

ZVUKOVÁ STUDIA

**AKUSTIKA A
KONSTRUKCE**

MATOUŠ GODÍK

ČVUT FAKULTA

ARCHITEKTURY

PS6

2004/5

0 Předmluva

Tato práce vznikla jako součást mého studia na fakultě Architektury ČVUT, jejím cílem není být zcela korektní z hlediska akustiky/fyziky, protože na to jako autor prostě nemám a odráží momentální stav mého poznání v tomto oboru. Proto se předem omlouvám za jakékoli chyby a nepřesnosti. Pár věcí jsem také zjednodušil, protože bych se dostával příliš daleko od hlavního tématu a zaměření této práce. Jde o jakýsi krátký náčrt problémů, se kterými musí architekt počítat při návrhu zvukového studia. Bez pomoci specialistů na akustiku by takové studio nemělo vznikat.

Matouš Godík

1 Rozdělení a definice prostor

V zásadě se prostory zvukových studií dělí na místnosti, ve kterých probíhá vlastní snímání zvuku, na místnosti, kde se zvuk zpracovává a technologické prostory. Dále se objevují místnosti odpočinkové, administrativní a recepční prostory, které jsou v podstatě standardní a proto se jimi nebudu zabývat.



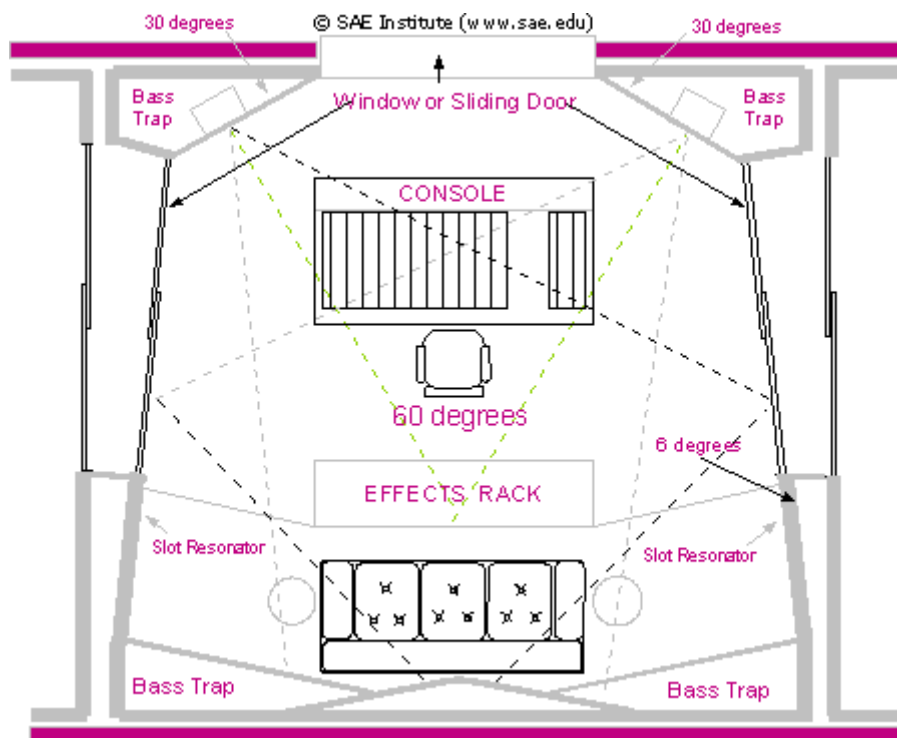
2 Nahrávací místnosti

Typů nahrávacích místností je celá řada a pravděpodobně nejdůležitějším parametrem je velikost. Za supervelké se dají považovat koncertní haly, kostely a pod. Daleko častější jsou velké místnosti, které vznikly z bývalých tělocvičen nebo sálů kulturních domů dodatečným akustickým obložením a vložením rozvodů zvukové techniky. Jsou využívány především pro potřeby orchestrů a případně hudby, která vyžaduje delší dozvuk. Naprostá většina studií zaměřených na populární žánry hudby je vybavena místnostmi střední velikosti (25-75m²) a několika místnostmi malými. Malé místnosti se používají k zamezení přeslechů mezi nástroji, pokud se nahrávají naráz. Nejčastější použití malých místností je nahrávání hlasu, extrémem je objekt podobný telefonní budce, či sprchovému koutu (anglicky "vocal booth") vycpaný izolací, mikrofonom a vlastně v důsledku i člověkem. Dalším kritériem je "živost" daného prostoru, což se projeví v množství a typu použitých akustických povrchů. Malé místnosti je nutno víceméně úplně umrtvit s důrazem na pohlcení nižších frekvencí, které mají tendenci v těchto prostorech dělat velké problémy. S rostoucí velikostí si můžeme dovolit živější místnosti a důraz se dává na difuzní povrchy. Velké místnosti s krátkým dozvukem působí nepřírozně, potřebují hodně difuze a psychoakusticky pozitivně je vnímáno, když dozvuk přichází po krátké (20ms) pauze.

U nahrávacích prostor se všeobecně doporučuje používat nepravidelné nepravoúhlé tvary. Ideálně totiž odstaní flutter echo efekt, vznikající při odrazech zvuku mezi dvěma paralelními povrchy. Při větším počtu místností tak vznikají poměrně neobvyklé půdorysy.

3 Kontrolní místnosti (režie)

