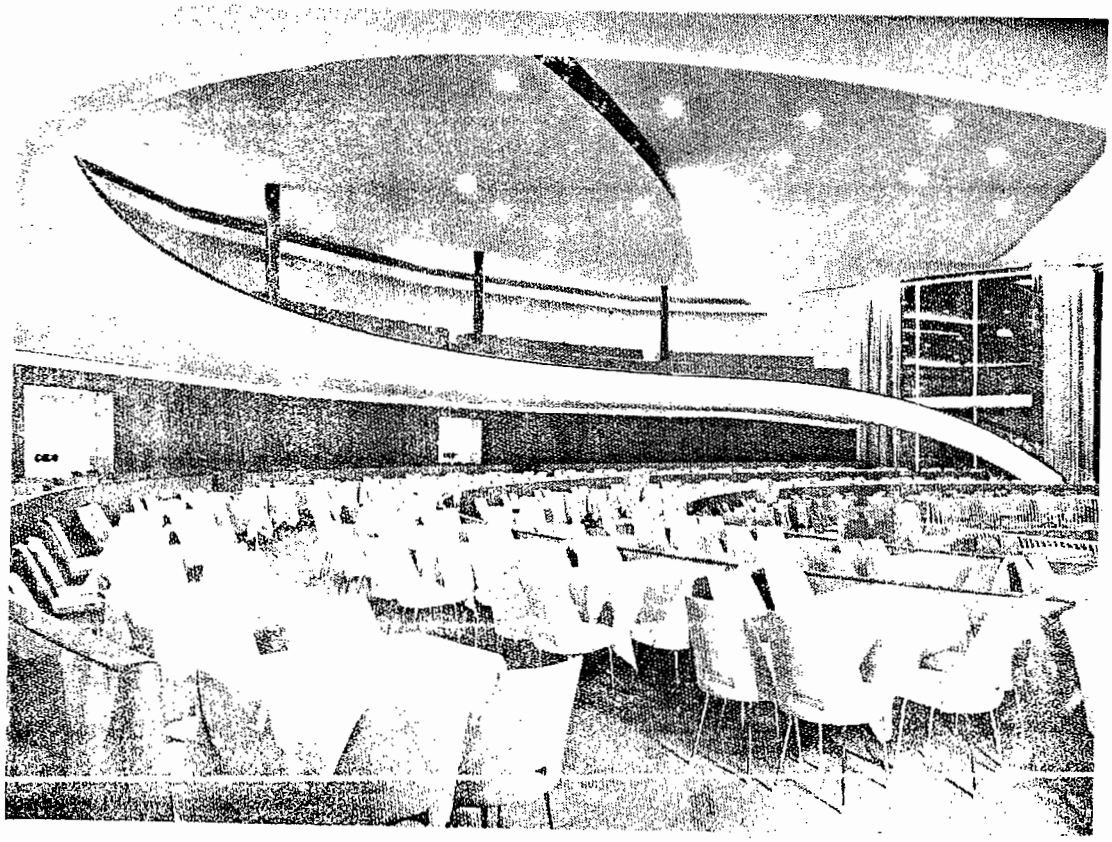
R ــ رفلکتورها

OB ــ صحنه ارکستر

AB ــ صحنه آتراکسیون و رقص

7 ــ تماشاگران

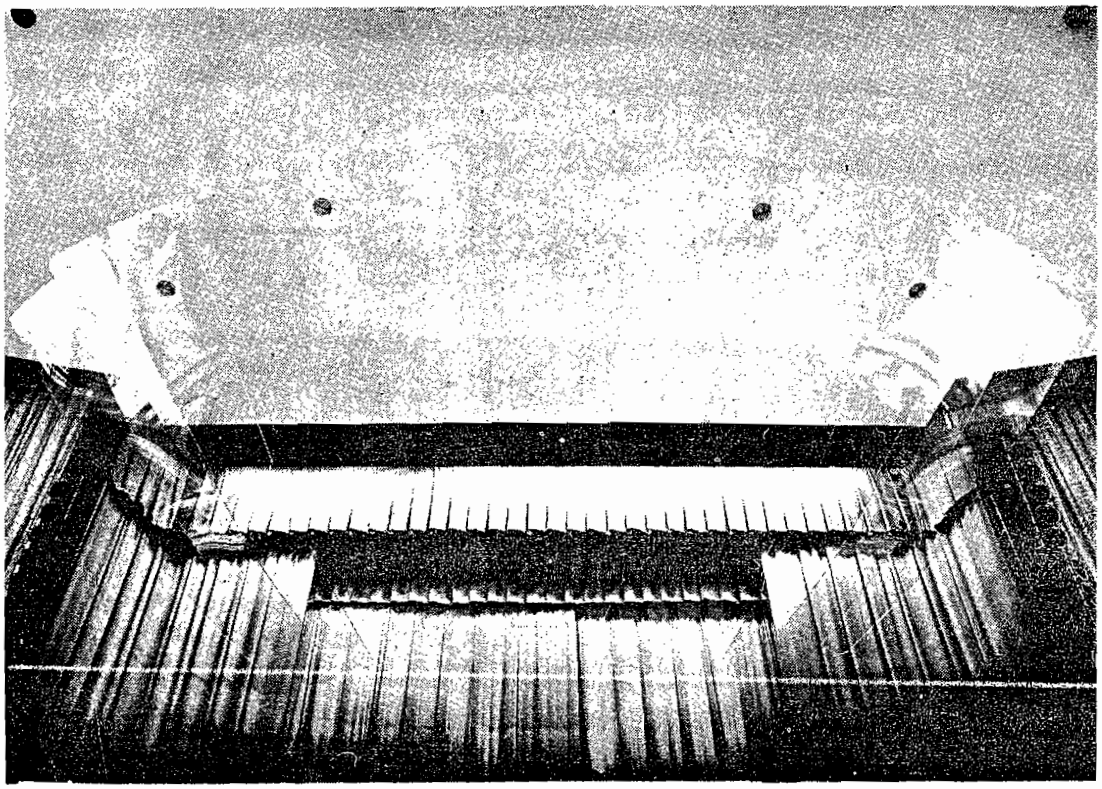
ارکسترشده‌اند که‌برای جلوگیری‌از ناموزون‌شدن نمای جلوی پرده‌این رفلکتورها راازجنس پلکسی‌گلاس(پلاستیک‌شفاف) انتخاب‌نموده‌اند (شکل۱۴۷)در شکل ۱۴۸طرز نصب‌این



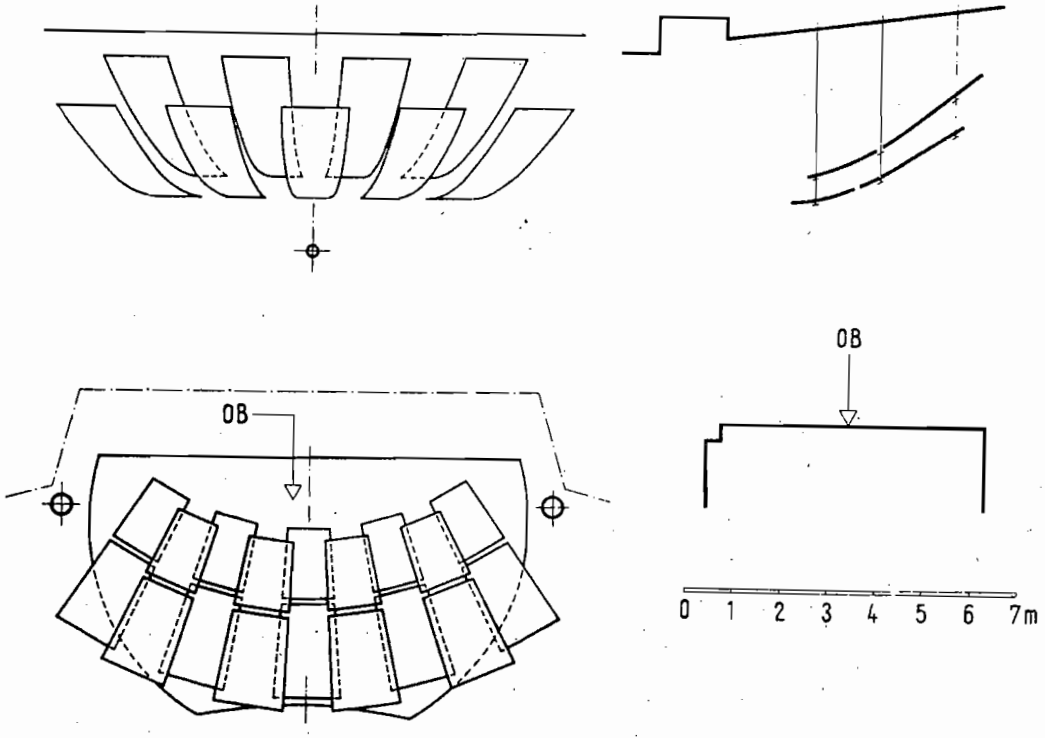
شکل ۱۴۶ ــ تالار کنسرت گورزال (برن) منظره گالری

رفلکتورها را بخوبی میتوان مورد مطالعه قرار داد که عبارتنداز صفحاتی از پلکسی گلاس بضخامت‌یک سانتیمترو بوزن ۱۲ کیلوگرم درهر مترمربع که بوسیله سیمهای نازک فولادی در بالای صحنه ارکستر (OB) آویخته شده‌اند که بوسیله یک فرمان‌الکتریکی میتوان آنها را پائین و بالا برد و برای تمیز کردن نیز بکلی پائین آورد .

برای‌مطالعه‌تاءثیراین رفلکتورهادر میدان آوای تالار با استفاده از یک بلندگوی ۳۰سانتیمتری و پخش‌آوای پارازیت درفضای تالار (که تاءثیر آن نظیر یک ارکستر کوچک میباشد) و اندازه‌گیری‌تراز آوادر نقاط مختلف‌آن میتوان‌بخوبی‌اثر رفلکتور را دربالابردن تراز آوا بخصوص برای ردیفهای انتهائی مورد مطالعه قرار داد .



شکل ۱۴۷ ــ تالار کنسرت کورزال (برن) ــ رفلکتورهای بالای صحنه



شکل ۱۴۸ ــ تالار کنسرت کورزال (برن) ــ طرز نصب و محل برقراری رفلکتورها

ــ OB : صحنه ارکستر

شکل ۱۴۹ نمایش مقادیر اندازه‌گیری شده میباشد ، که بخوبی ازدیاد تراز را باندازه ۵ تا ۶ دسی‌بل در تمام تالار نمایش میدهد .

شکل ۱۵۰ نمایش منحنی طنین این تالار است که در نوار فرکانس ۲۰۰ هرتس تا ۴۰۰۰ هرتس مابین ۲,۰ تا ۲,۵ ثانیه قرار دارد و برای نغمات بم ازدیاد آن چندان قابل توجه نیست .

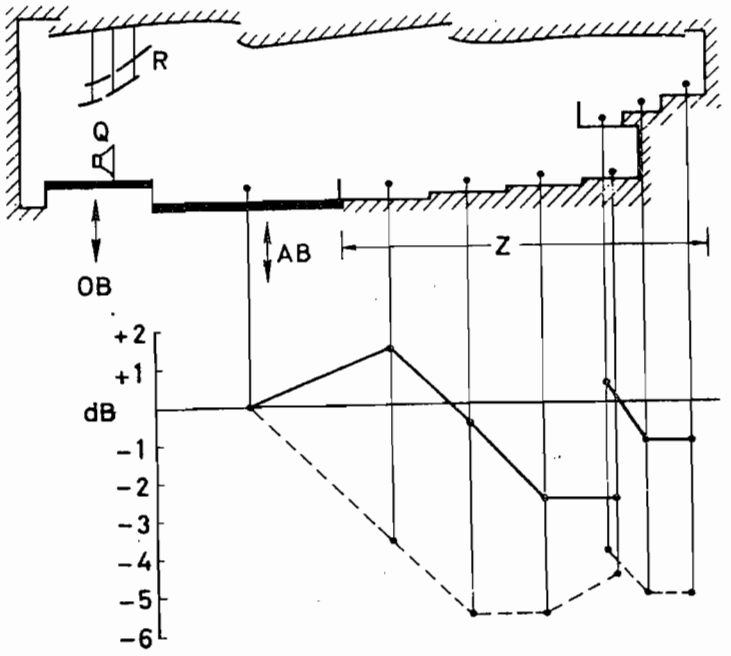
علت این امر وجود جامهای بزرگ شیشه‌ای در اطراف تالار است که بصورت پهنه‌های پوسته‌ای پس‌آوا را در فرکانسها کم کاهش میدهند . همچنین پوشش چوبی دیوارها و سقف کاذب گچی نیز در این مورد سهم بسزائی دارند . دراین تالار ۱۳۰۰ عدد صندلی با پوشش پلاستیک وجود دارد که در اطراف هر میز ۶ عدد جای داده شده است تا ثیر صندلیها در آکوستیک تالار را میتوان در این جمله خلاصه کرد که ضریب آبسورپسیون سطح مستور از صندلی در حدود فرکانسهای متوسط ۰,۵ میباشد .

جامهای بزرگ شیشه‌ای ایجاب می‌نمودند که دراین تالار مقدار زیادی پرده بکار برده شود که باانتخاب جنس پرده متناسب از تا ثیر نامطلوب آن درپس‌آوا جلوگیری نموده‌اند و فقط اختلاف پس‌آوای تالار با و بدون پرده ۰,۱ ثانیه میباشد .

تاثیر تماشاچیان در پس‌آوا بعلت نامتناسب بودن روکش صندلیها نسبتا " زیاد است ،ضریب آبسورپسیون تماشاچیان در حدود ۰,۹ میباشد که در نتیجه پس‌آوا به ۱,۶ ثانیه (از ۲,۲ با پرده و ۲,۳ ثانیه بدون پرده) تنزل مییابد که این مقدار برای کلیه موارد استفاده از این تالار که در ابتدای مبحث ذکر گردید ، متناسب میباشد . بخصوص وضوح این تالار درهرحال (حتی بدون بلندگو) بحد کفایت خوب میباشد .

پاویون موزیک

منظور از تعبیه پاویون موزیک در برخی از تالارها و یا محوطه‌های سرباز تجمع و هدایت میدان آکوستیکی برای زاویه فضائی و یا بعبارت دیگر محوطه معینی است .

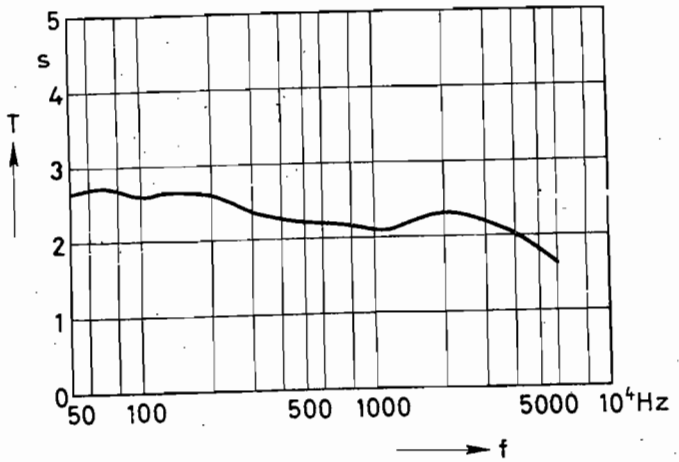


شکل ۱۴۹ ــ تالار کنسرت کورزال (برن)

ــ طراز با رفلکتور ــ ــ ــ طراز بدون رفلکتور

Q: سرچشمه آوا ــ R : رفلکتورها ــ OB : صحنه ارکستر

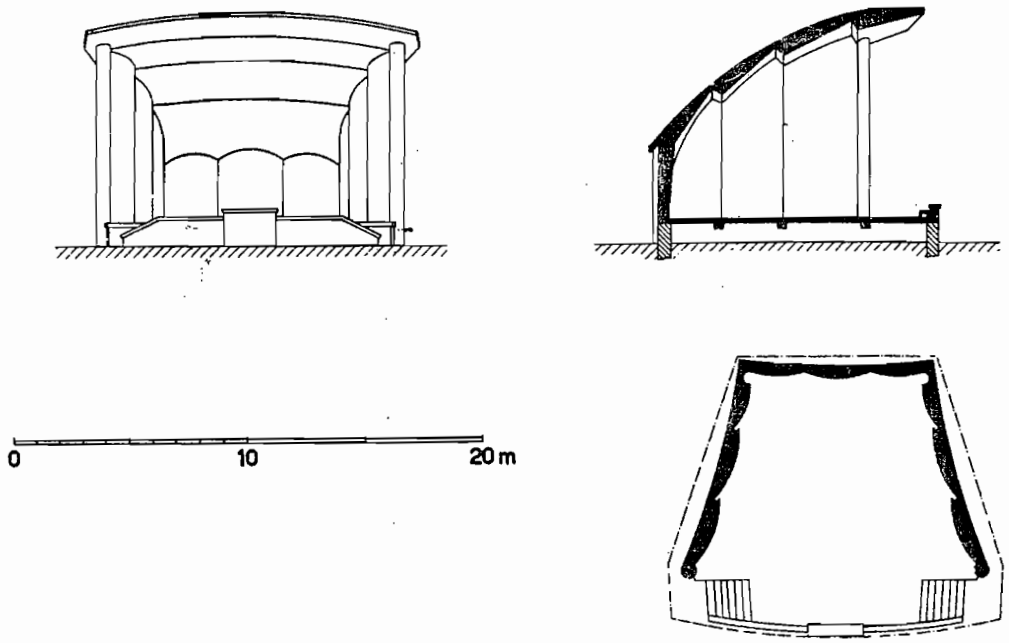
AB صحنه آتراکسیون و رقص ــ Z : تماشاگران



شکل ۱۵۰ ــ پس‌آوای تالار کنسرت کورزال (برن)

بدون تماشاچی

ازطرفی در فضای‌باز بعلت نبودن بازتابهای متناسب اجرای برنامه برای ارکستر توام با اشکالات‌فراوانی‌میباشدکه‌در صورت وجود پاویون این‌اشکالات‌نیز بعلت سرپوشیده شدن محل ارکستر برطرف میگردد .



شکل ۱۵۱ ــ پاویون موزیک اتل بروک (۱۹۵۳)

برای مطالعه در فرم ساختمان و ابعاد موزیک پاویون اطلاعات‌اجمالی درباره آکوستیک‌هندسی (ترسیمی)کفایت‌می‌نمایدواحتیاج به بررسی عمیقتری ندارد ودرصورت لزوم بررسی درمیدان‌آوا نیزممکن‌است‌درنیل‌بهدف‌امکانات‌بیشتری را فراهم نماید .

بطور کلی میتوان گفت که موزیک پاویون یک رفلکتور است که سرچشمه آوا معمولا درکانون آن قرار نگرفته بلکه در داخل آن متفرق است ــ از این رو صدای‌سازهائی که به کانون رفلکتور برای جهات مختلف مقابل پاویون نزدیک‌تر باشند قوی‌تر و بقیه ضعیف تر بگوش میرسد و در نتیجه هموژنیته میدان بهم خورده در شنوائی و طبیعی بودن صدای ارکسترتاءثیر نامطلوبی‌مینماید ــ از این رو ارجح است که داخل پاویون‌موزیک را بصورت سطوح برجسته بسازند تا دیفوزیته میدان ازدیاد یابد و این عیب مرتفع گردد و با این

تدبیر شنوائی در داخل پاویون نیز بهتر میگردد .

در شکل ۱۵۱ یک پاویون موزیک که در سال ۱۹۵۳ در لوکزامبورگ بنا گردیده است بطور نمونه نمایش داده شده است .

زاویه‌سقف‌و دیوارهای‌جانبی‌این پاویون بطرف سطحی‌که توسط تماشاگران اشغال میگرددتعیین‌گردیده است‌و مساحت‌آن نیزمتناسب باتعداد اعضاء ارکستر میباشد .

سقف‌این‌پاویون‌را برای‌جلوگیری‌ازارتفاع نامتناسب به سه قسمت تقسیم‌نموده‌اند که‌ضمنا " قسمتهای‌مختلف آن‌و همچنین‌برجستگی‌های دیوارهای جانبی و عقبی در دیفوز نمودن‌میدان‌آکوستیکی‌سهم‌بسزائی دارند ــ تاءثیر پاویون فوق در شنوائی خوب ورسائی صدای ارکستر قابل ملاحظه میباشد .

گفتار سوم

آکوستیك درساختمان

در مبحث آکوستیک در ساختمان مسائل مربوط به انتشار آوا در ساختمانها و ایزولاسیون آکوستیکی ساختمانها مورد بررسی قرار داده میشود . دراین بررسی بایستی بین انتشار آوا در هوا و انتشار آوا در اجسام جامد (آوای‌هوائی و آوای پیکری) تفاوت قائل شویم زیرا دفع مزاحمت هریک از این دو نوع انتشار صوت بنحو دیگر و با مصالح دیگری‌انجام میگیردکه دراین گفتگوبدانها اشاره‌ای میگردد . مفهوم المان‌های ساختمانی دراینجا تنهابه المان‌های ساختمانی عادی‌که دیوارها و سقف‌ها و درها و پنجره‌ها وغیره راتشکیل‌میدهنداطلاق نمیگردد ، بلکه بایستی کلیه‌درزها ــ کانالهای تهویه ــ تونل‌های آسانسورسوراخ‌های کلید ، شکاف‌های‌ساختمان‌را نیزدر اینجا مورد مطالعه قرار داد .

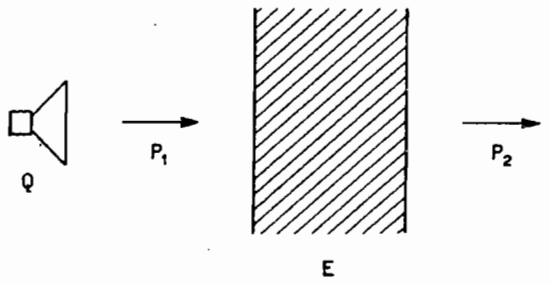
۱ ــ ایزولاسیون آوای هوائی

اصول تئوری : چنانچه در یکطرف یک المان ساختمانی (مثلا دیوار جداکننده دو اطاق مجاور) آوائی ایجاد گردد قسمتی از انرژی آوا از این دیوار میگذرد که دراطاق مجاورقابل‌شنیدن‌خواهدبود . نسبت‌انرژی‌آکوستیکی دردوطرف‌این‌دیواریعنی $r = \frac{P_1}{P_2}$ راایزولاسیون‌آوای‌هوائی‌مینامیم (شکل ۱۵۲) . چون این نسبت معمولا عدد بزرگی‌است

که‌بخاطرنگهداشتن آن خالی از اشکال نیست ، درعمل‌لگاریتم این نسبت را بصورت :

$$R = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad [\mathrm{dB}]$$

محاسبه می‌نمایند که با مقیاس دسی‌بل اندازه‌گیری میشود .



شکل ۱۵۲ ــ میرایش انرژی آکوستیکی ــ Q : سرچشمه آوا ــ E : دیوار
P1 : انرژی آوای بلند ــ P2 : انرژی آوای میراشده

اختلاف مابین آبسورپسیون و ایزولاسیون

بتصوراینکه مصالح آبسوربنت نظیر پشم شیشه یا آکوستیک تایل ۸۰ تا ۹۰درصد انرژی آکوستیکی را جذب می‌نمایند این مصالح را با مصالح ایزولان نبایستی اشتباه کرد زیرا باوجود ضریب آبسورپسیون زیاد این مصالح ، قابلیت ایزولاسیون آنها فوق‌العاده ناچیزمی‌باشد علت‌این اشتباه آنست که ضریب آبسورپسیون خطی وایزولاسیون لگاریتمی است ــ بدین معنی که طنین T با ضریب آبسورپسیون α نسبت خطی دارد درحالی‌که اختلاف تراز در دوطرف یک المان تقریبا" لگاریتمی است . برای روشن‌شدن مطلب کافی است به مثال زیرین توجه گردد :

یک‌پوشش آکوستیک‌تایل از جنس پنبه کوهی (از بهترین انواع آکوستیک تایل) بضخامت ۲ سانتیمتردر باند فرکانس متوسط دارای ضریب آبسورپسیون معادل ۶ / ۰ تا ۸ / ۰ میباشددر حالیکه‌تضعیف صوت در دوطرف این المان درهمان باند فرکانس ۱/۵ دسی‌بل در سانتیمتر میباشد که بدین ترتیب ایزولاسیون‌کلی آن فقط ۳ دسی‌بل خواهد بود . در مقابل‌آن‌اگربجای‌المان‌آکوستیک‌تایل‌فوق‌ازتخته‌هائی بضخامت ۲سانتیمتر برای‌ایزولاسیون

ستفاده گردد مقدار ایزولاسیون کلی ۲۲ دسی‌بل خواهد بود .

جدول شماره ۴۷ : تفاوت میان آبسورپسیون و ایزولاسیون

	ایزولاسیون	آبسورپسیون
رابطه ریاضی	$R=10\log\frac{p_o}{p_1}dB$	$\alpha = \frac{p_1}{p_o}$ (100%)
مثال :		
۱) ورق تخته۲سانتیمتری	۲۲ dB	۳%
۲) ورق پنبه‌کوهی ۲سانتیمتری	۳ dB	۷۰%

بدین‌ترتیب‌معلوم میگرددکه برای‌ایزولاسیون‌آکوستیکی‌در درجه اول بزرگ‌بودن مقاومت‌نشست (نبودن امکان‌عبورهواازقشرآن) حائز اهمیت است در صورتیکه بابزرگ شدن‌مقاومت نشست بطوریکه میدانیم‌درجه آبسورپسیون تنزل می‌یابد ــ از این‌رو در این مبحث از مواد فشرده برای ایزولاسیون گفتگو میگردد .

راههای ترابری آوای‌هوائی در ساختمانها

شکل ۱۵۳ ــ راههای‌ترابری‌آوای‌هوائی‌درساختمانها

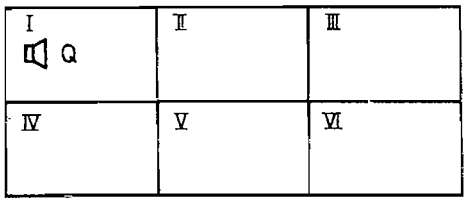
I . آوای‌بلند (فرستنده) II . آوای‌میراشده (گیرنده)

Ω . سرچشمه‌آوا ۱ . ترابری‌سرراست‌ازراه دیوار جداکننده (یاسقف) .

۲، ۳، ۴، ترابری از راههای تراوشی

ترابری (انتقال) آوادر ساختمانهااز دوراه‌گوناگون انجام می‌پذیرد : سرراست و تراوشی درشکل ۱۵۳راه شماره ۱ راه سر راست است که آوا از دیوار یا سقف جداکننده دو اطاق‌از

یکدیگر پس‌از میرایش به اطاق دوم راه می‌یابد و راههای شماره ۲و۳و۴ راههای تراوشی هستندکه آواازِ دیوارهای‌پهلوئی ودیگر راههای‌ممکن (کانالها ــ لوله‌ها ــ شکافها . . . . .) درز می‌نمایند . در شکل ۱۵۴ شش اطاق در کنار یکدیگر نمایش داده شده است که ترابری آواازاطاق‌یکم که‌دارای‌سرچشمه‌آوا است به‌اطاق ششم تنهاازراههای‌تراوشی می‌تواندباشد .



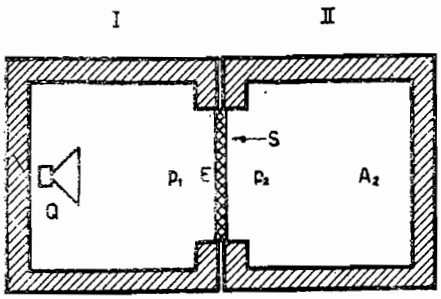
شکل ۱۵۴ ــ ترابری آوای هوائی در ساختمان با چندین اطاق ــ سرچشمه آوا

زیراهیچگونه راه سر راستی میان این دو وجود ندارد . ترابری آوای هوائی میان‌اطاقهای گوشه‌ای (I IV) می‌تواند بصورت قطری و سر راست از گوشه مشترک دو اطاق نیز تراوش نماید . از این رو آوا سه راه تراوش می‌نماید : افقی ــ عمودی ــ قطری .

اندازه‌گیری ایزولاسیون آوای برونی

چون اندازه‌گیری انرژی آکوستیکی P کار ساده‌ای نیست بنابراین درعمل بجای اندازه‌گیری Pفشار آوای p دردوطرف دیوار اندازه‌گیری میشود ــ ولی صحت‌اندازه‌گیری مستلزم‌آنست‌که آوا فقط ازطریق‌المان‌موردنظر منتقل گردد و هیچگونه راه تراوشی ازقبیل دیوارهای مجاور یاشکاف ودرزی‌درآنها ،درترابری‌آوا مشارکت نداشته باشند ــ ازاین رو

برای این‌گونه اندازه‌گیری‌ها لابراتوارهای ویژه‌ای که ساختن آنها مستلزم هزینه هنگفت است بکار برده میشود (شکل ۱۵۵)



شکل ۱۵۵ ــ آزمایشگاه برای اندازه گیری عدد ایزولاسیون R

بدیهی‌است که‌در اندازه‌گیری p در اطاق دوم II (یعنی جائی که آواضعیف‌تر است) علاوه بر سطح S المان مورد آزمایش آبسورپسیون A اطاق آزمایشگاه نیز دخالت دارد که بایستی در محاسبه در نظر گرفته شود .

انرژی P_1 که‌به‌المان‌مورد‌آزمایش‌میرسدعبارتست از $P_1 = \frac{W_1 c}{4} S$ که‌در آن W_1 چگالی انرژی در I میباشد . از این‌رو مقدار انرژی که از المان مورد آزمایش‌عبور مینماید خواهد بود :

$$P_2 = \frac{P_1}{\tau} = \frac{W_1 c S}{4 \tau}$$

و نیز چگالی انرژی در مکان II عبارتست از :

$$W_2 = \frac{4 P_2}{c A_2} = \frac{W_1 S}{\tau A_2}$$

از آنجا نتیجه میشود :

$$\frac{W_1}{W_2} = \tau \frac{A_2}{S}$$

و لگاریتم آن خواهد بود :

$$10 \log \frac{W_1}{W_2} = R + 10 \log \frac{A_2}{S} \text{ dB} .$$

بجای‌نسبت‌چگالی‌انرژی W می‌توان‌نسبت‌مجذور فشارهای آوای p در دوطرف

را که‌قابل‌اندازه‌گیری است نوشت ، بنابراین‌داریم :

$$R = 20 \log \frac{p_1}{p_2} + 10 \log \frac{S}{A_2} \text{ dB}$$

می‌توان‌نسبت‌فشار میانگین آوا در دو طرف یک المان ساختمانی را نیز از کاهش تراز فشار در دو اطاق I و II بدست آورد :

$$L_1 = 20 \log \frac{p_1}{p_0},$$
$$L_2 = 20 \log \frac{p_2}{p_0}$$

بنابراین $D = L_1 - L_2$

از آنجا :

$$R = D + 10 \log \frac{S}{A_2} .$$

L_1 : تراز آوای میانگین در طرف بلند

L_2 : تراز آوای میانگین در طرف آرام

$p_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ Dyn/cm^2 (فشارآوای‌بنیادی Iso/R131-1959)

D : اختلاف تراز در دوطرف المان

R را در اصطلاح عدد یا مقیاس ایزولاسیون آوای هوائی می‌نامند (۱) :

برای‌اندازه‌گیری R درلابراتوار (شکل۱۵۵)ازطرف ISO (موءسسه‌استاندارد جهانی) مقرراتی‌تحت‌شماره ISO-R140-1960 وضع‌گردیده است‌که‌دراینجا قسمتی از این مقررات نقل میگردد :

ـ حجم و فرم اطاق‌های I و II بایستی آنچنان انتخاب گردد که یک میدان آکوستیکی‌کاملا‌دیفوز درهریک‌ازدومکان بوجودآیداز این‌رو حداقل حجم لازم ۵۰مترمکعب می‌باشد و حجم اپتیمم آن ۱۰۰ متر مکعب است .

ـ سطح S المان مورد آزمایش بایستی ۱۰متر مربع باشد و ابعاد آن نباید کمتر

---

1)- Transmission loss=Indice d' affaibissment acoustique

از ۲/۵ متر باشد .

ـ فرکانسهای استاندارد برای این آزمایش عبارتند از ۱۰۰ـ۱۲۵ـ۱۶۰ـ ۲۰۰ـ ۲۵۰ـ ۳۲۰ـ ۴۰۰ـ ۵۰۰ـ ۶۴۰ـ ۸۰۰ـ ۱۰۰۰ـ ۱۲۵۰ـ ۱۶۰۰ـ ۲۰۰۰ـ ۲۵۰۰ـ ۳۲۰۰ـ ۴۰۰۰ هرتس .

ـ مقادیر اندازه‌گیری شده R برای فرکانسهای فوق (درمورد پارازیت مقادیر اندازه‌گیری‌شده برای هر $\frac{1}{3}$ـاکتاو) بصورت‌یک منحنی نمایش داده می‌شود .

ـ چنانچه مقدار میانگین R (۱) مورد نیاز باشد بایستی مقدار میانگین حسابی مقادیر اندازه‌گیری‌شده‌از۱۰۰تا ۳۲۰۰هرتس‌یااز۱۲۵تا ۴۰۰۰ هرتس محاسبه‌گردد .

