



AUDIO
ENGINEERING
SOCIETY

UVOD V AKUSTIKO PROSTOROV ZA KRITIČNO POSLUŠANJE

Nenad Patkovič
info@aer-acoustics.com

Ljubljana, 19. april 2012

1.1. Kakšen pomen ima akustika v zvočnem studiju?

- Primeren **akustični tretma** prostora spada v **osnovno in primarno opremo avdio studia**. Zvočni studio je praviloma zmeraj **zaprt prostor**. Tudi sama arhitekturna akustika se v osnovi deli na akustiko zaprtih in odprtih prostorov.
- Zvok se v zaprtih prostorih odbija, interferira... tako dolgo, dokler njegova jakost ne pade pod slušno mejo. Vsak prostor ima zato tudi svoj **specifičen odmevni čas in odzivnost**: večji je prostor – večji je odmevni čas in obratno. Neskončno število odbojev definira unikatnost prostora in njegovo zvočno in fizično prostorskost – **reverberacija prostora ali odjek**.
- Na zvok vpliva tudi sama **geometrija prostora**, le-ta določa osnovne **resonančne frekvence** prostora, te pa določajo tudi svoje nadaljnje **harmonične vrednosti**. V pomoč so nam lahko raziskave različnih strokovnjakov, ki so odkrili različne primerne proporcije (razmerja višine, dolžine in širine) prostorov, kjer imajo **modalne frekvence** najmanjši vpliv na zvok in s tem na njegovo pretirano **koloracijo/obarvanost**.

1.1. Kakšen pomen ima akustika v zvočnem studiju?

- Čeprav se morda marsikomu zdi odnos med **vlogo v prostoru** in obnašanjem zvoka nepovezan, pa ni tako. Na zvok izredno vpliva **kvaliteta zraka – medija**, ki z valovanjem svojih molekul sploh omogoča prenos zvoka, kakršnega poznamo. Če bi bil v prostoru vakuum, ne bi bilo osnovnih prenašalcev vibracij/valovanj; zato je v vesolju popolna tišina.
- Ker se z večurnim delom v zaprtih prostorih spreminja kvaliteta zraka in s tem prej omenjene lastnosti zvoka, je potrebno nujno poskrbeti za ustrezeno **klimatiziranje prostora**.
- Še ena poglavita in potrebna lastnost zvočnega studia je – **tišina**. Prostori, ki bodo namenjeni snemanju izvorov zvoka, morajo vsekakor biti po določenih kriterijih kar se da tihi, drugače bomo moteče zvočne vplive iz okolice tudi zajeli na posnetku. Če to ni naš nameren namen, se je temu potrebno nekako izogniti; **rešitve najdemo v gradbeništvu**.

1.2. Kaj je namen akustične obdelave poslušalskih sob?

- Akustika prostorov za kritično poslušanje je skrajne pomemben element komunikacije s poslušalcem kateri bi moral slišati zvok čim bolj neutralno, le-tega lahko potem mnogo bolj zanesljivo analizira in naknadno manipulira z njim.
- Namen takšnega prostora je čim večja univerzalnost, ki bi naj omogočala čim boljšo translacijo zvočnega produkta v druge domače prostore, ambijente (... nenevezadnje pa tudi na različne medije in formate...).
- Prostori imajo sami po sebi neke specifične fizikalne lastnosti katere posledično vplivajo na zvok in njegovo obnašanje v njemu. Prostori v zvočni sliki povzročajo ogromne frekvenčne in reverberacijske devijacije (tudi po 50dB), katere onemogočajo analitično poslušanje.

1.2. Kaj je namen akustične obdelave poslušalskih sob?

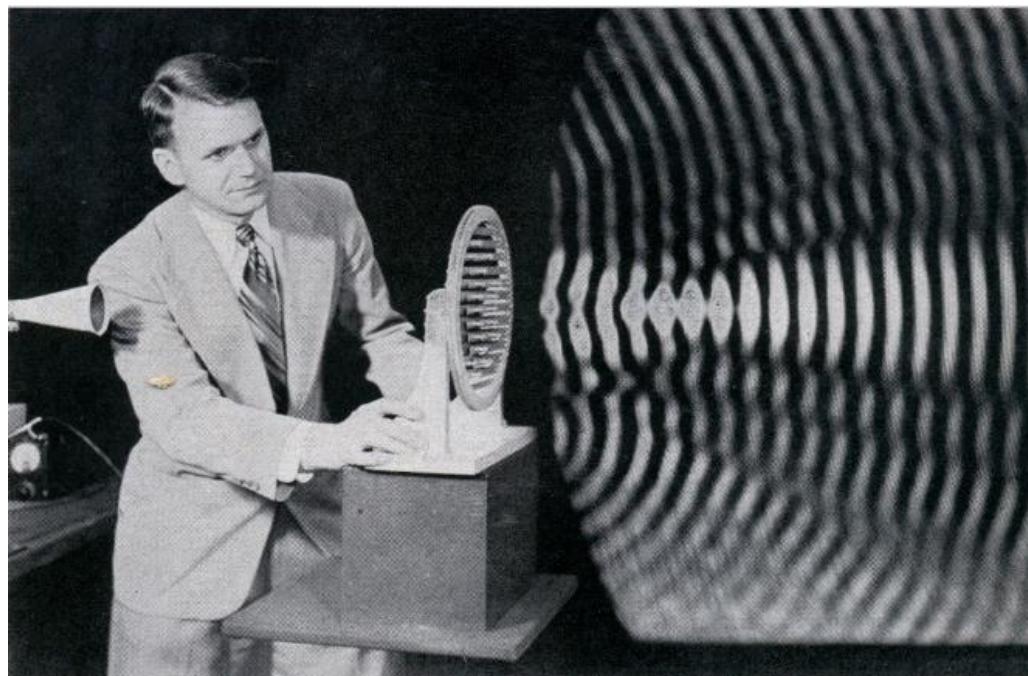
- Takšni prostori, ki omogočajo analitično poslušanje so **namenjeni tako avdio profesionalcem**, ki producirajo zvok **kot ozaveščenim audiofilom**, ki želijo doživeti zvok čim bolj naravno kot ga je želel predstaviti avtor in kot si je zamislila celotna produkcijska ekipa.
- Sploh avdio profesionalcem je **delo z zvokom** kruh in **vir preživetja** in takšni prostori so glavno in **poglavitno orodje** in sredstvo za uspešno ter **zanesljivo delo**.
- Zato je potrebno **zvok** nekako **kontrolirat**. Je **več principov**, bolj ali manj uspešnih.
- Čeprav je vse to logično, v realnosti temu ni ravno tako. **Premnogi profesionalci vlagajo prevelike vsote v elektronsko studijsko opremo** in se nikdar (ali izjemno premalo) pobrigajo, da bi si akustično uredili prostor.
- Kako bi na primer biolog lahko brez primernega laboratorija uspešno opravljal svoje delo ali slaboviden taksist brez primernih očal zanesljivo pripeljal na cilj...

1.2. Kaj je namen akustične obdelave poslušalskih sob?

- Na žalost **bližnjic ni** in ne pridejo v obzir »vsemogoči« korekcijski ekvilajzeri s »superiornimi« algoritmi ipd. Ta ideja dejansko sploh ni nova in se v takšni in drugačni obliki pojavlja in vleče že od resnejših raziskav in rešitev v studijski akustiki od sredine prejšnjega stoletja. Ti načini so (morda...) primerni le za končen res fini »tuning« in še to za par decibelov gor/dol...
- Vsekakor pa se pojavi vprašanje ali niso **možgani najboljši »algoritem«**, ki lahko to odlično kompenzira... **vsekakor ne povsem neobdelanega prostora**, pomagat mu je pa le treba saj ni vsemogoč.
- Vsako omenjeno področje, ki se tukaj omenja je lahko cela veja znanosti za sebe, to so res le **primarne osnove**, za katere bi naj vedel **vsak resnejši ljubitelj glasbe** in vsekakor tudi **profesionalen avdio inženir**.

1.3. Kaj je sploh zvok?

- Zvok je **mehansko valovanje**, ki se **širi v dani snovi** (trdnini, kapljevine ali plinu). Zvok se **širi skozi medij kot sprememba tlaka zaradi titranja molekul danega medija**. Skozi plin in tekočine se širi **longitudinalno/vzdolžno**.
- To si lahko tudi poenostavljeno **predstavljate kot premikanje črva**, ki se premika s pomočjo krčenja in raztezanja telesa.



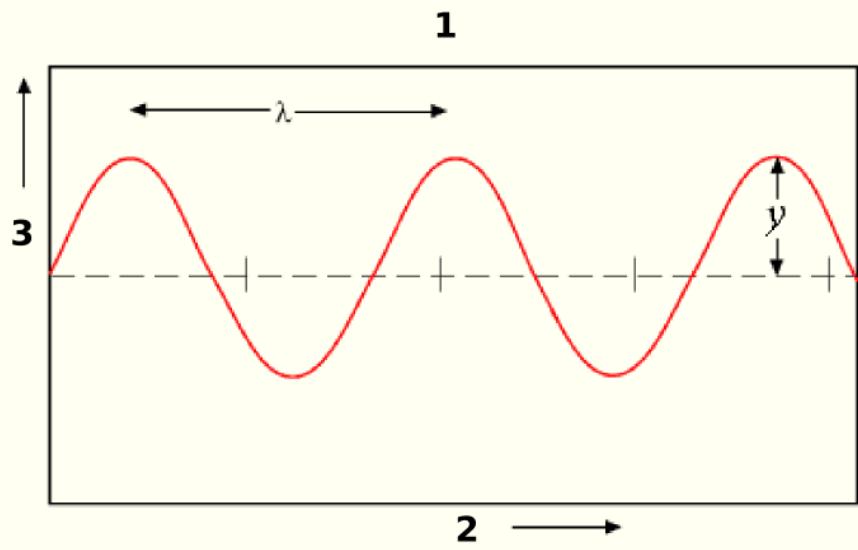
Slika 1: Prezentacija zvočnega valovanja z neonko

Vir:

<http://blog.modernmechanix.com/2007/07/24/neon-lamp-traces-sound-waves-picture/>

1.3. Kaj je sploh zvok?

- Zvok lahko opredelimo s frekvenco in amplitudo zvočnega tlaka. Prva je povezana z **višino tona**, druga z **glasnostjo**.



Slika 2: Amplituda je prikazana kot y , frekvence pa kot število nihanj v nekem vremenskem intervalu/sekundi.

Vir:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/41/Wave-i18n.png>

Nas sedaj v tej temi najbolj zanima zvočno valovanje frekvenc katere lahko človek fizično zazna in to je nekje med 20Hz in 20.000Hz.

1.3. Kaj je sploh zvok?

- Vsekakor z leti človekov sluh slabi tako da je bolj relevanten podatek nekje do 16.000Hz, prejšnji naveden pa velja za male otroke. Zaznavanje visokih frekvenc se z leti vse bolj niža po naravni poti, pa tudi tako imenovani »loudness war« izjemno pripomore k temu in zelo škoduje sluhu mladim. Posledice se pričnejo lepo počasi pojavljat po tridesetem letu...
- **Zvok** in z njim povezane **fizikalne pojave** proučuje **akustika**, njegovo **subjektivno doživljanje** in **zaznavanje** pa **psihoakustika**.

1.4. Kaj je v grobi osnovi akustika?

- Akustika je **znanstvena veda**, ki se **ukvarja s fiziološkimi in fizikalnimi pojavimi v zraku** (lom, odboj, uklon in zvočni pojavi). V širšem pomenu je eksperimentalna in teoretična veda o zvoku in njegovem širjenju, v ožjem pomenu pa veja znanosti, ki se ukvarja z zvokom v posameznih prostorih, kot so sobe in gledališča.
- **Akustični inženering** se ukvarja z načini **upravljanja z zvokom v arhitekturi in gradbeništvu**, proučuje **obvladovanje odmeva zvoka, zvočno izolacijo in zmanjšanje ropota**.

Vir: <http://sl.wikipedia.org/wiki/Akustika>

Kako se obnaša zvok v zaprtem prostoru?

- Valovanje zvoka v zaprtem prostoru vzbuja modalne frekvence, ki so resonančne frekvence specifičnega prostora.
- S preprosto **Rayleighovo** enačbo (1896) se lahko enostavno izračunajo aksialne modalne frekvence prostora:

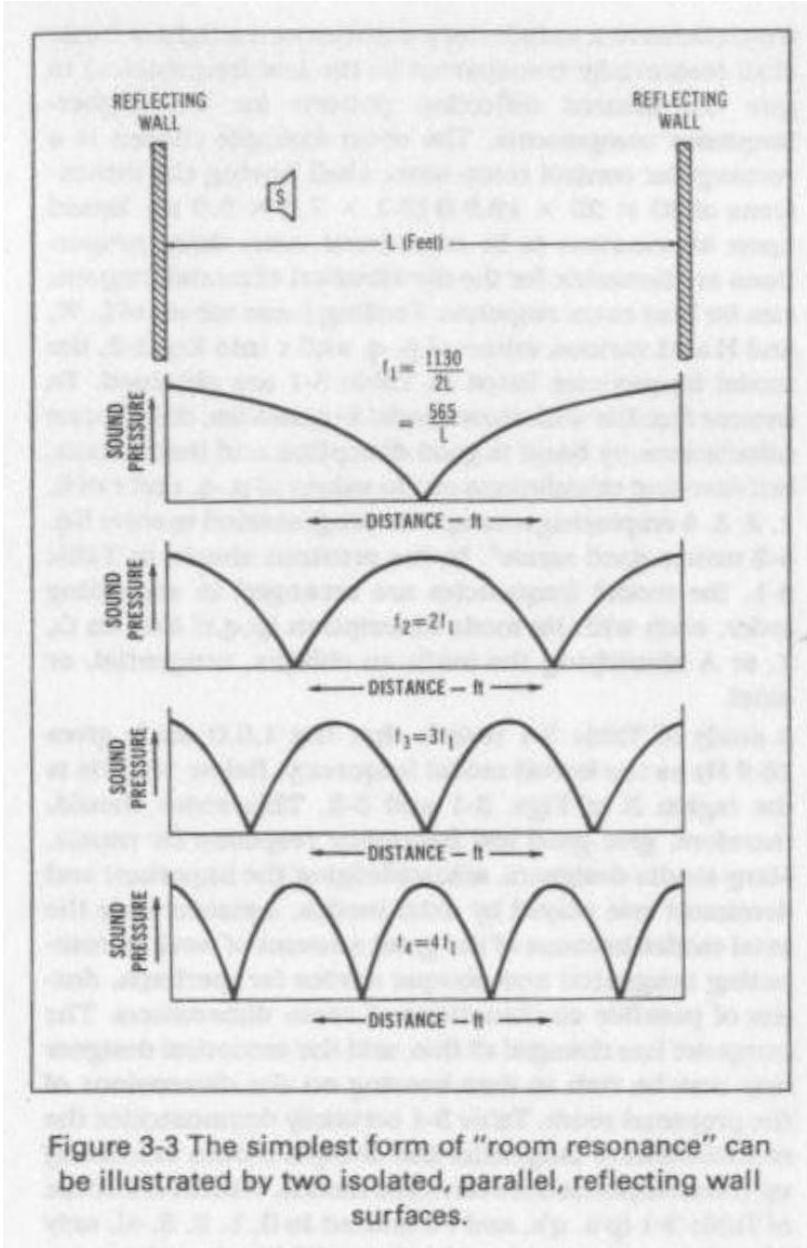
$$f = c / 2L$$

frekvenca = hitrost zvoka (cca. 343m/s) deljeno z 2 x dolžino, širino ali višino prostora.