Jestliže v nahrávacích místnostech nejde moc o přesnost, "vědeckou" vyváženost akustiky a převažuje umělecký záměr zvuku místnosti. U kontrolních místností jde o přesnost především. Velikostně je dobré se v půdoryse blížit rozměrům 5x7m. Menší místnosti se stávají problematické kvůli příliš rychlým odrazům od zadní stěny a čím menší místnost, tím větší nastávají problémy s uniformitou nízkých frekvencí pod 300Hz vlivem nepříliš husté množiny modálních frekvencí. Čtvercové místnosti jsou naprosto nevhodné, kvůli překrývání modálních frekvencí a tudíž násobení rezonancí v pásmu nízkých frekvencí. Nicméně u velkých místností nad 8m na stranu je už možné použít i čtverec. Důležité je místo a orientace poslechu, to se nachází na podélné ose místnosti, čelem ke kratší zdi. Není vhodné ho umístit doprostřed místnosti, kde probíhá nula na modální frekvenci a tudíž tam tato frekvence téměř vůbec "nehraje". Místnost by měla být souměrná podle podélné osy, aby různě dlouhé odrazy ze stran nerušily stereoobraz. Postranní zdi a strop je vhodné naklonit směrem pryč od pozice poslechu. Úhel 6° na každé straně se jeví jako optimální minimum. Důvody jsou především v nasměrování prvních odrazů pryč od referenční pozice a také pro odstranění efektu "flutter echo".



Volbu a umístění akustických prvků v kontrolní místnosti ovlivňuje základní otázka (a odpověď na ní). Zabudovat reproduktory do stěny či nikoli? Ve studiích produkujících hudbu či v postprodukcích se volí převážně zabudování velkých monitorů (reproduktorů) do stěny (tzv. soffit mounting) a pak se ještě počítá s jedním menším systémem volně stojícím na stojanech. Často je tento menší systém surroundový. Masteringové místnosti naopak spoléhají na volně stojící velké monitory s tím argumentem, že jsou tak blíže podmínkám, ve kterých budou výsledek vnímat běžní posluchači, kteří nemají reproduktory zabudované do zdi (snad s výjimkou auta).

Volně stojící monitory vyžadují následující opatření:

- absorpce (od 300Hz výše) na čelní stěně v prostoru mezi reproduktory
- absorpce (od 300Hz výše) na postranních stěnách v místech prvních odrazů směrem k referenční pozici
- absorpce a difuze na zadní stěně
- absorpce nízkých frekvencí ve všech rozích místnosti
- plus doplnění dalších absorbcí pro dosažení vyrovnané frekvenční charakteristiky a ideálních dozvuků ve všech pásmech (průměr 0,2 až 0,3s)

Vestavěné monitory umožňují s pomocí geometrie místnosti vytvořit okno v prvních odrazech pro referenční pozici jejich odkloněním. Všechny odrazy v této pozici se tedy dostanou za hranici 20ms a tak nejsou vnímány jako součást reprodukováného zvuku, nijak ho neobarvují a jsou vnímány jako dozvuk, který je sám o sobě kontrolován na ideální délku i freq. charakteristiku. Samozřejmě neodpadá celá řada absorberů a difuzorů.