ـ سرچشمه آوا برای این سنجش آوای زوزه‌ای انتخاب می‌گرددکه لغزش فرکانس آن%۱۰± است (برای‌فرکانسهای کمتراز ۵۰۰ هرتس ۵۰± هرتس) و تواتر لغزش فرکانس باید ۶ هرتس (۶بار در ثانیه) باشد . (همچنین آوای پارازیت (غوغا) که از یک یا چندین بلندگو پخش می‌شود نیز بکار برده می‌شود .)

دراغلب مواردانداز‌ه‌گیری‌ایزولاسیون R بجای لابراتوار در محل ساختمان‌بعمل میآیدکه دراینصورت‌عدد اندازه‌گیری شده با مقادیری که در لابراتوار اندازه‌گیری میشود مغایر است (بعلت وجود راههای فرعی برای انتقال صوت) و بدین جهت آنرا به R' نمایش میدهند .

عدد ایزولاسیون R همواره برای یک المان مشخص داده می‌شود .

دردو فضای‌دوراز هم (بدون‌دیوار مشترک) دیگر نمی‌توان از عدد ایزولاسیون R گفتگوبمیان‌آورد ولی دراین گونه موارد سخن از اختلاف تراز D است که بجای مقیاس ایزولاسیون مقدار اختلاف تراز آوای D در اطاق I و II را اندازه‌گیری می‌نمایند برای رعایت‌آبسورپسیون A_2 در دواطاق II مقدار اختلاف تراز برحسب سطح S=10 مترمربع

---

1)- Average figure=Valeur moyenne

مشخص می‌نمایند که بدان اختلاف‌تراز نرم DN اطلاق میگردد و عبارتست‌از :

$$D_N = D + 10 \log \frac{10}{A_2} \text{ dB}$$

از این رو اختلاف تراز نورم DN بهترین مقیاس برای بیان ترابری غوغا میان دو مکان دلخواه می‌باشد . نتیجه اندازه‌گیری عدد ایزولاسیون R را در صفحه مختصاتی که یک محور آن R و محور دیگر فرکانس است بصورت منحنی نمایش میدهند که نمونه‌ای از آن در شکل ۱۵۶ داده شده است .

چون در همه موارد بررسی منحنی میسر نیست بنابراین کوشش می‌گردد که عدد تنهائی جستجو گردد که بیان کننده ایزولاسیون میانگین باشد که بنام " عدد کیفیت ایزولاسیون"نامیده می‌شود .

این‌عدد را سابقا " ازمحاسبه ((میانگین حسابی)) همه اعداد بدست آمده بنام $\bar{R}$ بدست می‌آورند :

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{1}^{n} Ri \quad \text{dB.}$$

ازاین‌رو عدد کیفیت‌ایزولاسیون داده‌شده‌درشکل۱۵۶ خواهدبود :

$$\bar{R} = 29 \text{ dB.}$$

بنابراین‌تعیین عددکیفیت ایزولاسیون‌از راه‌بدست‌آوردن میانگین حسابی چندان دشوار نیست ولی این عدد گویای ایزولاسیون المان درهمه حال نیست و می‌توان برای‌فرمهای گوناگون‌منحنی‌ایزولاسیون عملایک مقدار $\bar{R}$ بدست آورد که در واقع با وجود یکسان‌بودن $\bar{R}$ ایزولاسیون‌المان‌های ساختمانی یکسان نباشد . از این رو باید روشی جستجو گرددکه به واقعیت نزدیک‌تر باشد . برای رسیدن به این هدف از طرف موسسه استاندارد جهانی (ISO) مقرراتی‌با شماره ISO/R717(1968) و همچنین از طرف موسسه‌استانداردآلمان‌بشماره DiN4109 وضع گردیده است که پایه‌های آن بر مقایسه‌منحنی ایزولاسیون‌اندازه‌گیری‌شده‌بامنحنی‌استاندارد می‌باشدکه اندکس‌ایزولاسیون بدست آمده با این روش را Ia بامقیاس دسی‌بل نام‌گذاری می‌نمایند .

(Ia تقریبا معادل $\bar{R}$ میانگین می‌باشد .)

دراین‌روش‌منحنی‌ایزولاسیون R را که‌طبق دستور شماره ISO/R140-1960 بدست آورده‌اند با همان مختصات منحنی استاندارد (N_1) ترسیم و منحنی استاندارد N_1 رابا ارقام صحیح dB آنقدر میلغزانندتا با تلرانس قابل‌قبول (که بعداتشریح می‌گردد)با R رویهم قرارگیرند . دراین‌صورت‌محل تقاطع منحنی لغزنده N_1 بامحور مختصات درفرکانس۵۰۰ هرتس‌عددایزولاسیون میانگین را بدست می‌دهد (شکل ۱۵۶)

جدول‌شماره۴۸:منحنی‌استاندارد N_1 (برحسب ISO/R717-1968)

فرکانس f	۱۰۰	۱۲۵	۱۶۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۱۵	۴۰۰	۵۰۰	H_z
منحنی استاندارد N_1	۳۳	۳۶	۳۹	۴۲	۴۵	۴۸	۵۱	۵۲	dB
فرکانس f	۶۳۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۱۲۵۰	۱۶۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۱۵۰	H_z
منحنی‌استاندارد N_1	۵۳	۵۴	۵۵	۵۶	۵۶	۵۶	۵۶	۵۶	dB

تلرانس قابل قبول هنگام لغزش منحنی استاندارد :

الف)بیشترین‌اختلاف باید در طرف نامناسب منحنی قرار گیرد که فقط‌مقادیر N'_1-R مثبت باشد .

ب)در اندازه‌گیری اکتاوی N'_1-R نباید بیش از ۵ + دسی‌بل و در اندازه‌گیری تیرس اکتاویN'_1-R نباید بیش‌از ۸ + دسی‌بل باشد .

ج) میانگین N_1-R باید کمتر یا حداقل مساوی ۲ دسی بل‌باشد .

میانگین N'_1-R عبارتست از مجموعه همه لغزشها در طرف نامناسب منحنی بخش بر تعداد (n) فرکانسهای سنجیده شده .

(در اندازه‌گیری اکتاوی حداکثر معادل پنج و دراندازه‌گیری تیرس اکتاوی ۱۶ است)

درآلمان روش دیگربراساس استاندارد DiN4109 بکار برده‌می‌شود که‌برحسب آن بجای اندکس ایزولاسیون Ia " مقیاس حفاظت آوای هوائی " (LSM) بکار برده می‌شود که رابطه آن با اندکس ایزولاسیون ISO چنین است :

$$LSM \simeq Ia - 52\ dB$$

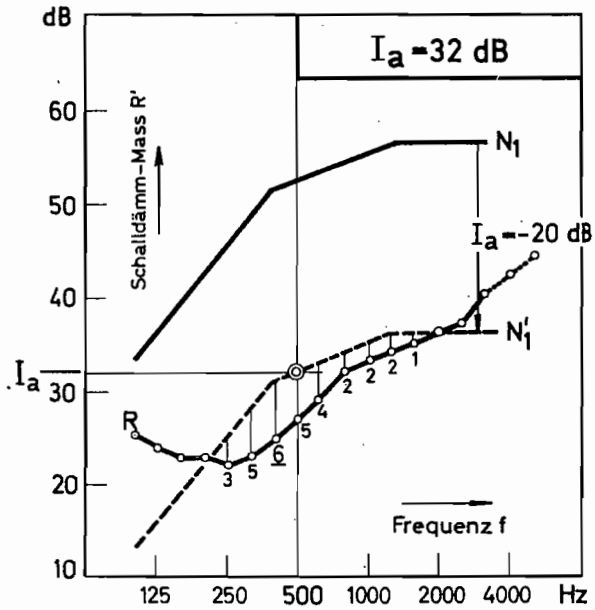
درمثال شکل ۱۵۶ چنانچه‌با روش DiN مقیاس حفاظت آوای هوائی بدست آورده‌شود خواهیم داشت

$I_a = 32$ dB

LSM= -20 dB

در جدول شماره ۴۹ بعنوان مقایسه اندکس‌ایزولاسیون دریک اطاق مسکونی که در اطاق مجاورآن سرچشمه‌آواقراردارداندازه‌گیری‌و برمبنای‌مقادیرمحسوس‌درج‌گردیده‌است :

$\overline{R'}$	گفتگوی آرام	گفتگوی‌بلند	موزیک از رادیو
۳۰ دسی‌بل	کاملا قابل فهم	خیلی خوب قابل فهم	خوب قابل شنیدن
۴۰ دسی‌بل	قابل فهم	کاملا قابل فهم	قابل شنیدن
۵۰ دسی بل	غیرقابل فهم	قابل فهم	قابل‌شنیدن ضعیف
۶۰ دسی‌بل	غیرقابل شنیدن	غیرقابل فهم	غیرقابل شنیدن
۷۰ دسی‌بل	غیرقابل شنیدن	غیرقابل شنیدن	غیر قابل شنیدن



شکل ۱۵۶ ــ ایزولاسیون المان های ساختمانی R : منحنی ایزولاسیون اندازه گیری شده

N_1: منحنی استاندارد برحسب توصیه ISO

N_1: منحنی استاندارد لغزانیده شده

I_a: اندکس ایزولاسیون

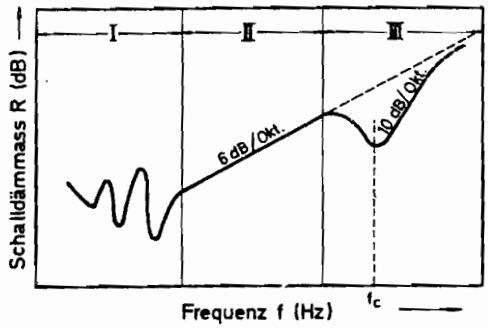
Ia : لغزش N_1 نسبت به N_1

ایزولاسیون دیوارها (تیغه)

منحنی تغییرات ایزولاسیون R دیوارها برحسب فرکانس آوا دارای سه بخش می باشند (شکل ۱۵۷)

در بخش نخستین منحنی که معمولا " در بخش فرکانسهای بم قرار دارد نوسان دیوار مشابه پوسته‌های لرزنده می‌باشد و ایزولاسیون دیوار دراین بخش ناچیز است ولی بخش دوم از نظر ایزولاسیون حائز اهمیت است .

در سال ۱۹۱۱ R-Berger بروش آزمایشی مشخص نمود که ایزولاسیون دیوارهای بدون منفذ از وزن آنها تبعیت می‌نماید و خاصیت الاستیسیته مصالح دراین مورد



شکل ۱۵۷ ــ منحنی تغییرات ایزولاسیون تیغه ها برحسب فرکانس آوا :

I: بخش نوسان پوسته ای

II : بخش تبعیت از قانون جرم

III: بخش فرکانس کوانسیدانس

اهمیت چندانی ندارد . این حقیقت در سال ۱۹۳۱ توسط E.Meyer بامطالعات علمی باثبات رسیده است . بدین سان که اگر تصور شود که هریک از اجزاء یک دیوار براثر برخورد انرژی آکوستیکی نوسان آزاد و بدون ارتباط باجزاء مجاور خود انجام میدهد در اینصورت فقط اینرسی آن (ممانعت جرمی) در ایزولاسیون موءثر است

بااین فرضیه ایزولاسیون دیوار R رامی توان ازرابطه زیرین بدست آورد (قانون جرم) :

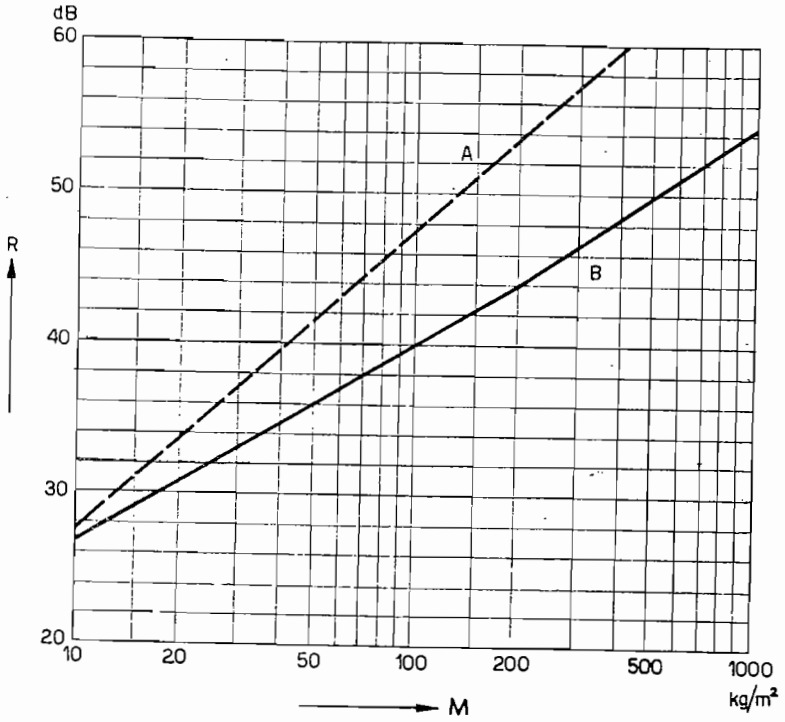
$$R = 10 \log \left[1 + \left(\frac{\omega M \cdot \cos\varphi}{2 \varrho c}\right)^2\right] \text{dB}$$

که درآن M وزن دیوار ـ φ زاویه تابش امواج آکوستیکی ــ ϱc امپدانس کاراکتریستیک

$\omega = 2 \pi f$ فرکانس آوا می باشد .

درشکل ۱۵۸ منحنی A نمایش هندسی این رابطه با فرض زاویه‌های تابش گوناگون می باشد که اگر تنها وزن دیوار M درازدیاد ایزولاسیون موءثر باشد باافزایش فرکانس عدد ایزولاسیون R به اندازه ۶ دسی بل در هر اکتاو افزونی می یابد .

با آزمایشهای علمی معلوم گردیده است که قانون جرم صحت ندارد و بلکه با



شکل ۱۵۸ ــ رابطه عدد ایزولاسیون R ووزن دیوار

A : قانون جرم $R = 20 \log \frac{\omega M}{2 c \varrho} - 5\ \mathrm{dB}$

برای $f = 565\ \mathrm{Hz}$

B : میانگین ایزولاسیون دیوار برحسب اندازه گیری طبق دستور DIN 4109

آزمایشهای گوناگونی که برروی انواع دیوارها و سقف‌ها بعمل آمده است منحنی B (درشکل ــ ۱۵۸) ترسیم گردیده است که برای محاسبه ایزولاسیون دیوارها بکار برده می‌شود . درجدول شماره ۵۰ عدد ایزولاسیون R و اندکس ایزولاسیون I_a برای وزنهای گوناگون دیوارها داده شده است .

وزن هر متر مربع دیوار	kg/m2	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰
ایزولاسیون طبق قانون جرم (برای ۵۰۰ هرتس)		۲۶	۳۲	۴۰	۴۶	۵۲	۵۵	۵۸	۶۰
I_a برحسب dB :	بیشینه	۲۴	۲۹	۳۶	۴۲	۴۸	۵۲	۵۵	۵۷
	میانگین	۲۳	۲۸	۳۵	۴۱	۴۷	۵۰	۵۳	۵۵
	کمینه	۲۲	۲۷	۳۴	۳۹	۴۵	۴۹	۵۲	۵۴

در جدول شماره ۵۱ نیز وزن مصالح ساختمانی برحسب Kg/dm^3 داده شده است.

(که معادل وزن یک متر مربع از همان جنس برحسب Kg با ضخامت یک میلیمتر می‌باشد)

فلزات		چوب و مصالح چوبی (خشک شده در هوا با ۱۵% رطوبت)	
آلومینیم	۲/۷	چوب آلش (خشک با ۱۵% رطوبت)	۰/۶ تا ۰/۹
آنتی‌کورودال (آلیاژ)	۳/۷۵	چوب بلوط	۰/۵ تا ۰/۹
آهن (خالص)	۷/۸	چوب کاج	۰/۳ تا ۰/۸
چدن	۷/۲۵	چوب زربین و سرو	۰/۳ تا ۰/۷
فولاد ساختمانی	۷/۸۵	تخته سه لائی	۰/۲ تا ۰/۳
برنج	۸/۵	تخته پنج لائی	۰/۸ تا ۱
مس (غلطکی)	۸/۹	تخته نئوپان	۰/۳ تا ۰/۶
برنز	۸/۸	تخته‌نئوپرن (باسیمان یاگچ)	۰/۳ تا ۰/۶
سرب	۱۱/۳		

مواد ساختگی و شیمیائی	
بتون	۲/۳
بتون‌آرمه	۲/۵
ملات سیمان	۲/۱
ملات آهک	۱/۷
ملات گچ	۱/۲
روکار گچ	۰/۸ تا ۱
روکار نما	۱/۶ تا ۲
بتون سبک	۰/۶ تا ۱/۲
دال گچی	۰/۸ تا ۱
سیمان و آسبست	۱/۸
آجر فشاری	۱/۶۵
آجر سوراخدار	۱/۲ تا ۱/۴
	۱/۵ تا ۲/۳
بلوک سیمانی یا آهکی	۱/۸ تا ۲
ریگ و ماسه	۲/۴

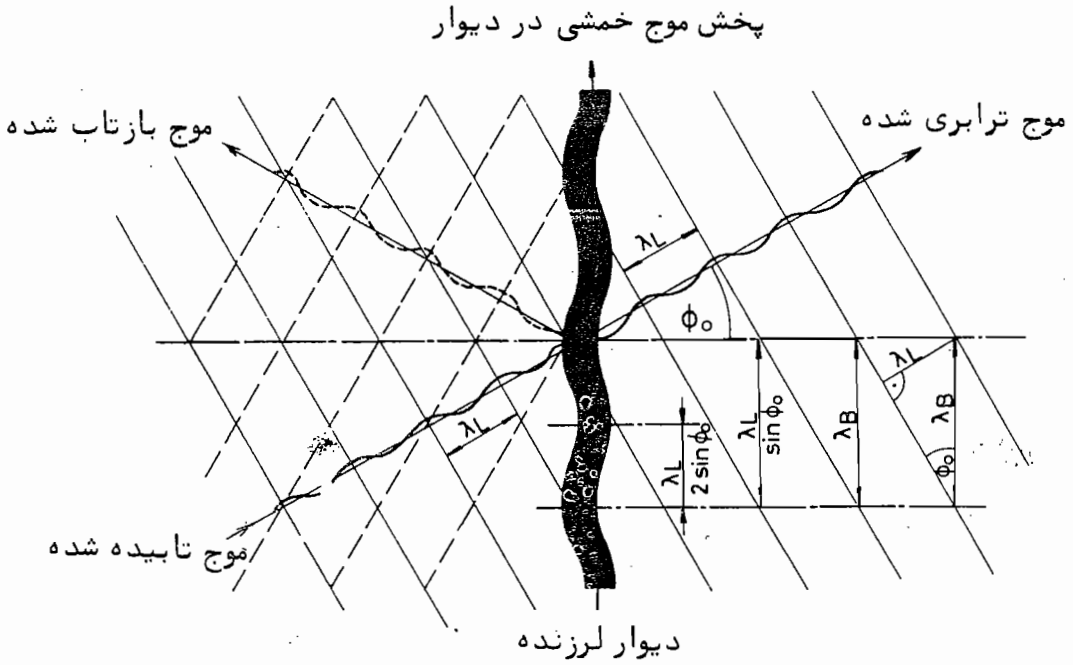
گوناگون	
شیشه پنجره	۲/۴ تا ۲/۶
چوب‌پنبه ورقی	۰/۱۵ تا ۰/۲۵
بلوک چوب‌پنبه	۰/۴
لاستیک	۰/۹ تا ۱/۲
قیر	۱/۰۵
آسفالت	۲/۱
شن و ماسه	۲/۷
ماسه	۱/۵
شن	۱/۴ تا ۱/۸
آسبست	۲/۵
پنبه کوهی ورقی	۰/۰۷ تا ۰/۰۹
پنبه کوهی بلوک	۰/۰۶
پشم شیشه	۰/۰۳۵ تا ۰/۰۷۰
پشم شیشه ورقی	۰/۱

اختلاف بین منحنی تئوری و منحنی عملی بعلت در نظر نگرفتن خواص الاستیسیته دیوار میباشد و نیز فرضیه نوسان آزاد هریک از اجزاء تشکیل‌دهنده دیوار با حقیقت وفق

نمیدهدو این اجزاء با موادیکه کم و بیش خاصیت الاستیسیته نیز دارند با یکدیگر مرتبط میباشند ولی در بررسی تئوری اجبارا " و برای حل مسئله از این حقیقت صرف‌نظر گردیده است‌بدیهی است که انرژی آکوستیکی واصله به دیوار آنرا بحالت نوسان خمشی (نظیر پرده‌ای‌که از وزش نسیم بحرکت درآید) ، بنوسان در می‌آورد و بهمین علت است که در پشت دیوار نیز آوا شنیده می‌شود .

با افزایش فرکانس آوا ، طول موج آن در هوا کاهش مییابد ، تا حدی که برای یک فرکانس معین از طول موج خمشی دیوار کمتر می‌شود که دراین حالت پدیده جدیدی بوجود میآید که آنرا پدیده برابری (افکت کوانسیدانس) می‌نامند . این پدیده بعلت بروز هم‌آهنگی بین انرژی محرک (صوت) و نوسان خمشی دیوار میباشد . با بروز افکت کوانسیدانس‌عددایزولاسیون یکباره‌تنزل‌می‌یابد . برای هر نغمه‌ای یک زاویه کوانسیدانس وجود دارد که برای آن زاویه‌ٔعدد ایزولاسیون به حداقل میرسد (یا بالعکس میتوان‌گفت که برای هر زاویه تابش آوا یک فرکانس معین کوانسیدانس وجود دارد) .
این واقعیت در شکل ۱۵۹ نمایش داده شده است .

بدین‌ترتیب‌برای‌فرکانس‌بحرانی‌کوانسیدانس fc بایستی یک شکستگی درمنحنی ایزولاسیون‌بوجودآید . این شکستگی از کمترین فرکانس بحرانی حد که برای زاویه‌مماسی حساب میشود ، شروع میگردد . از این رو علاوه بر جرم دیوار ، این فرکانس حد بحرانی نیز در تعیین ایزولاسیون دیوار اهمیت خاصی دارد که‌بایدسعی گردد برای‌فرکانسهای‌خیلی‌کم (کمتر از ۵۰ هرتس) و یا فرکانسهای خیلی زیاد (بالاتر از ۲۰۰۰ هرتس) بوجود آید ، زیرا در اینصورت ایزولاسیون دیوار برای باند فرکانس مورد نظر برای گفتار یا موزیک همواره مقدار دلخواه را دارا می‌باشد .



شکل ۱۵۹ ــ بروز پدیده برابری (کوانسیدانس) در دیوارها . پدیده برابری هنگامی پدیدار میگردد که اثر سرعت آوا در هوا بر روی دیوار با سرعت فازی امواج خمشی در دیوار برابر یکدیگر گردند . این واقعیت را می توان با رابطه $\frac{\lambda L}{\sin \Phi_0} = \lambda B$ نمایش داد که در آن λL طول موج در هوا ــ λB طول موج خمشی دیوار و Φ_0 زاویه تابش امواج آکوستیکی است .

برای محاسبه فرکانس بحرانی یک المان فرمول زیرین توسط L.Cremer **وضع گردیده است :**

$$fc = \frac{c^2}{2} \sqrt{\frac{M}{B}}$$

(fc **فرکانس بحرانی ــ** C **سرعت آوا در هوا ــ** M **وزن مخصوص دیوار و** B **ضریب شقی خمشی دیوار) L. Cremer سپس رابطه فوق را با استفاده ازقوانین مقاومت مصالح بصورت ساده‌تری در آورده است ــ بدین ترتیب که می‌توان فرکانس بحرانی را ازخمش یک تیر حمال از مصالح مورد نظر که دو سر آن بر روی پایه آزادی قرار داده شده است و تحت تاءثیر وزن خود خم میشود ، محاسبه نمود .**

چنانچه‌مقطع تیر چهارگوش فرض شود و خمش آن نیز خیلی کوچک باشد میتوان نوشت :

$$E = \frac{5}{32} \cdot \frac{\gamma\, l^4}{\eta\, h^2}$$

(E مدول‌الاستیسیته ــ γ وزن‌مخصوص ــ l طول‌تیر ــ η خمش‌تیردروسط ــ h ضخامت تیر)چون ضریب شقی خمشی B طبق رابطه زیرین داده شده است :

(μ عدد ثابت پوآسون)

$$B = \frac{E}{1 - \mu^2} \cdot \frac{h^3}{12}$$

لذا اگر $1 - \mu^2 \approx 1$ فرض شود خواهیم داشت :

$$f_c = 5150 \sqrt{\frac{\eta}{l^2}}$$

که در آن η خمش وسط تیر برحسب سانتیمتر و l طول تیر برحسب متر و fc فرکانس بحرانی برحسب هرتس میباشد .

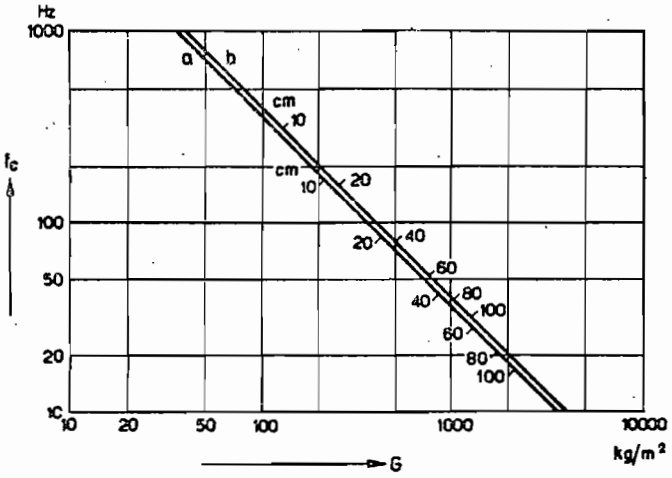
بااستفاده‌از رابطه‌فوق فرکانس‌بحرانی را برای تعداد بسیاری از مصالح‌ساختمانی تعیین‌نموده‌اندکه فقط اجرای آن در مورد بتن و آجر بعلت کوچکی η که با وسائل‌عادی قابل‌اندازه‌گیری نیستندقدری مشکل است . در مورد بتن میتوان با سربار اضافی در وسط تیر به نتیجه مطلوب رسید ــ در اینصورت داریم :

$$E = \frac{l^3\, G'}{4\, \eta'\, b\, h^3}$$

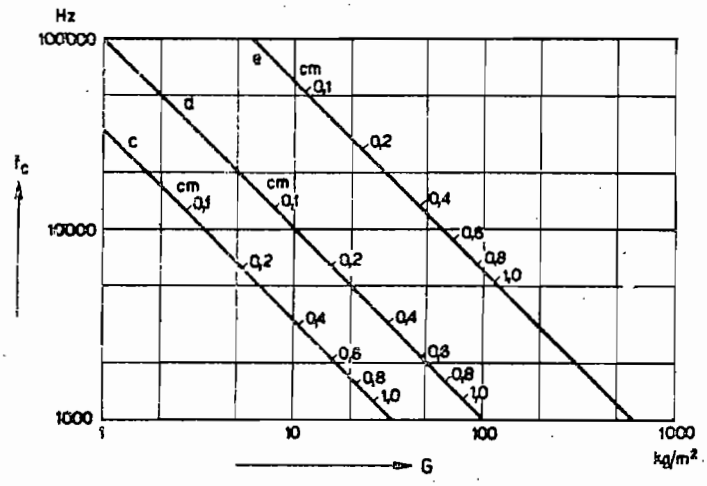
(G' سربار ــ η' خمش‌وسط تیردراین‌حالت ــ b عرض تیر ــ h ضخامت تیر و l طول آن) . در مورددیوارهای‌آجری روش فوق را بعلت عدم تحمل تیر نمیتوان بکار برد وحتی دراین مورد بایستی با سربار منفی (کم‌کردن بار وسط تیر) عمل نمود .

شکل‌های ۱۶۰ و ۱۶۱ و ۱۶۲ و ۱۶۳ مقادیرfc را برحسب وزن دیوار G برای ۱۳نوع مصالح ساختمانی‌نمایش میدهند که در هر مورد نیز ضخامت دیوار مشخص گردیده است ــ طرز استفاده از منحنی‌های نامبرده بقرار ذیل است :

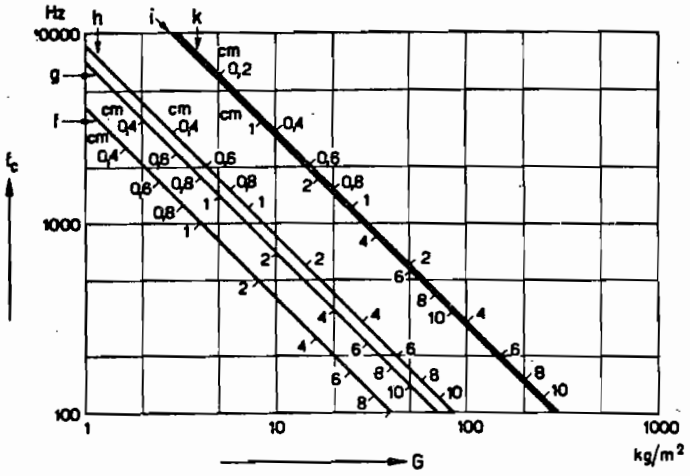
برای تعیین ایزولاسیون مصالح مورد نظر بایستی ابتدا عدد ایزولاسیون را از منحنی A در شکل ۱۵۸ استخراج نمود ، سپس فرکانس حد بحرانی از یکی از منحنی‌های شکل ۱۶۰ و ۱۶۱ و ۱۶۲ و ۱۶۳ برای مصالح مورد نظر تعیین میگردد ـ چنانچه این فرکانس حد بین ۵۰ تا ۴۰۰۰ هرتس باشد دراینصورت مقدار عدد ایزولاسیون از مقدار استخراج شده از منحنی ۱۵۸ بمراتب کمتر خواهد شد که منحنی B در شکل ۱۵۸ آنرا نمایش میدهد .



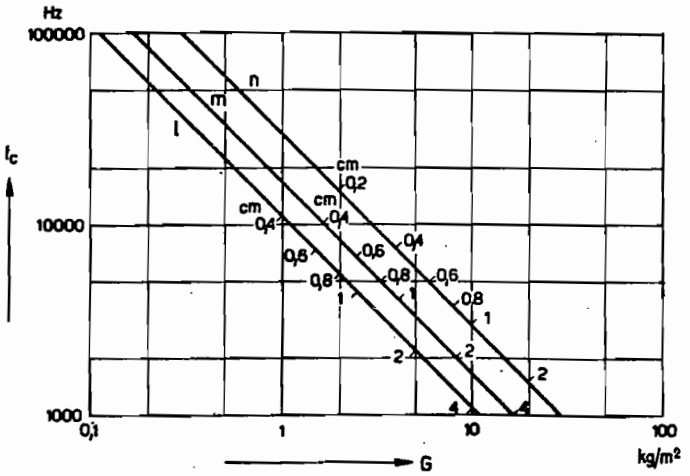
شکل ۱۶۰ ـ فرکانس بحرانی fc برحسب وزن دیوار (G) و ضخامت دیوار
a ـ بتون آرمه 300 P ـ b ـ آجر



شکل ۱۶۱ ـ فرکانس بحرانی fc برحسب وزن دیوار G . C: آنتی کورودال
d ـ آهن e ـ سرب



شکل ۱۶۲ ــ فرکانس بحرانی fc برحسب وزن دیوار G . f : چوب زربین
g : نئوپان h : چوب آلش i : دال گچی k : شیشه



شکل ۱۶۳ ــ فرکانس بحرانی fc برحسب وزن دیوار G . l : پاواتکس نرم
m : پاواتکس ایزودور n : پاواتکس سخت

نمونه .

ماسوتری : برای یک دیوار بتنی بضخامت ۴۰ سانتیمتر که وزن آن ۸۰۰ کیلوگرم در مترمربع میباشد فرکانس بحرانی در حدود ۵۰ هرتس قرار دارد و هرچه وزن این دیوار بیشتر باشد به منحنی A در شکل ۱۵۸ نزدیکتر میگردد . برای یک دیوار آجری در صورتیکه ضخامت آن ۶۰ تا ۷۰ سانتیمتر باشد فرکانس بحرانی کمتر از ۵۰ هرتس میگردد و چون برای دیوارهای آجری این ضخامت فقط در حالات خاص انتخاب میگردد لذا برای دیوارهای آجری معمولا منحنی B در شکل ۱۵۸ صادق است .

دیوارازدال‌گچی ــ چوبی‌وشیشه‌ای : فرکانس‌بحرانی‌برای دیوارهای چوبی و گچی وشیشه‌ای برای‌کلیه ضخامت‌های‌ممکن‌در میان دوحد فرکانس ۵۰ تا ۴۰۰۰ قرار دارد که همواره برای این مصالح منحنی B در شکل ۱۵۸ صادق است .

این‌نوع مصالح را در عمل در صورتیکه ایزولاسیون صوتی مورد نظر باشد بصورت دوبل بکار میبرند (پنجره‌های دوبل) که در اینصورت بایستی ضخامت آنهارا متفاوت انتخاب نمایند تا فرکانس بحرانی هر دو یکسان نگردد .

در مورد دیوارهای چوبی چون برای ضخامت عادی ۱۲ میلیمتر فرکانس‌بحرانی بیش‌از ۳۰۰۰هرتس‌و با ضخامت ۳,۵ میلیمتر حتی برای چوبهای سخت تا ۱۰۰۰۰هرتس نیزمیرسدعلیهذادراین‌موردمیتوان‌ازمنحنی A شکل ۱۵۸بدون‌دغدغه‌خاطراستفاده‌نمود .