- Ne smejo pa se zanemarit niti harmoniki modalnih frekvenc (X 2, X 3, X 4...)!
- Kako zvok „potuje“:

<http://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/waves/wavemotion.html>

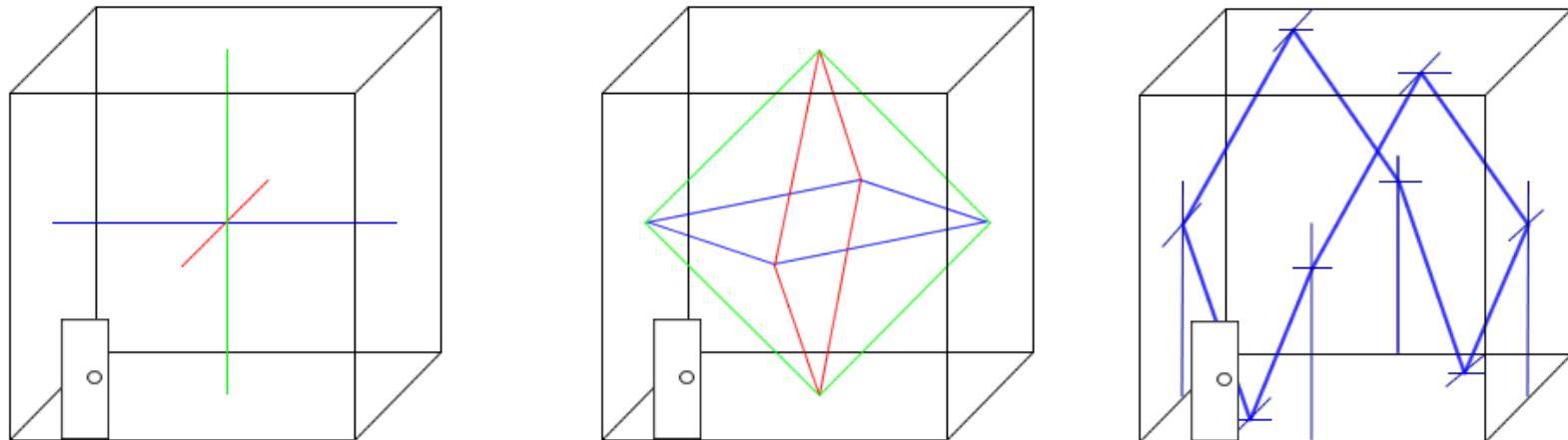
Kako se obnaša zvok v zaprtem prostoru?



Slika 3: Grafična ponazoritev resonančne frekvence sobe

Vir: Ballou, Glen: Handbook for Sound Engineers, Howard W. Sams & Co., 1991, str. 47.

1.5. Modalne frekvence i refleksije



Slika 4: Grafični prikaz treh osnovnih vrst modalnih frekvenc v prostoru

Aksialne refleksije **Tangencialne** ali prečne **Oblique** ali posredne refleksije

Vir: <http://www.markaw.com/recording/Acoustics/AcousticsCrashCourse1-Mod.html>

Najmočnejše in najvplivnejše so **aksialne** modalne, ki nastanejo med nasprotnimi paralelnimi si površinami. Za **polovico šibkejše** so **tangencialne** in za še polovico šibkejše od teh so **posredne** (ali približno četrtina moči **aksialnih**). **Tangencialni** modi vključujejo kombinacijo štirih površin, **posredne** pa so dokaj komplikirane za opisati in vključujejo vseh šest površin prostora.

1.5. Modalne frekvence i refleksije

- To ne pomeni, da so **tangencialne in posredne modalne frekvence in harmoniki ne jemljejo v obzir** pri projektiranju takšnih prostorov, čeprav so aksialne najbolj dominantne!
- Formula za tangencialne modalne frekvence:

$$f = c/2 * \sqrt{p^2/L^2 + q^2/W^2}$$

c – hitrost zvoka

L, W, H = dolžina, šrina, dolžina prostora

\sqrt = kvadratni koren

$\wedge 2$ – na kvadrat

p&q = predstavlja prve modalne npr: p = 1, q = 1 za prve modalne ali p = 2, q = 2 za harmonike

1.5. Modalne frekvence i refleksije

- Formula za posredne modalne frekvence:

$$f = c/2 * \sqrt{p^2/L^2 + q^2/W^2 + r^2/H^2}$$

c – hitrost zvoka

L, W, H = dolžina, šrina, dolžina prostora

$\sqrt{} =$ kvadratni koren

$^2 =$ na kvadrat

p, q in r predstavljajo modalne katere računamo

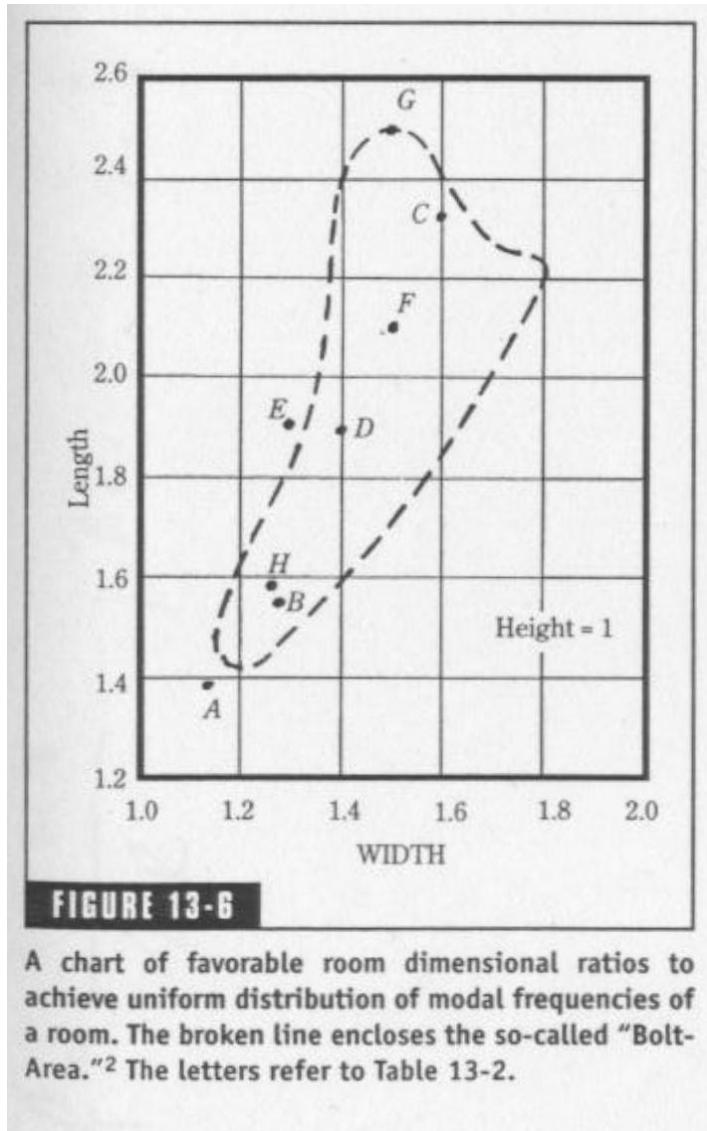
Primer kalkulatorja za izračun modalnih frekvenc prostora:

<http://www.markaw.com/recording/Acoustics/RoomModeStandingWaveCalcu.html>

1.6. Priporočene ali sprejemljive proporcije/razmerja stranic prostora

- Znanstveniki se že krepko več kot pol stoletja ukvarjajo, da bi nekako izračunali idealno razmerje stranic prostora. Kot najbrž slutite **idealnih žalni**, so le **bolj optimalne** ali še bolje - **bolj sprejemljive**. Pionirji na tem področju so bili **Volkmann** in **Boner**, nato **Sepmeyer**, **Louden** in **Bolt**, v današnjih časih pa **Dr. Trevor Cox** in **Dr. Peter D'Antonio**, ki sta tudi vodilna teoretična akustika.
- Je več principov in teorij kako so prišli do različnih razmerij, najosnovnejša poanta je v tem, da se dobijo razmerja, ki omogočajo, da so modalne frekvence in harmoniki na frekvenčni skali med seboj čim bolj razporejeni in oddaljeni, da pa se nikakor med seboj ne podvajajo (dve dolžini prostora enaki) ali celo potrojijo (primer kocke, ki je nekako anatema v akustiki!).

1.6. Priporočene ali sprejemljive proporcije/razmerja stranic prostora



Slika 5: Bolt-ovo področje

Vir: Alton F. Everest Master Handbook of Acoustics

1.6. Priporočene ali sprejemljive proporcije/razmerja stranic prostora

- Čim večji je prostor, manj značajne so proporcije prostora ampak na žalost kot vemo smo skoraj zmeraj omejeni na male prostore.

Table 13-2. Rectangular room dimension ratios for favorable mode distribution.

Author		Height	Width	Length	In Bolt's range?
1. Sepmeyer ⁵	A	1.00	1.14	1.39	No
	B	1.00	1.28	1.54	Yes
	C	1.00	1.60	2.33	Yes
2. Louden ⁶ 3 best ratios	D	1.00	1.4	1.9	Yes
	E	1.00	1.3	1.9	No
	F	1.00	1.5	2.5 $\approx 2.1(?)$	Yes
3. Volkmann ³ , 2 : 3 : 5	G	1.00	1.5	2.5	Yes
4. Boner ⁴ $1 : \sqrt{2} : \sqrt{4}$	H	1.00	1.26	1.59	Yes

Najbolj popularni razmerji stranic prostora:

L. W. Sepmeyer: 1965 - 1:1.14:1.39

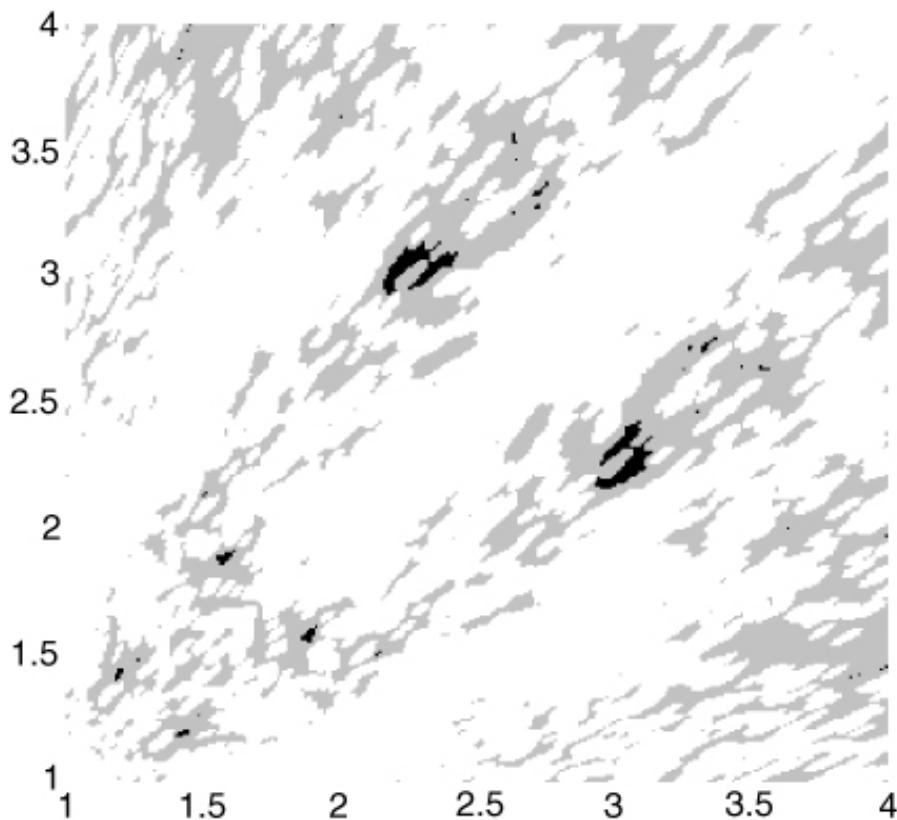
M. M. Louden: 1971: Best ratio as per Louden – 1:1.4:1.9

Slika 6: Najbolj »priljubljena« razmerja stranic prostorov v akustiki

Vir: Alton F. Everest: The Master Handbook of Acoustics, McGraw-Hill, 2001, str. 277.

1.6. Priporočene ali sprejemljive proporcije/razmerja stranic prostora

- Novejše raziskave in kalkulacije iz strani Dr. Trevor Coxa in Dr. Peter D'Antonia so pokazala še **druge rezultate**, ki jemljejo v obzir seveda tudi **volumen prostora**.