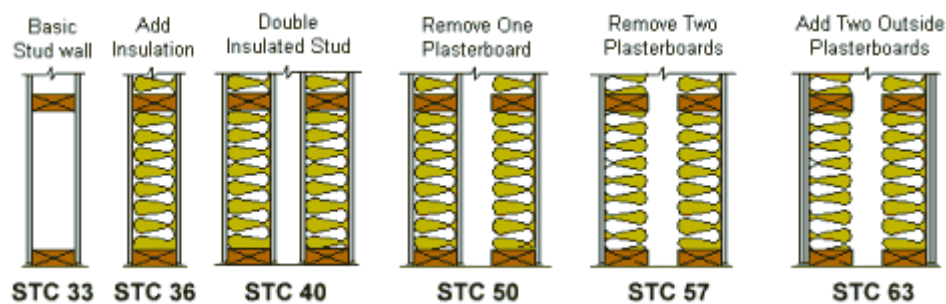
- absorpce nízkých frekvencí ve všech rozích
- absorpce nízkých středů (200-500Hz) rovnoměrně rozmístěná po místnosti
- difuze na zadní straně místnosti



4 Konstrukce místnosti v místnosti

Vedle dokonalé prostorové akustiky, vyrovnané frekvenční charakteristiky a přiměřené doby dozvuku hraje ve studiích roli ještě jeden faktor. Izolace zvuku. Při práci, kde jde o každý detail nebo při nahrávání "díla" nechceme poslouchat projíždějící tramvaje apod. Z druhé strany je tu také okolí, kde často bydlí lidé, kteří neocení dokonale zvládnutou basovou složku hudby hranou samozřejmě jak jinak než pořádně nahlas. Problém je samozřejmě převážně s nízkými frekvencemi, které zastaví jen hodně hmoty nebo dobře izolovaná-oddělená místnost.

Celý princip spočívá na důsledném oddělení místnosti od okolního prostředí, vlastně musí být co nejvíce vzduchotěsná. Pak je také třeba odstranit a při nejhorším minimalizovat mechanické vazby na okolí. Z čehož vyplývá, že taková místnost má velmi pevný a stabilní betonový základ nebo nějaké chytré vyhovující zavěšení do stávající konstrukce budovy. Na tento základ se pokládají pružné podložky naprosto minimalizující přenos vibrací. Dále následuje poměrně klasická dřevostavba z hranolů (nebo kece ala lehká příčka sadrokarton-hliníkové profily), do které se vkládá minerální vlna a vše se pečlivě zalepí - utěsní. Často máme vedle sebe více místností studiového komplexu, ty samozřejmě nemohou sdílet stěny tj i veškeré dveře a okna jsou dvojí.



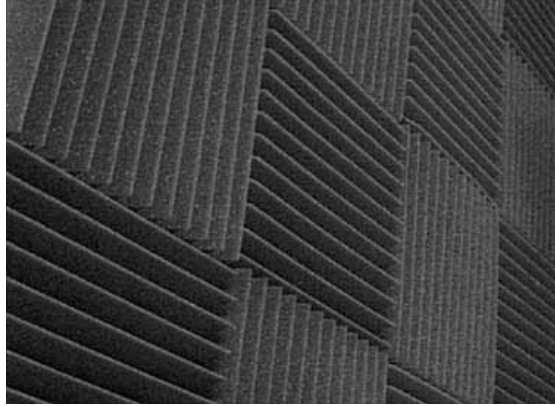
I tak není izolace 100%, při návrhu skladby stěny je třeba mít na paměti, že nejúčinnější izolací je systém stěna-prázdnost-stěna, přičemž pojem prázdnost zahrnuje i izolaci. Jakékoli vkládání dalších stěn je nevýhodné, protože se přes menší mezery se vibrace šíří snáze, než přes větší mezery a tak prostřední stěny pouze zlepšují jejich přenos. Přesněji řečeno, další vrstvy sice zlepšují neprůzvučnost od vyšších basů nahoru, ale zhoršuje se přenos nízkých frekvencí, které jsou nejobtížněji řešitelné. Izolace podlahy od okolí se řeší buďto systémem pružin nebo gumových podložek, či jejich kombinací.