ورقهای فلزی : با ورقهای فلزی نظیر آلومینیم ــ آهن و سرب میتوان بسهولت فرکانس بحرانی حد با لا را حاصل کرد زیرا وزن آنها نسبتا زیادتر است .

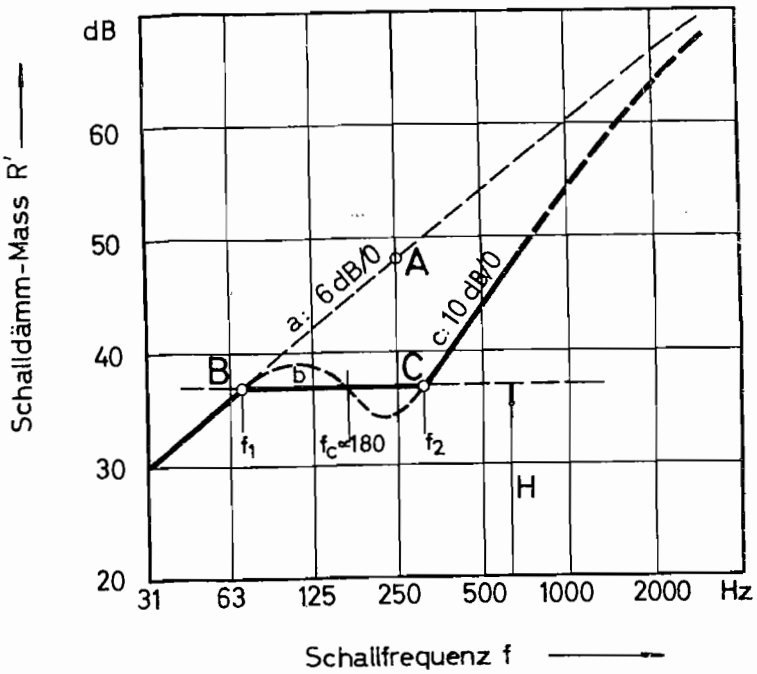
اینگونه مصالح را میتوان بخوبی در موارد عدیده بکار برد ــ از قبیل لائی برای درهای استودیوها (سرب) و یا دیوارهای متحرک (آهن یا آلومینیم)

برای محاسبه عدد ایزولاسیون به تبعیت از فرکانس L.L.Beranek رابطه زیرین را برای فرکانس ۲۵۰ هرتس وضع نموده است :

$$R_{250} \approx 20 \log M_{(kg/m^2)} \, dB,$$

که بدین سان نقطهٔ A در دیاگرام R=f(f) (شکل ۱۶۴) بدست می‌آید .

با داشتن نقطه A منحنی قانون جرم (خط مستقیم a با شیب ۶ دسی‌بل در اُکتاو) ترسیم‌می‌گردد . برای برخی از مصالحی که در جدول شماره ۵۲ داده شده است بلندی‌پلاتو H انتخاب‌و خط افقی b را درهمان مختصات ترسیم می‌نمایند دوخط a و b یکدیگررا درنقطه B که فرکانس‌مربوط به‌آن F_1 است‌قطع می‌نمایند . بااستفاده از جدول‌شماره۵۲ ازنسبت‌فرکانس f_2 / f_1 می‌توان نقطه C را با فرکانس f_2



شکل ۱۶۴ ــ تعیین منحنی ایزولاسیون آکوستیکی .

نمونه ــ دیوار آجری با اندود دو روئه که ضخامت کلی آن ۱۵ سانتیمتر است دارای وزن M = ۲۶۰ کیلوگرم در متر مربع است که $R_{۲۵۰} = 20 \log 160 = 48^{dB}$

بلندی پلاتو H=37 dB و پهنای پلاتو $f_2/f_1 = 4,5$

پا۲/۱ ۲اکتاو ــ فرکانس بحرانی $f_c \simeq 180$ Hz.

بدست‌آورد . از نقطه C خطی با شیب ۱۰ دسی‌بل در اکتاو ترسیم می‌گردد که در انتها بصورت منحنی که با خط ۶ دسی‌بل در اکتاو مماس خواهد شد درمی‌آید .

میان دو نقطه B و C در شکل ۱۶۴ منحنی خط‌چین بصورت داده شده ترسیم می‌گردد که نقطه تقاطع آن با خط b فرکانس بحرانی fc را بدست می‌دهد که تقریبا در $\frac{۲}{۳}$ فاصله BC قرار دارد .

جدول شماره ۵۲ : چگالی ـ بلندی پلاتو و پهنای پلاتو برای برخی از مصالح ساختمانی

مصالح	چگالی kg/m3	بلندی‌پلاتو dB	پهنای‌پلاتو f_2/f_1	نسبت فرکانس برحسب اکتاو
سرب	۱۱۲۰۰	۵۶	۴	۲
فولاد	۷۶۰۰	۴۰	۱۱	$۳\frac{۱}{۲}$
آلومینیم	۲۶۶۰	۲۹	۱۱	$۳\frac{۱}{۲}$
شیشه	۲۴۷۰	۲۷	۱۰	$۳\frac{۱}{۲}$
تخته سه‌لائی	۵۷۰	۱۹	۶/۵	$۲\frac{۲}{۳}$
بتون	۲۲۸۰	۳۸	۴/۵	$۲\frac{۱}{۳}$
آجر	۲۱۰۰	۳۷	۴/۵	$۲\frac{۱}{۳}$
ملات ـ پلاستر	۱۷۱۰	۳۰	۸	۳

در شکل ۱۶۴ نمونه‌ای از این روش برای دیوار آجری با اندود دو رویه به ضخامت کلی ۱۵ سانتیمتر و چگالی ۲۶۰ کیلوگرم در مترمربع نمایش داده شده است که مقادیر بدست‌آمده با مقادیر شکل ۱۶۰ برابری دارد .

نقطه می‌نیمم‌منحنی ایزولاسیون که براثر افکت کوانسیدانس ایجاد میگردد تابع تباهی‌امواج خمشی‌در مصالح می‌باشد . در جدول شماره ۵۳ تباهی لگاریتمی امواج خمشی برخی از مصالح ساختمانی داده شده است . هرچه‌این عدد کوچکتر باشدنقطه‌می‌نیمم پایین‌تر و بهمان نسبت کاهش ایزولاسیون بیشتر خواهد بود .

جـدول شمـاره ۵۳

مصـالـح	تباهی لگاریتمی	مصالح	تباهی لگاریتمی
سرب	۰/۱۵	آجـر	۰/۰۴
پاواتکس ایزودور	۰/۰۹۵	چوب‌زربین	۰/۰۰۲۵
پاواتکس نرم	۰/۰۸	شیشه	۰/۰۱
بتون‌آرمه ۳۰۰	۰/۰۷	آنتی‌کورودال	۰/۰۰۹
چوب بلوط	۰/۰۵	آهن	۰/۰۰۵
تخته سه لائی	۰/۰۴		

در جدول شماره ۵۴ اندکس ایزولاسیون برخی از مصالح ساختمانی و چگالی آنها کـه با سنجشهای دقیق و پیاپی در خانه‌های مسکونی توسط EMPA اندازه‌گیری وتعییـن گردیده است نمایش داده شده است .

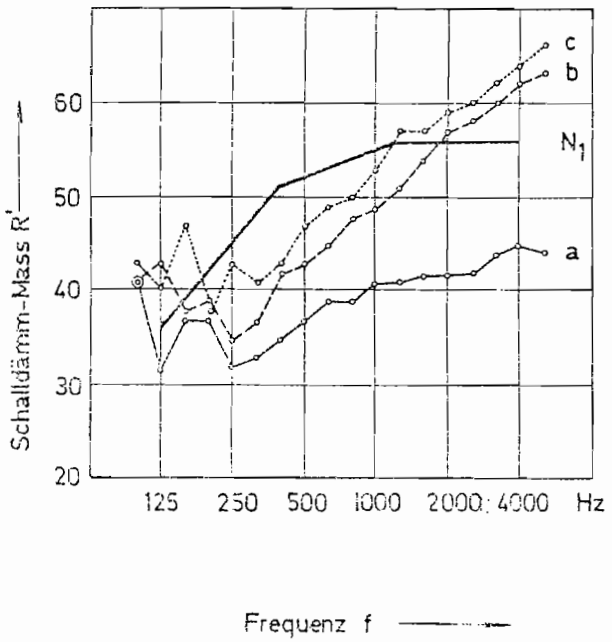
جدول شماره ۵۴ : اندکس ایزولاسیون آوای هوائی برای دیوارهای یک لایه

دیوار از :	چگـالی M (kg/M³)		اندکس ایزولاسیون آوای هوائی I_a (dB)			
۱ــ آجر : (هردو رواندود شده است)						
تیغه زلتون ۶ سانتیمتری	۱۰۰	۱۳۰	۱۶۰	۳۹	۴۱	۴۳
دیوارآجر فشاری ۱۲ سانتیمتری	۲۰۵	۲۴۰	۲۷۵	۴۴	۴۶	۴۸
دیوار آجر فشاری۱۵ سانتیمتری	۲۴۵	۲۸۰	۳۱۵	۴۷	۴۹	۵۱
دیوار آجر فشاری۱۸ سانتیمتری	۲۹۰	۳۲۵	۳۶۰	۴۸	۵۰	۵۳
دیوار آجر بلوک ۲۵ سانتیمتری	۳۵۰	۳۶۵	۴۲۰	۴۹	۵۱	۵۴
دیوارآجرفشاری۱۰+۱۸ سانتیمتری	۴۱۰	۴۷۰	۵۳۰	۵۱	۵۴	۵۷
دیوار آجرفشاری۱۲+۱۸سانتیمتری	۴۴۰	۵۰۰	۵۶۰	۵۲	۵۵	۵۸
دیوار آجری آهکی۱۲ سانتیمتری	۲۵۰	۲۸۵	۳۲۰	۴۶	۴۸	۵۰
دیوار آجر آهکی ۱۵ سانتیمتـری	۳۰۵	۳۴۰	۳۷۵	۴۸	۵۰	۵۳
دیوار آجر آهکی ۲۰ سانتیمتری	۳۴۵	۴۰۰	۴۵۵	۵۰	۵۲	۵۵
۲ــ بتون : ۱۲ سانتیمتری	۲۶۵	۲۸۰	۲۹۵	۴۷	۴۹	۵۲
۱۵ سانتیمتری	۳۳۰	۳۵۰	۳۷۰	۵۰	۵۲	۵۴
۲۰ سانتیمتری	۴۴۰	۴۶۵	۴۹۰	۵۳	۵۶	۵۹

بتون‌ویبره	۱۲ سانتیمتری	۱۷۵	۴۲	۴۴	۴۶
	۱۵ سانتیمتری	۲۳۶	۴۷	۴۹	۵۱
	۱۸ سانتیمتری	۲۷۵	۴۸	۵۱	۵۳
	۲۵ سانتیمتری	۳۸۰	۵۳	۵۵	۵۷
دیوار گچی	۶ سانتیمتری	۶۲	۳۰	۳۲	۳۴
	۸ سانتیمتری	۸۳	۳۳	۳۵	۳۷
	۱۰سانتیمتری	۱۰۶	۳۶	۳۸	۴۰
تخته نئوپرن (چوب‌وسیمان) ۱سانتیمتری		۵/۵	۱۷	۱۸	۲۰
نئوپرن	۲ سانتیمتری	۱۱	۲۱	۲۲	۲۴
نئوپرن	۳ سانتیمتری	۱۶/۵	۲۳	۲۵	۲۷
نئوپرن	۴سانتیمتری	۲۲	۲۶	۲۸	۳۰

بدیهی است که ایزولاسیون دیوارهای آجری تابع پر یا خالی‌بودن لای آجرها (پربودن‌هرز ملات‌آجرها) می‌باشدکه‌اندودروی‌دیواردراین‌موردسهم‌بسزائی‌دارد.

در شکل ۱۶۵ این واقعیت نمایش داده شده است.



شکل ۱۶۵ ـ تاثیر اندود دیوار آجری ۱۵ سانتیمتری درایزولاسیون آوای هوائی آن

منحنی a : دیوار آجری بدون اندود $I_a = 40\,dB$

منحنی b : دیوار آجری بااندودیک‌رویه $I_a = 47\,dB$

منحنی c : دیوار آجری دورو اندود $I_a = 51\,dB$

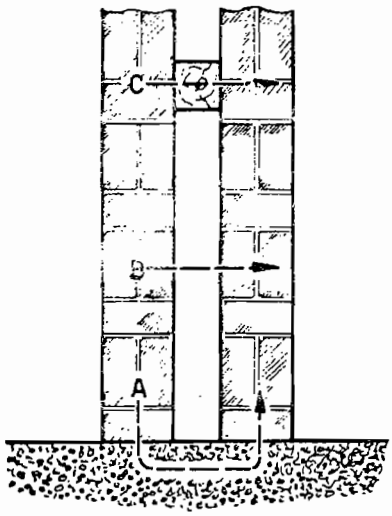
منحنی M1: منحنی استاندارد Iso/R7/1968

دیوار دوبل

ازبررسی ایزولاسیون دیوارها برمیآیدکه برای داشتن ایزولاسیون کافی بایک دیوار تنها بایستی وزن آنرا بحد کفایت زیاد نمود ــ چنانچه ساختن دیوار سنگین بعللی مورد نظر نباشد میتوان با ساختن دیوار دوبل نیز به نتیجه مطلوب رسید.

بدیهی است که تاثیر ایزولاسیون دیوار دوبل هنگامی است که هردو دیوار جدا از یکدیگر ساخته شوند .

در شکل ۱۶۶ نمایش داده شده است که امکان ترابری انرژی آکوستیکی از دیوار دوبل از سه راه میباشد :



شکل ۱۶۶ ــ راههای انتقال صوت از دیوار دوبل

A: از راه لبه ها B: از راه هوای بین دو دیوار C : از راه اتصالات

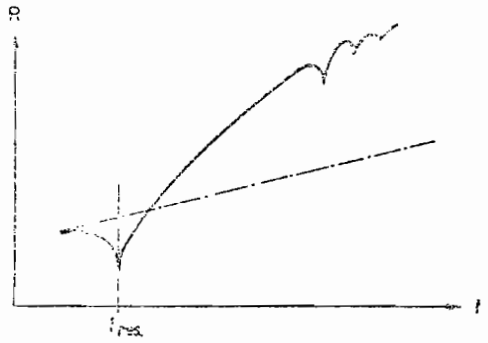
الف) از راه پایه‌ها و لبه‌ها

ب) از راه هوای بین دو دیوار

ج) از راه اتصالات بین دودیوار

E.Wintergerst در (۱۹۳۱) منحنی تئوری عدد ایزولاسیون دیوارهای دوبل را با فرض انتقال صدا از طریق هوای مابین دو دیوار محاسبه نموده است که نتیجه آن درشکل ۱۶۷ نمایش داده شده است که در حدود فرکانس رزوناس fres کاهش شدید

R وبسیار آن‌افزایش R پدیداراست (باتقایسه‌با دیوار ساده بوزن‌دیوار دوبل) .



شکل ۱۶۷ ــ روند تئوری عدد ایزولاسیون R یک دیوار دوبل برحسب فرکانس

fres: فرکانس رزونانس ــ خط‌چین : قانون حرمی برای همان دیوار

ایزولاسیون‌کافی با دیوار دوبل هنگامی بدست می‌آید که فرکانس رزونانس‌دیوار خیلی‌کم (زیر ۱۰۰ هرتس) باشد که از رابطه زیرین محاسبه می‌گردد .

$$f_{res} = 500 \sqrt{s' \left(\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2}\right)} \text{ (Hz)}$$

s' $\frac{Edyn}{a}$ (kp/cm³)

Edyn : مدول الاسیتسته دینامیکی (کیلوگرم برسانتیمترمربع)

a : فاصله بین دو جدار fres (cm): فرکانس رزوناس (هرتس)

S' : ضریب شقی دینامیکی (کیلوگرم بر مترمربع)

M_1, M_2 : وزن یک مترمربع هریک از دیوارها (کیلوگرم برمترمربع)

چنانچه فاصله میان دو دیوار را هوا پرکرده باشد خواهیم داشت :

$$f_{res} \simeq \frac{1200}{\sqrt{a \cdot M}} \text{ (Hz)}$$

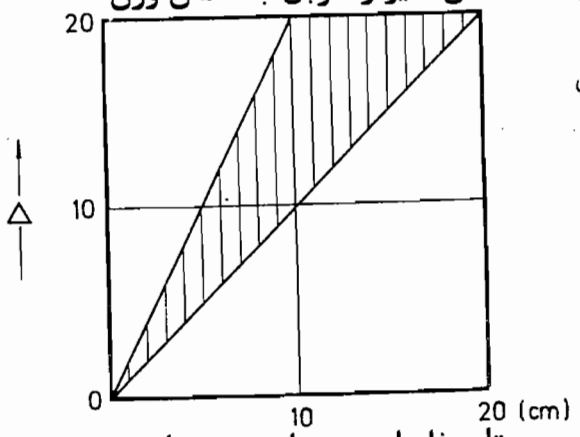
M : وزن هر متر مربع هردو دیوار باهم (کیلوگرم برمترمربع)

a : فاصله میان دو دیوار (سانتیمتر)

ایزولاسیون دیوار دوبل بطور تقریب از رابطه‌زیرین بدست می‌آید :

$$Ia_2 = Ia_1 + \Delta \text{ (dB)}$$

که درآن Ia_2 اندکس ایزولاسیون دیوار دوبل Ia_1 اندکس ایزولاسیون دیوارساده بوزن دیوار دوبل و △ افزایش ایزولاسیون با ساختن دیوار دوبل به همان وزن



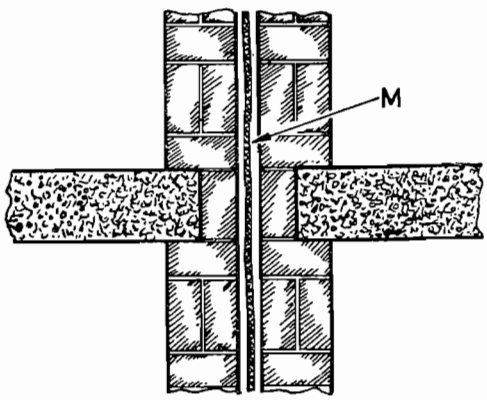
شکل ۱۶۸ : افزایش ایزولاسیون آوای هوائی دیوارهای دوبل

△ : افزایش ایزولاسیون

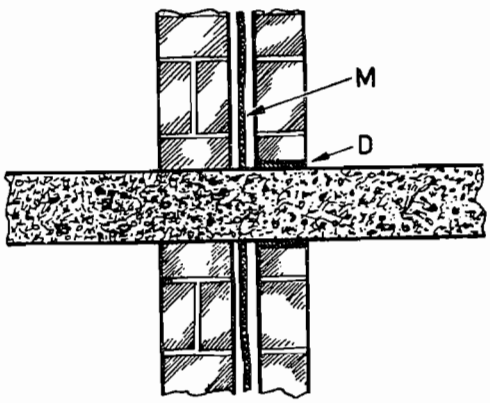
a : فاصله دو دیوار

ازشکل ۱۶۸ دیده میشودکه افزایش ایزولاسیون △ تابع فاصله دودیوار a می باشد .

چنانچه در فاصله هوائی بین دو دیوار مواد آبسوربنت قرار داده شود از نظر ایزولاسیون تاءثیر چندانی نخواهد داشت ولی بعلت ممانعت از بروز اتصالات ناخواسته بین دو دیوار و همچنین در فواصل بزرگتر بعلت تضعیف امواج نوسانی بین دو دیواربکار بردن آن توصیه میگردد . (لائی M در شکل‌های ۱۶۹ و ۱۷۰)



169



170

شکل ۱۶۹ ــ اصول ساختمان دیوار دوبل ایده آل ــ افزایش تضعیف نسبت به دیوار ساده هموزن ۱۵ دسی بل . M: ماتریال الیافی

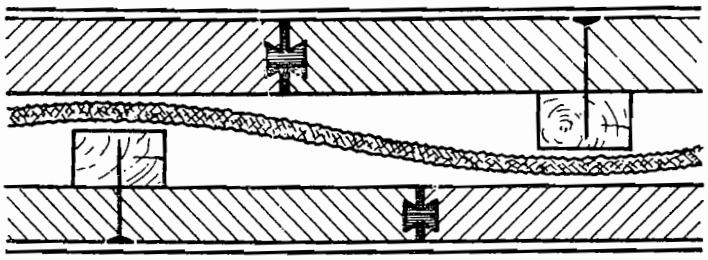
شکل ۱۷۰ ــ اصول ساختمان دیوار دوبل عادی که یک دیوار در مقابل دیوار اصلی کشیده شده است ــ افزایش تضعیف نسبت به دیوار ساده هموزن : ۱۰ دسی بل

D: ماتریال ایزولان M : ماتریال الیافی

شکل۱۶۹ساختمان اصولی یک دیواردوبل را نمایش میدهد در این کنسروکسیون انتقال هوا فقط از طریق هوای مابین دودیوار میسر میباشد .

بایک‌چنین کنستروکسیونی میتوان با مقایسه‌با یک دیوار ساده بهمین وزن درحدود ۱۵دسی‌بل‌عدد ایزولاسیون‌را بالابرد . چنانچه دیوار دوبل را بصورت شکل ۱۷۰بسازند (کنستروکسیون عادی) که در آن فقط در مقابل دیوار اصلی یک تیغه کشیده شود برای جلوگیری از انتقال صدا از طریق کف و یا سقف باید درمحل اتصال دیوار تیغه‌ای به کف یاسقف ، از یک‌لایه‌ماتریال آبسوربنت آوای درونی (D) استفاده گردد . بایک‌چنین کنستروکسیونی میتوان نسبت به دیوار ساده هم‌وزن آن فقط ۱۰دسی‌بل عدد ایزولاسیون را بالا بـرد .

با استفاده از مصالح سبک نیزمیتوان دیوارهای دوبلی که از نظر ایزولاسیون‌نیز قابل توجه میباشند نظیر دیوارهای فوق ساخت (شکل ۱۷۱) .



شکل ۱۷۱ ــ دیوار دوبل از دال گچی ۶ و ۸ سانتیمتر با چوب بست جداگانه و لائی از مواد الیافی ــ وزن کلی ۱۲۴ کیلو گرم در متر مربع و R =۵۱ دسی بل افزایش تضعیف نسبت بدیوار ساده هموزن : ۱۰ دسی بل

چنانچه این‌دیوارسبک۱۲۴کیلوگرم درمترمربع‌وزن‌داشته‌باشد دارای ۵۱دسی‌بل عدد ایزولاسیون خواهد بود که در حدود ده دسی‌بل در قبال دیوار ساده‌ای بهمان وزن و باهمان‌ماتریال ازدیاد ایزولاسیون دارد چنانچه حصول همان مقدار ایزولاسیون‌بادیوار ساده و باهمان ماتریال مورد نظر باشد باید وزن‌دیوارراحداقل ۵۰۰ کیلوگرم در متر مربع

انتخاب نمـود .

بدین‌ترتیب‌ملاحظه‌میگرددکه برای‌ساختن دیوارهای دوبل با مصالح سبک‌معمولا ازپوسته‌هااستفاده میگرددو ازاین رو لازمست‌که احتیاطات لازمه بعمل‌آورده شودوبخصوص ضخامت‌هریک ازدیوارهاباید بادیگری‌متفاوت باشد تا فرکانس کوانسیدانس آنها بایکدیگر برابر نگرددو نیز فاصله‌هوائی بین دو دیوار هم باید بحد کفایت انتخاب گردد که از ده سانتیمتر نیز کمتر نباشد (فاصله بزرگتر از ده‌سانتیمتر متناسب‌تر است) .

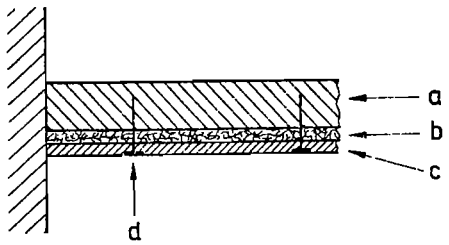
رعایت نکردن این مقررات بزیان عدد ایزولاسیون تمام می‌شود چنانچه بررسی گردیده‌است دیواردوبلی باصفحات گچی ۲×۸ سانتیمتری با فاصله ۳ سانتیمتر از هم‌تنها ۲ دسی‌بل افزایش ایزولاسیون نشان میدهند .

K.Goesele (1959) اثبات نموده است که تضعیف داخلی ماتریال تشکیل دهنده‌دیوارهای‌دوبل‌اهمیت‌بسزائی‌در ایزولاسیون آنها دارد . مثلا ایزولاسیون‌صفحاتی ازپرفکتا ، دوریزول‌و نظایرآنها (که سفیدکاری هم میشوند) بمراتب بیش‌از صفحات‌گچی میباشـدو نیز پرکردن آجرهای توخالی با ماسه در ایزولاسیون آنهاموثر است .

فزون‌بر اینهاضریب شقی ماتریال بکاربرده شده نیز در افزایش عدد ایزولاسیون تاءثیربسزائی‌دارد . بطوریکه‌میدانیم صفحات نازک غیرقابل ارتعاش (نرم)درصورتیکه با دامنهٔ معینی بنوسان درآورده شوند انرژی منتشره در حدود ۱۰ تا ۲۰ دسی‌بل کمتـر از حالتی است که صفحه ضخیم‌تر با ضریب شقی بزرگتری با همان دامنه بنوسان درآورده شود ــ مثلا یک دیوار دوبل با صفحات گچی ۲×۱ سانتیمتری با ۱۷ سانتیمتر فاصله‌هوائی ۱۹ دسی‌بل افزایش ایزولاسیون نسبت به دیوار ساده باهمان وزن نشان میدهد .

بااستفاده‌از این‌حقیقت‌است که معمولا طرف آهسته دیوارهای دوبل را بااینگونه مصالح‌پوشش میدهند . از جمله مصالح متناسب برای اینکار صفحات نئوپان ۱۲ میلیمتری میباشند که فرکانس‌بحرانی‌آنها بیش‌از ۴۰۰۰هرتس‌است . درشکل ۱۷۲ یکنوع کنستروکسیون

خاص برای بالا بردن ایزولاسیون دیوارها و سقف‌ها در ساختمانهای موجود وسیله K.Goesele طرح گردیده است که نسبتا" ساده و ارزان عملی میشود .



شکل ۱۷۳ ــ شبه دیوار دوبل ــ طرح از Gösele, K.

a : آجر یا بتن یا نظایر آن . b : لائی الاستیک (مثلا" پشم شیشه)

c : تخته نرم d : میخ بفاصله ۵۰ سانتیمتر

با وجود مزایای ایزولاسیون اینگونه صفحات نرم بکاربردن آنها در ساختمانها خالی از اشکال نیست زیرا دارای استحکام کمی هستند و نصب تابلو ــ عکس ــ روشوئی و نظایر آنرا بعدا" دچار اشکال می‌نمایند .

در جدول شماره ۵۵ افزایش عدد ایزولاسیون برای برخی از مصالح مهم مشخص گردیده است (دیوار دوبل در مقابله با دیوار معادل ساده)

نـــوع	ساختمان	ضخامت کلی mm	وزن هر مترمربع kg/m^2	ایزولاسیون آوای هوائی dB		
یک جداره (برای مقایسه)	صفحات گچی ۶۰ میلیمتری	۶۰	۶۲	۳۰	۳۲	۳۴
دوجداره	صفحات گچی ۶۰ میلیمتری پنبه کوهی ۲۰ " " صفحات گچی ۵۰ " "	۱۳۰	۱۱۴	۳۸	۴۰	۴۲
	صفحات گچی ۶۰ " " پنبه کوهی ۲۰ صفحات گچی ــ دقوائی ۱۵	۹۵	۷۶	۴۴	۴۷	۵۰

نـــوع	ساختمان	ضخامت کلی m	وزن هرمترمربع Kg/m2	ایزولاسیون dB اندکس		
	صفحات گچی ۶۰ میلیمتری پنبه کوهی ۲۰ میلیمتری صفحات گچی ۲۵میلیمتری	۱۰۵	۸۹	۴۵	۴۸	۵۱
	صفحات گچی ۸۰میلیمتری پنبه کوهی ۲۰ میلیمتری صفحات گچی ۴۰ میلیمتری	۱۴۰	۱۲۵	۴۷	۵۰	۵۴
یک‌جداره بادورو پلاستر (برای‌مقایسه)	تیغه آجری۱۱۲ میلمتری	۱۵۰	۲۴۰	۴۴	۴۶	۴۸
دوجـــداره	تیغه آجری ۱۱۲میلیمتری (با دروپلاستر) پنبه کوهی ۲۰،میلیمتری صفحات گچی ــ مقوائی۱۲	۱۸۲	۲۵۰	۴۹	۵۲	۵۵
	تیغه‌آجری ۱۱۲ میلیمتری پنبه کوهی ۲۰ میلیمتری صفحات زلتون = ۶۰(با یک رو پلاستر)	۲۳۰	۳۳۰	۴۸	۵۱	۵۴

دیـوارهای متحـرک

دیوارهای متحرک که در دفاتر و ادارات برای جداکردن و تقسیم کردن اطاقها مورد استفاده قرار می‌گیرند نیز نمونهٔ جالبی از دیوارهای دو جداره می‌باشند .

در جدول شماره ۵۶ نتیجه اندازه‌گیری از ۹ نمونه دیوارهای متحرک که ازسوی EMPA انتشار یافته است بررسی می‌گردد .

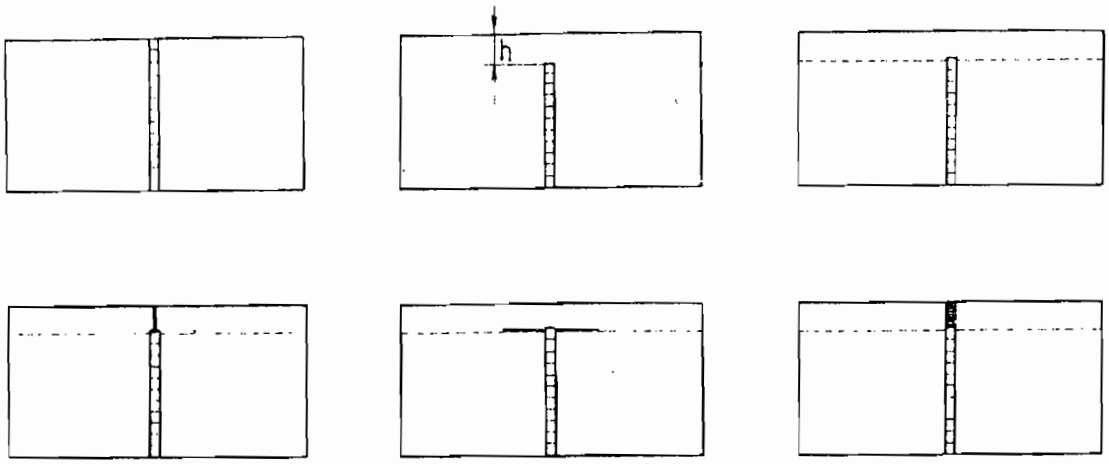
جدول شماره ۵۶

	ضخامت دیوار (میلیمتر)	وزن هر متر مربع kg/m^2	اندکس ایزولاسیون
بیشینـه	۱۰۲	۷۳	۴۱
میانگین	۸۲	۳۰	۳۶
کمینـه	۵۲	۱۸	۲۸

گذشته‌از ایزولاسیون‌خود دیوارهای متحرک،شیوه اتصال آنها با دیوارهای دیگر و سقف‌و کف شایسته‌بررسی ژرف‌تری است . زیرا اتصال نادرست این گونه دیوارها بدیگر دیوارهامی‌تواندازاندکس‌ایزولاسیون‌دیوارمتحرک‌را به‌اندازه‌قابل‌توجهی‌کاهش‌دهد .

دربیشترمواردد‌یوارهای‌متحرک‌رادر جاهائی که سقف کاذب از مصالح آبسوربنت سبک (آکوستیک‌تایل) نیزوجود داردمی‌پنگانندکه این خود در کاهش اندکس‌ایزولاسیون بسیار موٴثر است .

برای پیشگیری از ترابری غوغا از راه سقف کاذب طرحهای گوناگونی از سـوی EMPA تهیه‌و مورد آزمایش قرار داده شده است که نمونه‌ای از آنها در شکل ۱۷۳ دیده می‌شود و نتیجه این سنجش ها نیز در جدول شماره ۵۷ داده شده است .