Slika 7: Iskanje čim bolj optimalnih razmerij stranic prostora

Vir:

http://www.acoustics.salford.ac.uk/acoustics_info/room_sizing/?content=best

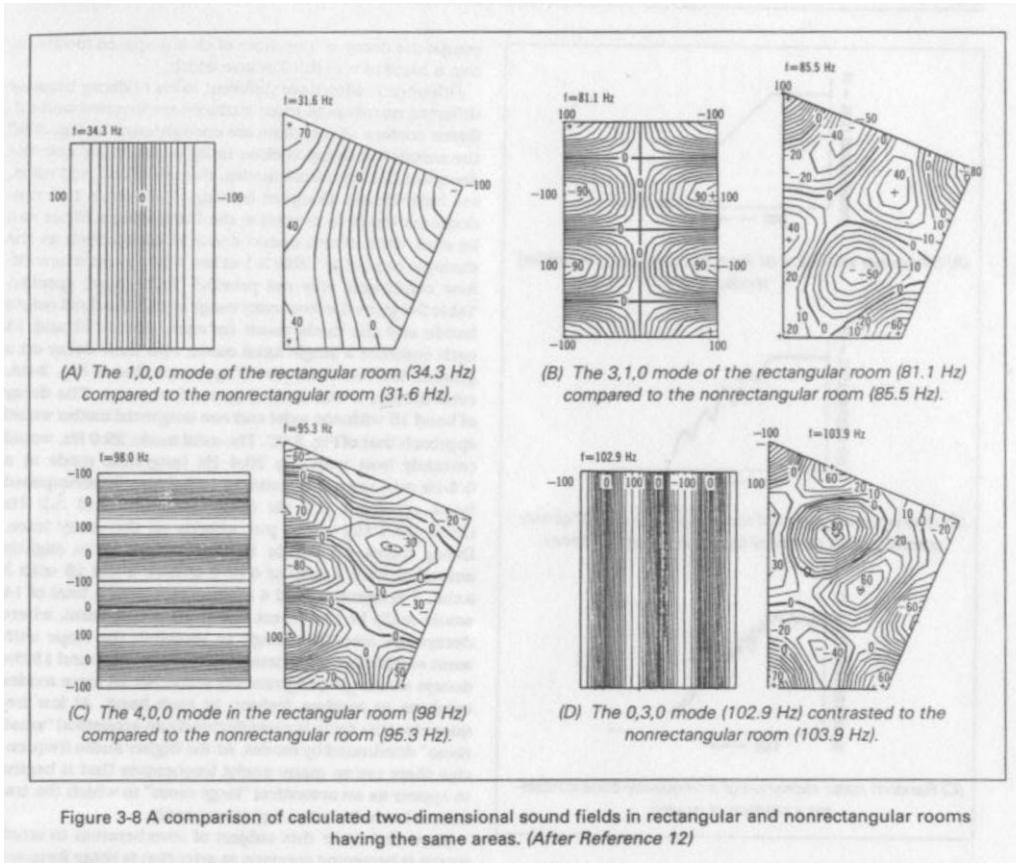
1.6. Priporočene ali sprejemljive proporcije/razmerja stranic prostora

- Na tej spletni strani:
http://www.acoustics.salford.ac.uk/acoustics_info/room_sizing/?content=best je dosegljiva excelovo tabela za **različne kubikaže prostorov od 50-200m³**.
- ... ampak na žalost to **velja le za prostore**, ki se **namensko na novo gradijo** ali temeljito preurejajo in ne za že izgrajene, ki se **ne morejo ali ne smejo predimenzionirati**.
- **Opomniti velja** tudi na to, da je **na račun »boljših« razmerij prostora, žrtvovati volumen/kubikažo prostora izjemno trivijalno!**...

1.6. Priporočene ali sprejemljive proporcije/razmerja stranic prostora

- **Te proporcije veljajo le za pravokotne prostore!** Če so **drugačnih oblik** (trapezoidnih, nepravilnih...) vsekakor bodo še **vedno imele specifične modalne frekvence!** ampak jih bo **izjemno težko predvidet in izračunat!** Takrat nastopi klasično »akustično kartografsko merjenje«, korak za korakom... ali pa »enostavno« predimenzionirat akustični tretman...
- Prav zato so **priporočljivi pravokotni prostori zaradi svoje predvidljivosti.** Nekako se **nizke frekvence rade nabirajo/ seštevajo v vseh možnih kotih** (dvokoti in trikoti).

1.6. Priporočene ali sprejemljive proporcije/razmerja stranic prostora



Slika 8: Predvidljivost nabiranja nizkih frekvenc v različnih oblikah prostorov

Vir: Alton F. Everest Master Handbook of Acoustics

- Za natančnejšo grafično prezentacijo se lahko poigramo na spletni strani:
<http://www.hunecke.de/en/calculators/room-eigenmodes.html>

1.6. Priporočene ali sprejemljive proporcije/razmerja stranic prostora

- V prostoru, ki bi imel **stene ovalne ali konveksne**, lahko da tudi na **mnogo razbitih kotov**, bi se zvok obnašal izredno **nepredvidljivo, lahko celo nezaželeno**. Pravokotni prostori so tudi finančno cenejši in hitreje izgrajeni. Iskati vrsto kritičnih frekvenc v nepredvidljivem prostoru je zahtevno opravilo.

1.8. Katere glavne anomalije se pojavljajo v zaprtih prostorih?

- Različne distorzije so posledica zvočnih odbojev ali refleksij od vseh površin prostora.
- Iznad 300Hz so bolj razpoznavne kot **echo ali odjem**, poustvarijo nek obstoječi specifičen ambijent prostora. Izpod 300Hz se zvočni valovi prav tako odbijajo po prostoru in povsem iznakažejo frekvenčno zvočno sliko v nizkih regijah. **Nizke frekvence** se zelo težko kontrolirajo in potrebno je precejšnje znanje in izkušnje.
- Vsekakor tukaj sedaj ne jemljemo v obzir motnje iz okolice (vibracije, hrup)... to je poglavje zase.
- Primer: frekvenčni val od **20Hz** je **fizično velik 17.2m**, 40Hz pa pol tega.
- Priporočlja **debelina akustičnega poroznega materiala** je približno $\frac{1}{4}$ **valovne dolžine** kar znaša za **40hz** kar **2m** in nekaj debeline... **20.000Hz** val pa je velik vsega **1,7cm**.

1.8. Katere glavne anomalije se pojavljajo v zaprtih prostorih?

- 1.8.1 Modalno zvonjenje** ali modal ringing:

je resonanca in naravna posledica osnovnih modalnih frekvenc, katere so določene z dimenzijami prostora. Ko se pojavi zvočna energija blizu teh resonančnih frekvenc, se prostor vzbudi in tendira da vztrajno resonira na teh nizkih frekvencah.

- 1.8.2. Flutter echo:** ali »Slap echo«

(http://www.goodwinhighend.com/room_design/acoustic_treatment.htm)

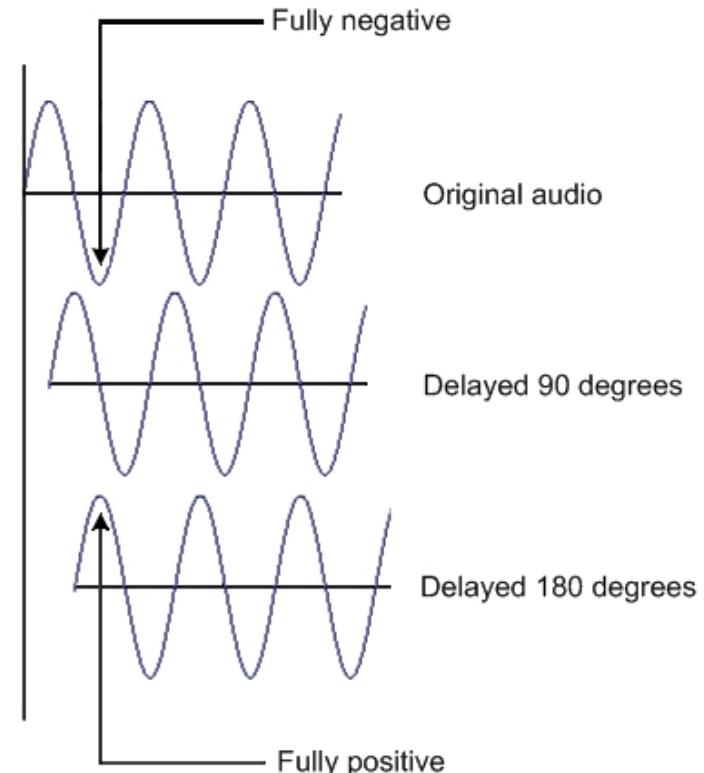
je hitro ponavljači se echo (»ping pong« efekt), ki nastane med dvema vzporednima ravnima površinama. V glavnem je to hiter odjek višjih frekvenc (test: plosk rok v pravokotnem prostoru...).

1.8. Katere glavne anomalije se pojavljajo v zaprtih prostorih?

• 1.8.3. Comb filter:

je akustična interferenca, ko se **nekoliko zakasnjen zvočni signal sreča v prostoru s svojim enakim odbitim signalom**. Pojavlja se ob refleksivnih površinah, kjer se lahko refleksije z zamikom trkajo z originalnim zvokom. Prihaja do ojačitev in izničitev signala ter **vseh možnih stanj vmes... faznih zamikov**... Devijacije se pojavljajo v enakomernih intervalih - na frekvenčni sliki izgleda kot glavnik od tod tudi poimenovanje.

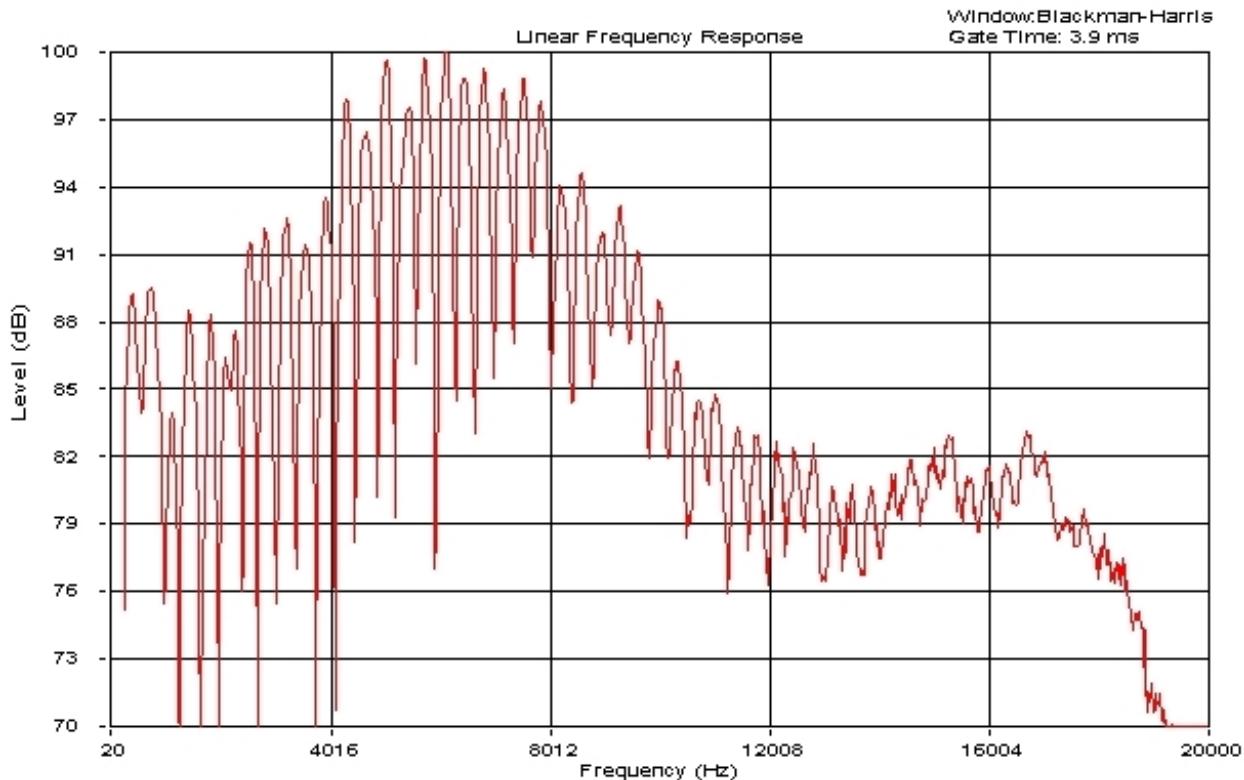
Možgani so sposobni dobro filtrirati anomalije kot so comb filetering . Lahko pa se jim olajša naloga...



Slika 9: Različni fazni zamiki

Vir: www.realtraps.com

1.8. Katere glavne anomalije se pojavljajo v zaprtih prostorih?



Slika 10: Comb filter prikazan na frekvenčni sliki

Vir: www.realtraps.com

Kot dodatna informacija: do izničitev prihaja pri oddaljenosti izvora zvoka od stene na $\frac{1}{4}$ valovne dolžine frekvence - oz. pri neparnih večkratnikih, ojačitve pa pri parnih večkratnikih in ob rigidnih površinah prostora.

1.8. Katere glavne anomalije se pojavljajo v zaprtih prostorih?

- **1.8.4. Stoječi valovi** ali standing waves:

so valovi, ki dobesedno “stojijo” v prostoru.

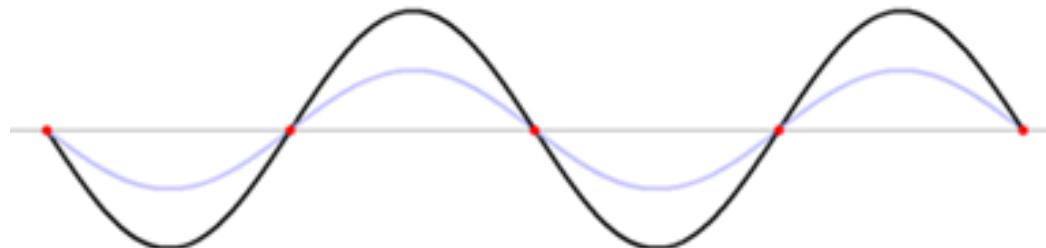
Nastane tako, da se **dva enaka a nasprotno potujoča valova srečata/interferirata**.