5 Akustické prvky a jejich provedení

Absorbéry vysokých frekvencí (1500Hz a více)

Pohlití vysoké frekvence není zásadě problém, stačí hrubší povrch s lehce pórovitou strukturou a máme vystaráno. Samozřejmě, že tak poslouží jak textilie (koberec, záclony), tak skelná vata.



Absorbéry středních frekvencí (300-1500Hz)

Zde fungují veškeré molitany (pyramidkované), těžké závěsy odsazené několik cm od zdi a samozřejmě minerální vlna. Čím níž se dostáváme, tím větší problém je dané frekvence pohlití, ale pár cm minerální vlny odsazené např. 10cm od zdi zde funguje spolehlivě.



Spíše často vzniká problém, že si nepřejeme absorbovat vysoké frekvence, ale jen ty nižší. Pak přicházejí na řadu děrované kryty na minerální vlnu (panely). Pokud je procento děrování vysoké, fungují takovéto absorbéry tak, že odrazí část zvuku zpět prakticky netknoutou, a proniknou delší vlnové délky, které tuto bariéru "nevidí". Jakmile se ale procento perforace dostává pod 15%, začne se tento absorbér chovat jako tzv. Helmholtzův rezonátor. Samozřejmě, že tak fungují jak kulaté, tak hranaté otvory a štěrby. Frekvence pohlcování závisí na hloubce panelu, procentu děrování a tloušťce děrované desky. Minerální vlna rozšiřuje působení absorbéru na širší frekvenční spektrum. Bez ní by takový panel naopak rezonoval na dané frekvenci.

Absorbéry nízkých frekvencí (pod 300Hz)

Zde se využívají **helmholtzovy rezonátory** v základnější podobě než je popsáno výše a blíží se základní definici. A to uzavřenému prostoru s hrdlem a otvorem. Helmholtzovým rezonátorem je například jakákoli lahev. Samozřejmě bez výplně izolací jen rezonuje a neabsorbuje. Takovýto rezonátor se dá postavit téměř jakkoli velký a spočítat na jakoukoli frekvenci, která dělá v dané místnosti problém. Je to poměrně choulostivé, protože se jedná o "chirurgický" zásah do akustiky místnosti.



Dále lze použít panelů, kde rezonuje deska-membrána, překrývající vzduchotěsný prostor vyplněný minerální vlnou. Takový panel má absorpční schopnosti asi v rozsahu jedné oktávy a tak je pro rovnoměrné pohlcení basů třeba navrhovat více takovýchto panelů s různými tloušťkami membrány a hloubkou panelu, jakožto hlavními parametry ovlivňující absorpční pásmo.



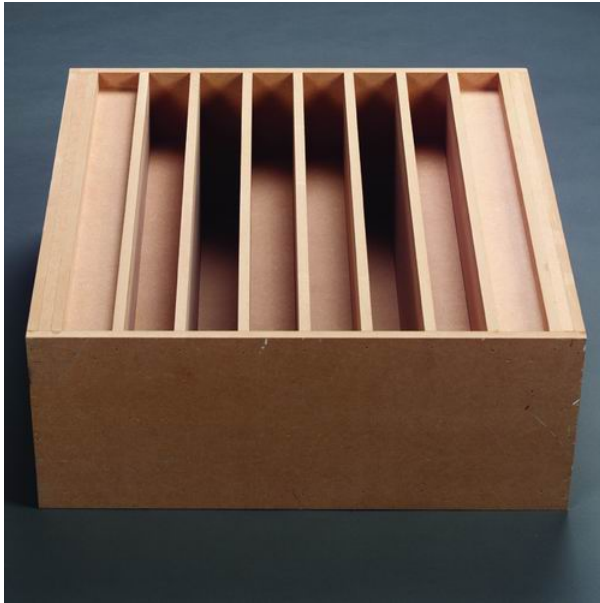
Na nejnižší basy je výhodné použít **zavěšených rezonátorů**. Jde o dřevěné trámký či desky obalené min. vlnou, zavěšené do stropní konstrukce. Na jejich velikosti záleží rezonanční frekvence a tak i absorpce. Tyto "věšáky" se v naprosté většině případů zabudovávají do zdí a velmi často se dostávají do pohledu, kde vzniklo hodně volného místa jeho zešíkmením.