شکل ۱۷۳ : ترابری غوغا میان اطاقهای جداازیکدیگر از راه سقف کاذب

I : دیوار ۱۵ سانتیمتری تیغه‌ای دولایه که هردوروی آن اندود شده است

II : بالای دیوار باندازه ۳۰ سانتیمتر خالی است

III : مانند II ولی با سقف کاذب

IV a : مانندIII ولی بایک‌دیوارک‌تیغه ای عمودی تا زیر سقف (یک‌لایه)

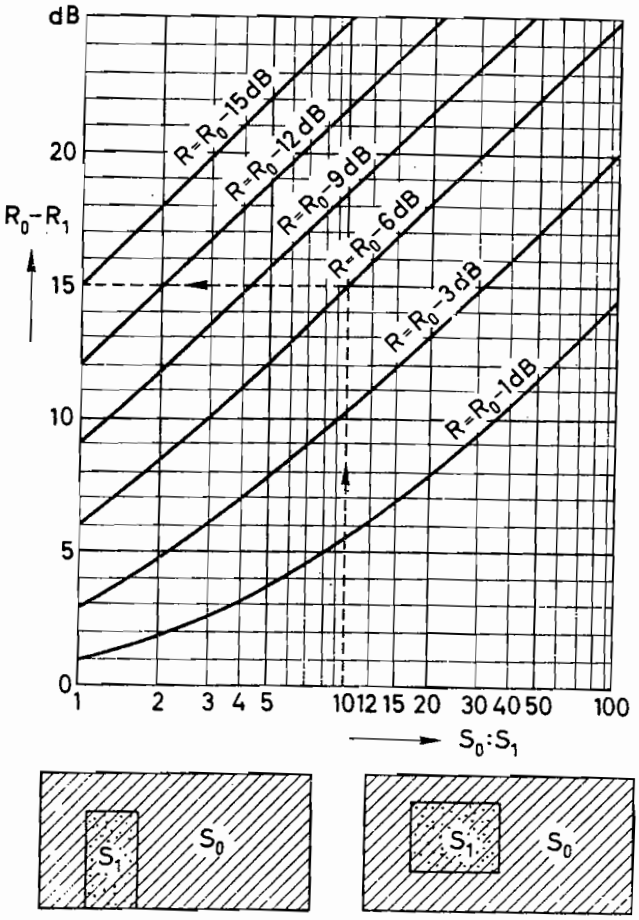
IV b : مانندIII ولی با یک دیوارک تیغه‌ای افقی در کنار دیوار متحرک

V : مانندIII ولی با دیوارک تیغه‌ای عمودی تا زیر سقف (دولایه)

حالت	سقف کاذب	دیوارک	اندکس ایزولاسیون db
I	——	——	۵۳
II	——	——	۱۰
III	تایل آکوستیکی گچی		۱۸
	تایل آکوستیکی ازپشم شیشه		۲۲
	تایل آکوستیکی فلزی		۱۹
	تایل آکوستیکی آسبست		۲۵
	تایل آکوستیکی مقوائی ۲۴ میلیمتری		۳۲
IV a :	تایل آکوستیکی گچی	ورق گچی مقوائی ۱۲ میلیمتری	۳۹
	تایل آکوستیکی فلزی	نئوپان ۲۸ میلیمتری	۴۱
IV b :	تایل آکوستیکی فلزی	ورق آهنی ۰/۵ میلیمتری آسبست ۸ میلیمتری	۲۸
V	تایل آکوستیکی گچی	ورق گچی مقوائی ۱۲ میلیمتری آسبست ۳۰ میلیمتری	۴۸
	تایل آکوستیکی ازپشم شیشه	۲لا ورق پشم شیشه ۶۰ میلیمتری باکاغذکرافت و ورق آلومینیومی	۳۹
	تایل آکوستیکی از آسبست	نئوپان ۵۰ میلیمتری آسبست ۱۵ میلیمتری ورق گچی مقوائی ۱۰ میلیمتری	۴۲
	تایل آکوستیکی مقوائی ۲۴ میلیمتری	نئوپان ۵ میلیمتری آسبست ۳۰ میلیمتری نئوپان ۵ میلیمتری	۴۴

سیستمهای با ایزولاسیون آکوستیکی گوناگون

چنانچه‌یک دیوار یا سقف از چند المان گوناگون ترکیب گردد ، ایزولاسیون‌کلی دیوار یا سقف نتیجه ایزولاسیون اجزاء گوناگون خواهد بود . همانگونه که در شکل ۱۷۴ نمایش داده شده است می‌توان کاهش ایزولاسیون یک دیوار را که دارای در یا پنجره‌است بدست آورد .



شکل ۱۷۴ ــ تاثیر سطح با ایزولاسیون کم درایزولاسیون کلی دیوار

S_o : سطح‌کلی‌دیوار S_1 : در یا پنجره باایزولاسیون‌کم

R_o : عدد ایزولاسیون‌دیواربدون‌دریاپنجره R_1 : عددایزولاسیون‌پنجره یا در

درهای ایزولان

ایزولاسیون درها تابع نکات زیرین می باشد :

. چهارچوب در و چگونگی نصب آن روی دیوار

. ساختمان در

. آب‌بندی‌در با چهارچوب‌و آستانه‌در

. نوع قفل

. طرز ساخت در و نصب آن

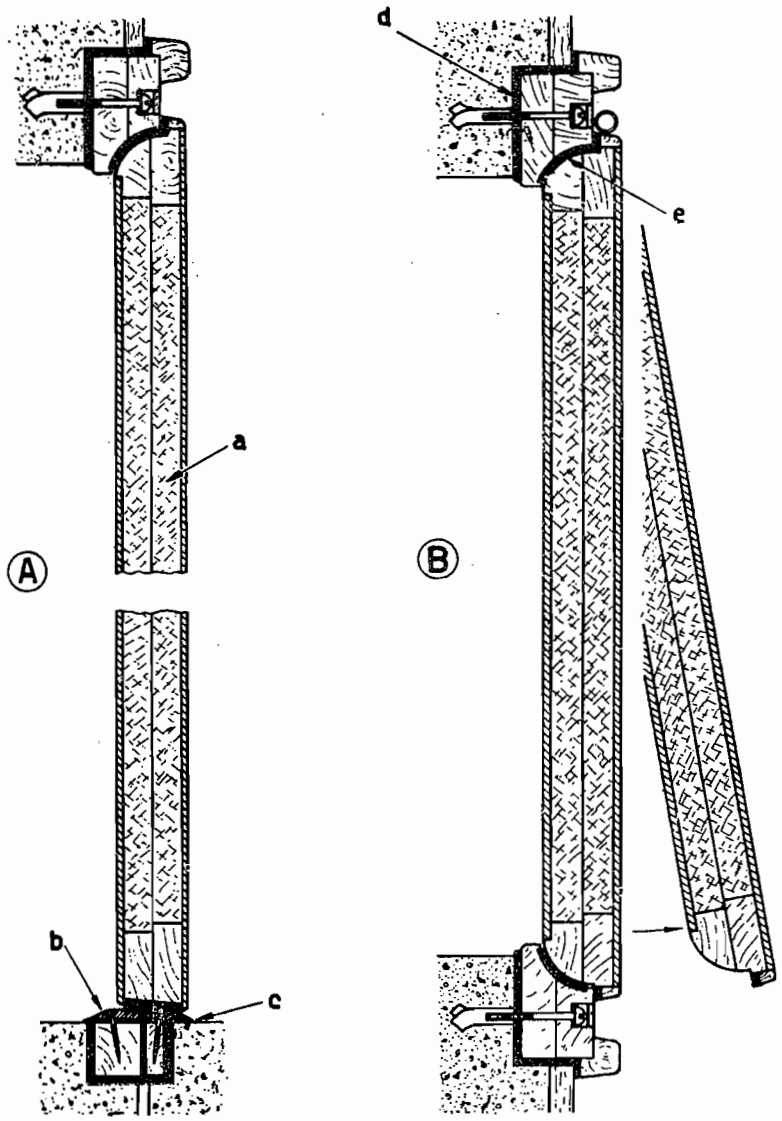
درجدول زیرین‌مشخصات‌آکوستیکی سه نوع در ساده و سه‌نوع در دوبل برای مقایسه داده شـده است .

ردیف	نوع در	اندکس ایزولاسیون
۱	در ساختمان (اطاق) درسبک ساده ارزان‌بهاء یک‌لایه وزن ضخامت . ۲سانتیمتر وزن‌سطحی : ۱۰ ــ ۵ کیلوگرم درمترمربع با آستانه ساده بدون آب بنـــدی	۲۰ ــ ۱۰
۲	در ساختمان (آپارتمـان)در نیمه سنگین ساده یا دو لایه ضخامت ۶ــ۲ سانتیمتر . وزن سطحی : ۲۵ ــ ۱۰ کیلو گرم در متر مربع با آستانه ساده بدون (یابا) آب بندی .	۳۰ ــ ۲۰

ردیف	نوع در	اندکس ایزولاسیون
۳	در ایزولان در سنگین‌ساده یا دو لایه ضخامت : ۸ــ ۴ سانتیمتر وزن سطحی : ۵۰ــ ۲۵ کیلوگرم باآب‌بندی درچهارچوب وآستانه	۴۰ــ ۳۰
۴	درهای دوبل عادی مرکب از : ۲ در سبک (همانند بند ۱) فاصله میان دو در ۲۵ــ ۱۵ سانتیمتر	۳۰ــ ۲۰
۵	در دوبل سنگین (برای‌مطب ــ اطاق‌کنفرانس . . .) مرکب از ۲ در ساده سنگین (همانند بند۲) فاصله میان دو در ۲۵ــ ۱۵ سانتیمتر	۴۰ــ ۳۰
۶	در دوبل مخصوص (برای‌موتورخانه و . . .) مرکب از ۲ در ساده سنگین (همانند بند ۳) فاصله میان دو در بیش‌از ۴۰ سانتیمتر	۶۰ــ ۴۰

درشکل ۱۵۵ کنستروکسیون‌یک در چندلایه با چهارچوب و پاشنه مخصوص‌نمایش داده شده است .

باتوجه‌به‌ساختمان‌و ایزولاسیون‌درهااستنباط میگرددکه وجود در ، اثرایزولاسیون دیواررا همواره‌تنزل میدهد زیرا مثلا یک‌دیوار آجری ۱۲سانتیمتر بوزن ۲۴۰ کیلو گرم در مترمربع دارای ایزولاسیونی معادل ۴۶ دسی‌بل میباشد در حالی که اگر دری معادل این ایزولاسیون‌موردنیازباشدبایدهم سنگین‌وهم چندلایه‌ساخته‌شود (بادیوارتناسبی‌ندارد) .



شکل ۱۵۵ ــ در ایزولان : A : مقطع عمودی ــ B : مقطع افقی

a : لائی مواد الیافی ــ b : زیر چهار چوب دوپخ ــ C : مقوای قیر اندود

d : ماتریال ایزولان نرم e : لائی نمدی

چون ساختن درهای سنگین بعلل فنی و عملی میسر نیست از این رو در مواردی که ایزولاسیونی بیش از ۳۰ دسی بل مورد نیاز باشد ناچار از بکاربردن درهای دوبل و چند لایه‌ای میباشند که نظیر دیوارهای دوبل تاءثیر می‌نمایند .

بخصوص در مورد اینگونه درها کنستروکسیون چهارچوب و قفل و پاشنه اهمیت بسزائی دارد و از طرف موسسات مختلف وسائل خاص ساخته و عرضه گردیده است .

برای آب بندی اینگونه درها بهترین ماتریال نمد میباشد (استفاده از اسفنج طبیعی

یا مصنوعی دراین مورد مجاز نمیباشد زیرا دوام آنها کم است) .

درهای مخصوص با ایزولاسیون زیادرا میتوان با فلز نیز ساخت بخصوص چهارچوب وقاب در رااگر ازآهن بسازنددیگر در ، بازی نمیکند و آب بندی همواره یکسان می ماند .

بعلت خواص ایزولاسیون ورق فلزی درساختمان درهای خاص برای ایزولاسیون زیاد اغلب صفحات سربی نیز بعنوان لائی استعمال میگردد .

پنجـــــره :

درساختمانها پنجره ها همواره نقطه ضعف ایزولاسیون آوای هوائی و غوغای بیرون (غوغای ترافیک ــ غوغای صنایع .....) می باشد .زیرا بالاترین حد ایزولاسیون پنجره های بازشو Ia=35-40 dB است و رسیدن به این حد خودتابع نکات زیرین می باشد :

ــ شیشه دوبل از دو شیشه بضخامت های گوناگون

ــ فاصله کافی میان شیشه ها

ــ آب بندی کافی با چهار چوب و چسبندگی کافی شیشه ها به قاب پنجره

ــ بکاربردن خمیر پلاستیکی کشسان برای محکم کردن شیشه ها (زاماسگا)

ــ ساخت پنجره و پنگائیدن آن

در جدول شماره ۵۹ مشخصات اصلی ساختمانی پنجره ها که در آزمایشگاه اندازه گیری شده داده شده است :

ردیف	نوع پنجـره	اندکس ایزولاسیون
۱	پنجره‌ساده با یک‌لایه شیشه و چهارچوب ساده بدون آب‌بندی ضخامت شیشه ۵ ــ ۲ میلیمتر	۲۰ ــ ۱۰ dB
۲	پنجره با شیشه دوبل (برای‌آپارتمان) ضخامت شیشه‌ها : ۵ ــ ۳ میلیمتر	۳۰ ــ ۲۰ dB
۳	پنجره ایزولان‌ویژه با شیشه‌چندلایه و چهارچوب پله‌ای‌با آب‌بندی	۴۰ ــ ۳۰ dB

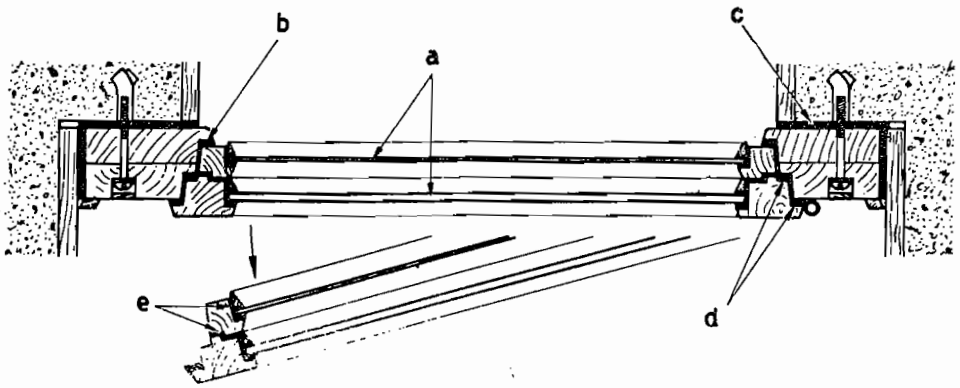
نتیجه سنجش ایزولاسیون پنجره‌ها درآزمایشگاه همواره‌با سنجش پنجره نصب شده در ساختمان اختلاف دارد و درآزمایشگاه ایزولاسیون پنجره بیشتر نمود می‌نماید (زیرا درآزمایشگاه‌با میدان‌آکوستیکی دیفوزاندازه‌گیری‌می شوددرحالی‌که‌واقع‌این‌چنین‌نیست)

همچنین ایزولاسیون پنجره‌ها از زاویه تابش امواج آکوستیکی تبعیت می‌نمایند و کمترین‌ایزولاسیون‌هنگامی‌است کمزاویه تابش ۲۰ تا ۴۰ درجه باشد . (از این جهت است که هرچه ساختمان‌بلند باشد باز در طبقات بالاهـم غوغای ترافیک بهمان‌اندازه‌طبقات پائین آزاردهنده است زیرا زاویه تابش غوغای ترافیک در طبقات بالا کمتر می‌شود .)

درشکل ۱۷۶ کنستروکسیون یک‌پنجره خاص دوبل با آب‌بندی و چهارچوب‌پله‌ای نمایش داده شده است .

چنانچه‌در ساختمان‌پنجره‌از آهن‌یا فلزات دیگر نیز استفاده گردد تاءثیرچندانی در ایزولاسیون آن ندارد .

باوجود رعایت نکات ایزولاسیون در ساختمان این نوع پنجره گرانبها ، حداکثر



شکل ۱۷۶ ــ پنجره دوبل ایزولان ــ a : جامهای شیشه ۵ ـ۷ میلیمتری

b : لائی لاستیکی ــ c : لائی ضد آب

d : لائی نمدی ــ e : زاماسگا کمپرسی

ایزولاسیون آن معادل یک‌دیوارساده سبک (۳۰ کیلوگرم در مترمربع) میگردد و ازاین‌رو پنجره همواره نقطه‌ضعف ایزولاسیون بنا میباشد .

در موارد خاص (مثلا در استودیوهای رادیو ــ تلویزیون‌و فیلم ــ آزمایشگاههای موتور هواپیما ــ لابراتوارهای آکوستیک و نظایر آن) که ایزولاسیونی بیش‌از ۵۰ دسی بل نیز مورد نظر باشد از شیشه‌های قطور ۲۰ میلیمتری و بیشتر استفاده میگردد و بخصوص بکاربردن شیشه‌های کریستالی دراین موارد توصیه میگردد . زیرا کریستال‌هم دارای دید بهتری‌است و هم سنگین‌تر است (۲۹۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلوگرم در مترمکعب) بدیهی است‌که اینگونه پنجره‌ها را نبایستی بازشو بسازند و نصب آنها نیز مستلزم مهارت و آشنائی کافی دراین موارد میباشد .

درمورد پنجره‌های‌استودیوها که دوبل ساخته میشوند بکار بردن مواد آبسوربنت بین‌دوشیشه‌برای ازبین‌بردن‌نوسانات‌و امواج‌ساکن‌احتمالی‌بین‌دوشیشه‌توصیه میگردد .

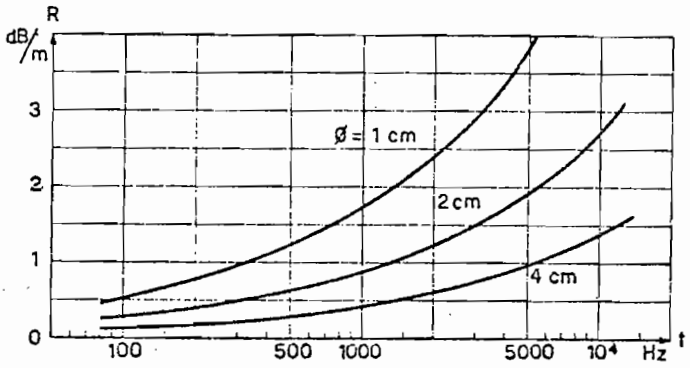
کانالها و شیارها

ترابری آوا در کانالها و شیارها از مقطع و طول لوله تبعیت می‌نماید .

چنانچه جدار لوله با مواد آبسوربنت پوشانیده شده باشد آن نیز در ترابری آوا

موثر خواهـد بود .

ساده‌ترین‌نوع لوله‌یا کانال که از نظر تئوری قابل محاسبه میباشد لوله استوانه‌ای بی‌نهایت دراز است .



شکل ۱۷۷ ــ اختلاف تراز بین دو سر لوله های گرد با مقاطع مختلف برحسب فرکانس

در شکل ۱۷۷ اختلاف تراز در هرمتر این لوله برحسب قطر دهانه و فرکانس‌آوا برای‌جدار صاف‌و بدون‌آبسوربنت‌نمایش‌داده شده است . این گونه لوله‌ها را سابقا " برای مکالمه در کشتی‌ها بکار میبردند که امروزه کمتر مصرف میشود .

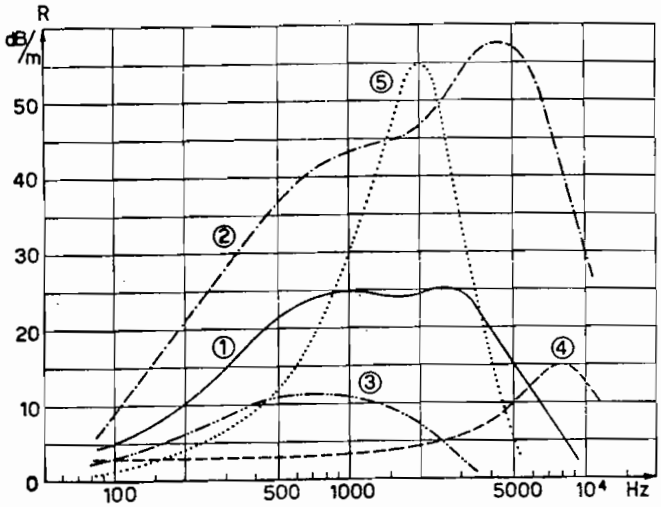
در برخی از رستورانها نیز اینگونه لوله‌ها را برای دادن فرمان‌از پیشخوان بـه آشپزخانه مصرف می‌نمایند .

کانالهای تهویه

مهمترین حفره‌ای که در ساختمانهای مدرن غیرقابل اجتناب‌میباشند ، کانال تهویه استکه برای‌خروج یاورود هوا تعبیه‌میگردند ودارای مقطع چهارگوش نیز میباشند این کانالها را معمولا از آهن ، اترنیت ، گچ ، آجر و نظایر آن می‌سازند که برخی نیز از داخل‌با موادپوروز پوشانیده‌میشوند . این پوشش‌ها باید ضد احتراق و الیاف آنها دارای چسبندگی کافی باشند که درهنگام عبور هوا ذرات آن جدا نشود .

برای این منظور بهترین ماتریال الیاف چوبی با ملات سیمان میباشد که بنام صفحات پرفکتا (Perfecta) معروف‌اند . علاوه برآن نمدامپرمآبل ــ پشم شیشه‌فشرده ــ آسبست فشرده و نظایر آن‌نیز بکار برده میشوند .

از مطالعات علمی که در مورد ایزولاسیون کانالهای پوشش دار بعمل آمده نتیجه میشود که میتوان عدد ایزولاسیون نسبتا " کافی بدست آورد که در شکل ۱۷۸ نتیجه این مطالعات نمایش داده شده است .



شکل ۱۷۸ ــ اختلاف تراز بین دوسر کانالهای تهویه با پوشش آبسوربنت

۱ ــ مقطع ۰،۲×۰،۲ متر با ۵ سانتیمتر آبسوربنت
۲ ــ مقطع ۰،۱×۰،۱ متر با ۵ سانتیمتر آبسوربنت
۳ ــ مقطع ۰،۵×۰،۵ متر با ۵ سانتیمتر آبسوربنت
۴ ــ مقطع ۰،۲×۰،۲ متر با ۱،۲ سانتیمتر نئوپان
۵ ــ قطر ۰،۲ متر با ۲،۵ سانتیمتر آبسوربنت

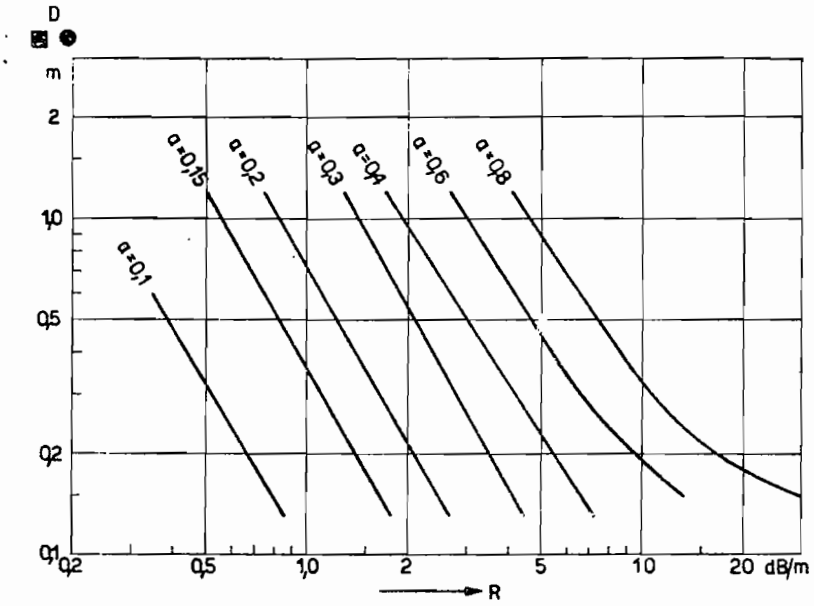
در منحنی شکل ۱۷۸ تبعیت اختلاف تراز درمتربرای سه مقطع مختلف کانال که یکی با ۵سانتیمتر پشم شیشه فشرده لاک دار و دیگری با نئوپان ۱۲ میلیمتری پوشش داده شده‌اند نمایش داده میشود .

بدیهی است که ایزولاسیون کانالها باتغییرجهت کانال وزانوئی افزایش می یابند .

در دیاگرام شکل ۱۷۹ تبعیت R از قطر یا ابعاد دهانه کانالهائی که با مواد

آبسوربنت (با ضریب آبسورپسیون α) پوشش داده شده‌اند نمایش داده شده است که از آن‌میتوان‌برای محاسبه ایزولاسیون کانالها با تقریب کافی استفاده نمود ــ برای هرزانوئی میتوان ۳ دسی‌بل باعداد مستخرجه از منحنی اضافه نمود .

با بررسی دیاگرام شکل ۱۷۹ مشخص میگردد که کانالها را میتوان طوری انتخاب نمود که با فاصله چندمتر از ماشین خانه اختلاف تراز در ابتدا و انتهای آن بحد کفایت بزرگ باشد تا بهیچوجه صدائی از ماشین‌خانه به محل تهویه شونده منتقل نگردد .

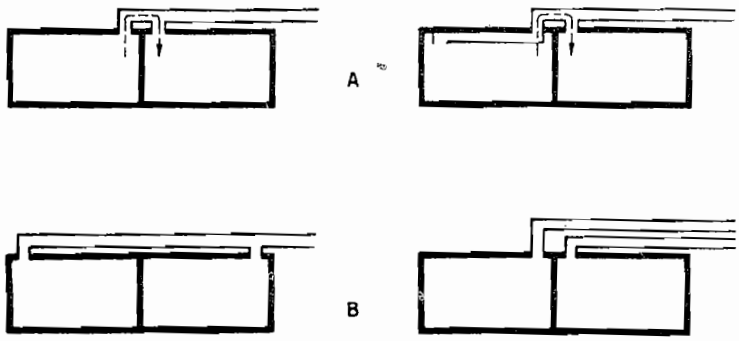


شکل ۱۷۹ ــ اختلاف تراز متوسط کانالهای تهویه با پوشش آبسوربنت

D : قطر یا ضلع جانبی کانال

α : ضریب آبسورپسیون پوشش آبسوربنت

چون انتقال صدا از طریق کانالها از اطاقی به‌اطاق دیگر میسر میباشد از این رو بایددقت گردد که فاصله دهانه کانالها در دواطاق‌مجاور که از یک کانال تهویه میگردند باندازه‌کفایت‌زیاد باشدتا تضعیف‌کافی‌بوجود آید و نیز دراثر عدم دقت در نصب‌کانالها ممکن است صدا از کانالی به کانال مجاور نفوذ نماید (بعلت نازکی دیواره کانالها) در شکل ۱۸۰ طرز صحیح نصب کانال برای دواطاق مجاور ، نمایش داده شده است .



شکل ۱۸۰ ــ ترتیب قرار گرفتن کانالهای تهویه برای جلوگیری از انتقال صدا

A ــ نادرست B ــ درست

از نظر بررسی تئوری سوراخها و درزهای کوچک را میتوان یک لوله کوتاه قلمداد نمود .

بدین‌معنی که‌دریک لوله‌کوتاه اصواتی که نیمه طول موج آنها و یا مضارب صحیح آن‌ها با طول لوله تطابق داشته باشند بخوبی از آن عبور می‌نمایند ، درحالی که اگر ربع طول آنها یا مضارب صحیح آنها معادل طول لوله باشد بشدت تضعیف میگردند .

مثلا" اگر طول لوله‌ای ۳۴ سانتیمتر باشد وضعیت بقرار زیراست :

اصواتی که‌برای آنها اختلاف تراز صفراست	اصواتی برای آنها اختلاف تراز بینهایت است
۵۰۰ هرتس	۲۵۰ هرتس
۱۰۰۰ هرتس	۷۵۰ هرتس
۱۵۰۰ هرتس	۱۲۵۰ هرتس
۲۰۰۰ هرتس	۱۷۵۰ هرتس
ooooooooo	ooooooooo

بدیهی است که لوله کوتاه در ساختمانها بندرت وجود دارد ولی مسئله‌ای‌که عملا پیش میآید وبا لوله کوتاه‌شباهت دارددرزهاو حفره‌های‌کوچکی می‌باشند که بصورت درز درها و دیوارها و سوراخ کلید و نظایر آن وجود دارند .

طی آزمایشاتی اثبات گردیده است که برای دیوارهای نازک و سوراخهای مدور عملا کلیه انرژی آکوستیکی که بر سطح سوراخ میتابد از آن میگذرد که در کاهش دادن عدد ایزولاسیون دیوار موثر است .

مثلا یک سوراخ کلید بمساحت ۲سانتیمتر مربع که در سطح دری معادل ۲ مترمربع وجود دارد میتواند یکده‌هزارم انرژی آکوستیکی واصله بدررا عبور دهد که دراینصورت حداکثر عدد ایزولاسیون در ، از ۴۰ دسی‌بل تجاوز نخواهد کرد .

بدیهی است که درمورد درهای معمولی ساختمانها این مقدار اتلاف ایزولاسیون غیرقابل‌توجه‌است‌ولی درموردیک‌درمخصوص‌باایزولاسیون‌زیادمیتواندبخوبی‌موثرباشد .

در مورد سوراخهای خیلی کوچک علاوه برمقداری‌انرژی که از سطح سوراخ عبور می‌نماید مقداری هم انرژی براثر خمش امواج در سوراخ ریز (با مقایسه با اپتیک) از آن میگذردکه بانرژی‌خروجی اصلی‌اضافه میگردد که مقدار آن به نسبت قطر سوراخ و طول‌موج پرتو آوای واصله تعیین میگردد .

باتوجه باین اصل میتوان علت عبور انرژی از صفحات پرفوره (سوراخ‌دار) راکه درروی موادپوروز قرار داده میشوند توجیه کرد (بدیهی است که نسبت سطح سوراخ شده به‌سطح کلی‌باید۱۳تا ۲۰ درصدباشد) همچنین در دیوارهای نازک (یاصفحات‌ایزولان) بهمین علت ، وجود یک درز نازک میتواند مقدار متنابهی انرژی را اتلاف نماید .

بدیهی‌است‌که این‌وضعیت‌درعمل‌بندرت‌پیش‌میآید ، و عملا دیوارهای ساختمانها بحد کفایت ضخامت دارند که از بروز این پدیده جلوگیری نمایند .

در مورد دیوارهای ضخیم بعلت وجود اصطکاکات داخلی تنزل عدد ایزولاسیون در اثر وجود درز یا شکاف در دیوار غیرقابل توجه است .

این حالت را میتوان با توجه به مثال زیرین بخوبی روشن نمود .

یک دیوار جداکننده بارتفاع ۳متر و ضخامت ۱۰ سانتیمتر بوزن ۲۰۰ کیلوگرم در

مترمربع در فرکانس ۱۰۰ هرتس دارای ایزولاسیونی معادل ۳۵ دسی‌بل میباشد .

چنانچه این دیوار دارای درز موئی سرتاسری بعرض ۰/۰۱ سانتیمتر باشد تنزل عدد ایزولاسیون کمتراز یک دسی‌بل خواهد بود که عملا غیرقابل توجه است در حالی که قبلا با مطالعات تئوری تنزل عدد ایزولاسیون را در اثر وجود یک چنین درزموئی بمراتب بیشتراز این مقدار میدانستند ولی عملا صحت آن اثبات نگردیده است . معذالک در عمل لازمست حتی‌الامکان دقت کافی برای اجتناب از وجود درز یا شکاف در دیوار و سقف‌ها بعمل آورده شود و یا در صورت وجود آنها را مسدود نماید .

۲ ــ ایزولاسیون آوای پیکــرها

بر خلاف آوای هوائی که بسهولت ایزوله میشوند آوای پیکرها را بخصوص در ساختمانهای بزرگ و هموژن نمیتوان تباه نمود و درهرحال تباهی آنهم قابل توجه نیست زیرا امواج آکوستیکی در اجسام سخت بخوبی و با تباهی ناچیزی منتشر میگردند .

این‌وضعیت‌بخصوص درپیکرهائی‌که‌دارای سختی و مقاومت بیشتری میباشد اهمیت بیشتری دارد .

مثلاوسائل‌آهنی (لوله‌کشی‌آب‌وشوفاژ)وبتن‌آرمه‌بمقدار بسیار زیاد و ساختمانهای آجری و چوبی نظایر آنها هم بمقدار قابل توجه انرژی آکوستیکی را منتقل می‌نمایند .

در ساختمانهای فلزی و بتن‌آرمه سنگین مسئله انتشار آوای پیکری و مبارزه با آن دارای اهمیت خاصی است .

زیرااین امواج بخوبی در تمام جهات ساختمان منتشر شده و در نقاط مختلف آن بصورت آوای هوائی در فضا منتشر و باعث ناراحتی میگردند .

جلوگیری از انتشار امواج پیکری در ساختمانها فقط با طرز خاص ساختمان (غیر هموژن و چندلایه‌ای) میسر میباشد .

آوای‌پیکری‌در ساختمانهای‌بزرگ‌بخصوص‌از رفت‌وآمد ساکنین‌طبقات سرچشمه میگیرد

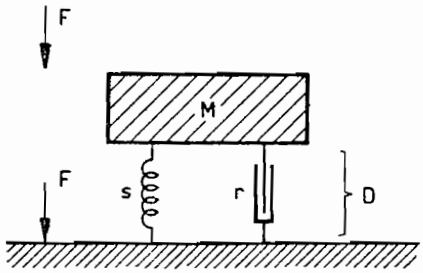
کەبرای ایزولاسیون سقف در قبال آوای گام لازمست‌که کف هر طبقه را از سقف طبقه پائین باساختمان‌خاص و چندلایه‌ای‌که بین لایه‌ها هم اجسام نرم و الاستیک قرار داده شده‌است جـدا نمـود .

لایه‌های الاستیک‌بایدطوری‌انتخاب گردندکه‌هم‌تحمل‌بار موجود در سطح مربوطه را بنمایند و هم انتشار امواج آکوستیکی را تضعیف نمایند .