Ustvarjajo se **ojačitve** in **izničitve v prostoru** in njihove **pozicije se ne spremunjajo**.

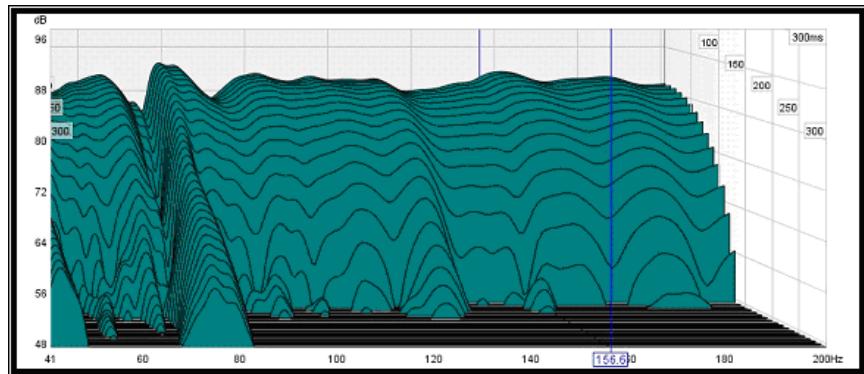
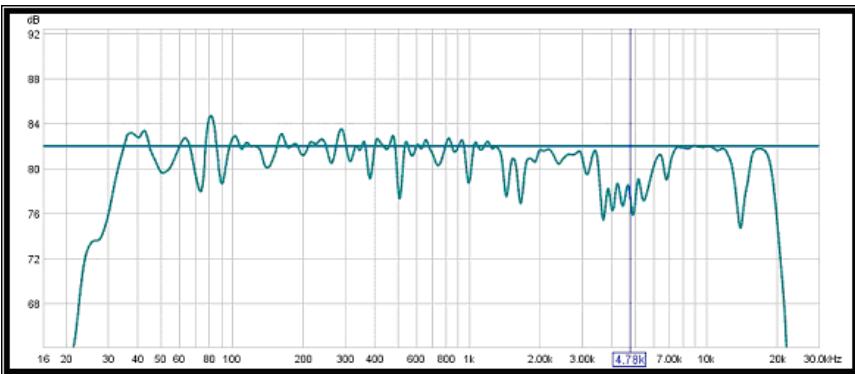
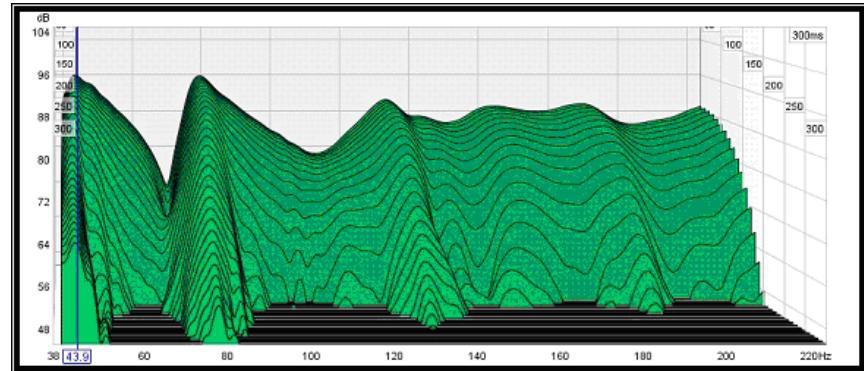
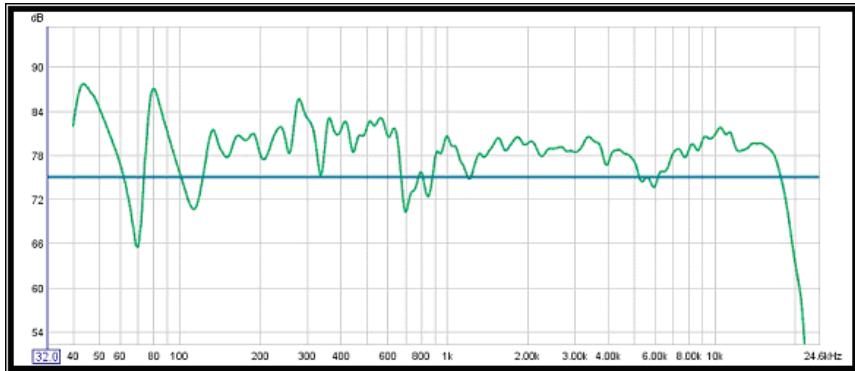
Za podrobnejši grafični prikaz sledi povezavi:

http://www.walter-fendt.de/ph14yu/stwaverefl_yu.htm in

<http://id.mind.net/~zona/mstm/physics/waves/interference/waveInterference3/WaveInterference3.html>



1.8. Katere glavne anomalije se pojavljajo v zaprtih prostorih?



Slika 13: Pred in po akustični adaptaciji

Vir: http://www.gikacoustics.com/education_case.html

1.9. Kako v osnovi ukrepati?

- **Preprečiti stoječim valovom in akustičnim interferencam, da vplivajo na frekvenčni odziv prostora.**
- **Zminimalizirati modalno zvonjenje** v malih prostorih in **znižati odjek** v velikih.
- **Absorbirati in/ali difuzirati** zvok v prostoru, da se **izognemo zvonjenju** in **flutter ehu** ter tako **izboljšati stereo sliko**.
- **Zvočno se izolirati od okolice**, da nimamo motenj pri delu in da druge ne motimo s svojim delom. **Soundproofing** oz. **Box in a Box...**

Akustične distorzije v prostoru in predlagan princip njihovega reševanja

FREKVENCA

AKUSTIČNE DISTORZIJE

PROBLEM

PREDLAGANA REŠITEV

Izpod 200 Hz

Modalne resonance

1. Dimenzija prostora
2. Lokacija slušatelja in izvora zvuka
3. Absorpcija

Speaker-Boundary
Interference

1. Lokacija slušatelja in izvora zvuka
2. Absorpcija

Iznad 200 Hz

Comb Filtering

1. Absorpcija

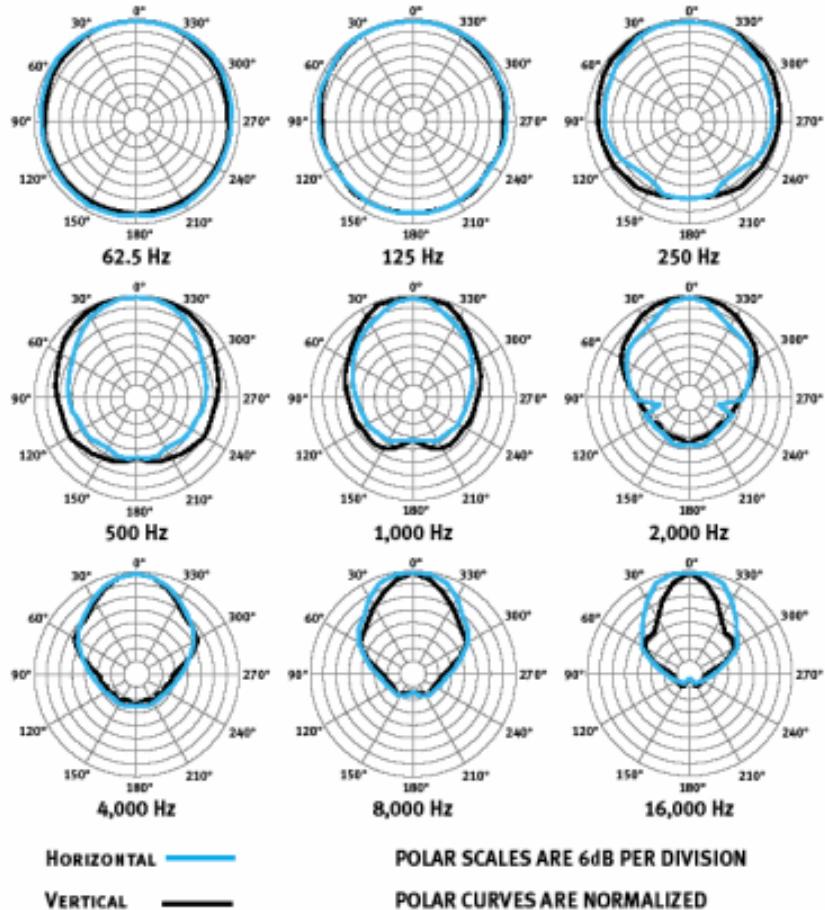
Slaba difuzija

2. Difuzija
3. Lokacija refleksivnih površin
 1. Difuzija
 2. Refleksija
3. Lokacija akustičnih elementov

Tabela 1: Akustični problemi in primerne rešitve

Vir: www.rpginc.com

1.10. Kako se obnašajo nizke in srednje nizke frekvence v prostoru?



FH-4 POLAR MEASUREMENTS

All polar measurements obtained in a free-field environment at 10 degree increments. Data acquired utilizing: TEF System 12+, B&K 4007 Mic, HP 35660A Dual-Channel FFT Analyzer.

Nizke frekvence izpod 100Hz se **zelo težko lokalizirajo v prostoru** in so **izjemno omnidirekcialne**, nižja kot je **frekvenca težje** je določiti realen **izvor zvoka**.

Na sliki je možno videt kako običajno radiirajo frekvence iz klasičnega zvočnika.

Slika 14: Usmerjenost širjenja različnih frekvenc po prostoru

Vir: http://www.realtraps.com/art_front-wall.htm

1.11. Priporočljiv RT60 v kontrolnih sobah in Sabinova formula

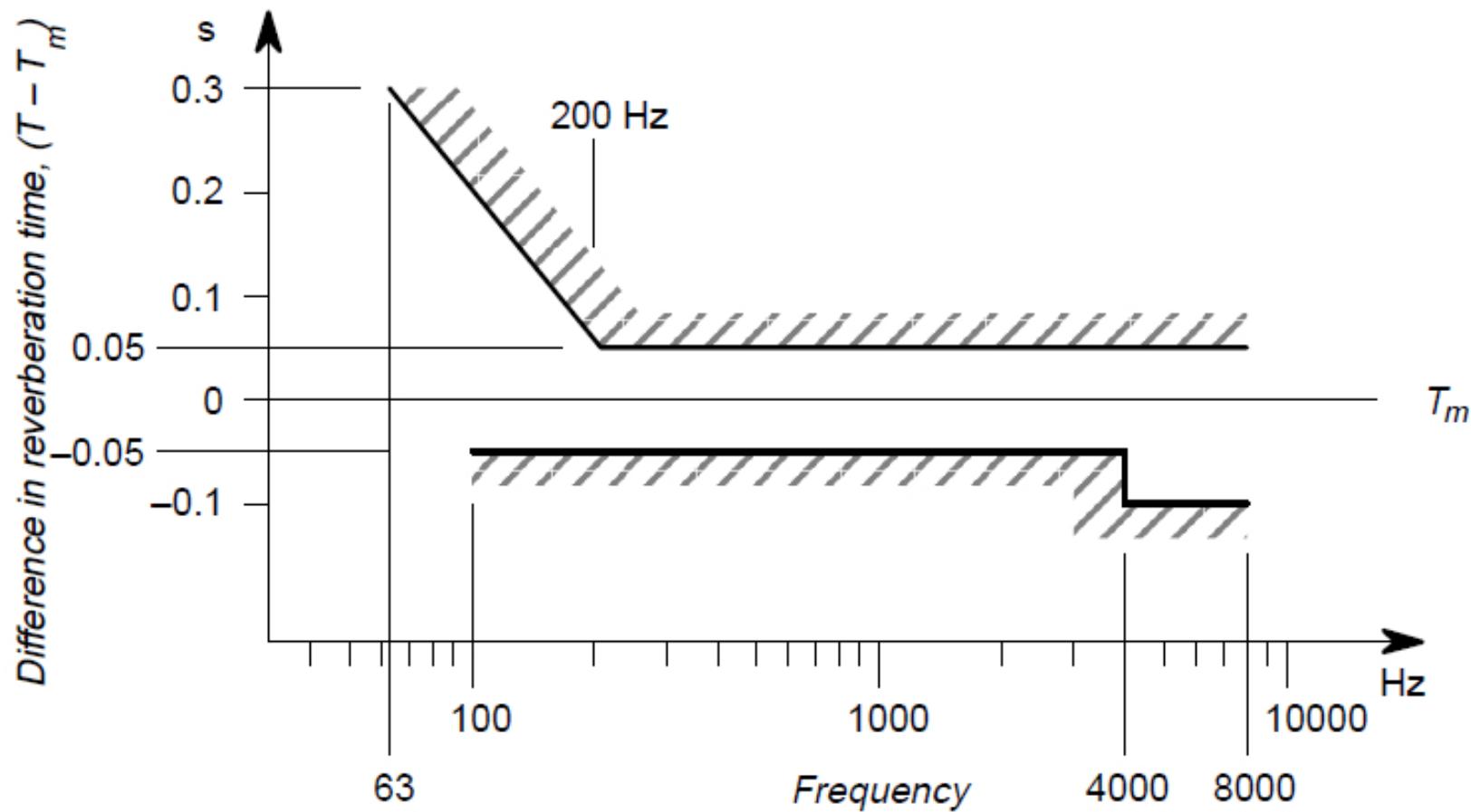
- Po več kot pol stoletja raziskovanj, uporabe prostorov in praktičnih izkušnjah so prišli do spoznanj kakšna **živost prostora bi bila primerna v poslušalskih okoljih**. Predlagan RT60 je zaveden v dokumentih mednarodnih svetovnih organizacij kot so AES, EBU, ITU ipd.
- **RT60 pomeni koliko časa je potrebnega da predvajan zvok pade za 60dB.** Okvirno se običajno RT60 giba med **0,15 – 0,4sek.**
- Formula za priporočljiv RT60:

$$Tm = 0,25 * (V/V_0)^{1/3}$$

V – volumen sobe v m³ (kolikor ostane prostora ko je ves akustičen material noter, ne ko je soba prazna!)