A jednou z neúčinnějších metod je **vyplnění rohů místnosti minerální vlnou**, která se pak překryje látkou.



Difuzory



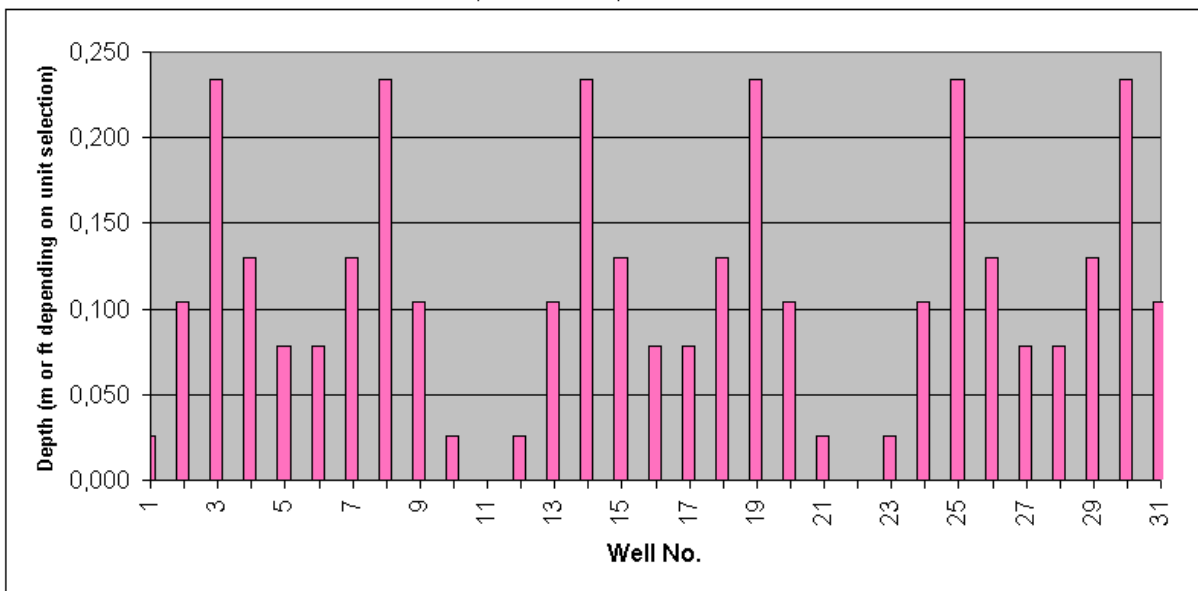
Difuzně působí prakticky každý nepravidelný povrch a dobře funguje např. knihovna s různě velkými knihami. Problém je spíše s tím jak vyrobit něco předvídatelného akusticky a nenáročného na výrobu. Vyšší frekvence není tedy problém zdifuznit volbou povrchu, ale vysoké frekvence nestačí. Přemýšlení o difuzorech začalo s používáním válcových ploch vytvářející poměrně pěkné vlny na stěnách studií, jenže časem se ukázalo, že difuzita těchto geometrií není příliš vysoká a části, kde se kruhy protínají naopak zvuk soustřeďují. Hledání efektivního difuzoru "skončilo" vynálezem kvadratických difuzorů. Jedná se o zubatou strukturu vytvořenou na základě řady čísel. Takto vyrobené panely se dají osazovat vedle sebe aniž by vznikaly místa, kde se zvuk soustřeďuje místo difuze a ukázaly se být velmi praktické pro střední frekvence. Nízké frekvence vyžadují velké rozměry těchto difuzorů a tak se používají

málokdy. V praxi to pak vypadá tak, že celá zadní stěna kontrolní místnosti je jedním takovým velkým difuzorem ve kterém jsou vsazeny menší... vlastně jde o princip fraktálu.

Hloubky jednotlivých polí se rovnají $= n^2 \text{ modulo } p$. Z čehož p je prvočíslo a n je celé číslo od nuly do nekonečna. Z toho plynou řady čísel pro jednotlivé p . Pro $p = 11$ je to řada [0, 1, 4, 9, 5, 3, 3, 5, 9, 4, 1, 0 ...]. Je to tedy řada periodická a tak se z ní dají nadělat moduly.