بدیهی‌است کەبرای‌تحمل‌بارخواص استاتیکی و برای‌ایزولاسیون خواص دینامیکی ماتریال الاستیک بایستی در مد نظر قرار داده شود و از این‌رو در بررسی این نوع مواد بایستی نسبت به هردو مورد مطالعه گردد .

اندازه‌گیری خواص مواد الاستیک

مشخصات یک جسم الاستیک را میتوان بطور شماتیک طبق شکل ۱۸۱ نمایش داد که درآن M جرم جسم الاستیکو s الاستیسیته و r سایش داخلی آن میباشد .



شکل ۱۸۱ ــ اساس ایزولاسیون آوای درونی

F ــ نیروی موءثر F ــ نیروی منتقله به کف S ــ الاستیسیته

r ــ اصطکاک M ــ جرم جسم منتقل کننده

چنانچه براین جسم الاستیک نیروی F (ضربه گام ــ لرزه ماشینها وسائل‌فنی‌و نظایر آن) تاءثیر نماید بعلت میرائی‌انرژی در S و r تمام نیرو به سطح اتکاء منتقل نمیگردد و فقط قسمتی‌ازآن بصورت‌نیروی F' بر سطح اتکاء تاءثیر مینماید که نسبت‌نیروی F' به F اثر ایزولاسیون جسم الاستیک را نمایش میدهد . بطوریکه از تئوری نوسانات

میدانیم معادله دیفرانسیل یک نوسان را میتوان بصورت زیرین نوشت :

$$m\,x + r\,x + s\,x = F\,e^{jwt}$$

که‌درآن m جرم ــ r سایش و S ضریب الاستیسیته و F نیروی وارده میباشد ،که نیروی F بصورت یک نیروی متناوب سینوسی فرض میگردد .

حل‌معادله‌فوق درحالت استاسیونر (پس از استقرار وضعیت ثابت) عبارتست‌از :

$$x = \frac{F}{\omega Z},$$

که در آن

$$Z = r + j\,\omega\,m - \frac{j\,s}{\omega}$$

Z را طبق تعریف امپدانس مکانیکی می‌نامند .

نسبت F'/F را می‌توان بترتیب زیرین حساب کرد :

$$\frac{F'}{F} = \frac{r - (j\,s/\omega)}{r + j\,\omega\,m - (j\,s/\omega)}$$

با استفاده از اختصاراتی که در تئوری نوسانات معمول است یعنی :

$\omega_0 = \sqrt{\frac{s}{m}}$ فرکانس رزونانس و $\nu = \frac{\omega}{\omega_0}$ نسبت فرکانس نوسان محرک به فرکانس رزونانس جسم و $d = \frac{r}{2\,m}$ ضریب تضعیف و

$$\delta \cong \frac{2\,\pi\,d}{\omega_0} = \frac{\pi\,r}{m\,\omega_0}$$

ضریب کاهش لگاریتمی و

$$\varrho = \frac{\delta}{\pi} = \frac{r}{m\,\omega_0} = \frac{r\,\omega_0}{s}$$

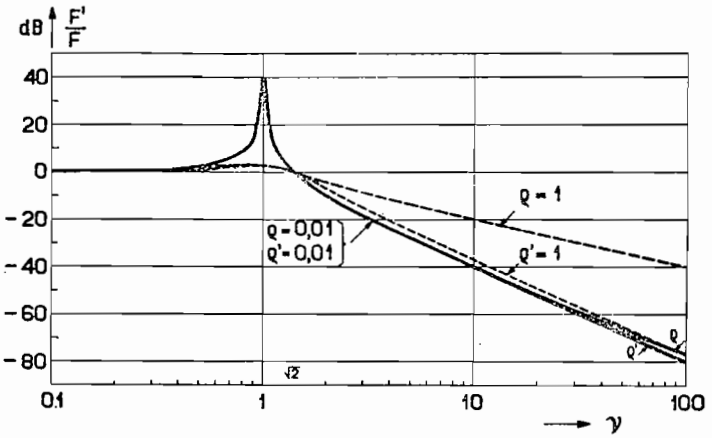
عدد تلفات ، میتوان معادله فوق را بصورت زیرین نوشت :

$$\left|\frac{F'}{F}\right|^2 = \frac{1 + \nu^2\,\varrho^2}{\nu^2\,\varrho^2 + (1 - \nu^2)^2}$$

چون طبق تجربه اثبات گردیده‌است که سایش داخلی و عدد تلفات ϱ پیکرها که‌برای‌ایزولاسیون‌آوای‌پیکری‌مورداستفاده قرار میگیرند نسبت عکس با فرکانس ω دارند از این رو دراین مورد میتوان بجای $\varrho\,\nu$ عدد ثابت ϱ را بکار برد بنابراین :

$$\left|\frac{F'}{F}\right|^2 = \frac{1 + \varrho'^2}{\varrho'^2 + (1 - \nu^2)^2}\,.$$

در شکل ۱۸۲ نمودار F'/F برحسب فرکانس در اشل لگاریتمی نمایش داده شده است .



شکل ۱۸۲ ــ منحنی روزنانس اثر ایزولاسیون F'/F یک جسم ایزولان

$\nu = \omega/\omega_0$ نسبت فرکانس ــ ϱ استهلاک

ازروند منحنی مشخص میگردد که برای فرکانسهای زیاد ($\nu > \sqrt{2}$) تاثیرسایش در ایزولاسیون ناچیز است .

برای تعیین مشخصات پیکرهای الاستیک بایستی این پیکرها را هم بصورت استاتیک و هم بصورت دینامیک تحت آزمایش قرار داد که آزمایش استاتیک آن بسهولت و بوسیله یک پرس انجام میگیرد .

بدین سان که جسم موردنظر را در زیر پرس قرار میدهند و با ازدیاد فشار پرس مقدار درهم فشردگی آنرا اندازه‌گیری می‌نمایند .

بدیهی است که برای پیکرهای الاستیک ایده‌آل (نظیر فنر) نسبت فشار به درهم فشردگی ماتریال یکنواخت میباشد درحالی که دربسیاری از مواد الاستیک نظیر موادالیافی ، لاستیک و چوب پنبه این نسبت خطی نیست و با ازدیاد فشار مقدار درهم فشردگی مرتبا" کمتر میشودو بعبارت دیگر با ازدیاد فشار جسم سخت‌تر میشود . بطوریکه میدانیم نسبت فشارو درهم فشردگی ماتریال را بنام مدول الاستیسیته E می‌نامند که برای اجسام ایده‌آل

(که از قانون هوک تبعیت نمایند) بصورت زیرین تعیین میگردد .

$$E=F/S.d_o/d_p$$

که درآن F نیرو S سطح جسم مورد آزمایش d_o ضخامت اولیه جسم الاستیک و d_p ضخامت جسم با بار است .

در مورد اجسام غیرخطی نظیر مواد الیافی ، چوب پنبه ، لاستیک و نظایرآنها مدول الاستیسیته گوناگون نمایش داده میشود که در شکل ۱۸۳ وضعیت عمومی آنها مورد بررسی قرار داده میشود .

P : بار

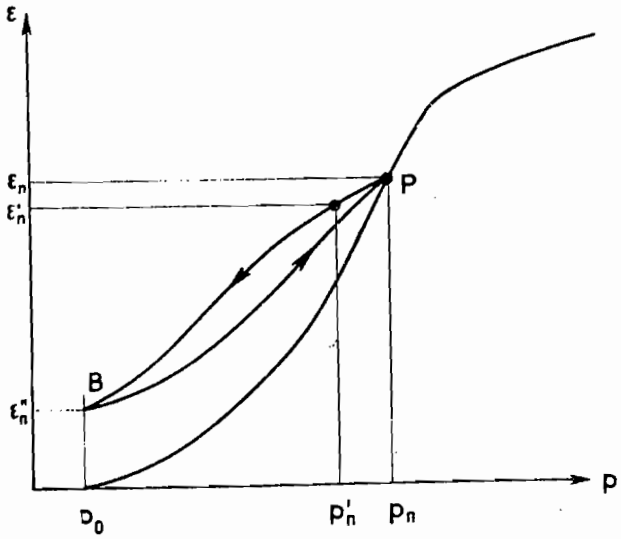
$\varepsilon = \frac{d_0 - d_p}{d_0}$ بهم فشردگی

d_o ضخامت جسم با بار P_o

d_p " " " P

ضریب دفورماسیون

$$V=(P_n-P_o)/\varepsilon n$$



شکل ۱۸۳ ــ اندازه‌گیری الاستیسیته استاتیکی اجسام الیافی

مدول الاستیسیته استاتیکی

$$E_s=\frac{(P_n-P_0)}{\varepsilon_n-\varepsilon_n}$$

مدول الاستیسیته دینامیکی

$$E_d=\frac{P_n-P'_n}{\varepsilon_n-\varepsilon_{n'}}$$

نمودار دفورماسیون اینگونه مصالح بطوریکه ملاحظه‌میگردد خمیده‌ای است که خمیدگی‌آن باازدیاد باربیشتر میشودو علاوه بر آن اینگونه مصالح خاصیت هیسترزیس (جاماندگی) نیز دارند ، بدین معنی که وضعیت دفورماسیون آنها قابل تکرار نیست و با برداشته‌شدن‌بار بحالت‌اولیه بازنمیگردندازاین رو برای‌اینگونه مصالح مشخصات مختلفی

داده میشود که عبارتند از : (طبق شکل ۱۸۳)

الف) مدول‌تغییرشکل V که وضعیت ماتریال را برای یکبار تاءثیر فشارنمایش میدهد .

ب) مدول‌الاستیسیته E_s کهوضعیت ماتریال رابرای یکبار برداشتن بارکامل نمایش میدهد (شیب B-P)

ج) مدول‌الاستیسیته E_d کهوضعیت ماتریال‌را برای برداشتن قسمت‌کوچکی از بار نمایش میدهد (مماس در نقطه P)

برای محاسبه مصالح ایزولان در ساختمانها از مدول تغییر شکل میتوان ضخامت مواد الاستیک مورد نیاز را تعیین نمود .

بامدول الاستیسیته E_s میتوان‌امکان قراردادن یک باراضافی را بر روی‌ماتریال الاستیک‌مشخص‌کرد (مثلا قراردادن‌یک ترانسفورماتر چرخ‌دار بر روی یک ماتریال‌ایزولان) وبالاخره‌مدول‌الاستیسیته E_d مشخص‌کننده‌وضعیت‌ماتریال‌ایزولان‌درحالت‌کار می‌باشد .

بدیهی است که برای مطالعه مشخصات نوسانی سیستم میراکننده بجای مدول الاستیسیته E بایستی‌ضریب ارتجاعی S را بکار برد که رابطه آن با مدول الاستیسیته عبارتست از :

$$S = \frac{ES}{d_0}$$

که d_0 ضخامت‌قشرالاستیک و S سطح آن است . از بررسی این رابطه معلوم میگرددکه ضریب ارتجاعی S نسبت عکس با ضخامت قشر دارد .

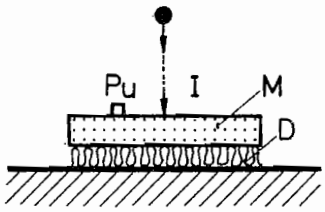
از این رو در عمل اصطلاح عدد بستر B را که مقدار مدول الاستیسیته اندازه‌گیری شده برای‌واحدضخامت‌قشر میباشدبکار میبرند . دیمانسیون‌مقادیرفوق‌بترتیب‌عبارتنداز :

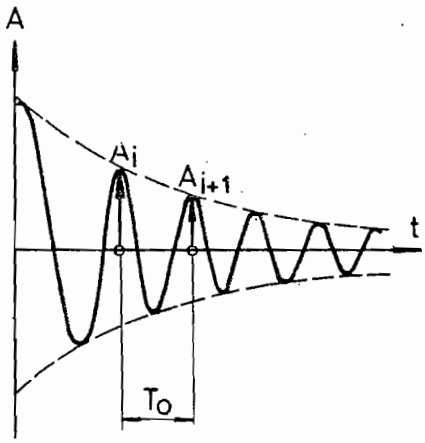
۱ ــ ضریب ارتجاعی S : kg/cm

۲ــ مدول‌الاستیسیته E : kg/cm^2

۳ــ عدد بستر B : kg/cm^3

آزمایش‌متریال ایزولان در حالت‌کار (دینامیکی) را می‌توان با نیروی ضربه‌ای یابانیروی لرزه انجام داد شکل ۱۸۴ نمایش آزمایش با نیروی ضربه است‌که متریال ایزولان بر روی سندانی قرار داده شده و روی آن نیز با صفحه‌ای که استحکام آن متناسب با نیروی وارده می‌باشد پوشانیده شده است . صفحه روی متریال ایزولان با ضربه‌هائی که عمودا " برآن وارد میشود تحریک می‌شود تا متریال الاستیک بارتعاش درآید . با ضربه‌ای که به متریال وارد می‌شود متریال دارای نوسان میراشونده‌ای می‌شود که بایک اسیلوسکوپ آنرا می‌توان بررسی نمـود





شکل ۱۸۴ ــ آزمایش ماتریال ایزولان با ضربه

تصویر اسیلو سکوپی نوسان میرا

A دامنهٔ نوسان — M صفحه پوشش متریال بجرم M

t زمان — D متریال الاستیک

To زمان نوسان — I ضربه

Ai دامنهٔ نوسان — Pu پیکاپ برای بررسی نوسان

از روی تصویر اسلوسکوپ می‌توان کمیت‌های مورد نیاز مانند f_0 (فرکانس نوسان‌متریال الاستیک) و ضریب میرائی لگاریتمی $\vartheta = \ln \frac{A_i}{A_i + 1}$

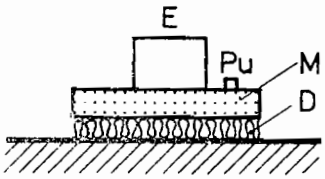
$$f_0 = \frac{1}{T_0}$$

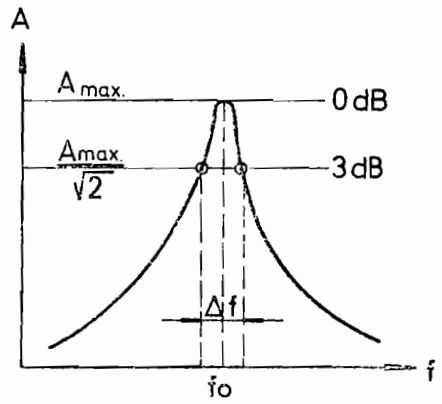
را بدست آورد .

شکل ۱۸۵ نمایش آزمایش لرزه متریال ایزولان است که سیستم مرکب از متریال الاستیک و جرم M توسط یک نوسان کننده بنوسان درآورده و اندازه‌گیری می‌شود . چنانچه فرکانس نوسان را تغییر دهند می‌توان فرکانس رزونانس f_0 سیستم را بسهولت با ترسیم منحنی نوسان (شکل ۱۸۵)بدست آورد . با داشتن فرکانس رزونانس f_0 و پهنای باند Δf ضریب میرائی لگاریتمی ϑ بدست می‌آید :

$$\vartheta = \pi \cdot \frac{\Delta f}{f_0}$$

(برای $\vartheta \ll 2\pi$)





شکل ۱۸۵ ــ آزمایش متریال ایزولان با نیروی لرزنده

A ــ دامنه نوسان سیستم

f ــ فرکانس نوسان

Amax ــ دامنه بیشینه هنگام رزونانس

fo ــ فرکانس رزونانس

f ــ پهنای باند نوسان برای دامنه $\frac{Amax}{\sqrt{2}}$

M ــ صفحه نوسان کننده بجرم

D ــ متریال ایزولان

E ــ نوسان ساز

Pu ــ پیکاپ برای بررسی نوسان

چون دراین آزمایش بزرگی جرم نوسان کننده مشخص میباشد لذا از فرکانس رزونانس f اندازه‌گیری شده میتوان ضریب ارتجاعی s و بالاخره مدول الاستیسیته دینامیک E_d را محاسبه نمود .

چنانچه این آزمایش با دقت کافی انجام گیرد مقدار مدول الاستیسیته دینامیک E_d که از طریق فوق محاسبه میگردد با مقدار مدول الاستیسیته دینامیک E_d که بطرز استاتیک (ترسیم منحنی شکل ۱۸۳) تعیین میگردد همسان میباشد .

ولی معمولا تعیین E_d بصورت استاتیک دقت کافی ندارد و همواره مابین دو مقدار اندازه‌گیری شده دینامیک و مقدار تعیین شده استاتیک اختلافی باندازه ϱ وجود دارد که در مورد مطالعات ایزولاسیون مورد بحث تاءثیر چندانی ندارد .

انتخاب ماتریال متناسب ایزولان

برای درست انتخاب کردن ماتریال ایزولان بایستی همواره مقادیر فرکانس رزونانس و بار مجاز استاتیک و در برخی از موارد نیز ضریب هدایت آکوستیکی را شناخت .

مهمترین این عوامل فرکانس رزونانس است که طبق آنچه که قبلا گفته شده اثر ایزولاسیون هنگامی ظاهر میشود که فرکانس نوسان حداقل $\sqrt{2}\,f_o$ باشد ازاین رو بایستی فرکانس رزونانس ماتریال ایزولان بحد کفایت پائین تراز فرکانس نوسان موردنظر باشد .

دو نوع نوسان مزاحم در سیستمها وجود دارند : لرزه و آوا . سرچشمه عادی بروز لرزه ، تردد وسائل نقلیه میباشد که فرکانس آن بین ۱۰ تا ۵۰ هرتس است .

بدیهی است که گوش انسان این نوسانات کم را نمی شنود (یا خیلی کم می شنود) ولی بدن انسان حساسیت زیادی در مقابل لرزه دارد ــ بدین سان که لرزه‌هائی با دامنه ۰،۰۵ تا ۲ ، میلیمتر و فرکانس کم ، اثر ناراحت کننده‌ای بر روی اعصاب دارد و باعث کم شدن قدرت کار و کم شدن توانائی تمرکز افکار میگردد .

نوسانات با فرکانس بالاتراز ۳۰ تا ۵۰ هرتس بعنوان غوغای مزاحم تلقی میگردند و بخصوص آواهای با فرکانس ۴ تا ۷ اکتاو بالاتر اثر ناراحت کنندگی بیشتری را دارند .

باتوجه به مطالب فوق برای کم کردن لرزه‌ها بایدماتریالی انتخاب گردد که

فرکانس رزونانس آن کمتر از ۵ تا ۷ هرتس باشد و برای غوغای مزاحم قابل شنوائی بدیهی است که فرکانس رزونانس fo همواره بوسیله بار مخصوص و الاستیسیته دینامیک لائی ایزولان تعیین میگردد که این دو فاکتور نیز بی ارتباط با یکدیگر نمی باشند زیرا تمام اجسام ایزولان نرم در حالت فشردگی (ازدیادبار) سخت تر میگردند و مدول الاستیسیته آنان ثابت نمی ماند .

یکی دیگر از نکاتی که در انتخاب مواد ایزولان بایستی مورد توجه قرار گیرد هدایت آکوستیکی آنان میباشدکه توسط امپدانس کاراکتریستیک جسم ایزولان تعیین میگردد که برای اجسام سخت بسیار کوچک و ناچیز است . از این رو مواد مختلف ایزولان از نظر هدایت آکوستیکی اختلاف چندانی با یکدیگر ندارند .

ضمنا "ازجمله مهمترین نکاتی که باید مورد توجه قرار گیرد ضخامت موادایزولان است زیرا اثبات میگرددکه برای فرکانسی که ضخامت ماتریال معادل نیمه طول موج میگردد عدد ایزولاسیون بمقدار می نیمم خود میرسد . بدیهی است که میتوان فرکانس رزونانس یک ماتریال ایزولان را با بزرگ انتخاب کردن ضخامت آن کمتر کرد ولی باتوجه به نکته فوق ازدیاد ضخامت باعث میگردد که فرکانسی هم که طول نیمه موج آن $d = \lambda/2$ معادل قطرماتریال d میگردد تنزل یابد و شکستی در منحنی ایزولاسیون برحسب فرکانس وارد آید ولی با توجه به کاهش انرژی در فرکانسهای زیاد که عملا برای ضخامت های عادی مواد ایزولان وجود دارد شکست منحنی بعلت مطابقت با نیمه طول موج چندان قابل توجه نمیگردد .

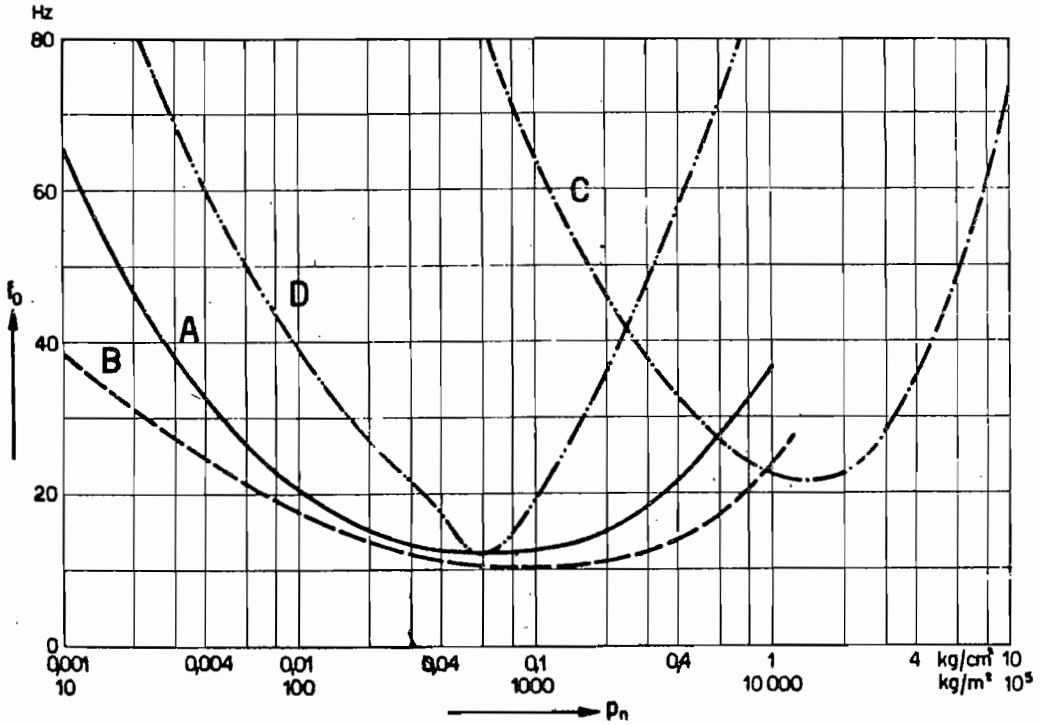
بامقادیراندازه گیری شده میتوان فرکانس رزونانس را ازرابطه زیرین محاسبه نمود .

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g \cdot E_d}{(1-\varepsilon)\, p_n\, d_0}}\ \text{Hz}$$ (فرکانس رزونانس)

که درآن g شتاب ثقل (۹۸۱ Cm/sec^2) - E_d مدول الاستیسیته دینامیک برحسب Kg/Cm^2 و p_n بار استاتیک برحسب Kg/Cm^2 - d_0 ضخامت ماتریال

ایزولان برحسب سانتیمتر، ε بهم‌فشردگی و f_0 برحسب H_Z میباشد.

شکل ۱۸۶ نمایش تبعیت فرکانس رزونانس f_o ماتریال‌های ایزولان از بار P_n میباشد. که‌برای‌مصرف عملی‌مواد ایزولان حائزاهمیت فوق‌العاده میباشد. از بررسی این منحنی‌ها میتوان‌بارمتناسب برای‌هریک‌از مصالح ایزولان و تلرانس آنها را ، که مورد استعمال آنها را در موارد مختلف مشخص می‌نماید ، استخراج نمود.



شکل ۱۸۶ ــ فرکانس رزونانس f_o برای بارهای P_n

A ــ پشم شیشه ۳ سانتیمتر B ــ آسبست ۳ سانتیمتر

C ــ چوب پنبه ۴ سانتیمتر D ــ ابریک سانتیمتر

مثلاازبررسی‌منحنی‌تغییرات‌فرکانس‌رزونانس برای بلوک پشم شیشه نرم ،ملاحظه میگردد که فرکانس f_o این ماتریال برای بارهای از ۰،۰۱ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع تا ۰،۰۳ کیلوگرم برسانتیمتر مربع کمتراز ۲۰هرتس میباشد و برای ۰،۰۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع‌حداقل‌خود را که‌معادل ۱۲ هرتس میباشد دارا می‌گردد . همچنین از بررسی‌منحنی مربوط به‌چوب‌پنبه نتیجه‌می‌شود که این ماتریال فرکانس رزونانس اپتیمم معادل ۲۲هرتس برای بار ۱،۵ کیلوگرم در سانتیمتر مربع دارد .

بدیهی است که این عدد مربوط است به چوب پنبه‌ای که مورد آزمایش قرار گرفته است وچون چوب پنبه انواع مختلفی دارد از این رودرهر مورد باید بار اپتیمم با آزمایش تعیین گردد .

درجدول زیرین مقادیرعددی و مشخصات موردنیاز ماتریال‌های ایزولان‌مهم درج گردیده است :

	ضخامت Cm	بار Kg/Cm²	E_S Kg/Cm²	Ed Kg/Cm²	Ed /Es	f_o Hz
بالش از مواد الیافی	۱٫۸	۰٫۰۵	۰٫۴۵	۰٫۵۴	۱٫۲	۱۲
(مثال: پشم‌شیشه نرم-۲ سانتیمتر ضخامت)	۱٫۶	۰٫۱	۰٫۷۷	۱٫۰	۱٫۳	۱۰
تایل‌از مواد الیافی	۳٫۸	۰٫۰۵	۰٫۸	۱	۱٫۲	۱۱
(مثال: وتروفلکس ۴ سانتیمتر).	۳٫۵	۰٫۱	۰٫۸	۱٫۶	۲	۱۰
	۳٫۱	۰٫۲	٫۱	۳٫۲	۲٫۹	۱۱
لاستیك (معمولی)	۲٫۵	۰٫۷	۶۰-۸۰	۱۱۰	۱٫۳	۳۷
		۳٫۵		۱۲۰	۱٫۵	۱۸
		۷٫۰		۱۳۰	۱٫۷	۱۴
لاستیك (نرم)	۲٫۵	۳٫۵	۲۴	۳۱	۱٫۳	۸
چوب‌پنبه نرم ۴ سانتیمتر	۳٫۲	۱	۱۰	۶۰	۶	۲۵
	۲٫۲	۲	۱۲	۸۰	۶٫۷	۲۵
	۱٫۶	۳	۲۰	۱۶۰	۸	۳۰
	۱٫۴	۴	۳۰	۲۸۰	۹	۳۵

تعیین فرکانس مخصوص اجسام فنری : فرکانس رزونانس اجسام الاستیک ایده‌آل از رابطه زیرین تعیین میگردد .

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{s}{m}}$$

که در آن s ضریب ارتجاعی جسم و m جرم آن میباشد .

ضریب ارتجاعی s خود از رابطه $s = \frac{F}{d\,\varepsilon}$ تعیین میگردد که F نیروی موثر ، d ضخامت و ε بهم فشردگی آن میباشد ــ چنانچه میدانیم $m=F/g$ است .

بنابراین خواهیم داشت :

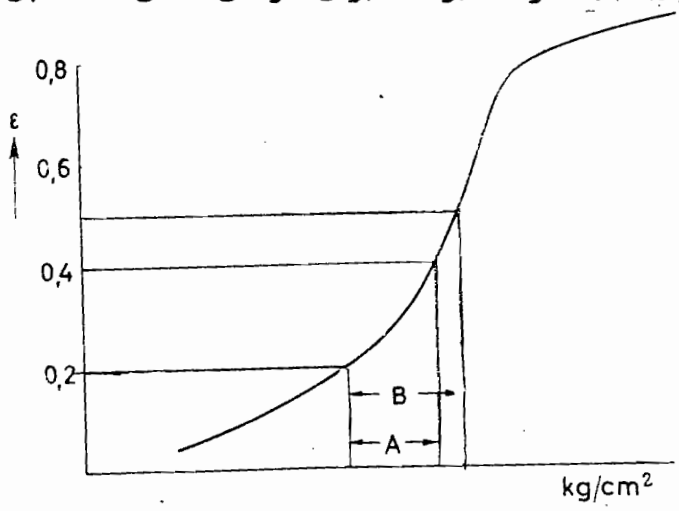
$$f_0 \approx 5 \sqrt{\frac{1}{\varepsilon d}}$$

ولی عملا میدانیم که اجسام ایزولان متداول در صنعت از قبیل چوب پنبه ــ لاستیک و مواد الیافی اجسام الاستیک ایده‌آل نیستند و در مورد این قبیل اجسام ضریب الاستیسیته دینامیک E_d بمراتب بزرگتر از ضریب الاستیسیته استاتیک E_s می‌باشد و بهمین دلیل فرکانس رزونانس این اجسام بمراتب بیشتر از اجسام الاستیک ایده‌آل می‌باشد که طبق رابطه زیرین تعیین میگردد :

$$f_0 \approx 5 \sqrt{\frac{1}{\varepsilon d}} \sqrt{\frac{E_d}{E_s}}$$

چنانچه از جدول دیده می‌شود مقدار E_d/E_s برای لاستیک ــ مواد الیافی معدنی و شیشه‌ای بطور متوسط در حدود ۱،۵ می‌باشد و برای چوب پنبه ۸ است .

با در دست داشتن این مقادیر می‌توان فرکانس رزونانس برخی از اجسام ایزولان را بطور تقریب محاسبه نمود ــ برای اجرای این محاسبه فقط مقدار بهم فشردگی استاتیکی موردنیاز می‌باشد که با وسائل بسیار ساده قابل تعیین می‌باشد و تقریب این محاسبه نیز با این ترتیب بیش از ٪۲۰+ نخواهد بود که برای کارهای عادی کاملا قابل استفاده می‌باشد .



شکل ۱۸۷ ــ بهم فشردگی ε برای بارهای مختلف P

A ــ حوزه عمل الیاف شیشه ای یا معدنی B ــ حوزه عمل چوب پنبه

مثـال عددی :

برای یک صفحه چوب‌پنبه‌ای بهم‌فشردگی ε در قبال باری معادل یک کیلوگرم برسانتیمترمربع معادل ۲ر۰ می‌باشدچنانچه ضخامت صفحه ۴ سانتیمتر باشد مقدار فنریت $\varepsilon \cdot d = 0{,}5$ cm. می‌گردد . $E_d/E_s = 8$

با فرض

$$f_0 \simeq 5\sqrt{\frac{1}{0{,}125 \cdot 4}} \cdot \sqrt{8} = 20 \text{ Hz.}$$

خواهیم داشت .

با روش دیگری این مقدار ۲۲هرتس تعیین می‌گردد که اختلاف آن ناچیز می‌باشد .

بررسی‌های دقیق نشان داده است که بهترین شرایط کار برای اجسام الیافی با $\varepsilon = ۰ر۲$ ± ۴ر۰ است و برای چوب‌پنبه با $\varepsilon = ۰/۲$ ± ۵ر۰ می‌باشد .

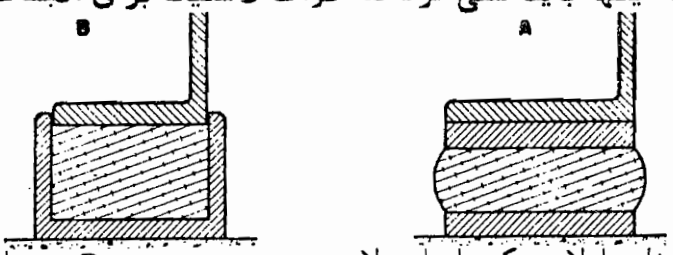
(درعمل به‌دلیل رعایت مقاومت مصالح معمولا "نیمی ازاین مقدار بیشتر انتخاب نمی‌گردد) .

ایزولاسیون ماشینها و وسائل فنی

در مورد ایزولاسیون ماشین‌ها و وسائل فنی باید در نظر داشت که دراین گونه وسائل (ماشینها ، دستگاههای لرزش‌دار ــ ترانسفورماتورها ــ وسائل‌نقلیه‌موتوری ونظایر آنها) بار مخصوص استاتیکی‌آن‌ها بین یک‌تا ده‌کیلوگرم بر سانتیمتر مربع‌است .

برای بارهای یک تا ۷ کیلوگرم برسانتیمترمربع می‌توان از لاستیک استفاده نمود زیراالاستیک با سختی‌های مختلف و برای مصارف مختلف عرضه میگردد و تهیه مشخصات کامل‌آنهاموردنیاز نمی‌باشدو بخصوص لاستیک‌دارای خواص مواد الاستیک ایده‌آل می‌باشد و با ازدیاد بار سخت‌تر نمیگردد .

بطوری که درشکل ۱۸۸ نمایش داده شده‌است هنگام بکاربردن لاستیک برای ایزولاسیون پایه ماشینها باید سعی کرد که اطراف لاستیک برای انبساط قطعه لاستیکی باز باشـد .



شکل ۱۸۸ــطرزاستفاده‌ازلاستیک‌برای‌ایزولاسیون A ــ درست B ــ نادرست

ضمنا باید در نظر داشت که لاستیک دارای خاصیت هدایت حرارتی بسیارکمی و اصطکاک‌داخلی‌زیادی‌است‌که‌درحالت‌نوسان ممکن است ایجاد حرارت زیادی درآن‌گردد . ازاین رو اگر رعایت نکات لازم دربکاربردن آن نشود ممکن است حرارت زیاد باعث‌فاسد شدن لاستیک‌گرددو همچنین عمرلاستیک‌نیز محدود می‌باشد و بایستی پس‌ازمدتی‌تعویض گردد .