V₀ – referenčen volumen sobe (100m³)

1.11. Priporočljiv RT60 v kontrolnih sobah in Sabinova formula



Slika 15: Začrtane meje tolerance odstopanja od priporočljivega RT60

Vir: EBU Tech 3276-1998 Listening conditions for sound programme material: M&S

1.11. Priporočljiv RT60 v kontrolnih sobah in Sabinova formula

- **Sabinovo formulo lahko izračunate kakšen bo RT60 glede na pokrito površino prostora z absorpcijskim materialom:**

$$RT60 = 0,161 \times (V/S_a)$$

V – volumen prostora v m³

S_a – absorpcija vseh površin v m²

Classic reverberation time formula. Assumes an average absorption for all surfaces and a perfectly diffuse sound field.

Zaradi pomanjkljivosti Sabinove enačbe so nadaljevali še drugi:

Eyring - *Modification to Sabine based on the mean free path and accounting for reflection attenuation within a diffuse field.*

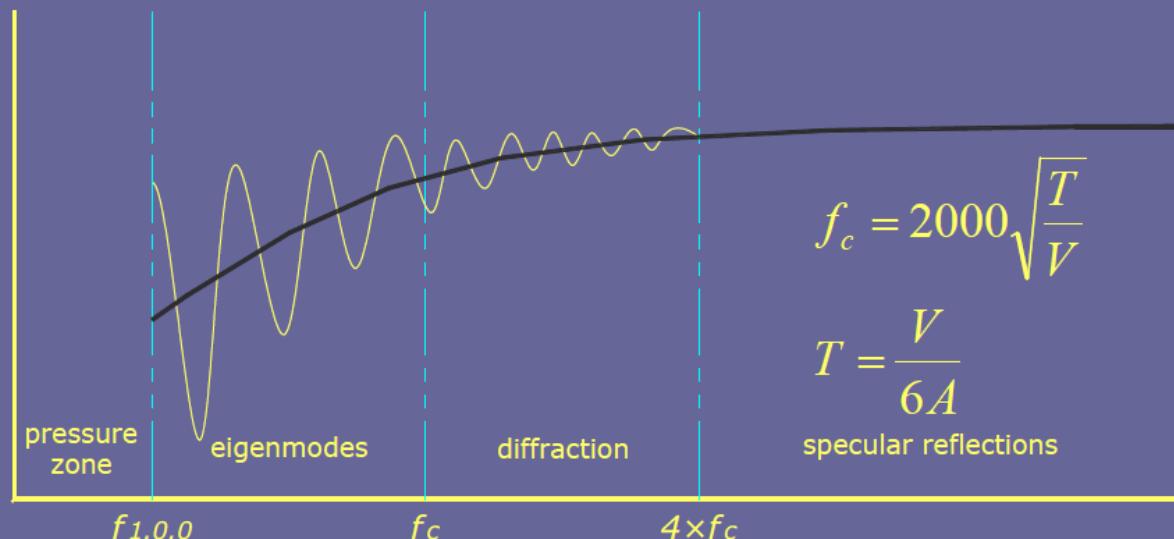
Fitzroy - *Modification to Eyring that accounts for unequal axial absorbancy.*

Fitzroy 2 - *Reinhard Neubauer's modification to Eyring that accounts for an "almost two dimensional" sound field. (Introduces the a* term)*

Arau - *Same consideration as Fitzroy, but calculates unequal absorbancy in a different way.*

Millington - *Same consideration as Fitzroy, but accounts for the absorbency of each surface individually*

WHEN DO WE CONSIDER A ROOM 'SMALL'?

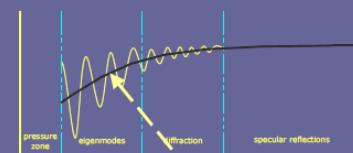


f_c – Schroederjeva tranzicijska frekvenca: tranzicija med valovno in žarkovno akustiko oz. meja med reverberantim in modalnim/resonančnim (velike razlike v SPL-u)

T – reverberaciski čas

V – volumen prostora v m³

LOW FREQUENCIES IN AN ENCLOSURE



$$f_{n_x, n_y, n_z} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{l_x} \right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y} \right)^2 + \left(\frac{n_z}{l_z} \right)^2}$$

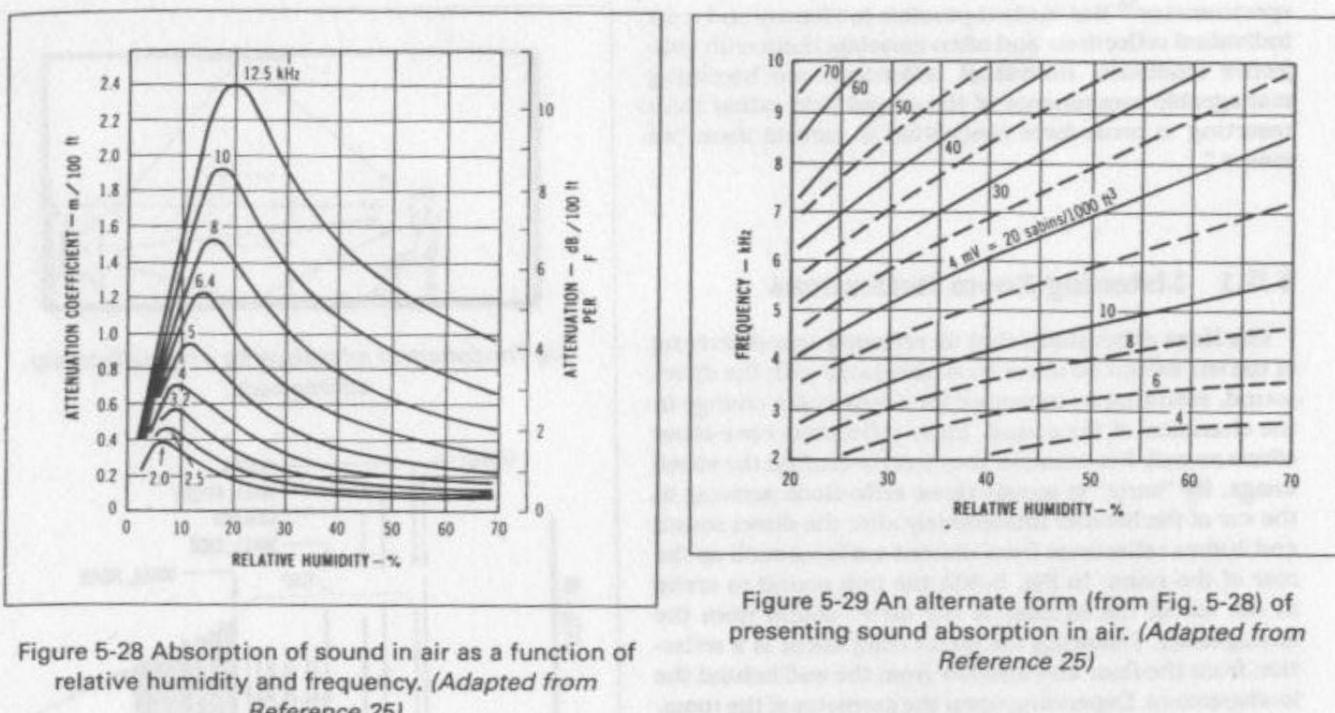
RT60:

- Je meritev odmevnega časa dobro premešanega/statistično naključnega reverberacijskega zvočnega polja
- Je podatek v kolikšnem času reverberacijsko zvočno polje pojenja za 60 dB ko je zvočni izvor utihnil.

To tudi pomeni da v majhnih prostorih ni smiselno govoriti o reverberaciji kot takšni sploh v nizkih regijah, to velja za velike prostore.

1.12. Klimatizacija prostorov v studiju

- Omeniti velja tudi kakovost zraka. **Molekule zraka** so (njihove prenašajoče vibracije) **krive**, da sploh **slišimo zvok**. Pod **vodo je recimo zvok mnogo hitrejši**, saj je gostota prenašalnega medija večja; in točno to je razlog, zakaj moramo prostor, namenjenem za snemanje ali predvajanje zvoka, **konstantno oskrbovati z enakomerno kvaliteto zraka**. Če je ne, se nam vлага v zraku spreminja in s tem **absorpcija zvoka**, ki jo **povzroča vlagu v prostoru**.



Slika 16: Absorpcija zvoka in vlažnost zraka
Vir: Ballou, Glen: Handbook for Sound Engineers, Howard W. Sams & Co., 1991, str. 127.

1.12. Klimatizacija prostorov v studiju

- Omenimo lahko tudi **neprijetno zatohlo vzdušje v prostoru**, ki neposredno vpliva na **ustvarjalce** – izvore zvoka. Recimo da imamo moderatorja, ki mora dalj časa povezovati oddajo, ali pevca, ki se na vso moč trudi »ujeti« pravi ton, pri tem pa ga še ovira nekvaliteten zrak. Glasbenikom tudi **ni prijetno** ustvarjati v takšnem prostoru.
- Vendar ko dodamo **klimatizacijske naprave**, smo s tem tudi povzročili **povečanje** nivoja **hrupa** v snemalnem prostoru. Zato obstajajo specialni klimatizacijski **difuzorji zraka**, ki čim bolj razpršijo gibajoči hrupni zrak, prihajajoč iz izhodne šobe **klimatizacijske naprave**, pa tudi sam **pretok zraka** mora imeti primerno **nizko hitrost** in **zadosten pretok**. Napravam, ki se uporabljajo v studiih, rečemo tudi **HVAC** (Heating, Ventilating, and Air Conditioning): <http://en.wikipedia.org/wiki/HVAC>.

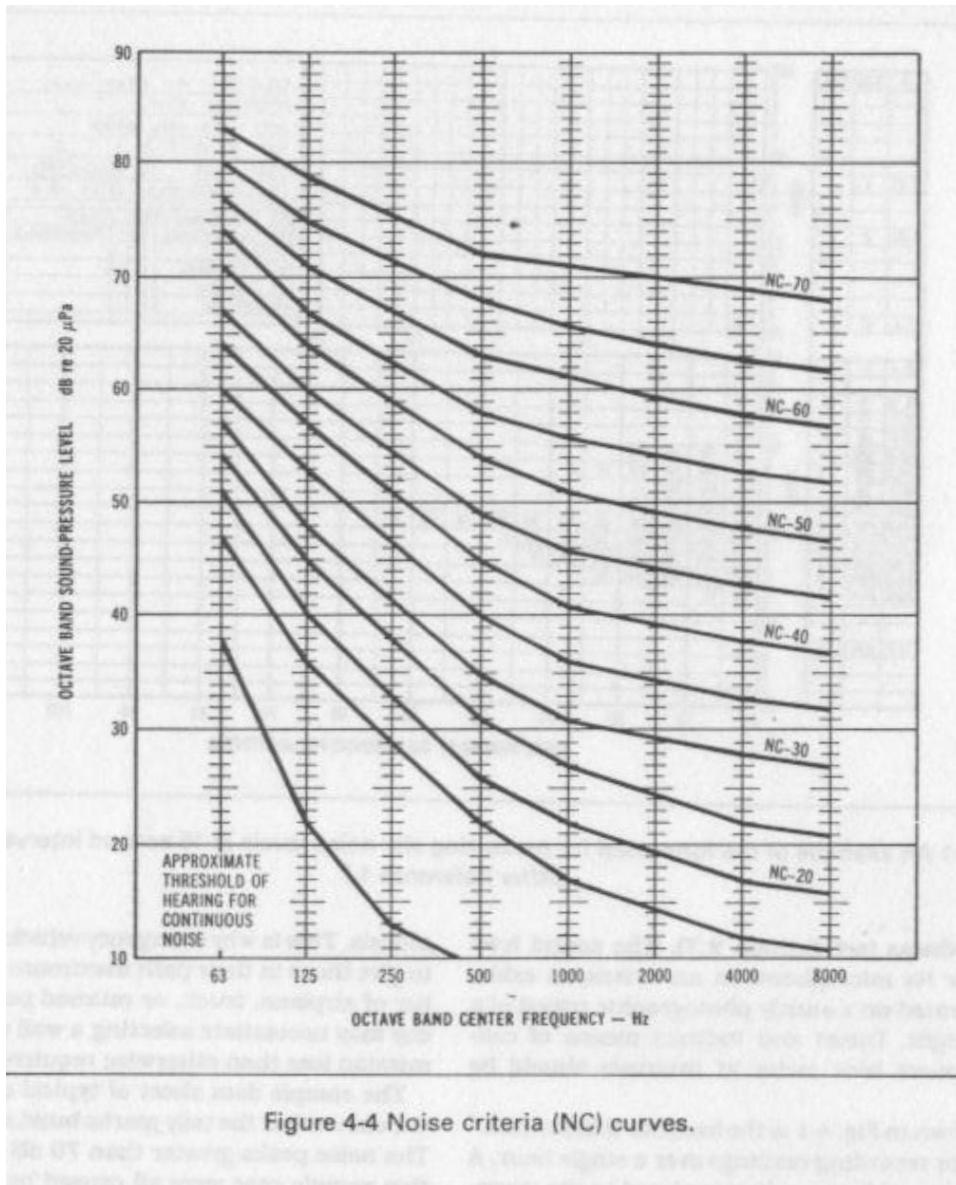
1.13. Kriterij hrupa v studijih

- **Hrup** prihaja od **nezaželenih virov zvoka** in nam ni ljub pri snemanju, saj je lahko slišen pri predvajjanju, **omejuje** namreč **dinamični razpon posnetka**.
- Snemalni prostor mora **biti izoliran od okoliških izvorov hrupa**. Za to obstajajo posebni grobi gradbeni posegi, kot so plavajoča tla (ni zvočnih mostov med stenami, podom, stropom...), dvojne stene, napolnjene z gosto izolacijo (double leaf wall)... Narediti moramo tako rekoč **sobo v sobi**. Skratka, sobo je potrebno izolirati od vseh morebitnih zunanjih motečih elementov, ne samo zvočno slišnih, temveč **tudi vibracijskih**. Ko to dosežemo glede na izbrane kriterije in standarde, pa se moramo lotiti tudi **morebitnih izvorov** motečih zvokov in vibracij v samem prostoru, kompleksu, poslopju. To so lahko sama snemalna oprema, ventilacija, klimatizacija, ogrevalna tehnika, steklene površine, obstoječe stene, ki so nepravilno tretirane, kanalizacijske in vodoinštalaterske napeljave, zunanja in notranja **elektromagnetna sevanja**...