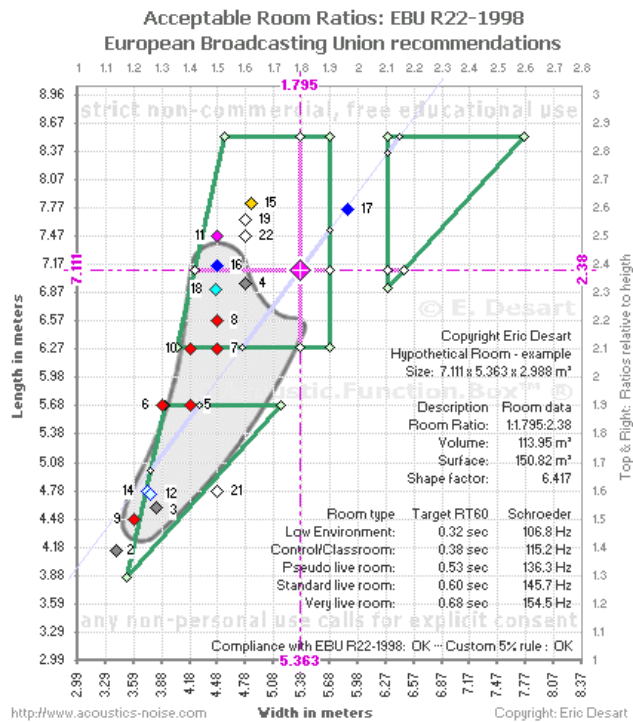
Schroeder diffuser well depth calculation

Prime seed =	11
Design frequency =	600 Hz
Effective Bandwidth	Lower Upper
Hz	424,264 2189,78
Recommended well width =	0,078 m (Schroeder 1979)



Ukázka výpočtu v MS Excel. Zvolíme p (prime seed) a střední frekvenci pro difuzi a algoritmus navrhne hloubky a šířky jednotlivých štěrbin. Zobrazí také přibližné pásmo frekvencí, kde bude takový difuzer efektivní. Výsledný výrobek by měl být hodně tuhý, aby nerozonovaly jednotlivé prvky. Vyrábí se jak ze dřeva, tak z plastu, nebo i skla.