برای‌بارهای‌یک‌تا ۱۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع معمولا ازچوب‌پنبه استفاده‌میگردد که‌برخلاف‌لاستیک‌دارای الاستیسیته‌حجمی نیست‌و احتیاجی بمحل‌انبساط ندارد و ازاین‌رو نصب آن ساده می‌باشد . برای ایزولاسیون معمولا از صفحات چوب‌پنبه‌ای استفاده‌میگردد که‌بانحاء مختلف‌تهیه می‌گردند و مشخصات آنها تابع درشتی دانه‌های چوب‌پنبه و چسب بکاربرده‌شده‌میباشد . برای بارهای یک تا پنج کیلوگرم بر سانتیمترمربع از چوب‌پنبه‌های نرم و برای چهار تا شش کیلوگرم چوب‌پنبه متوسط و برای شش تا ۱۰ کیلوگرم چوب پنبه سخت بکار برده می‌شود که فرکانس رزونانس آنها تا ۵۰ هرتس می‌رسد .

ازاین رو این ماتریال برای تضعیف لرزه‌ها (بخصوص دربارهای‌کم) کفایت نمینماید و برای لرزش‌های بافرکانس کم تنها وسیله مطمئن فنر فولادی می‌باشد .

در جدول‌زیرین مشخصات‌فنرهای فولادی درج گردیده‌است :

باروری‌هرفنر	kg/cm^2_s	f_o Hz	I	b	h	وزن میراکننده kg
۱ کیلوگرم	۱	۵	ابعاد۱۲ × ۵	× ۵	سانتیمتر	۰ ، ۵
۱۰	۸	۵،۵	۱۶	۱۰	۶	۱ ، ۵
۱۰۰	۱۰۰	۵	۱۶	۱۰	۶	۲
۱۰۰۰	۸۰۰	۵،۵	۲۵	۲۰	۷	۱۱
۱۰۰۰۰	۵۰۰۰	۳،۵	۵۵	۵۰	۲۰	۱۲۰

از بررسی این اعداد روشن میگردد که با فنرهای فولادی میتوان فرکانسهای بم دلخواه‌را بدست‌آورد و بهمین‌جهت فنرهای‌فولادی را میتوان برای میرائی لرزه‌ها بخوبی بکار برد .

دوحالت را دراین مورد میتوان از یکدیگر تمیز داد :

حالت‌اول که عمومیت دارد ، محافظت ساختمانها است در قبال وسائل لرزنده (موتور دیزل ، ماشین‌چاپ ، موتور پمپ و نظایر آن) .

حالت‌دوم محافظت‌وسائل دقیق‌و ماشینهای‌افزار (نظیر ماشین‌سنگ‌زنی) میباشد درقبال لرزه‌هائی که از خارج به ساختمان وارد میآید .

بدیهی‌است که فقط درحالت‌دوم محافظت در برابر لرزه مطرح است و درحالت اول‌هم‌لرزه‌و هم آوای منتقله به ساختمان را باید میرا نمود . نکته‌ای را که دربکاربردن فنرهای‌فولادی باید همواره در نظر گرفت نامتناسب‌بودن آن برای میرائی‌آوا میباشد . اجسام ایزولان نرم بمراتب بیش‌از فنر آوا را میرا می‌نمایند زیرا امپدانس‌کاراکتریستیک فنر تفاوت چندانی با سرچشمه‌آوا (ماشینها) ندارد و درحالی که لرزه‌های‌بافرکانس‌کم میرا میگردد آوای با فرکانس‌های‌بالاتر بخوبی هدایت می‌شوند .

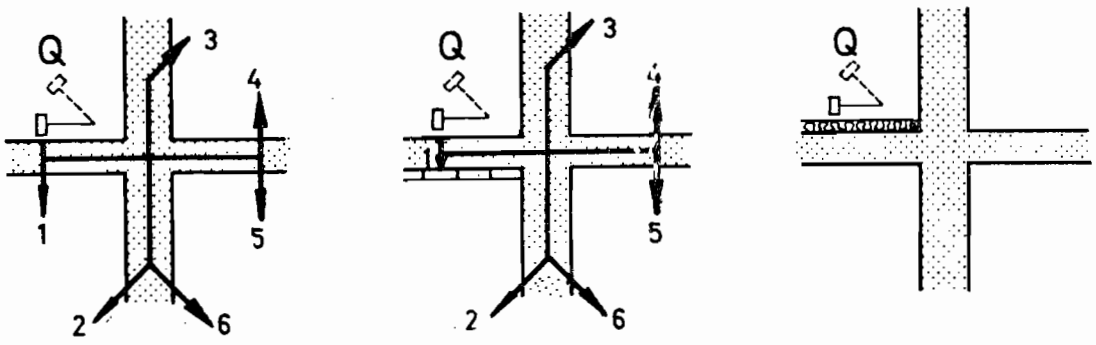
چنانچه ایزولاسیون‌آکوستیکی و لرزه تواما" مورد نظر باشد ناچار ازبکاربردن هردونوع‌ماتریال‌ایزولان (فنربرروی‌موادالاستیک‌نرم‌نظیرلاستیک‌وچوب‌پنبه) میباشند .

ایزولاسیون سقف در برابر آوای گام

راههای ترابری آوای گام :

ازمهمترین موارد ایزولاسیون آوای پیکری ایزولاسیون دربرابر آوای‌گام می‌باشد که در شکل ۱۸۹ راههای ترابری آوای‌گام نمایش داده شده‌است .

بانصب سقف‌کاذب ایزولان‌می‌توان از یکی‌از راههای ترابری آوای گام پیش‌گیری



شکل ۱۸۹ ــ راههای ترابری آوای گام .

a ــ سقف بدون ایزولاسیون b ــ ایزولاسیون در زیر سقف c ــ ایزولاسیون در کف

Q ــ سرچشمه آوا ۱ ــ راه ترابری یکسره ۲ ــ راه ترابری عمودی

۳ ــ راه ترابری افقی ۴ ــ راه ترابری افقی ۵ ــ راه ترابری قطری

۶ ــ راه ترابری قطری

کردولی دیگر راهها را نمی‌توان بدین سان ایزوله‌کرد . با بکاربردن قشر ایزولان درست در کف می‌توان از آزار غوغای‌گام درساختمان بخوبی پیش‌گیری کرد .

اندازه‌گیری آوای گام : ایزولاسیون سقف برای آوای گام مهمترین و متداولترین نوع ایزولاسیون سقف میباشد .

از این‌رو ازقدیم در ساختمانهای‌بزرگ باین مسئله توجه میشده است و حتی‌در سال ۱۹۳۸ طرز اندازه‌گیری‌و ایزولاسیون‌آن نیزاستاندارد شده است . درسال ۱۹۴۶ این مسئله‌از طرف ISO (کمیته جهانی‌استاندارد) دقیقا " مورد بررسی قرار گرفته ونتیجه آن‌بصورت‌توصیه‌شماره ISO/R140/1960 تحت عنوان " اندازه‌گیری‌ترابری آوای هوائی و آوای‌پیکری در محل آزمایش و ساختمانها " منتشر گردیده است . بدیهی است که اندازه‌گیری‌تراز آوای‌هوائی بطوریکه قبلا نیز بیان گردیده است مسئله‌ای است که از نظر فیزیکی کاملا روشن میباشد و فقط‌از نظر استانداردیزاسیون لازمست که برخی از اعدادو مقیاسات‌پایه مشخص‌گردند و شرایط لازم برای اندازه‌گیری‌نیز نورم شوند تانتایج

اندازه‌گیری همواره یکسان گردند . درحالی که مسئله ترابری‌آوا از راه پیکرها بمراتب پیچیده‌ترو نامشخص‌ترمیباشندمسلما " میتوان‌از نظر تئوری تراز آوای پیکرها را نیز مانند آوای هوائی در دوطرف پیکر ترابرنده اندازه‌گیری نمود ولی عملا نتیجه این اندازه‌گیری کاملا دقیق و صحیح نخواهد شد زیرا در طرف آهسته بجای آوای پیکری ، آوای منتشره درهوا اندازه‌گیری میشود که خود با انرژی اصلی (آوای پیکری) رابطه مستقیمی ندارد و بادونوع‌انرژی مختلف‌سروکار خواهدبود . بدین‌معنی‌که در طرف سرچشمه آوا با تحریک مکانیکی پیکره‌انتقال‌دهنده (مثلا "دیوار یا سقف) و در طرف دوم با انرژی منتشره‌درهوا (ازپیکر انتقال‌دهنده) ، ولی‌این مسئله‌را میتوان با استفاده از محرک نورم‌شده بسهولت حـل نمـود .

بدین‌ترتیب که برای این‌منظور از یکدستگاه‌چکش‌ماشینی‌نورم‌شده(۱) که تحت شماره ISO/R140-1960 از طرف موٴسسه استاندارد بین‌المللی نورم‌شده است و در شکل ۱۹۰ ساختمان آن مشخص می‌باشدٴاستفاده میگردد .

این دستگاه شامل پنج‌عدد چکش است که هریک بفاصله ۱۰ سانتیمتر از دیگری و در یک ردیف قرار گرفته‌اند .

مشخصات کامل ماشین چکش عبارتست از :

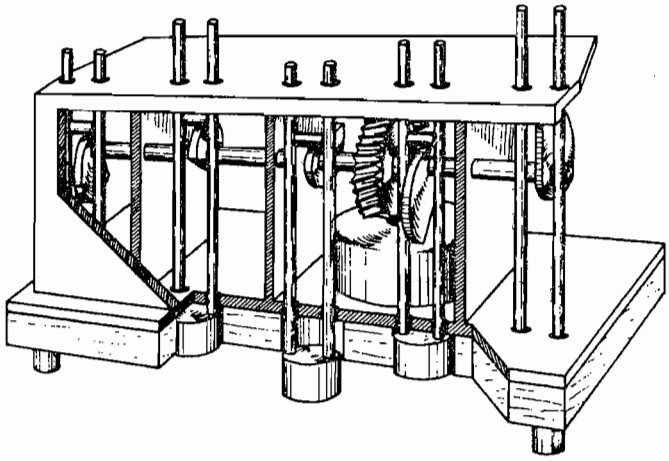
وزن هر چکش : (٪ ۵ر۲±) ۵۰۰گرم

فاصله زمانی ضربه‌ها : ۵± ۱۰۰ هزارم ثانیه

ارتفاع سقوط وزنه‌ها بر روی سطح مسطح معادل است با سقوط آزاد از فاصله (٪۵ر۲±) ۴ سانتیمتر . چکش‌ها بفرم‌استوانه‌ای‌با شعاع ۳سانتیمتر وازجنس‌برنج‌یافولاد ساخته شده‌اند و انتهای آنها که بر روی زمین ضربه میزند بشکل کروی است (با شعاع‌کره معادل ۵۰سانتیمتر) . برای‌انجام آزمایش در مواردی که کف از مواد شکستنی پوشیده‌شده

---

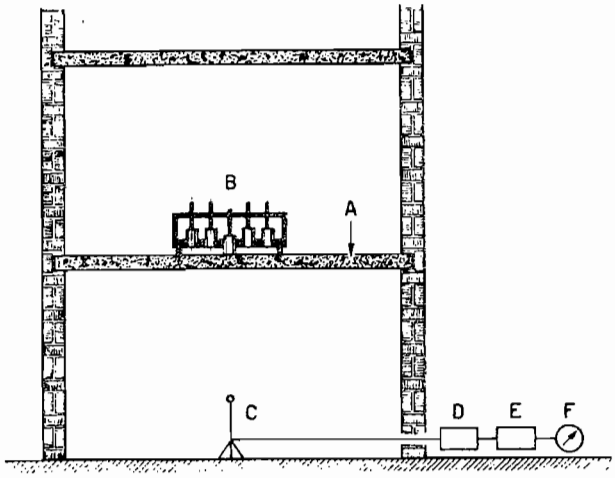
1)- Machine a frapper=Tapping machine



شکل ۱۹۰ ــ چکش ماشینی استاندارد برای اندازه گیری آوای گام

باشد میتوان از چکش‌های خاصی با پوشش۵ میلیمتر لاستیک استفاده نمود .

در شکل ۱۹۱ روش اندازه‌گیری آوای‌گام نورم نمایش داده شده است .



شکل ۱۹۱ ــ اصول اندازه گیری صدای پا در ساختمانها

A ــ سقف مورد آزمایش B ــ چکش ماشینی استاندارد

C ــ میکروفن سونومتر D ــ سونومتر E ــ فیلتر

F ــ وسیله اندازه گیری و یا ثبت نتایج

طراز L که بدین‌طریق اندازه‌گیری می‌شود مقیاسی است برای تعیین ایزولاسیون سقف در برابر آوای گام بدیهی است که آبسورپسیون کلی اطاق $A=\Sigma \alpha . S$ نیز در نتیجه اندازه‌گیری موثر است وبایستی آنرا نیز درمحاسبات دخالت داد .

بدین ترتیب که ترازپایه L_n (۱) با آبسورپسیون‌کلی A = ۱۰ مترمربع تعریف می‌گردد و چنانچه مقدار آبسورپسیون A بیشتر ویاکمترازآن‌باشدبایددرمحاسبات دخالت داده شود ــ بدین ترتیب که :

$$L_n = L - 10 \log \frac{10}{A} \quad dB$$

معمولا نتایج حاصله را بصورت منحنی که نمونه‌ای از آنها در شکل ۱۹۲ نمایش داده شده است‌ترسیم مینمایند و میدانیم که با دادن تغییرات‌جزئی در پوشش کف ،مثلا بکاربردن‌پوشش لینولئوم بالائی‌نمدی ویا پهن‌کردن‌فرش ،منحنی‌هارا به منحنی استاندارد نزدیـک نمـود .

از این مثال استنباط میگردد که میتوان برای مصالح کف‌پوش ساختمانها (نظیر فرش‌وموکت‌ولینولئوم وغیره) مقدارمیرائی‌آوای‌گام ΔL را برحسب رابطه‌زیرین‌تعیین‌نمود :

$$\Delta L = L_{n0} - L_{n1}$$

که درآن L_{No} مقدارترازپایه‌بدون پوشش و L_{N1} مقدار تراز پایه‌پس‌از پوشش‌می‌باشد .

ΔL را نیز بصورت ترسیمی (منحنی) نمایش میدهند .

چنانچه‌بخواهند سقف مورد نیاز را در لابراتوار مورد آزمایش قرار دهندکمترین مساحت مورد نیاز ده‌متر مربع می‌باشد و اطاق آزمایش نیزبایستی‌کمینه‌صدمترمکعب حجم داشته باشد و چنانچه آزمایش در محل ساختمان اجراء گردد لازمست که شرایط آزمایـش دقیقا" مراعات شود .

ایزولاسیون‌آوای گام از سقف

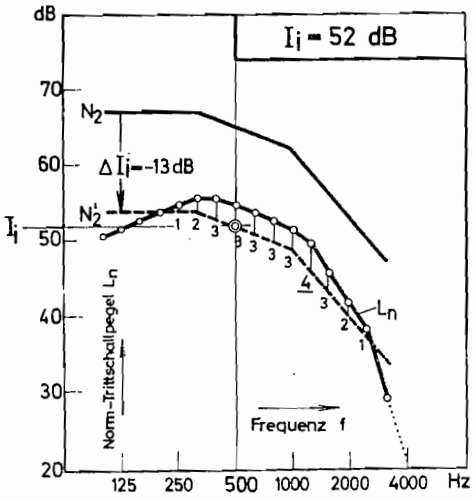
همانندسنجش ایزولاسیون‌آوای هوائی در سنجش ایزولاسیون آوای گام نیزنتیجه بفرم‌منحنی نمایش‌داده می‌شوددر شکل ۱۹۲ بعنوان نمونه یکی از منحنی‌های ایزولاسیون

---

1)- Niveau de bruit de choc normalisé=Normalized impact sound level

آوای گام اندازه‌گیری‌شده را (Ln) را برای یک کف شناور نمایش میدهد . برای سهولت در اینجا نیز نیازمند دانستن یک عدد تنها بنام " اندکس کیفیت " می‌باشیم که‌نماینده ایزولاسیون کلی سقف باشد .

برای یافتن اندکس کیفیت روش از سوی موسسه استاندارد جهانی بنام ISO/R717-1968 تدوین‌گردیده‌است که همانند آن‌درآلمان بنام‌استاندارد DiN 4109 [1] نیز متداول‌است‌دراین‌روش‌منحنی سنجیده شده Ln را بامنحنی استاندارد N_2 بدن‌سان‌مقایسه می‌نمایند که منحنی استاندارد N_2 را که بر اساس جدول شماره ۶۳ ترسیم گردیده است آنچنان میلغزانند که لغزش با مقادیر صحیح دسی‌بل‌باشد وباتلرانس داده‌شده‌بر منحنی سنجیده‌شده Ln منطبق‌گردد . اندکس‌کیفیت ایزولاسیون Ii برحسب‌دسی‌بل ازبرخورد منحنی‌لغزاننده‌شده‌و خط ۵۰۰هرتس‌بدست‌می‌آید .



شکل ۱۹۲ ــ اندکس ایزولاسیون آوای گام

L_n منحنی سنجش شده

N_2 منحنی استاندارد ISO/R717

N_2' منحنی استاندارد لغزیده

I_i اندکس ایزولاسیون

ΔI_i لغزش منحنی استاندارد

---

1)- Evaluation de l'isolement acoustique des habitations=Rating of sound insulation for dwellings

2)- Schallschutz im Hochbau

جدول شماره ۶۳ : منحنی استاندارد

فرکانس f	۱۰۰	۱۲۵	۱۶۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۱۵	۴۰۰	۵۰۰	هرتس Hz
N_2	۶۷	۶۷	۶۷	۶۷	۶۷	۶۷	۶۶	۶۵	dB
f	۶۳۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۱۲۵۰	۱۶۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۱۵۰	هرتس Hz
N_2	۶۴	۶۳	۶۲	۵۹	۵۶	۵۳	۵۰	۴۷	dB

تلرانس لغزش منحنی N_2 :

الف) تنها اختلاف در سمت نامناسب مجاز است . بدین‌سان که تنها مقادیر مثبت $L_n - N_2$ در نظر گرفته می‌شود .

ب) هیچیک از مقادیر اختلاف نباید بزرگتر از ۵ + دسی‌بل در اندازه‌گیری اکتاوی و ۸+ دسی‌بل در اندازه‌گیری تیرس اکتاوی باشد

ج) میانگین اختلاف باید بیشینه ۲,۰ دسی‌بل و یا خیلی نزدیک به ۲ دسی‌بل باشد . میانگین اختلاف را بدین سان بدست می‌آورند که مجموعه همه اختلاف‌ها را برتعداد اختلاف‌ها بخش می‌نمایند (در سنجش اکتاوی تعداد اختلاف‌های بیشینه ۵ و در سنجش تیرس اکتاوی ۱۶ است)

در آلمان برای تعیین ایزولاسیون مقیاس TSM (۱) بکار برده می‌شود که ارتباط آن با Ii چنین است :

$$\mathrm{TSM} \simeq 68 - I_i \ \mathrm{dB}.$$

در نمونه‌ای که درشکل ۱۹۲ ترسیم گردیده است

$I_i = 52$ dB
TSM $= +16$ dB

---

1)- Trittschall-Schutzmass≡Ecart par raport àla courbe de référence

کف‌پوشهای نرم و کفهای شناور

چکش‌استانداردی را که‌برای سنجش‌ایزولاسیون‌آوای گام بکار می‌برند برای‌رعایت مسائل اندازه‌گیری ، سرچشمه‌ای‌با توان آکوستیکی بیش‌از حد معمول‌انتخاب نموده‌اند . درجدول‌شماره ۶۴ مقایسه‌ای‌میان سرچشمه‌های‌گوناگون‌آکوستیکی‌که به سقف ۱۶ سانتیمتری بتون‌آرمه‌واردگردیده‌است بعمل‌آمده است‌(اندازه‌گیری‌شده‌در لابراتوار (EMPA)

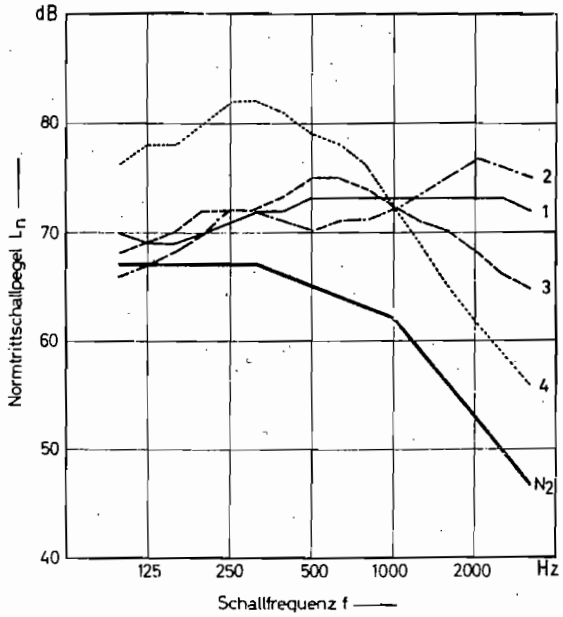
جدول شماره ۶۴ : مقایسه سرچشمه‌های گوناگون آوای گام

سرچشمه‌های‌آوای‌گام بروی‌سقف‌بتونی ۱۶سانتیمتری	ترازآوای L N برحسب dB درفرکانسهای ۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	ایزولاسیون LA dB(A)	شدت‌آوابرحسب Phon
چکش استاندارد ISO/R140	۶۹	۷۱	۷۳	۷۳	۷۳	۷۲	۷۹	۸۸
۳نفرمرد باکفش‌چرمی (راه‌رفتن)	۴۴	۴۸	۴۲	۳۲	۱۸	۱۵	۴۳	۵۳
۳نفرمرد باکفش‌نظامی میخ‌دار (راه‌رفتن)	۵۵	۵۶	۵۳	۴۳	۳۴	۲۹	۵۳	۶۴
۳نفرمرد باکفش‌نظامی میخ‌دار (قدم‌رو)	۶۲	۶۳	۶۳	۵۱	۴۱	۳۷	۶۱	۷۱
۳نفرمرد باکفش‌نظامی کف‌پلاستیکی (راه رفتن)	۴۶	۴۵	۳۷	۲۶	۱۶	۱۵	۳۹	۵۰
۳نفرزن باکفش‌پاشنه‌نازک‌فلزی (راه‌رفتن)	۴۳	۴۳	۴۲	۴۰	۳۹	۳۳	۴۵	۵۷
۳نفرزن باکفش‌پاشنه‌پلاستیکی (راه‌رفتن)	۴۲	۴۷	۴۶	۴۱	۴۱	۱۷	۴۷	۵۸

از سنجش های گوناگون آوای گام نتایج زیرین بدست آمده است .

ایزولاسیون‌آوای‌گام یک سقف ساده و بدون لائی با کف‌پوش‌الاستیک هیچگاه و بهیچوجه‌با موازین و مقررات ایزولاسیون سقف آپارتمان‌ها تطابق ندارد .

شکل ۱۹۳ نمایش‌منحنی‌های‌تراز آوای‌گام برای‌چندین‌نوع سقف با کف‌پوش می‌باشد که‌همه آنها بالای منحنی استاندارد ISO می‌باشند .



شکل ۱۹۳ ــ ایزولاسیون آوای گام در چندین نوع سقف

(۱) سقف بتون آرمه ۱۶ سانتیمتری با روکش الاستیک

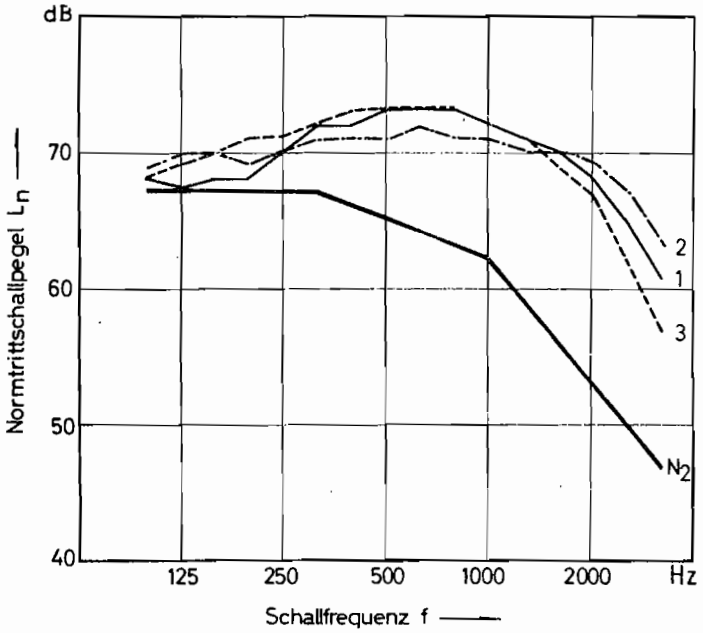
(۲) سقف بتون آرمه ۸+۸ سانتیمتری (پیش ساخته) با روکش الاستیک

(۳) سقف سبک سفالی (توخالی) پیش ساخته ۱۶ سانتیمتری با روکش الاستیک

(۴) سقف چوبی مرکب از الوارهای چوبی و لائی آسبست و روکش پارکت و نئوپان ۳۲ سانتیمتری .

N2 منحنی استاندارد (ISO/R717-1968)

بدیهی است که کف‌پوشهای ساده که مستقیما بر روی کف چسبانده می‌شوند (مانند پارکت‌ونییل‌تایل ــ لینولئوم . . . . .) هیچگونه اثری در ایزولاسیون ندارند (شکل ۱۹۴) در حالی که کف‌پوش چندلایه متشکل از لایه مقاوم و لایه الاستیک (کشسان) می‌تواند به کمترین حد استاندارد ایزولاسیون آوای گام برسد .



شکل ۱۹۴ ــ تراز آوای گام در سقف بتون آرمه با کف پوش چسبانیده شده به کف

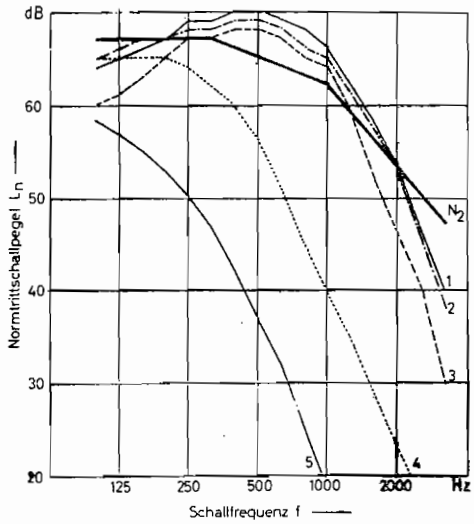
(۱) سقف بتون آرمه ۱۴ سانتیمتری با ۲ میلیمتری لینولئوم

(۲) سقف بتون آرمه ۱۶ سانتیمتری با ونبیل تایل ۸ ر ۱ میلیمتری

(۳) سقف بتون آرمه ۱۸ سانتیمتری با پارکت ۸ میلیمتری

N2 منحنی استاندارد برای مقایسه

ایزولاسیون آوای گام کافی را می‌توان با انواع فرشهای الصاقی بدست آورد که در



شکل ۱۹۵ ــ تراز آوای گام در سقف بتون آرمه با کف پوش چند لایه و کف پوشهای الیافی

(۱) سقف بتون آرمه ۱۴ سانتیمتری با ۲ سانتیمتر روکش و ۲+۱ میلیمتر کف‌پوش چوب پنبه با روکش و نیپل تایل

(۲) سقف بتون آرمه ۱۴ سانتیمتری با ۲ سانتیمتر روکش و ۲+۱ میلیمتر کف پوش نمد با روکش و نیپل تایل

(۳) سقف بتون آرمه ۱۴ سانتیمتری با ۲ سانتیمتر روکش و ۲+۱ میلیمتر کف پوش ابر با روکش و نیپل تایل

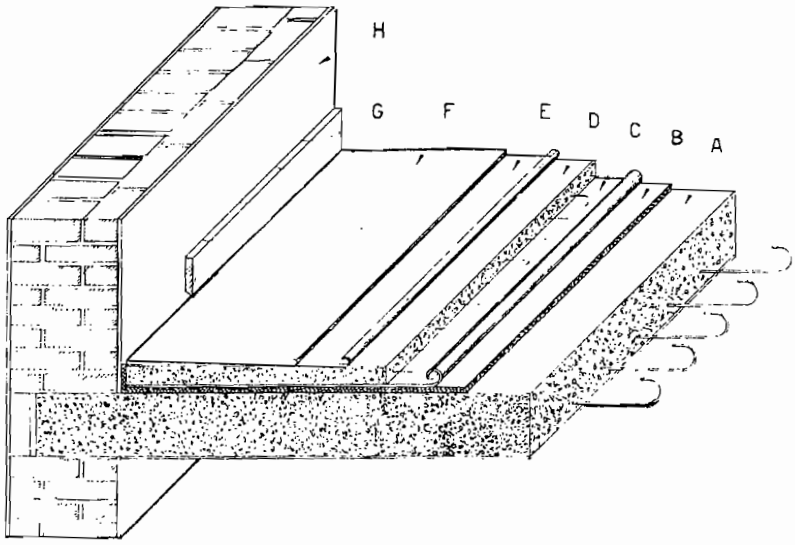
(۴) سقف بتون آرمه ۱۴ سانتیمتری با ۲ سانتیمتر روکش و ۵ میلیمتر کف پوش موکت نایلنی

(۵) سقف بتون آرمه ۱۴ سانتیمتری با ۲ سانتیمتر روکش و ۵ میلیمتر کف پوش موکت نایلنی با ۶ میلیمتر لائی نمدی

جدول شماره ۶۵ نتیجه اندازه‌گیری‌با کف‌پوشهای الیافی را نمایش میدهد

کف پوشهای‌الیافی آزمایش شده		اندکس ایزولاسیون آوای‌گام		
تعداد	نوع	کم	میانگین	بیش
۱۴	موکت بدون لائی	۶۲	۵۸	۵۲
۲۴	موکت‌بالائی نمدی (یامتریال‌دیگرالاستیک)	۵۷	۴۷	۳۰

بهترین ایزولاسیون آوای‌گام را سقف‌های با کف‌شناور (Floating Floor) **دارا می‌باشند که درشکل ۱۹۶ نمونه‌ای اصولی ازآن داده شده است درشکل ۱۹۶ بر روی سقف‌بتونی** (A) **یک‌لایه‌تضعیف‌کننده** (B) **و برای‌جلوگیری از نفوذ بتون لایه‌بعدی** (d) **در لایه الاستیک، یک ورقه مقوای‌قیراندود**(C) **که بر روی آن لایه بتونی با آرماتور ضعیف**



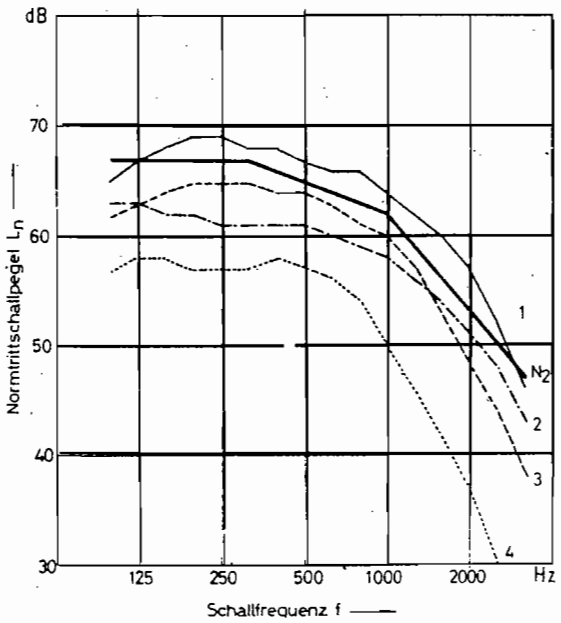
شکل ۱۹۶ ــ مقطع سقف تو پر با کف شناور بتونی

ریخته‌شده است قرار دارد، برروی لایه بتونی (D) یک ورقه‌نمدی(E) و سپس کف‌پوش لینولئوم (F) را فرش‌می‌نمایند ضمنا برای جلوگیری از انتقال انرژی از طریق دیوار بین لایه‌بتونی (D) ودیوار (H) فاصله‌ای‌میگذردکه بوسیله جسم الاستیک و تخته‌حاشیه(G) پوشانیده می‌شود .

ایزولاسیون کف‌شناور بستگی به ضخامت قشر الاستیک‌دارد . باقشر الاستیکی کمتراز یک‌سانتیمتر (در زیربار) نتیجه‌مطلوب بدست نمی‌آید و ضخامت قشر الاستیک‌را بایدمتناسب بانرمی و سختی آن انتخاب نمودوبویژه‌دقت کافی دراجرای آن ازبدیهیات است .

در شکل ۱۹۷ نتیجه اندازه‌گیری اندکس ایزولاسیون کف‌های شناور نمایش داده شده است .

چنانچه‌در شکل۱۹۷ دیده‌می‌شود بویژه ایزولاسیون منحنی شماره ۲ (بامقایسه بامنحنی شماره۱) قابل توجه است که با بکاربردن دولایه خورده‌چوب‌پنبه (بجای‌یک‌لایه) نتیجه خوبی بدست آمده است .