1.13. Kriterij hrupa v studijih

- Za snemalne prostore se **kriterij** najnižjega nivoja **hrupa nenehoma zaostruje**. Za to so »krivi« **novi nosilci/mediji zvoka** in novi digitalni snemalniki, ki omogočajo **večji dinamični razpon** oz. skoraj »brezšumno« snemanje zvoka. Tako je bil še pred desetimi leti povprečen NC kriterij ca. 30-35 (Noise Criteria), dandanes pa pada proti 20, »high end« studii pa dosegajo tudi **NC15** in **celo NC10**. Pod NC20 je slišna meja za kontinuiran hrup. Takšne zahteve za snemalne studie izpolnjujejo predvsem tam, kjer se ukvarjajo z **najzahtevnejšo produkcijo**, kot je recimo **klasična glasba**. Ta ima tudi **največji dinamični razpon** od vseh glasbenih zvrsti.
- Za takšen dosežek »**tišine**« v snemalnem prostoru so potrebni **temeljiti**, izredno strokovni gradbeni posegi in neverjetne količine **izolacije** in je skoraj nemogoče brez posebnih metod.

1.13. Kriterij hrupa v studijih

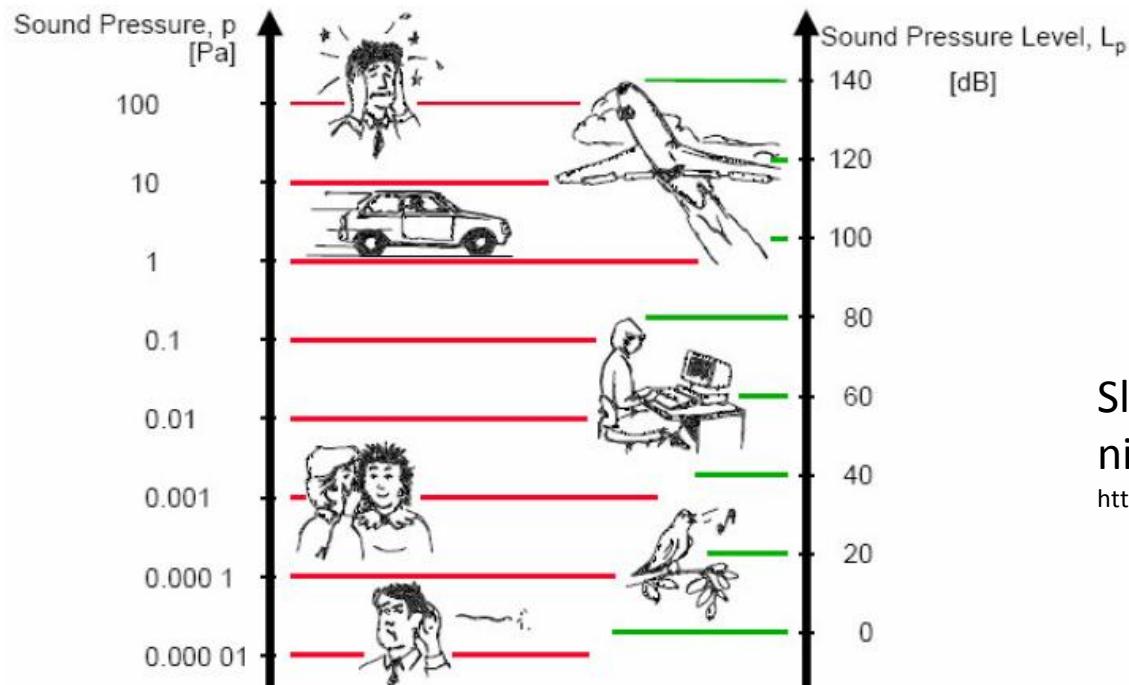


Slika 17: NC krivulje

Vir: Ballou, Glen: Handbook for Sound Engineers, Howard W. Sams & Co., 1991, str. 73.

1.2. Soba v sobi – Box In a Box

- **Sistem „sobe v sobi“** se uporabi kadar se je potrebno **zaščititi pred hrupom iz okolice in obratno**, da tudi mi koga morebiti ne motimo.

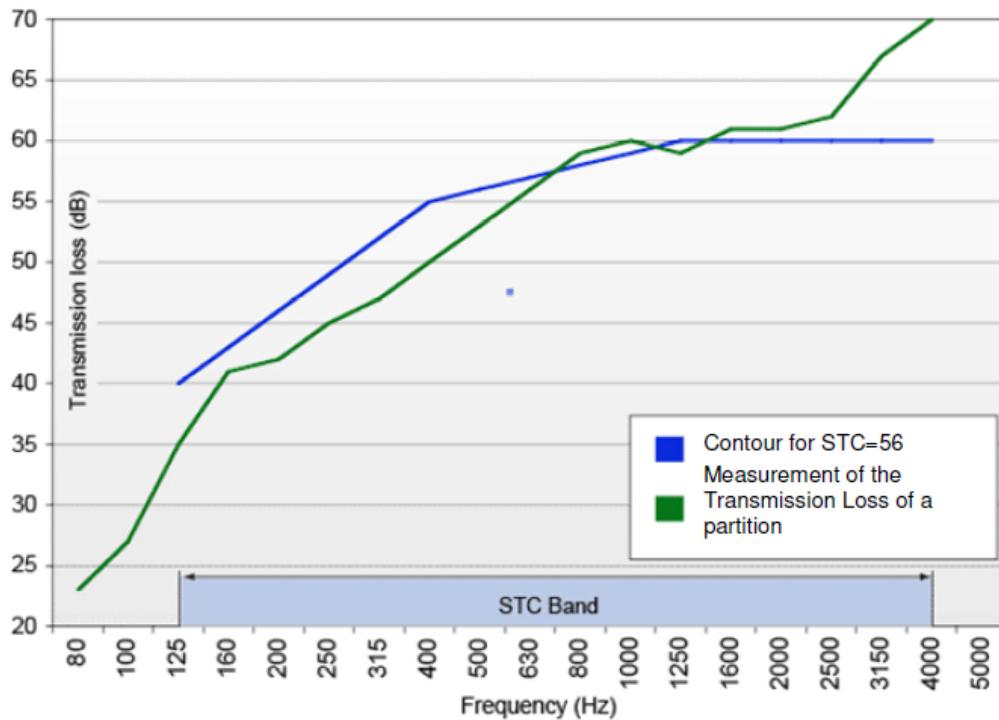


Slika 18: Primerjava različnih nivojev hrupa

<http://www.bksv.com/Library/Primers.aspx>

1.2. Soba v sobi – Box In a Box

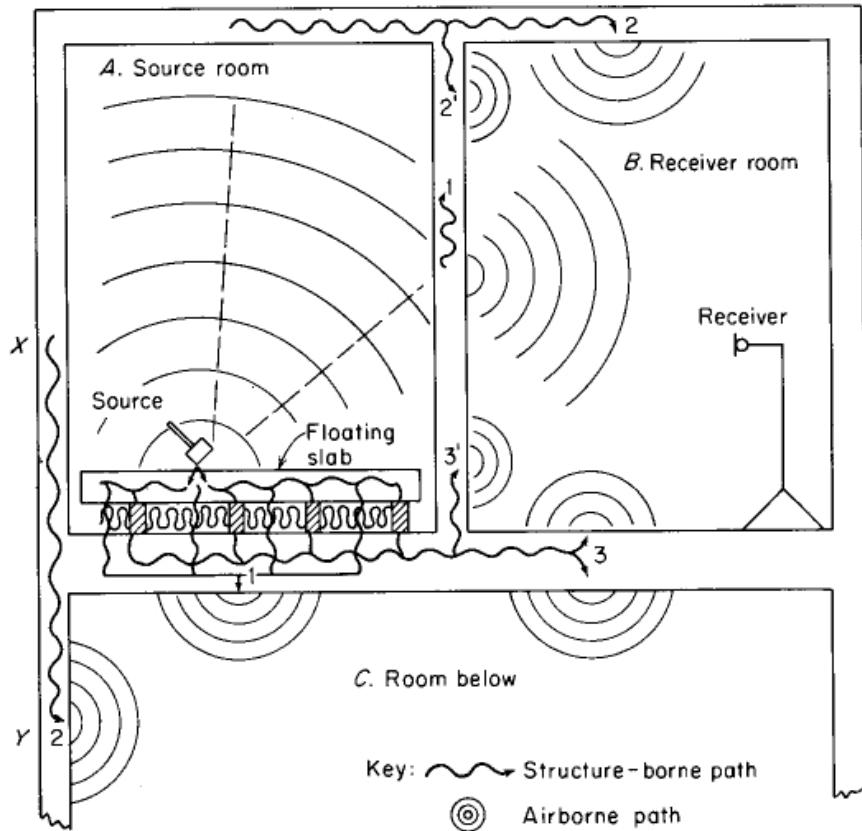
- Zvok narašča logaritemsko, kar pomeni da krivulja ne narašča linearno z glasnostjo.
- Nižje kot so frekvence, težje se je izolirat od okolice in obrato. Navedene specifikacije proizvajalcev sistemov „sob v sobi“ znajo biti tudi zavajajoče, če se ne izbere primerna metoda soudproofinga.



Slika 19: STC (Sound Transmission Loss) kontura za produkt STC-56

1.2.1. Prenašanje zvoka

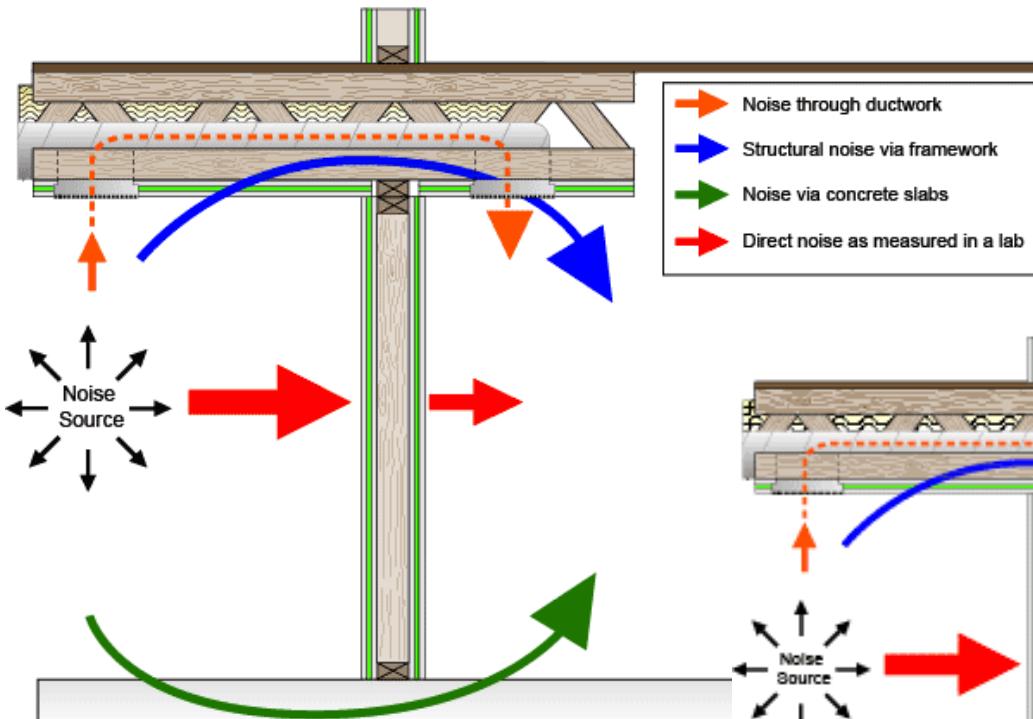
- Zvok v prostorih se **prenaša po strukturi**, kjer ni **prekinjen zvočni most**, pri običajni gradnji si s tem ne delajo skrbi, zato lahko v stanovanjskih blokih pa tudi v običajnih in večstanovanjskih hišah slišimo kako se **zvok prenaša iz prostora v prostor tudi če nista direktno povezana**.