5 Výhodné poměry stran místností

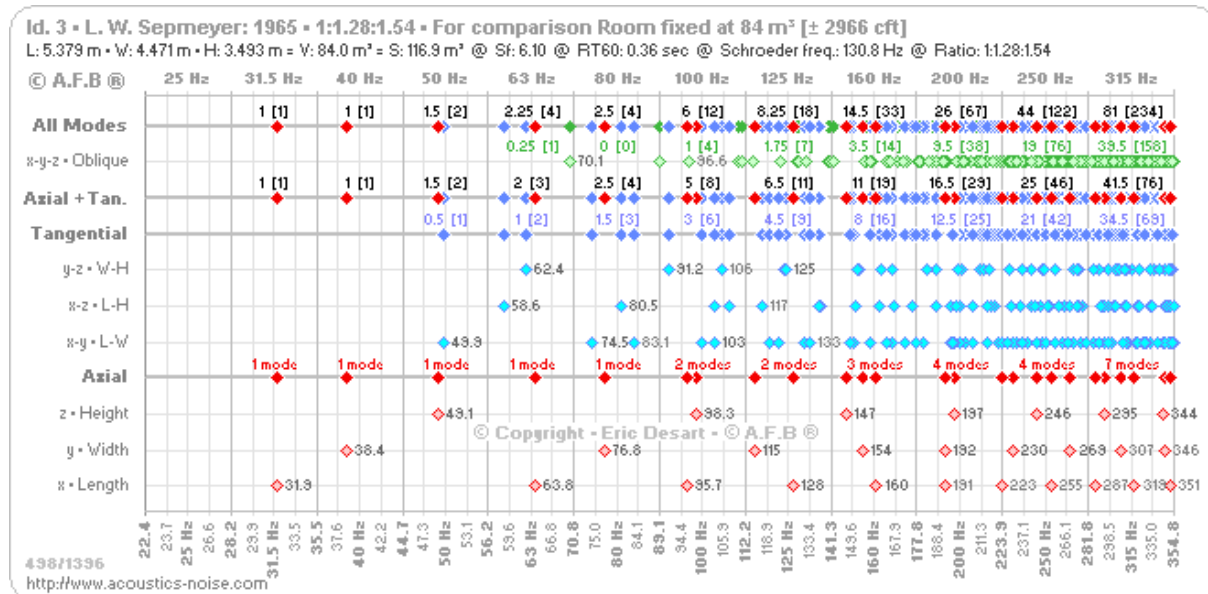


Tento diagram se snaží dát vodítko k určení vhodných rozměrů místnosti vzhledem jejímu modálnímu vyvážení.

Oblast ohraničená šedou čarou se nazývá tzv. Boltův diagram poměry, které do něj spadají jsou velmi pravděpodobně z těch vhodnějších, což neznamená, že poměry mimo tento útvar musí být nutně nevhodné nebo méně vhodné. Tento diagram však nezohledňuje shody módů na ose x a z.

Takže je třeba je vyloučit předem. Zelené ohraničení jsou doporučené poměry Evropskou Vysílací Uníí ty již zohledňují vše.

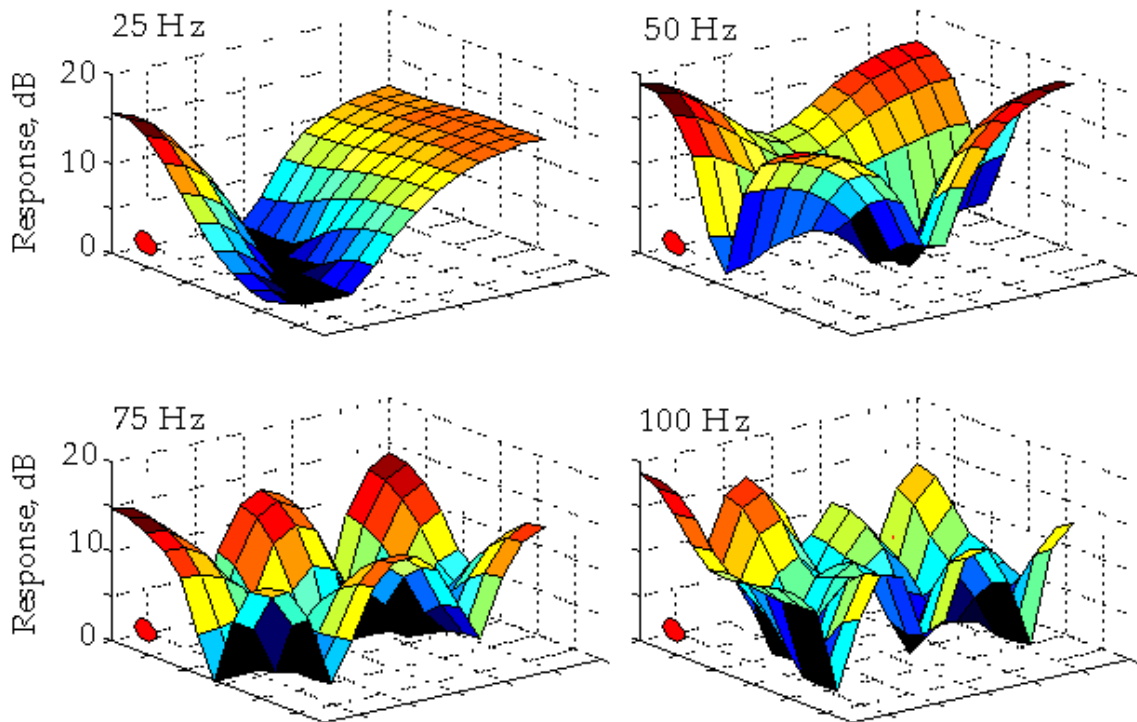
Vždy je třeba provést modální analýzu, která určí jak se oblast nízkých frekvencí bude chovat. Výsledky z těchto analýz jsou poměrně přesné s tím, že přesnost klesá směrem k nízkým frekvencím, hlavně pak pod 100Hz.