شکل ۱۹۷ ــ تراز آوای گام در سقف بتونی ۱۶ سانتیمتری با کف پوش شناور

(۱) ۱۰ میلیمتر لائی‌الاستیک خرده چوب پنبه ــ ۴ سانتیمتر کف روئی ــ ۸میلیمتر پارکت

(۲) ۲×۵ میلیمتر لائی الاستیک خرده چوب پنبه ــ ۴ سانتیمتر

کف روئی ــ ۸ میلیمتر پارکت .

(۳) یک سانتیمتر لائی الاستیک از الیاف کنف ــ ۴ سانتیمتر

کف روئی ــ ۲ میلیمتر لینولئوم

(۴) یک سانتیمتر زیر سازی ــ ۲ سانتیمتر پنبه کوهی ــ یک لا مقوای قیر اندود

کف روئی ۴/۵ سانتیمتر ــ ۲ میلیمتر لینولئوم .

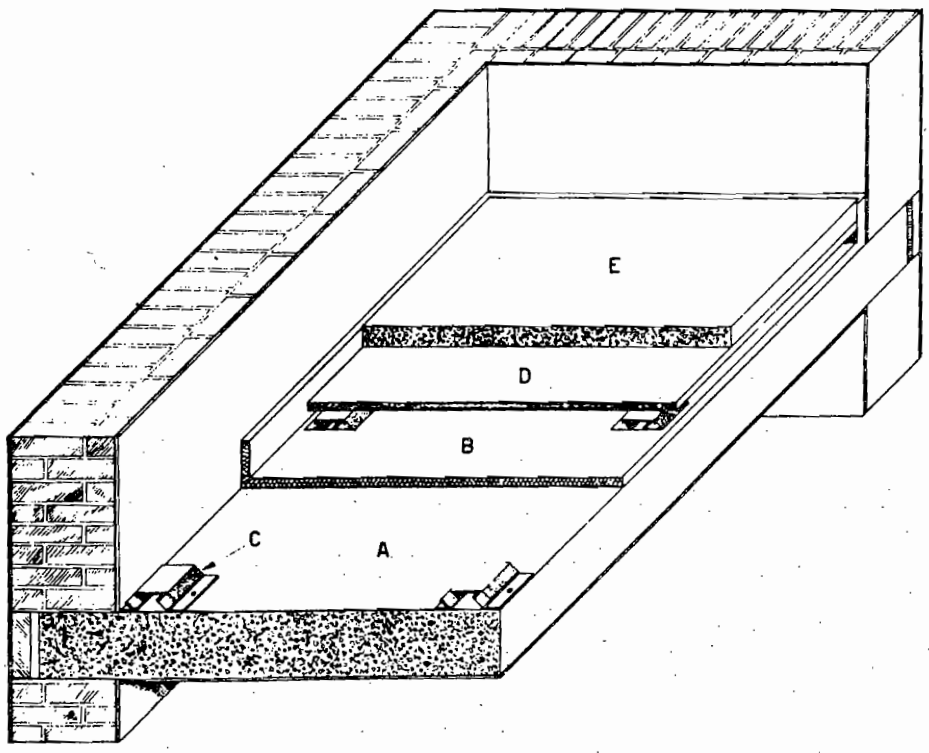
مواد الاستیکی که برای ساختن کف‌های شناور مورد نظر قرار می‌گیرند بایستی در مقابل رطوبت ــ تاءثیرات شیمیائی ــ آسیب حشرات و غیره مقاوم باشند و بهترین آنها مواد مختلف الیافی معدنی (غیرآلی) می‌باشند و از برخی از مواد الیافی گیاهی (نظیر کنف) نیزمیتوان استفاده‌نمود . بدیهی است که مواد الاستیک نظیر آسبست را دراین موارد بعلت گرانی کمتر مصرف مینمایند .

برخی از کارخانجات از مواد الیافی معدنی انواع مواد الاستیک با سختی‌های مختلف جهت مصرف در کف‌های شناور میسازند و بخصوص از مواد شیشه‌ای ماتریالی بنام پنبه شیشه

پشم شیشه (الیاف‌پراکنده)و ابریشم شیشه (الیاف‌کشیده) ساخته‌می‌شوند که درکارخانجات و کشورهای‌مختلف‌طرز ساخت‌آنها متفاوت است (حتی برخی انواع آن‌ها را بایستی‌باموادد یگری‌نظیرچسب‌یاپارچه از خردشدن و خاک‌شدن محفوظ نمود) که اینگونه موادبهترین و مناسب‌ترین موادالاستیک برای میرائی آوای گام شناخته شده‌اند .

نظیرهمین‌ایزولان‌را نیز ازموادی مانند پنبه‌کوهی و پنبه نسوز میتوان باافزودن مواد چسب مانند متناسب بصور مختلف (تایل ــ صفحه‌ای و توپی) تهیه‌کرد که برای ایزولاسیون آوای‌گام و سایر آواهای پیکری مورد استفاده قرار میگیرند .

مصرف چوب‌پنبه بصورت صفحات عادی بعلت کمی‌وزن کف‌های شناور (معمولا کمتراز ۱۰۰۰ کیلوگرم در مترمربع) معمول نیست و برای این منظور از چوب‌پنبه‌خردشده (باابعادی درحدودیک‌میلیمتر) که بوسیله چسب خاصی بر روی مقوا یا پارچه چسبانیده شده‌اند استفاده میگردد .



شکل ۱۹۸ ــ مقطع سقف با کف پوش الاستیک متمرکز . A ــ سقف اصلی ــ B لایه‌الیافی نرم .C المان الاستیک ــ D صفحه محافظ ــ E لایه‌بتونی‌که‌برروی‌صفحه D ریخته‌شده است .

درشکل ۱۹۸یکی از بهترین طرحهای ایزولاسیون سقف در قبال آوای‌گام نمایش داده‌شده است که بجای مواد الاستیک گسترده از مواد الاستیک پراکنده استفاده گردیده‌است .

باراین قبیل‌المان‌های‌پراکنده‌می‌تواند نسبتا "زیاد انتخاب گردد والمان‌الاستیک را نیز می‌توان از نوع لاستیک انتخاب نمود .

این نوع ایزولاسیون سقف که بخصوص برای ساختمانهای با اسکلت آهنی‌متناسب می‌باشنددر امریکا بسیار متداول می‌باشد و از نظر قیمت مصالح مصرف‌شده نیز متناسب‌تر از سایر انواع آن می‌باشد .

۳ـحفاظت بناهای مسکونی از غوغای محیط

آرامش محیط یکی از اساسی‌ترین نکات در تعیین محل بنا محسوب می‌گردد زیرا با توجه باین‌که حتی در کشورهای اروپائی که دارای زمستان سرد و بلندی هستند بازهم چندماه درسال اجبارا" پنجره‌های اطاقها باز می‌شود باید غوغای محیط بعنوان مسئله اساسی مورد بررسی قرار گیرد .

فقط در بناهای مدرن بزرگ که مجهز به سیستم "ارگاندیشنینگ" می‌باشند و در تابستان و زمستان دما و رطوبت اطاقها تنظیم می‌گردد می‌توان با پیش‌بینی‌های لازمه از نفوذ غوغای محیط پیشگیری کرد .

بدیهی‌است که در طرحهای شهرسازی مدرن توجه کافی به آرامش مناطق مسکونی می‌شودو سعی‌می‌گردد که این گونه مناطق فاصله کافی نسبت به فرودگاه‌ها و نواحی‌صنعتی داشته‌باشند .ولی‌رعایت‌این‌نکات‌درشهرهای‌قدیمی‌وبزرگ غیرممکن است وکسانی که‌نواحی نزدیک‌بفرودگاهها‌و کارخانجات‌را بمناسبت ارزانی‌بهای زمین انتخاب می‌نمایند بالاجبار باید ناراحتی ناشی از غوغای ترافیک‌هوائی را نیز تحمل نمایند .

درطرحهای شهرسازی‌مدرن سعی‌می‌گردد که برخلاف ادوارگذشته که منازل‌مسکونی در کنار خیابان‌های اصلی قرار می‌گرفتند محل بناهای مسکونی را دوراز خیابانهای اصلی انتخاب‌نمایند تا غوغای خیابان‌هاتوسط بناهای محل مشاغل تضعیف و بناهای مسکونی در پناه آنها قرار گیرند .

بدیهی‌است که تاءثیر عمده جهت ساختمان را در تضعیف غوغای محیط نبایستی از نظردور داشت که در صورت انتخاب جهت صحیح برای ساختمان میتوان تضعیفی‌معادل ۲۰تا ۳۰ دسی‌بل بدست‌آورد و بخصوص انتخاب محل مناسب برای اطاق‌های خواب ازنظر پیش‌گیری از غوغا بمراتب مهم‌تر از سایرنکات (مثلا آفتاب‌گیری و یامنظره) میباشد .

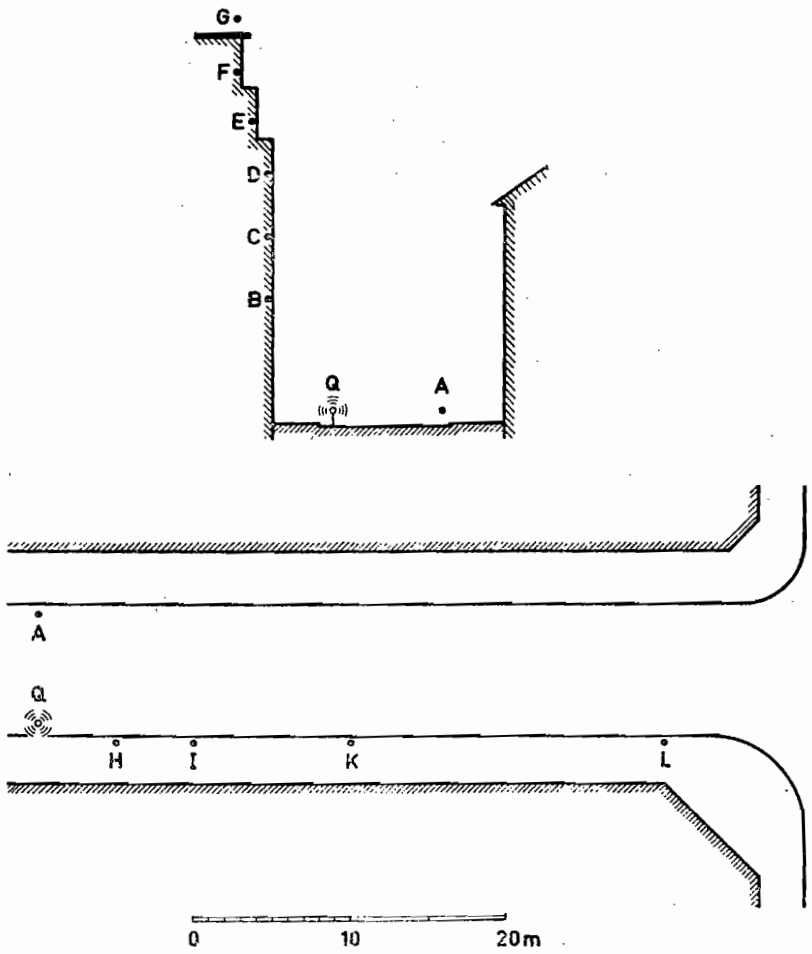
امروزه‌مسافرین‌هتل‌ها اطاق‌های‌طرف حیاط خلوت‌و جهات آسوده را بر اطاق‌های بر خیابان‌ها که پنجره‌ای هم رو بمناظر زیبا دارند ، ترجیح میدهند .

از شکل ۱۹۹ می‌توان استنباط نمود که در ساختمانهای بلند با وجودارتفاع زیاد معذالک‌اثر دفع‌غوغای خیابان (بخصوص درخیابانهای‌تنگ) قابل ملاحظه نیست و حتی تا طبقات‌پنجم و ششم هم تضعیف غوغا قابل ملاحظه نیست و فقط در آپارتمانهای فوقانی ساختمانهای دور ازخیابانهای اصلی می‌توان تا حدی از غوغای خیابان برحذر بود .

بدیهی‌است‌که کف‌سازی‌خیابان‌در صدای‌ایجادشده‌نیز موثراست . (مثلاسنگفرش به مراتب بیش‌از آسفالت غوغا ایجاد مینماید) و در هنگام طرح ساختمان باید درمدنظر قرار داده شـود .

پلان صحیح بنا از نظر حفاظت آکوستیکی

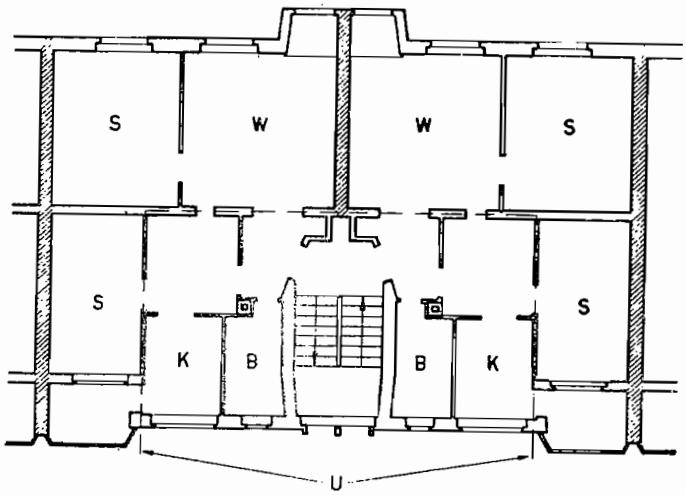
طرح صحیح زیربنای یک ساختمان مسکونی تاثیر بسزائی درآرامش محیط خانه‌و عدم‌نفوذ غوغای‌حمام و آشپزخانه باطاقهای مسکونی‌وخواب دارد ــ بدین معنی که‌هنگام طرح بنا بایستی بطور کلی قسمت‌های آرام و غیرآرام خانه را از یکدیگر جدا و طبق شکل



A:94 dB (C)
B:90 dB (C)
C:91 dB (C)
D:86 dB (C)
E:87 dB (C)
F:82 dB (C)
G:79 dB (C)
H:97 dB (c)
I:90 dB (C)
K:88 dB (C)
L:80 dB (C)

شکل ۱۹۹ ــ تراز غوغای موتورسیکلت Q در یک خیابان تنگ در نقاط مختلف خیابـــان و ساختمانها

۲۰۰ در کنار هم بنا نمود که قسمت‌های غیر آرام عبارتند از آشپزخانه و حمام و پله‌ها و راهروهاکه درکنارهم و برروی قطعه‌زمینی که بوسیله یک شیار U از زمین اصلی جداشده ساختـــه میشونـــد .



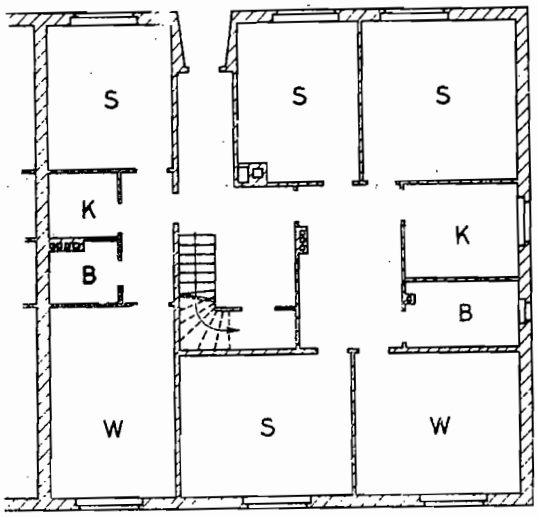
شکل ۲۰۰ ــ پلان صحیح یک ویلای مسکونی (از نظر ایزولاسیون آکوستیکی)
در این شکل طرز جدا کردن پی قسمت نا آرام(U) و آرام نمایش داده شده است
K ــ آشپزخانه B ــ حمام W ــ اطاق نشیمن S ــ اطاق خواب

شکل ۲۰۱ نمایش طرح یک بنای غیر اصولی از نظر آکوستیک میباشد که در آن‌دو آپارتمان ۲ و ۴ چهاراطاقه بدون توجه به مسئله غوغا طرح گردیده‌اند .

بطوریکه ملاحظه میگردد پله‌ها وصل باطاقهای خواب و نشیمن و آشپزخانه‌ها و حمامهاهم وصل باطاقهای خواب و نشیمن می‌باشند .

استانداردهای ایزولاسیون‌آوای هوائی‌وآوای‌گام در ساختمانها

فزون بر آنچه که درباره طرح صحیح ساختمانها گفته شد ایزولاسیون آکوستیکی المانهای ساختمانی نیز در آرامش محیط خانه و آپارتمان دخالت اساسی دارد . این‌رو در کشورهای پیشرفته جهان از سوی موسسات استاندارد رسمی و دولتی و همچنین موسسه استاندارد جهانی مقرراتی برای رعایت این امر تدوین و بصورت‌اجباری بمورد اجـرا



شکل شماره ۲۰۱ ــ پلان غلط (از نظر ایزولاسیون آکوستیکی) در این نقشه قسمت های آرام و نا آرام از یکدیگر مجزا نشده اند

گذارده می‌شود .

درکشور سوئیس دو موسسه دولتی SiA و EMPA دراین رشته‌فعالیت دارندو توصیه‌های SiA تحت‌شماره ۱۹۷۰ ــ ۱۸۱ برای آپارتمانها (جدول‌شماره ۶۶) و از آن EMPA برای‌ساختمانهای‌اداری‌و دفتری ــ آموزشگاهها ــ هتل‌ها وبیمارستانها (جدول شماره ۶۶) در آن کشور اجرا می‌گردد دراین مقررات باید میان کمترین مقدار ایزولاسیون‌اجباری A و ایزولاسیون دربالاترین استاندارد B برای موارد ویژه ونامناسب تفاوت قائل شد که در جدول شماره ۶۷ دستورات ویژه‌ای که در استان زوریخ (سوئیس) برای‌ساختمانهای‌مسکونی‌برای‌بالاترین‌حد استاندارد آرامش‌توصیه‌گردیده است‌مندرج است .

جدول شماره ۶۷

---

۱) ساختمان باید سخت و سنگین باشد : دیوارهای خارجی ساختمان باید وزنی معادل ۴۵۰ کیلوگرم در مترمربع (دیوارآجری ۳۲ سانتیمتری) داشته باشند و هردو روی دیوار نیز اندود گردد

۲) اجتناب‌از پنجره‌های‌بزرگ : نسبت‌سطح پنجره به سطح زیربنا از ۴۰ درصد (اطاقهای نشیمن) و ۱۵% (اطاقهای خواب) تجاوز ننماید

۳) بکار بردن پنجره‌های ایزولان : ایزولاسیون پنجره باید Ia=35 dB شیشه دوبل (شیشه‌خارجی ۸ میلیمتر وشیشه داخلی ۴ میلیمتر) با ۴۰ میلیمتر فاصله ازیکدیگر ساخته شود .

۴) برای‌پیشگیری ازآزار غوغای‌هواپیمائی بایدهیچگاه اطاق خواب در زیرسقف (سقفهای شیروانی سفالی ....) ساخته نشود و همچنین برای پوشش سقف از الوار استفاده نشود بلکه‌باید سقف‌بصورت سقف بتونی ۲۰ سانتیمتری با ایزولاسیون و پوششی از ۱۰سانتیمتر ماسه ساخته شـود .

جدول شماره ۶۶

شماره ردیف	موضوع	مقادیر استاندارد برای ایزولاسیون			
		آوای هوائی		آوای گام	
۱)	آپارتمان : (استاندارد 1970 - SiA181)				
۱ـ۱	دیوارهای جداکننده آپارتمانها ـ دیوار راهرو وپله	۵۰	۵۵	۶۵	۵۵
۱ـ۲	راهروهای فراخ درآپارتمانها وساختمانهای اداری	ـ	ـ	۶۵	۵۵
۱ـ۳	دیوارهای جداکننده و سقف‌های میان آپارتمانهای مسکونی و اداری ـ رستوران ـ کارگاه	۶۰	۶۵	۵۰	۴۵
۱ـ۴	درهای آپارتمان :				
	الف) در راهروها	۲۰	۲۵	ـ	ـ
	ب) درهای خارجی	ـ	۲۵		
۱ـ۵	پنجره‌ها	۲۰	۳۰		
۲)	ساختمانهای اداری و تجارتی (مقررات EMPA)				
۲ـ۱	دیوارهای جداکننده وسقفهای میان بخش‌های گوناگون	۴۵	۵۵	۶۵	۵۵
۲ـ۲	دیوارهای جداکننده وسقفهای میان اطاقهای یک بخش	۳۵	۴۵	۶۵	۵۵
۲ـ۳	دیوارهای جداکننده و سقفهای میان بخشهائی که با ماشینهای اداری مجهزند	۵۵	۶۰	۵۰	۴۵
۲ـ۴	دیوارهای جداکننده وسقفهای اطاقهای بخش مدیریت و اطاقهای کنفرانس و کمیسیون	۴۵	۵۵	۶۵	۵۵
۳)	آموزشگاهها (مقررات EMPA)				
۳ـ۱	دیوارهای جداکننده کلاسها	۴۵	۵۵	ـ	ـ

شماره ردیف	موضـــــــوع	مقادیر استاندارد برای ایزولاسیون آوای هوائی		آوای گام	
۳ـ۲	دیوارهای جداکننده کلاسها از راهروها	۳۵	۴۵		
۳ـ۳	سقفهای کلاسها	۵۰	۵۵	۶۵	۵۵
۳ـ۴	سقفهاودیوارهای‌تالارهای‌سرودخوانی‌واطاقها	ـ	۵۵	۵۵	۴۵
۳ـ۵	سقفها و دیوارهای اطاقهای‌تمرین موسیقی	ـ	۵۵	۵۵	۴۵
۴)	هتـــل				
۴ـ۱	دیوارها و سقفهای میان اطاقهای هتل	۵۰	۵۵	۶۵	۵۵
۴ـ۲	دیوارهای جداکننده اطاقهای‌هتل‌از راهروها	۴۵	۵۰	ـ	ـ
۴ـ۳	دیوارها و سقفهای جداکننده اطاقهای‌هتل‌وسایر اطاقها (رستوران ـ آشپزخانه ـ دفتر ۰۰۰۰۰)	۵۵	۶۰	۵۰	۴۰
۴ـ۴	ایزولاسیون میان اطاقهای هتل‌وبولینـــگ	۵۵	۶۵	۲۵	۲۵
۵)	بیمارستان				
۵ـ۱	دیوارهای‌جداکننده‌وسقفهای‌اطاقهای‌بیمار	۴۵	۵۵	۶۵	۵۵
۵ـ۲	دیوارهای‌میان‌اطاقهای‌بیمار وراهروها	۴۵	۵۰	ـ	ـ
۵ـ۳	دیوارهای جداکننده اطاقهای‌بیمار و بخش‌های بلندآوای‌بیمارستان (مانندآشپزخانه ـ دفتر ۰۰۰۰)	۵۵	۶۰	۵۵	۴۵

آلمان فدرال :

حفاظت محیط زندگی در ساختمانها در برابر غوغای محیط در آلمان براساس مقررات استانداردهای صنعتی آلمان DiN طی شماره ۴۱۰۹ از صفحه یک تا پنج تدوین گردیده است که از طرف مقامات شهرداری هرشهر و استانداری هر استان شدیدا رعایت می‌شود . بدیهی است که کمترین حد ایزولاسیون (A) همواره درخواست می‌گردد ولی به صاحبان بناها توصیه می‌گردد که رعایت ایزولاسیون بیشتر را (مقادیر B)از آرشیتکت خود بخواهند . برای بررسی ایزولاسیون پس از اتمام ساختمان در سراسر آلمان بیش از ۲۰ مرکزکنترل تاسیس گردیده است که براساس مقررات DiN ومقررات ISO نتیجه کار را کنترل و تائید می‌نمایند (مقررات DiN در حدود ۳دسی‌بل بیش از مقررات ISO و ۲ تا ۳ دسی‌بل بیش از مقررات SiA و تا حدودی نیز بعلت داشتن جزئیات بیشتر پیچیده‌تر از آنها می‌باشد)

اطریش :

دراطریش‌نیز مقرراتی تحت عنوان OENORM B81 115 تدوین‌گردیده است که‌هم‌آهنگی‌تامی‌بااستاندارد DiN 4109 و مقررات‌جاری‌درسوئیس‌دارد .

فرانسه :

در ۱۴ ژوئن ۱۹۶۹ در فرانسه مقرراتی تحت عنوان :

Règle générales de construction des bâtinents d'habitation

وضع گردیده و علاوه بر آن مقرراتی نیز از سوی وزارت آموزش و پرورش برای آموزشگاهها تدوین شده است که با مقررات ISO متفاوت است :

در این مقررات ایزولاسیون را با اختلاف تراز DN حاصل از سنجش‌با فواصل

تیرس اکتاوی‌در نوار فرکانس ۴۰۰ تا ۱۲۵۰ هرتس مشخص می‌نمایند که باید این اختلاف تراز میان‌دو کلاس‌کمتر از۳۸ دسی‌بل‌نباشد . همچنین ایزولاسیون آوای‌گام دراستاندارد فرانسه به تراز استاندارد LN که با سه‌باند فرکانس بـه میانگین و زیر اندازه‌گیری می‌شود ، اطلاق‌گردد . (درهمه‌این‌اندازه‌گیری‌هازمان‌پس‌آوا باید ۵ر۰ ثانیه‌باشد) .

انگلستـان :

مقررات حفاظت در برابر غوغای محیط در اسکاتلند ـ انگلستان و ولز متفاوت می‌باشد در اسکاتلند مقرراتی تحت عنوان Building Regulation 104 طبق جدول شماره ۶۸ تدوین گردیده است :

f	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15k	Hz
$R\,I$	40	41	43	44	45	47	48	49	51	52	53	55	56	56	56	56	dB
$R\,II$	36	38	39	41	46	44	46	48	49	51	53	54	56	56	56	56	dB
L_N	63	64	65	66	66	66	66	66	65	64	63	61	59	57	55	53	dB

RI ایزولاسیون دیوارهای‌میان‌خانه‌های‌چسبیده‌بیکدیگر

RII ایزولاسیون‌دیوارها وسقفهای‌آپارتمان‌هادریک ساختمان بزرگ

LN بیشینه ایزولاسیون‌دیوارهاوسقفهای‌آپارتمانهادریک‌ساختمان بزرگ

روش آزمایش در مقررات استاندارد BS 2750-1956 انگلستان تدوین گردیـده است .در استاندارد اسکاتلند Building Regulation 105 مقرراتـی برای‌حفاظت‌آکوستیکی‌ساختمانهاداده شده که از جمله کمترین وزن دیوار آجری ۱۰۰ پاوند در فوت‌مربع (۴۸۸ کیلوگرم درمترمربع) تعیین شده است .

در انگلستان و ولز برخلاف اسکاتلند که کمترین‌حد ایزولاسیون استاندارد شده است نوع ساختمانهای متناسب برای حفاظت آکوستیکی استاندارد گردیده و این‌مقررات تحت عنوان :

Building Research Digest 96-1968

از طرف مرکز تحقیقات ساختمان انگلستان تدوین گردیده است .

امـریکـا :

درکشورهای متحد امریکا مقررات مختصر وساده‌ای در مورد حفاظت آکوستیکی ساختمانها بصورت توصیه بنام Minimal Property standards ازسوی FHA (۱) تدوین‌گردیده‌است‌که‌بیشتربرای‌ساختمانهای‌دولتی و ساختمانهای‌عمومی و آپارتمانها اجرا می‌گردد ولی هیچگونه اجباری در قبول این مقررات برای صاحبـان ساختمانها وجود ندارد .

درسال۱۹۶۳ازسوی FHA مقرراتی‌نیزتحت‌شماره۲۶۰۰بنام‌روشهای‌اندازه‌گیری برای ایزولاسیون آوای هوایی ــ پیکری و آوای گام در ساختمانها و آپارتمان‌بیلدینگ‌ها تهیه گردیده است که در آن روشها و استانداردهای سنجش غوغای در ساختمانها تشریح گردیده است .

درسال ۱۹۶۹نیزنخستین‌مقررات رسمی و استانداردهای بناها ازسوی‌استانداری نیویورک (۲) تهیه گردیده است که شامل‌مقررات حفاظت آکوستیکی نیز می‌باشد .

هلنـــد :

در کشور هلند مقررات و استاندارد حفاظت آکوستیکی بشماره NEN 1070 تهیه‌گردیده است که همانندی بسیاری با استاندارد آلمان DiN 4109 دارد وتنها اختلاف در لغزانیدن منحنی استانداردد‌ر حدغوغااست که اختلاف با منحنی‌اندازه‌گیری

---

1)- Federal Housing Adminstration

2)- New York City Building code 1969

شده‌را در قسمت‌نامناسب نمی‌پذیرندکه درنتیجه باندازه ۲ دسی‌بل سخت‌تر ازاستاندارد آلمان وباندازه ۳دسی‌بل از کمترین حد قابل قبول سخت‌تر می‌باشد .

دانمارک و اسکاندیناوی :

دردانمارک مقررات ساختمان‌سازی از سوی دولت تهیه و استاندارد شده است‌که شامل مقرراتی برای آموزشگاهها ــ هتلها ــ خانه‌پیران و . . . . . می‌باشد .

دراین مقررات‌برای ایزولاسیون‌آکوستیکی حدی تعیین گردیده است که‌باید‌مقدار میانگین مشخص گردد و همچنین فرم لغزش منحنی استاندارد نیز دقیقا تشریح‌گردیده است . منحنی‌استانداردد‌ر دانمارک‌با منحنی استاندارد ISO تفاوت دارد که درجدول شماره ۶۹ منحنی استاندارد دانمارک داده شده است.

f	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	kHz
R	31	34	37	40	43	46	49	50	51	52	53	54	54	54	54	54	dB
L_N	65	65	65	65	63	61	59	57	55	53	51	48	45	42	39	36	dB

کهاختلاف مجاز میانگین از منحنی استاندارد تنها یک دسی‌بل است . دردانمارک‌بررسی و کنترل‌این‌مقررات‌در مرحله‌تصویب نقشه‌های ساختمانی انجام می‌گیرد و آزمایش‌وکنترل پس‌از خاتمه ساختمان گه‌گاه صورت می‌گیرد .

همچنین‌آوای درون‌آپارتمانها (Plumbing Noise) برای‌شب ۳۰دسی‌بل(A) و برای روز ۳۵ دسی‌بل (A) تعیین گردیده است .

در سایر کشورهای اسکاندیناوی مقررات حفاظت آکوستیکی همانند دانمارک است و تنها در سوئد قدری سخت‌تر است .

غوغای درونی ساختمانهای مسکونی و تجاری

در جدول شماره ۷۰ مقررات SiA 181-1970 که برای پیشگیری از غوغای درونی ساختمانهای مسکونی و اداری و کارگاهها وضع گردیده است،داده شده که رعایت آن برای‌پیشگیری از ترابری غوغای بیش‌از حد از همسایگان به اطاقهای مسکونی ـ خواب‌و اداری‌ضرورت دارد که بویژه در آپارتمانهای شخصی‌وخانه‌های مسکونی ردیفی‌باید استاندارد بیشترین رعایت گردد .

جدول‌شماره ۷۰

موضوع	مقادیرحدغوغای‌درونی برحسب dB کمترین	بیشترین
تاسیسات تکی		
الف) شوفاژ خانگی ـ کولر ـ یخچال ـ ماشینهای آشپزخانه ـ ماشین‌رخت‌شوئی ـ	۳۵	۳۰
ب) حمام ـ توالت ـ دست‌شوئی	۴۰	۳۵
تاءسیسات جمعی		
الف)شوفاژ ـ پمپ ـ تهویه ـ هواکش ـ ماشین رخت‌شوئی ـ آب‌میوه‌گیری	۳۵	۳۰
ب) تاسیسات آبرسانی	۴۰	۳۵
(چنانچه مقرراتی برای استفاده از این تاسیسات در روز وضع گردد می‌توان برای همه را پذیرفت) .	۴۰	۳۵

غوغای ناشی از لوله‌کشی‌ها :

درآپارتمانها و بیمارستانها و هتل‌ها و بطورکلی در اماکن عمومی غوغای ناشی‌از عبورآب‌تحت‌فشار از لوله‌ها ، بخصوص‌در مواردی که قطر لوله‌ها مناسب نباشند ویاوسائلی که درشبکه لوله‌کشی‌بکار برده‌شده‌اند (از قبیل شیرها و غیره) از انواع‌نامتناسب انتخاب شده باشند ، آزاردهنده می‌باشد .

برای‌مبارزه‌با غوغای ناشی‌از مایعات‌تحت‌فشار باید توجه خاصی بوسائل‌استفاده کننده و شیرها و غیره مبذول داشت ، زیرا انتشار صوت در لوله‌ها نه‌تنها توسط لوله‌های فلزی ، بلکه‌توسط ستون‌مایع تحت فشاردرون‌لوله‌نیز ، انجام می‌پذیردواز این‌رو پیش‌گیری از آزار غوغای لوله‌کشی بدون توجه به‌این دو نکته اساسی میسر نخواهد بود .

پیش‌گیری‌از انتقال صوت توسط لوله‌ها بسهولت و با نهادن واشر لاستیکی درلای فلانش لوله‌ها و در صورت‌لزوم جایگزین‌کردن قسمتی‌ازلوله‌فلزی‌باشیلنگ ، میسرمی‌گردد ، بخصوص مدفون کردن لوله‌ها در ماسه از نوسان عرضی آنها بخوبی‌پیش‌گیری می‌نماید .