Slika 20: Prenos zvoka preko strukture/konstrukcije

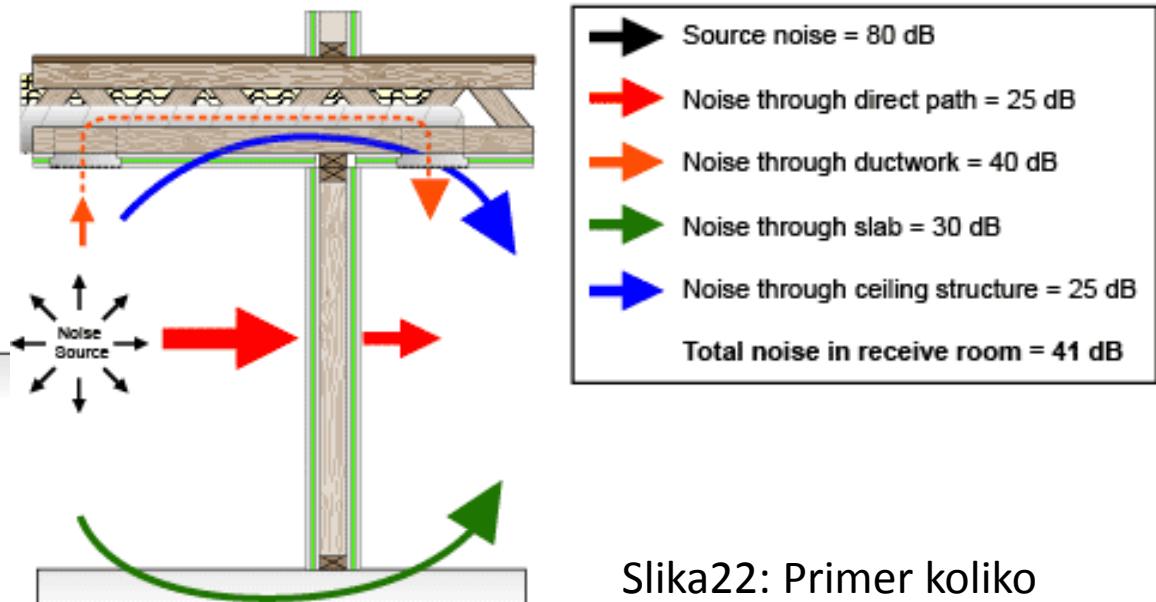
Vir: <http://www.mne.psu.edu/lamancusa/>

1.2.1. Prenašanje zvoka



Slika 21: Prenosi zvoka preko različnih poti

Vir: <http://www.greengluecompany.com/>

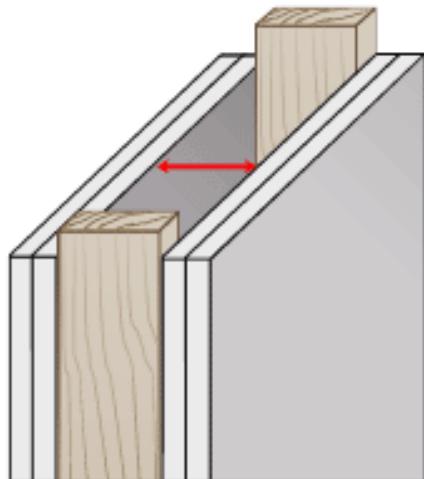


Slika 22: Primer koliko zvoka se lahko prenese v sosednji prostor

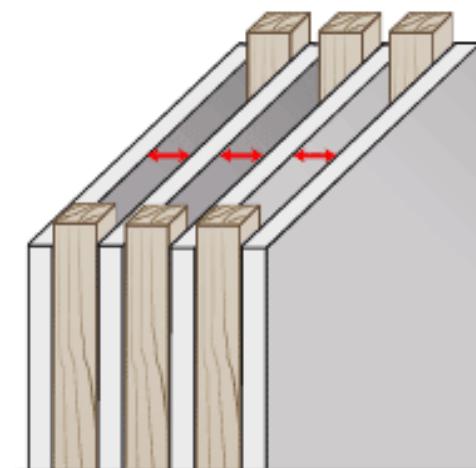
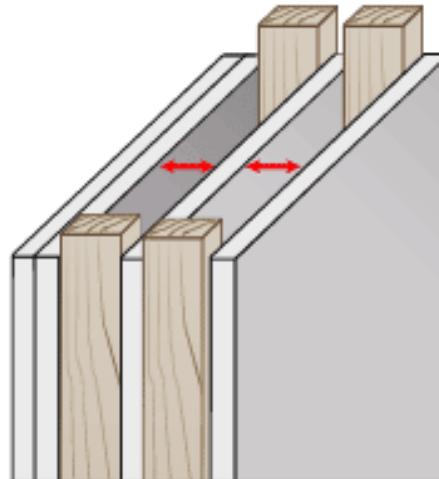
Vir: <http://www.greengluecompany.com/>

1.2.2. Kako s pregradnimi stenami

- Ko se delajo **pregradne stene** „sobe v sobi“ je logično da je **več bolje** a vendar **temu ni tako**. Iskazalo se je da če imamo **več kot dvojno steno** prihaja do **neželenih resonanc**.