Takto vypadá modální analýza, řešící četnosti módů. Dole jsou módy určené vzdáleností jednotlivých stěn (ty jsou nejsilnější), nad nimi módy po úhlopříčkách jednotlivých stěn a zelené údaje nahoře se vztahují k prostorové úhlopříčce (nejslabší). Ideálem je rovnoměrné rozmístění módů, naopak jakékoli kupení nebo větší mezery jsou znakem nevhodných rozměrů.

Neexistují ideální poměry stran, proto se to určuje takto, ve hře je příliš mnoho neznámých. Čím menší místnost, tím více problémů, protože se ve slyšitelném pásmu objevuje pouze pár módů. Nepravidelné, či zkosené místnosti problémy s módy neřeší, pouze vnášejí do řešení nepravidelnosti a tak i nečekané problémy. Ovšem počítat se dají.

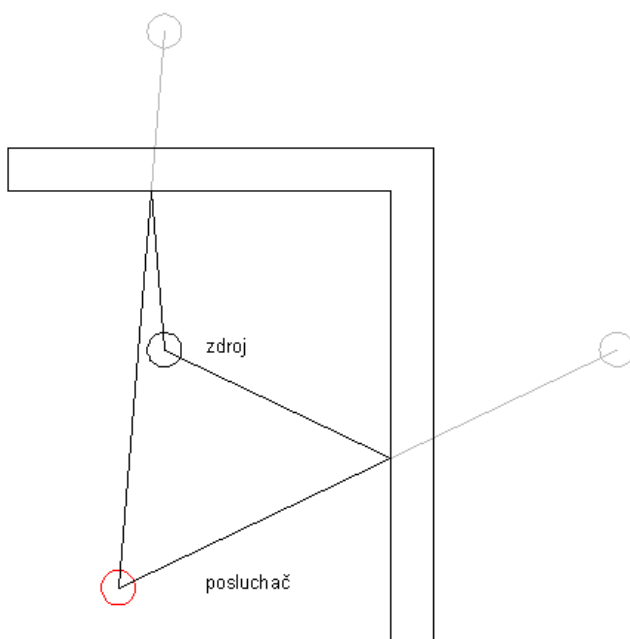
Různé dveře a otvory, které propouštějí nízké frekvence mají tendenci jakoby akusticky zvětšovat daný rozměr místnosti. U studií to není úplně časté, ale u domácích podmínkách se to děje.



Ukázka intenzity stojatých vln v obdélníkové místnosti. Z toho plyne, že frekvenční charakteristika uzavřených prostor se mění v závislosti na tom, kde se právě nacházíte. A také zde lze vyčíst, že nejproblematičtějším místem je střed místnosti, kde se nachází největší počet nulových bodů. Naopak zaručeně největší koncentrace 100% amplitud se nachází v rozích místnosti. Právě proto se také do rohů umísťují basové pastě. Tato intenzita je tedy důležitá jak pro umístění zdroje signálu, tak posluchače, tak akustických prvků. Reproduktor podstavený na místo nuly nemá šanci na dané frekvenci „vydat ani hlásku“, naštěstí se pohybujeme ve třech dimenzích, takže tu do hry vstupují i ostatní rozměry místnosti.

Pozn: Z hlediska vyšších frekvencí osy místnosti důležité kvůli symetrii odrazů.

6 Odrazy



Na rychlé zjištění základních odrazů se používá „zrcadlová“ metoda. V praxi doslova, protože místa odrazů je možné vystopovat zrcátkem posouváním po jednotlivých površích, v místech, kde jsou vidět reproduktory z pozice posluchače dochází k přímému odrazu. A jak bylo již výše popsáno, odraz do 20ms po přímém zvuku zní jako jeho součást a „rozmazává“ ho.

Další odrazy se dají dělat jako odrazy odrazů atd atd. Což už je nepraktické. Také je třeba brát v úvahu ohyb (difrakci), která od středních frekvencí dolů způsobuje možnost odrazu za reproduktory.

7 Reference

<http://forum.studiotips.com>
<http://www.johnlsayers.com>
<http://www.far-audio.com>
<http://www.rpginc.com>

Aalton Everest: Master Handbook of Acoustics (fourth edition)