ولی‌پیش‌گیری‌از نوسان‌طولی ستون‌مایع کاری بس مشکل و فقط با بکاربردن تدابیر خاصی ، چون تغییر قطرلوله ومحفظه‌های رزوناتر ، میسر می‌باشد .

برای‌حصول نتیجه‌بهتر وسائل لوله‌کشی را می‌توان از انواع خاص کم صدا انتخاب نمود که با بکار بردن اینگونه وسائل و شیرها می‌توان در تحت شرائط متساوی (از نظر فشار و کمیت بده) در حدود ۱۰ تا ۲۰ دسی‌بل غوغا را تقلیل داد .

باکم‌کردن فشارمایع‌نیز می‌توان‌غوغا را تا حد قابل توجهی‌تقلیل داد که اگرفشار از ۶ اتمسفر به ۲ اتمسفر کاهش یابد غوغا در حدود ۱۰تا ۱۵ دسی‌بل کمتر خواهد شد ولی باین ترتیب دبی (بده) لوله‌ها ۵۰%تقلیل خواهد یافت .

فشار مایع را میتوان در شیرها و لوله‌ها نیز باافزودن توری و حلقه (بطور کلی ، مقاومتهای مکانیکی) کاهش داد که در تقلیل غوغا تاثیر محسوس دارد ولی این روش نیز با

تقلیل‌بده همراه‌است‌و بخصوص‌پس‌از مدتی کار بعلت رسوبات آهکی‌ویا کثافات مایع ،توری‌ها مسدود می‌گردند .

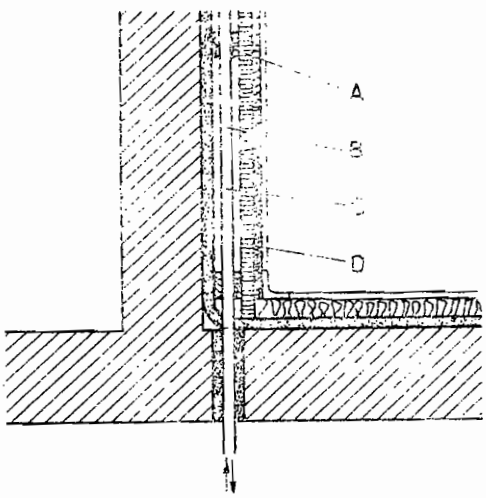
با توجه به‌آنچه گفته شد راههای مبارزه با غوغای لوله‌کشی عبارتند از :

۱ ــ بابکاربردن‌وسائل‌کم‌صدا در شبکه (از قبیل شیرهای بی‌صدا ، سیفون کم‌صداو غیره) می‌توان ۱۰ تا ۲۰ دسی‌بل غوغا را کمتر نمود .

۲ ــ با کاهش‌فشارمایع‌درون لوله‌ها (درصورت امکان) می‌توان ۱۰ تا ۱۵دسی‌بل غوغا را تقلیل داد .

۳ ــ چنانچه برای شستشوی توالت بجای شیرفشاری از سیفون استفاده گردد طراز غوغا ۲۰ تا ۳۰ دسی‌بل کاهش می‌یابد . همچنین طرز نصب صحیح لاوک دستشوئی‌و توآلت در تقلیل صدای ناهنجار آن تاثیر بسزائی دارد .

درشکل ۲۰۲ طرز ایزولاسیون لوله‌های آب که بخصوص در هتل‌ها حائز اهمیت‌است

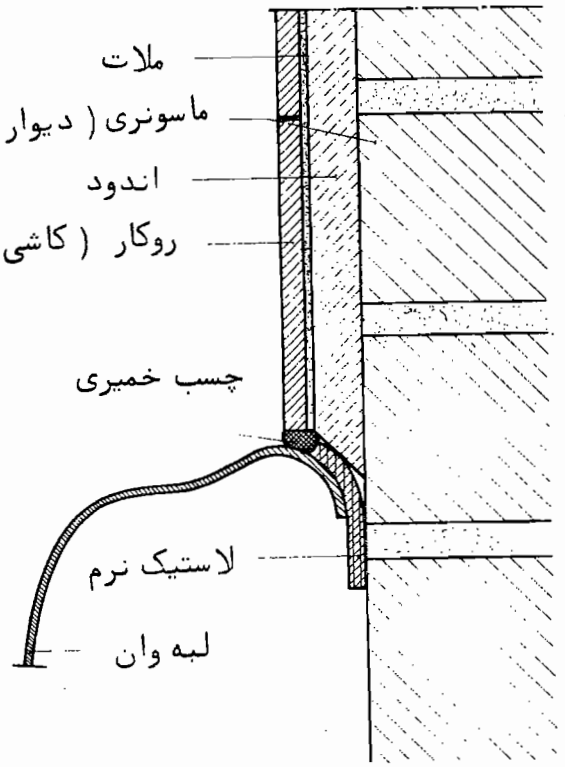


A ــ چوب بست B ــ پوشش ایزولان D ــ پوشش روئی (یا سفید کاری)

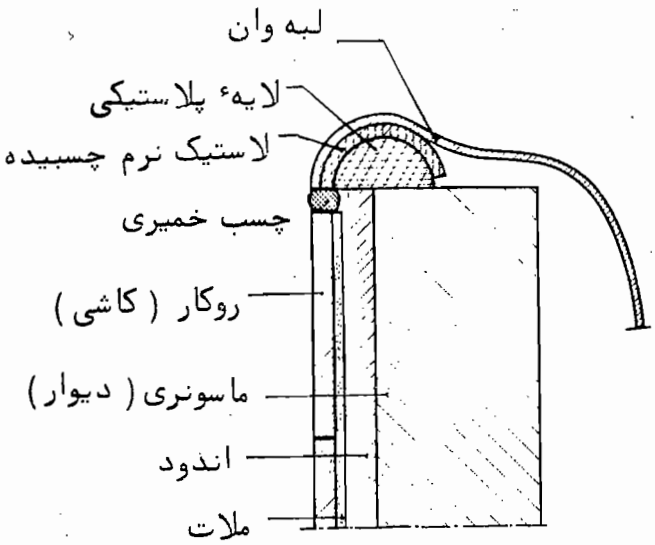
شکل ۲۰۲ ــ ایزولاسیون لوله آب

وتوسط L.Cremer پیشنهادگردیده، نمایش‌داده شده است . دراین راه حل‌کلیه لوازم شبکه از قبیل لوله‌ها ، شیرها ، لاوک دستشوئی و غیره بر روی چوب بست محکمی که خود از دیوار ایزوله شده است ، نصب می‌گردند .

وان حمام نیز باید بر روی نوار لاستیک ویا چوب‌پنبه محکم شود و اطراف آن نیز نباید اتصالی با دیوار و کف داشته باشد . در شکل ۲۰۳ و ۲۰۴ جزئیات نصب‌وان باتوجه به ایزولاسیون آکوستیکی داده شده است .

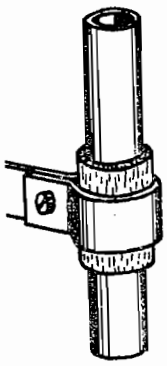


شکل ۲۰۳ ــ ایزولاسیون آکوستیکی بین وان و دیـــوار

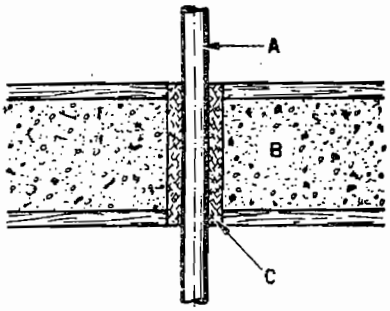


شکل ۲۰۴ ــ ایزولاسیـــون آکوستیـــکی لبه‌جلوئی وان

برای پیش‌گیری از غوغای لوله‌کشی‌ها باید دقت شود که هیچگاه لوله‌های آب سرد و آب‌گرم و لوله‌های شوفاژ و لوله‌های فاضل‌آب و نظایر آنها ، مستقیما " بدیوارهای آجری یا بتونی متصل نگردند ، بلکه همواره اینگونه لوله‌ها را باید بالائی الاستیک و ایزولان ، آنچنان که در شکل‌های ۲۰۵ و ۲۰۶ نمایش داده شده است ، نصب نمایند . بخصوص انتخاب لوله‌های فاضل‌آب از انواع نرم‌تر بر لوله‌های چدنی از نظر آکوستیکی برتری دارند .



شکل ۲۰۵ ــ طرز اتصال گیره به لوله آب برای جلوگیری از انتقال صدا به دیوار



شکل ۲۰۶ ــ طرز صحیح گذرانیدن لوله از سقف یا دیوار

A ــ لوله آب (یا هر نوع لوله)

B ــ دیوار یا سقف C ــ ماتریال ایزولان

لوله‌های فاضل‌آب سرچشمه غوغای ناشی از ریزش آب در آنها می‌باشند که لوله‌های چدنی بیش از لوله‌های پلاستیکی PVC در ایزولاسیون آوای ریزش آب موثراند ولی در لوله‌های دیگر آب استفاده از متریالهای پلاستیکی و نرم در کاهش آوای آب در لوله و آوای ناشی از تاسیسات لوله‌کشی بیشتر موثر است .

غوغای دودکش :

دودکشهای آشپزخانه‌ها و کوره‌های شوفاژ نیز در صورت عدم رعایت نکات فنی در ساختمان آنها می‌توانند سرچشمه غوغای بم ولی آزاردهنده‌ای گردند ، که مسلما " در ساختمانهای بزرگ و مسکونی نامطلوب می‌باشند .

برای‌پیشگیری‌از بروزاین‌غوغا دیوار دودکشها را باید بحد کفایت سنگین‌انتخاب نمودو یادیوارهای‌آنرادوبل ساخت . چنانچه طرح ساختمان طبق شکل ۲۰۰ انتخاب‌گردد و منطقه پرغوغای‌ساختمان‌ازمناطق‌آرام آن جدا شده باشد ، دیگر غوغای دودکش حائـز اهمیت چندانی نیست .

در آشپزخانه‌ها نیز ظرفشوئی‌های فلزی (از فولادضدزنگ ــ سینک) دارای‌طراز غوغای‌آزاردهنده‌ای می‌باشند که برای پیشگیری از آن می‌توان روش کرمر (شکل ۲۰۲)را برای نصب‌آن برروی‌دیواربکار بردو بخصوص‌اندودپشت آن با زفت (یا قیر)فوق‌العاده موثر است .

ضخامت اندود زفت راباید طوری انتخاب‌نمود که حداقل وزن زفت بکار رفتـه ۳۰% وزن سینک باشـد .

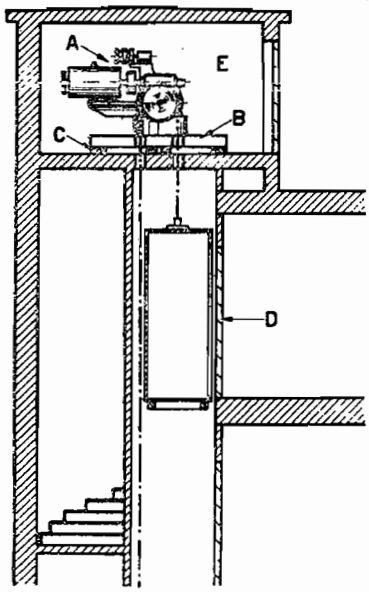
غوغای آسانسور :

موتور و چرخ دندانه آسانسورها سرچشمه غوغای بم وآزاردهنده‌ای هستنـد که باید از آن پیش‌گیری گردد .

برای‌این‌منظور کلیه وسائل آسانسور را در اطاقکی طبق شکل ۲۰۷ و بر روی‌پایه آهنی و یا دال سیمانی (B) نصب می‌نمایند و در زیر آن نیز ماتریال ایزولان (C) را قرار میدهند که مناسب‌ترین ماتریال ایزولان برای آسانسور،چوب‌پنبه است .

برای‌ایزولاسیون آوای پیکری آسانسور بهتر است که علاوه بر ایزولاسیون اطاقک درقبال‌آوای برونی ، کلیه‌درهای‌خروجی به راهروها را نیزبالائی لاستیکی وقفل‌مخصوص خودکار مجهز نمود تا غوغای پخش‌شده درکانال آسانسور به خارج منتقل نگردد .

بطورکلی‌می‌توان گفت که آزار غوغای آسانسور ایزوله بمراتب کمتر ازآزارغوغای راه‌پله در ساختمانهای بزرگ می‌باشد .



شکل ۲۰۷ ــ طرز نصب صحیح آسانسور از نظر آکوستیکی

A ــ موتور آسانسور B ــ دال بتونی شناور C ــ ماتریال ایزولان (چوب پنبه)

D ــ در ورودی آسانسور با حاشیه لاستیکی E ــ ماشین خانه آسانسور با ایزولاسیون آوای برونی (هوائی)

۴ ــ موارد ویژه

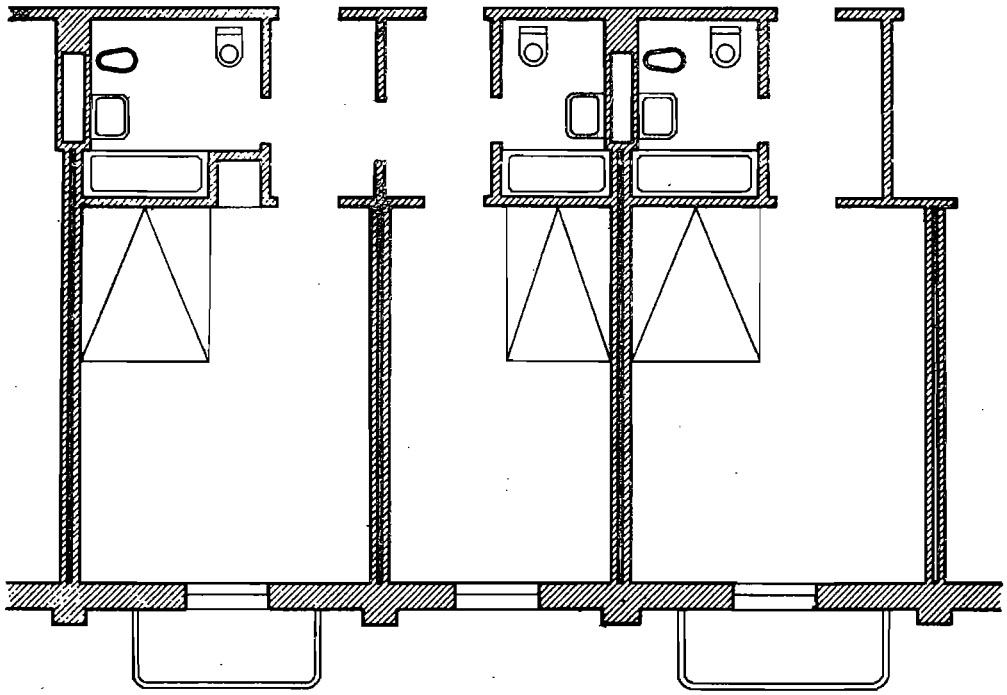
هتل : از دیدگاه آکوستیک هتل نظیر آپارتمانی است که هر اطاق آن ، هم اطاق نشیمن و هم اطاق خواب می‌باشد ، و چون هر اطاق جداگانه بمسافری داده میشود لذا ایزولاسیون هر اطاق از اطاقی دیگر و از راهرو جزء بدیهیات و اساس طراحی هتل محسوب می گردد .

عدد ایزولاسیون $\bar{R}'$ مجاز در بنای هتل نبایستی از ۵۰ دسی بل کمتر باشد و بطوریکه از گفتارهای پیشین میدانیم برای داشتن $R=50dB$ بایک دیوار ، حداقل وزن دیوار نباید از ۵۰۰ کیلوگرم در مترمربع کمتر باشد که آن نیز مستلزم ساختن دیوار آجری ۳۴ ــ سانتیمتری می‌باشد .

برای هتل‌های درجه یک و لوکس که ایزولاسیون بیشتری درخواست می‌گردد ، عدد

ایزولاسیون را باید به ۵۵ تا ۶۰ دسی‌بل رسانید .

بدیهی است که با دیوار ساده نمی‌توان بسهولت باین مقدار ایزولاسیون رسیدو بهتراست‌که از دیواردوبل استفاده گرددو درهرحال به ایزولاسیون درها باید توجه خاص مبذول گردد و بخصوص بین اطاقهای هتل وجود در مستقیم بهیچوجه مجاز نمی‌باشد . چنانچه بدلائل‌خاصی ایجاب نماید که بین دواطاق‌هتل دری پیش‌بینی‌گردد ، چنانچه‌در شکل۲۰۸ نمایش‌داده شده‌است باید دربین‌دواطاق‌را از طریق راهرو و ورودی‌تامین‌نمود . بدین‌ترتیب‌بین‌دواطاق‌سه‌دروجوددارد‌که رویهم‌ایزولاسیون دلخواه را خواهندداشت .



شکل ۲۰۸ ــ شرایط‌آکوستیکی در بنای هتل با ۵۵ دسی بل ایزولاسیون بین دو اطاق مجاور و بدون در مستقیم بین اطاقها

برای ایزولاسیون اطاقها ازکریدور ۴۵ تا ۵۵دسی‌بل‌کفایت‌می‌نماید که‌با ساختن پاگرد ورودی طبق شکل ۲۰۸ با دو در پی‌درپی بسهولت حاصل میگردد .

در هتل‌های‌چندطبقه ، ایزولاسیون سقف‌ها با توجه به صدای‌پا اهمیت خاصی دارد که بخصوص استفاده از کف‌های‌شناور برای اطاقها و کریدورها توصیه می‌گردد .

بدیهی‌است‌که‌با کف‌پوش‌های الیافی (قالی‌ونظایرآن) می‌توان تاحدی صدای پارا تخفیف داد ولی هیچگاه ارزش کف‌های شناور را ندارد و نمی‌توان‌از آن ، ثم پوشید و فقط کف‌پوشهای الیافی در ازدیاد ایزولاسیون اثری مطلوب دارند . برای کریدورها کف پوش‌های لاستیکی بالائی ابری توصیه می‌گردد .

درساختمان هتل‌هاتاسیسات بهداشتی (حمام و دستشوئی وتوآلت)نقطه‌ضعفی هستندکه سرچشمه غوغای اصلی را تشکیل میدهند وانتخاب‌وسائل‌کم صدا برای تاسیسات بهداشتی‌اطاقهاکفایت ندارد و باید در لوله‌کشی آنها رعایت نکات اساسی برای‌پیشگیری از غوغا ملحوظ‌گردد .

برخی‌از متخصصین‌فن ساختن یک دیوار مجزا را برای نصب تاسیسات بهداشتی‌در هتل‌ها قویا" توصیه می‌نمایند .

بولینگ : در ساختمان سالن‌ها و سکوبهای بولینگ ایزولاسیون و پیشگیری از انتقال غوغای بولینگ که بخصوص آوای درونی آن انرژی بسیاری را در ساختمان منتشر می‌نماید ، خالی از اشکال نمی‌باشد .

حرکت‌توپ برروی سکوب‌و برخوردآن با هدف‌غوغائی معادل (dB(B ۹۰ـ۸۰ ایجادمی‌نمایدکه‌خسران و ایزولاسیون‌آن‌فقط بامصرف مقادیر زیادی از مصالح آبسوربنت آوای هوائی‌و جسمی نظیر آکوستیک تایل و مواد الیافی کافی که بر روی فونداسیون‌بتونی (بتون‌آرمه بضخامت ۱۵ـ۱۰ سانتیمتر) قرار داده می‌شود ، میسر می‌گردد .

بخصوص‌بایدتوجه گرددکه فونداسیون‌بتونی راهم باید از کف و دیوارها با لائی ایزولان الاستیک جدا نمود .

درطرح‌تالارهای‌بولینگ‌بایدتوجه گردد که زیر سکوبهای بولینگ نباید بهیچوجه خالی باشد و از این‌رو سکوبها را در زیرزمین یا طبقه همکف می‌سازند وبرای جلوگیری از انتقال‌آوای برونی به محیط‌خارج ، سعی می‌گردد که این تالارها را بدون‌پنجره بسازند

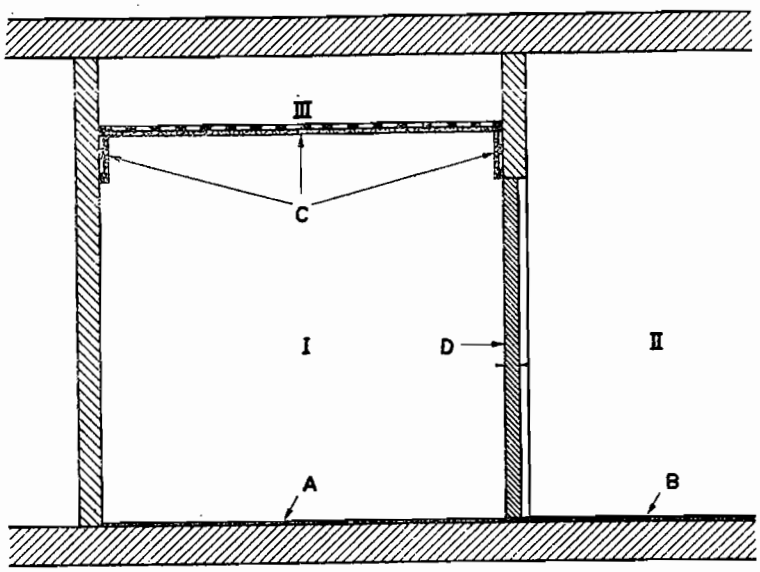
و از این رو بکاربردن دستگاه‌تهویه کامل در بولینگ ضروری است .

بیمارستان : در گفتار یکم در مورد انتخاب محل ساختمان بیمارستان اشارتی شد که توجه بآرامی و بخصوص آرامش شب اساس مطالعه را برای انتخاب محل و منطقه تشکیل میدهد. درساختمان‌بیمارستان‌ها برخلاف ساختمان‌هتل‌هاو آپارتمانهای مسکونی احتیاجی به‌ایزولاسیون‌صوتی‌بین‌اطاقهاو طبقات‌نیست‌و عدد ایزولاسیون ۵۰دی‌بی برای دیوارهای جداکننده‌اطاق بیماران‌عادی و ۶۰دی‌بی‌برای‌بیماران خاص کفایت مینماید ــ ایزولاسیون دیوارهای کریدورها را معمولا ۴۵ دی‌بی و از آن دربها را ۳۵ دی‌بی انتخاب مینمایند ــ در ساختمان بیمارستانها از کف‌های شناور صرف‌نظر میشود و فقط کف‌پوش عادی بالائی الاستیک (نظیر چوب‌پنبه و نظایر آن) توصیه میگردد .

ولی‌برای‌کف‌پوش‌راهروها بایدازکف‌پوش‌های‌نرم (نظیرکف‌پوشها لاستیکی بالائی) بایداستفاده‌گردد تاتردد درراهرو برای بیماران تولید ناراحتی ننماید ــ ضمنا بکاربردن مصالح ابسوربنت در سقف راهروها برای تخفیف هیاهو نیز توصیه میگردد .

در شکل ۲۰۹ نکات آکوستیکی ساختمان بیمارستانها نمایش داده شده است :

به نصب تاسیسات بهداشتی و آسانسور و دودکش و غیره در بیمارستانها باید توجه‌خاص‌مبذول گردد و بخصوص نکات ذکرشده در مباحث قبلی‌باید درمدنظرقرارداده شود . ازجمله مسائلی‌که در ساختمان‌بیمارستانها اهمیت دارد انتخاب محل مناسب‌برای پله‌ها میباشد ، زیرا تردد از پله ، چنانچه پله‌ها را در بنای اصلی قرار دهند ، بسیار آزاردهنده میباشد . چنانچه باتوجه به این نکته ، پله‌ها را در دیوار جداگانه بسازند و رویه آنها را هم با کف‌پوش‌مناسب و نرمی بپوشانند از انتقال صدای پا از طریق پله‌ها بساختمان‌جلوگیری‌میگردد و بطورکلی‌باید آسانسورکافی در هر بیمارستان پیش‌بینی گردد تاپله‌هافقط درمواردا‌حتمالی‌مورداستفاده‌قرارگیرندو آرامش‌بیمارستان‌تامین‌گردد .



شکل ۲۰۹ ــ شرایط آکوستیکی در بنای بیمارستانها

I ــ کریدور II ــ اطاق بیمار III ــ محفظه عبور کابل و لوله کشی

A ــ کف پوش نرم در کریدور B ــ کف پوش عادی در اطاق بیمار

C ــ پوشش سقف و دیوارهای بالای درها از آکوستیک تایل

D ــ درهای اختصاصی با ۳۵ دسی بل ایزولاسیون

معمولا در بیمارستان‌ها اطاق صامتی بنام "کامراسیلنتا"[1] برای آزمایش‌گوش بیماران مبتلا به ناراحتی‌های شنوائی ساخته میشود که باتوجه به نحوه آزمایش‌که بدان "اودیومتری" اطلاق میگردد و منحنی آستانه شنوائی ترسیم میگردد، معلوم میگردد که در آن‌تراز غوغای‌محیط نباید از۱۵ الی ۲۰ دی بی (A) تجاوز نماید. ازاین‌روساختن اینگونه‌اطاقهای‌صامت‌دربیمارستان‌هامواجه‌با مشکلات‌بیشماری‌است که فقط باکنستروکسیون ویژه میسر است.

دراین کنستروکسیون که بدان "اطاق‌شناور" نیز میتوان نام نهاد، دیوارها ــ کف وسقف‌کلا "از دیوارهای‌اصلی‌و کف‌وسقف جدا میباشند و برروی متریال‌ایزولان مناسب قرارداده میشوند و بخصوص سقف اطاق صامت را چنانکه درشکل ۲۱۰ نمایش داده شده

---

1)- Camera Silenta

استاگربا ماسه (بوزن ۲۰۰ کیلوگرم درمترمربع) مستور نمایند درایزولاسیون آوار رونی تاءثیر بسزائی خواهد داشت .

کلاس درس :

در ساختمان مدارس و کلاس درس دو نکته آکوستیکی مطرح میگردد ،

آکوستیک در تالار و ایزولاسیون غوغا . در مورد نکته یکم درگفتاردوم این‌کتاب بحث‌گردیده‌است و ایزولاسیون غوغا نیز در مدارس تفاوت چنداني با بیمارستان ندارد . باتوجه‌باین اصول‌و این که در ساعات درس سکوت کامل در راهروها و پله‌ها حکمفرما است وفقط درساعات تفریح نظم تمام مدرسه بهم میخورد می‌توان نتیجه گرفت کـه‌استفاده از درهای‌ایزوله و کف‌های شناور در مدارس بهیچوجه موردی ندارد و از آن‌ها میتوان بخوبی چشم‌پوشید و استفاده از مصالح آبسوربنت‌کافی در راهروهاو پله‌ها و سالن‌های اجتماعات و ورزش برای تخفیف غوغای ساعات تفریح توصیه میگردد .

بخصوص درمدارس عالی و مدارس حرفه‌ای و مدارسی که ساعات درسو تفریح‌کاملا مشخص و متمایز نیستندرعایت این‌نکات ضروری‌است و دراین گونه مواردا‌ستفاده ازدرهای خاص با ایزولاسیون $R=30\pm2dB$ بالائی نمدی توصیه میگردد .

ایزولاسیون‌دیوارهای جداکننده کلاسهای درس از یکدیگر ، حداقل باید معـادل ۴۵دسی‌بل‌باشدو بطوریکه‌میدانیم یک‌دیوارساده آجری‌بضخامت ۱۵ سانتیمتر که هردوروی آن‌بااندودسیماني ۲ سانتیمتری پوشانیده شده باشد دارای وزن ۲۸۰ کیلوگرم در مترمربع و ایزولاسیونی معادل ۴۶ دسی‌بل میباشد که برای این منظور کاملا کفایت مینماید .

عملادیوارهای جداکننده‌را ضخیم‌ترو بین ۲۰ تا ۲۵ سانتیمتر انتخاب مینمایند که بخصوص برای دانشگاهها و مدارس عالی مناسب‌تر است . (در مدارس‌عالی و حرفه‌ای بایستی $R=50dB$ انتخاب گردد)

چون ایزولاسیون‌غوغای راهروهااز اطاقهای‌درس تابع ایزولاسیون درها است‌لذا

برای دیوارهای راهروها $\bar{R}=40-45dB$ کفایت مینماید که آن با یک دیوار ساده ۱۲ سانتیمتری نیز حاصل میگردد .

ایزولاسیون دیوارها و سقف های کلاسهای درس هنرستانهای موسیقی و کنسرواتوآرها با سایر مدارس متفاوت است و بخصوص ایزولاسیون اطاقهای تمرین این گونه مدارس برای سازهائی نظیر سازهای بادی و پیانو و ویلن سل فوق العاده مهم است .

از این رو در اینگونه موارد استفاده از دیوارهای دوبل با $\bar{R}=60-65dB$ و وزن هر دیوار ۲۰۰ تا ۲۵۰ کیلوگرم در متر مربع و فاصله هوائی ۱۲ ــ ۱۰ سانتیمتر از یکدیگر ضروری است و در برخی از موارد استفاده از کف شناور نیز در کنسرواتوآرها غیر قابل اجتناب است .

ساختمان فروشگاه :

چنانچه در یک ساختمان بزرگ دفاتر و فروشگاههای متعدد جایگزین گردند بدیهی است که ایزولاسیون کافی بین طبقات (کف های شناور) و مغازه ها و دفاتری که در یک طبقه قرار می گیرند (دیوارهای سنگین ویا دوبل) ضروری می باشد .

علاوه بر این سقف فروشگاهها را باید با مقادیر کافی از مصالح آبسوربنت (آکوستیک تایل) پوشش نمود .

در مواردی که بعللی (مثلا شوفاژ سقفی) نتوان سقف را با مواد آبسوربنت پوشش نمود ، باید سعی گردد که بنحوی از دیوارهای جانبی برای این منظور استفاده گردد که حداقل معادل ۵۰ الی ۱۰۰ درصد مساحت سقف مصالح آبسوربنت بکار برده شود . اخیرا" برخی از سازندگان ، مصالح آبسوربنت قابل استفاده با شوفاژ سقفی عرضه نموده اند که نتایج خوبی نیز با مصرف آنها بدست آمده است .

ضخامت دیوارهای جداکننده در این گونه موارد بستگی دارند به نوع ساختمان :

دیوارهای جداکننده یک فروشگاه یا دفتر و تجارتخانه را می توان کاملا عادی و حتی از نوع دیوارهای موقت با درو پنجره و یا دیوارهای جمع شونده (پاراوان) با $R=42\pm2dB$

انتخاب‌نمود ،ولی در مواردی که دیوارهای جداکننده مابین دو فروشگاه متفاوت‌یادودفتر یامطب‌و نظایرآن قرارگیرندبایستی‌بخوبی‌دوقسمت را از یکدیگر ایزوله نمایندوایزولاسیون آنهانبایستی‌از $\bar{R}'=45\pm2dB$ کمتر باشد (دیوارهای ۱۲سانتیمتری بااندود دو رویه بوزن ۲۵۰ کیلوگرم در مترمربع) و چنانچه نصب در ، بین دوقسمت نیز ضروری باشد ، حداقل ایزولاسیون این درها نیز باید ۳۸ تا ۴۰ دسی‌بل انتخاب گردد .

در مواردی که نوع کار ایجاب نماید که ایزولاسیون بیشتری (۵۰دسی‌بل‌وبیشتر) بین‌دوقسمت وجودداشته باشد لازمست که دیوارها نظیر آپارتمانها بوزن ۵۰۰ کیلوگرم‌در مترمربع انتخاب گردد .

ساختمان کارخـانـه :

درکارخانجات مختلف‌برای تخفیف‌غوغای ماشینها و کم‌کردن آوای‌پیکری کارخانه (که برای حفظ سلامت کارکنان و بالابردن راندمان‌کار آنها ضروری است) سطوح بزرگی‌از سقف و دیوارهای کارخانه را با مصالح آبسوربنت مستور می‌نمایند .

بااین‌روش می‌توان آبسورپسیون کلی کارگاه را با ضریب ۴ الی ۵ بالاتر برد که‌در نتیجه‌فشارمتوسط‌آوا باندازه۶تا ۷دسی‌بل‌تقلیل‌می‌یابدوغوغای‌کارگاه‌قابل‌تحمل‌می‌گردد .

این‌روش‌که در تخفیف هیاهوی‌کلی کارگاه‌موثر است ، برای کارکنانی که درنزدیکی ماشینهاانجام‌وظیفه‌می‌نمایند ، بطوریکه از شکل ۱۹۵ استنباط میگردد تاءثیری نداردوآنها باید از گوش‌بند (۲۰تا۳۰ دی‌بی) استفاده نمایند .

در شکل ۲۱۵ ملاحظه میگردد که اگرماشین‌غوغائی در حدود ۱۳۰ دسی‌بل داشته باشد در کارگاهی که پس‌آوای آن ۳٫۵ ثانیه باشد غوغای متوسط (درحدود۱۰۹ دسی‌بل) ازفاصله یک‌متری‌ماشین‌قابل‌اندازه‌گیری‌است ــ درحالی که اگر پس‌آوای‌همین کارگاه بامصرف مصالح‌آبسوربنت‌کافی به۰٫۷ ثانیه کاهش یابد غوغای متوسط‌آن (درحدود ۱۰۳ دسی‌بل) در فاصله‌ای کمتراز ۲٫۲ متر وجود ندارد و اگر کارگری نزدیک این ماشین‌باشد مسلما پوشش