Large Air Space



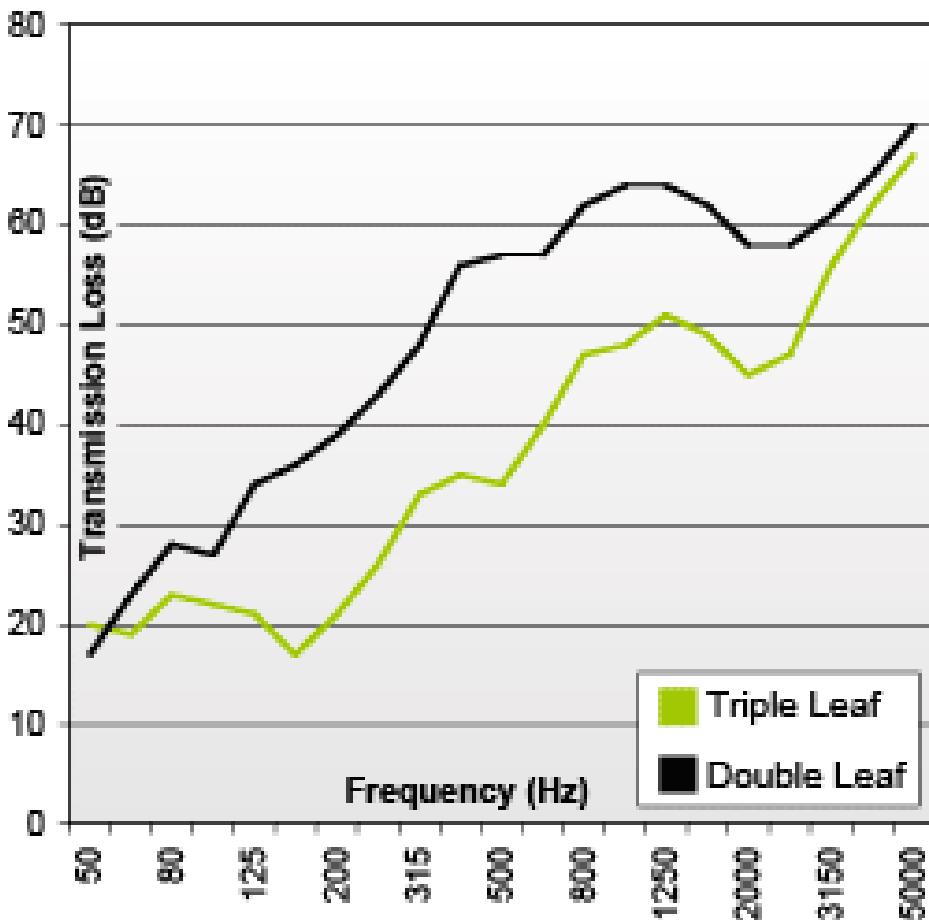
Little Air Space

Slika 23: Primer „double leaf“, „triple leaf“ in quadriple leaf“

Vir: <http://www.greengluecompany.com/>

1.2.2. Kako s pregradnimi stenami

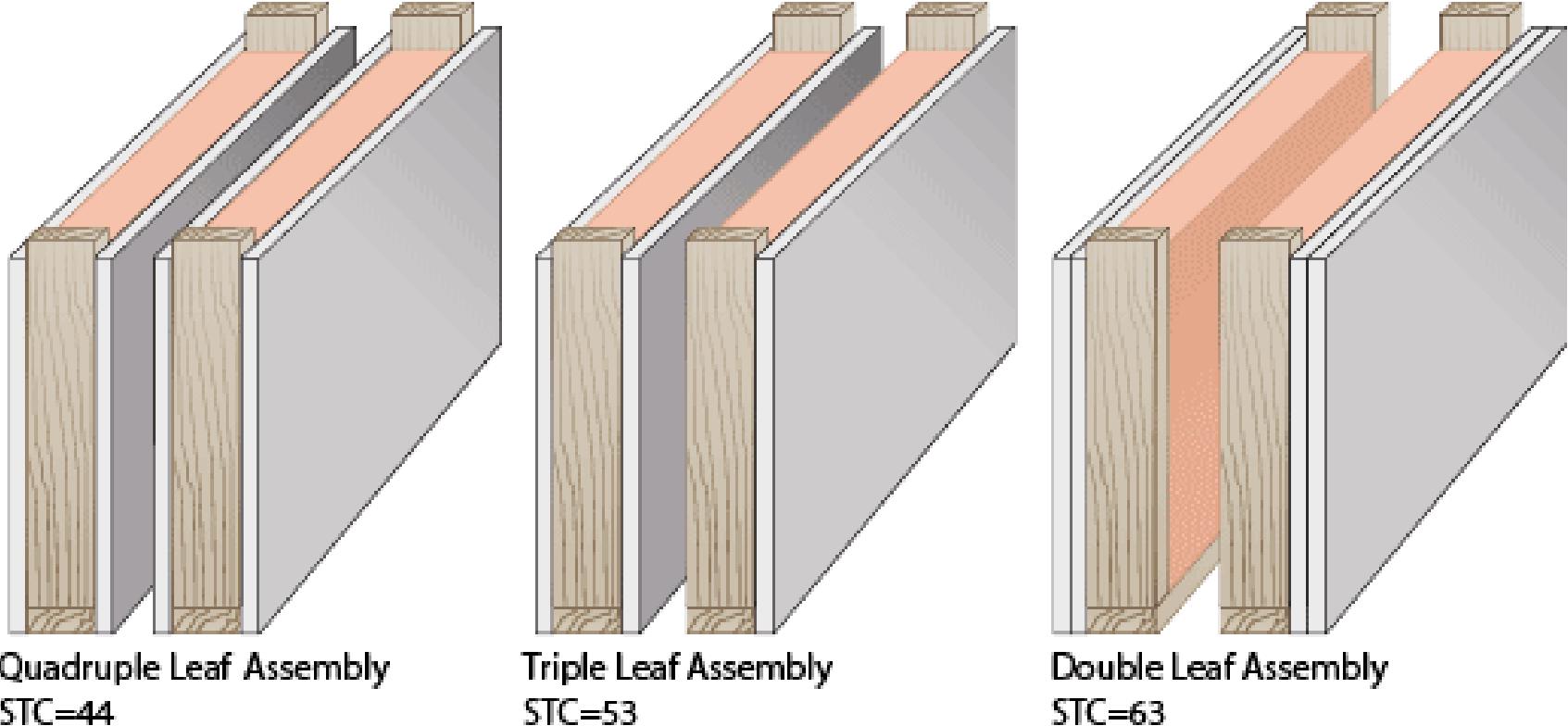
Some examples from lab tests



Slika 24: Primerjava „triple“ leaf
in „double leaf“
izgube prenosa hrupa

Vir: <http://www.greengluecompany.com/>

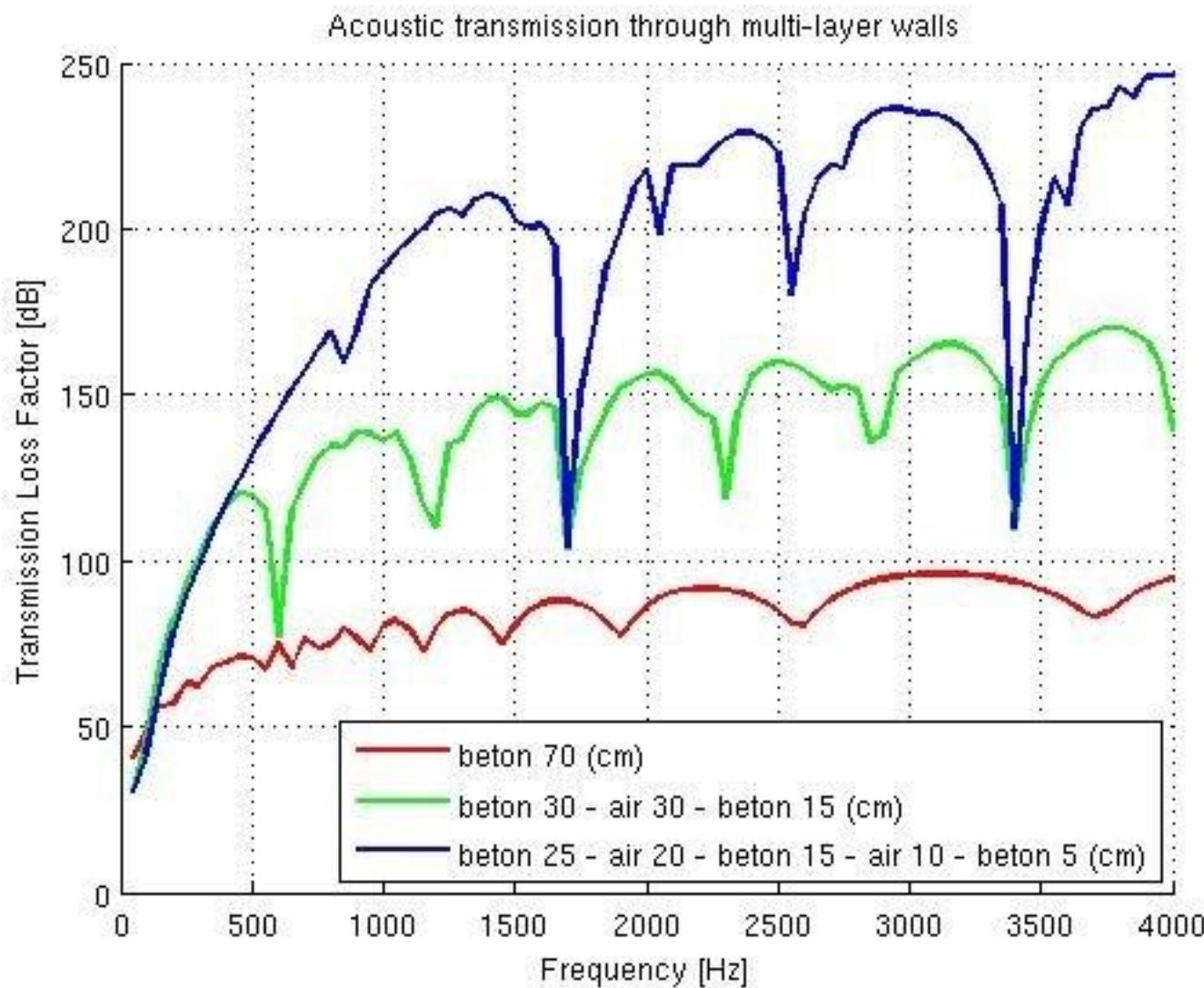
1.2.2. Kako s pregradnimi stenami



Slika 25: Primerjava „triple“ leaf in „double leaf“ izgube prenosa hrupa

Vir: <http://www.greengluecompany.com/>

1.2.2. Kako s pregradnimi stenami



1.2.3. Primer izdelave plavajočega poda



Slika 26: polaganje elastomeričnih izolatorjev in mehke kamene volne



Slika 27: prekrivanje s podložno plastjo

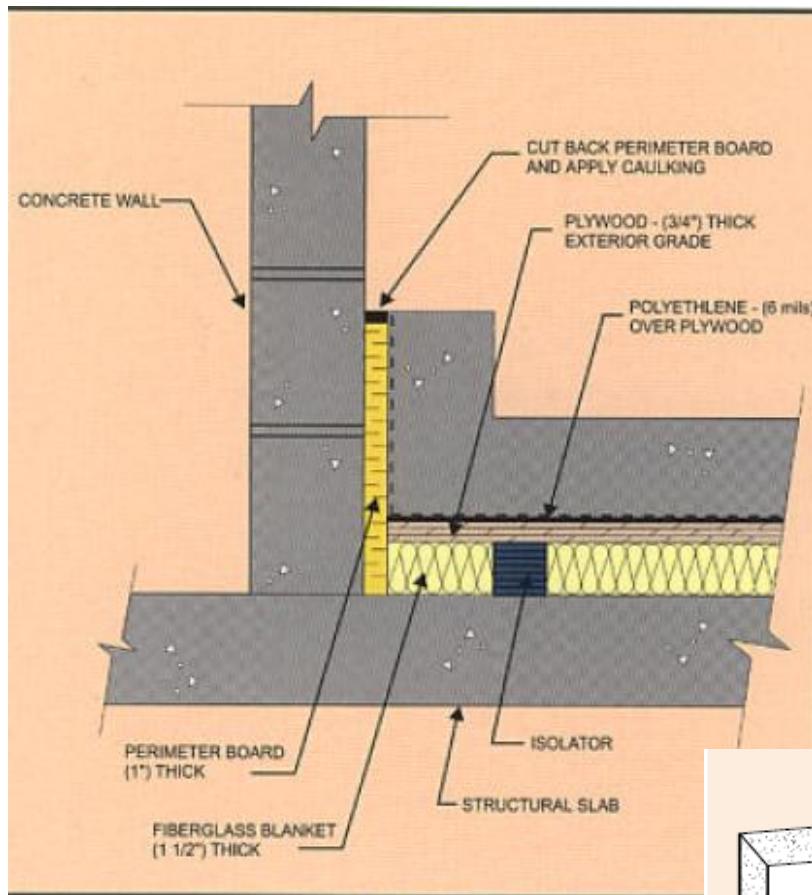
1.2.3. Primer izdelave plavajočega poda



Slika 28: paropropustna folija, pripravljeno za vlivanje betonske plošče

Vir: <http://www.kineticsnoise.com/arch/rim/concrete.aspx>

1.2.3. Primer izdelave plavajočega poda

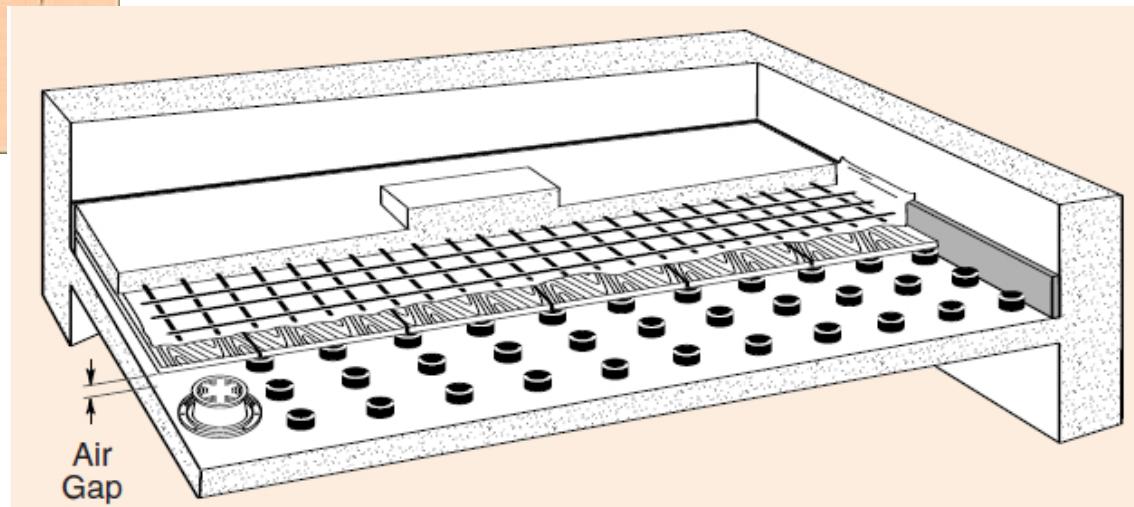


Slika 29: Plavajoči pod prerez shematsko

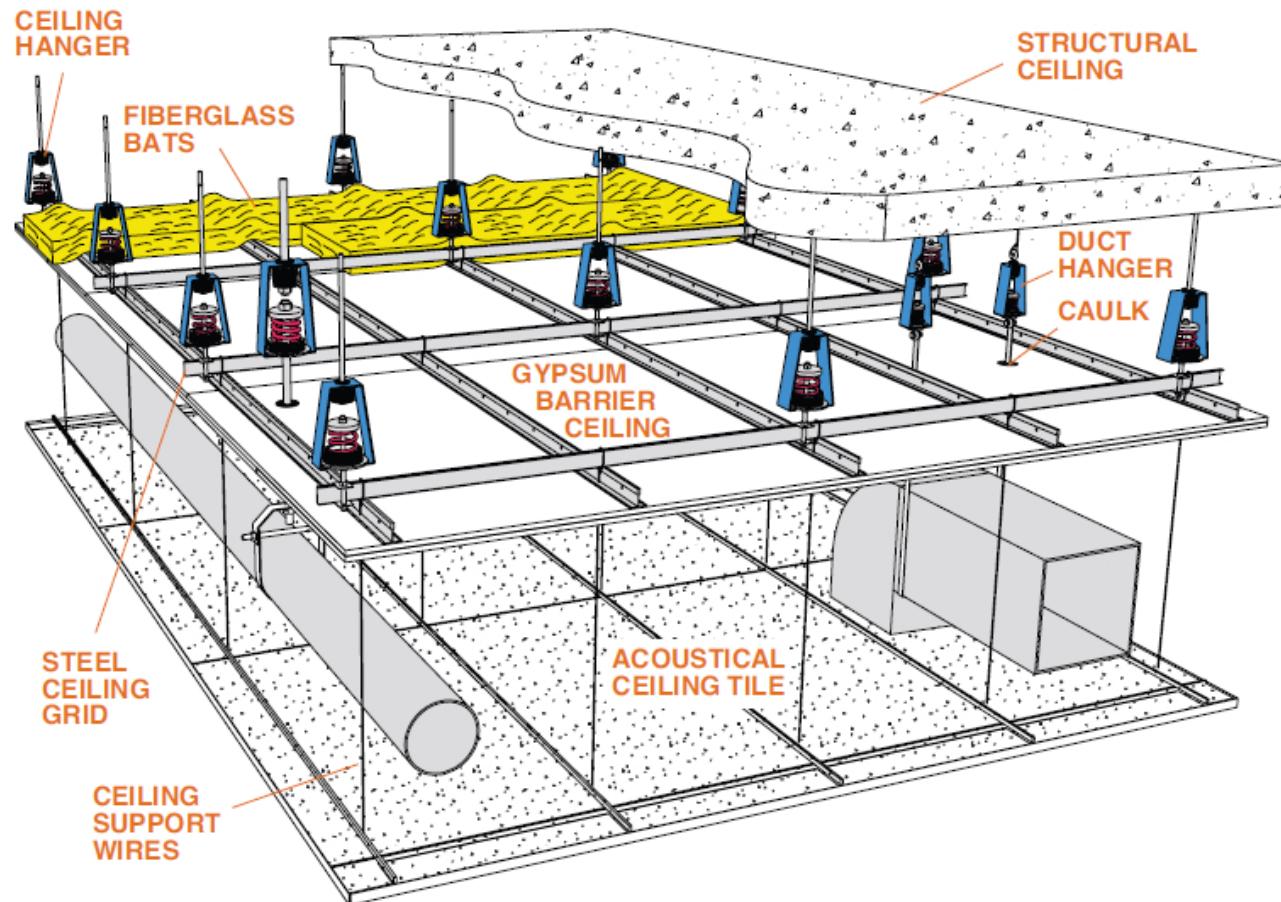
Vir: <http://www.vibro-acoustics.com/>

Slika 30: Plavajoči pod skica

<http://www.mason-ind.com>

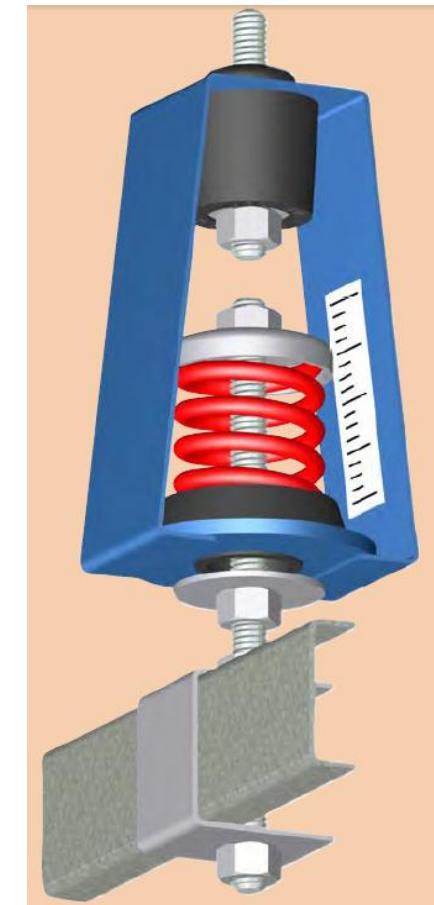


1.2.4. Obešen strop



Slika 31: Prikaz obešanja stropne konstrukcije

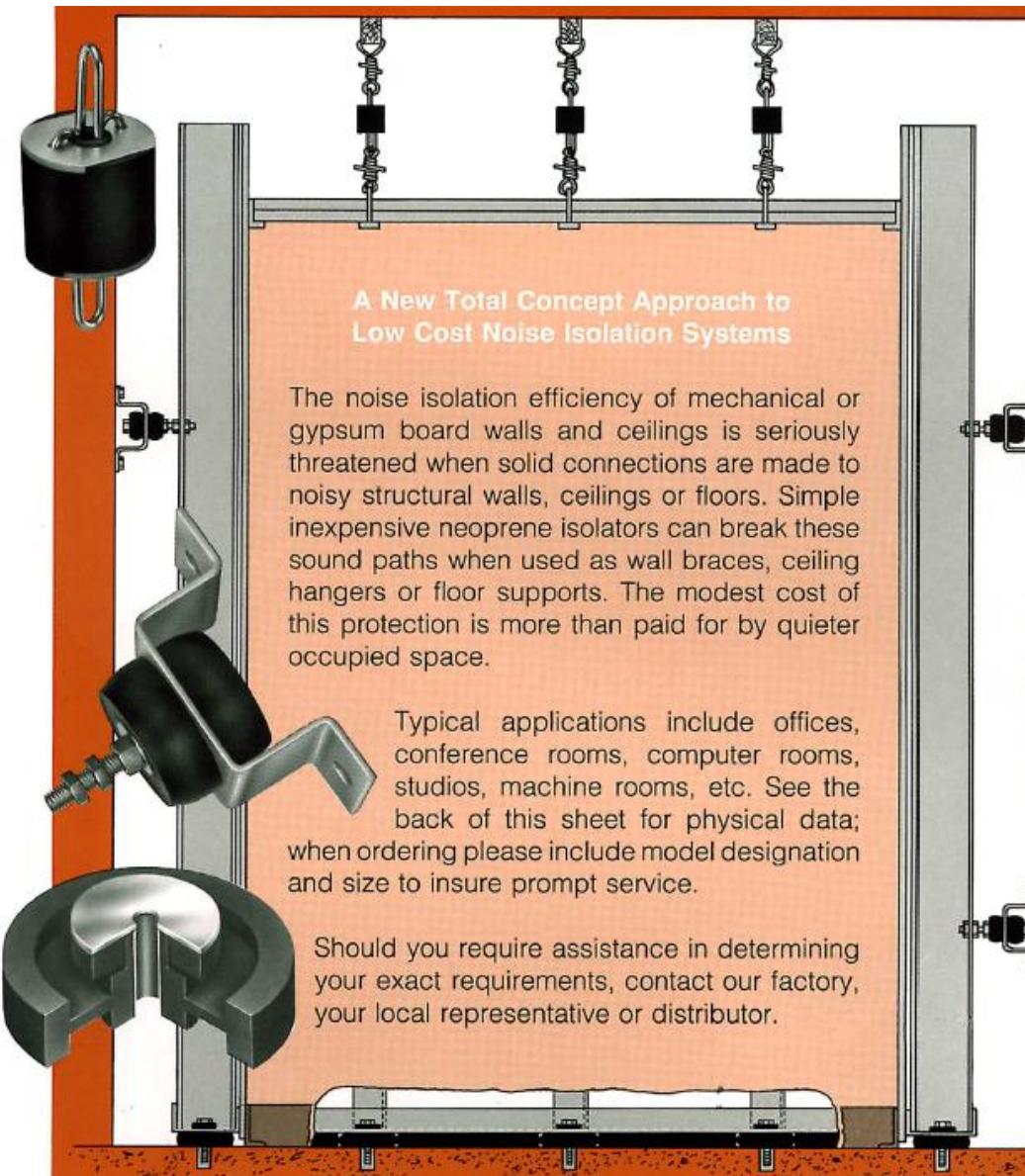
<http://www.mason-ind.com>



Slika 32: Detajl akustičnega obešala

<http://www.mason-ind.com>

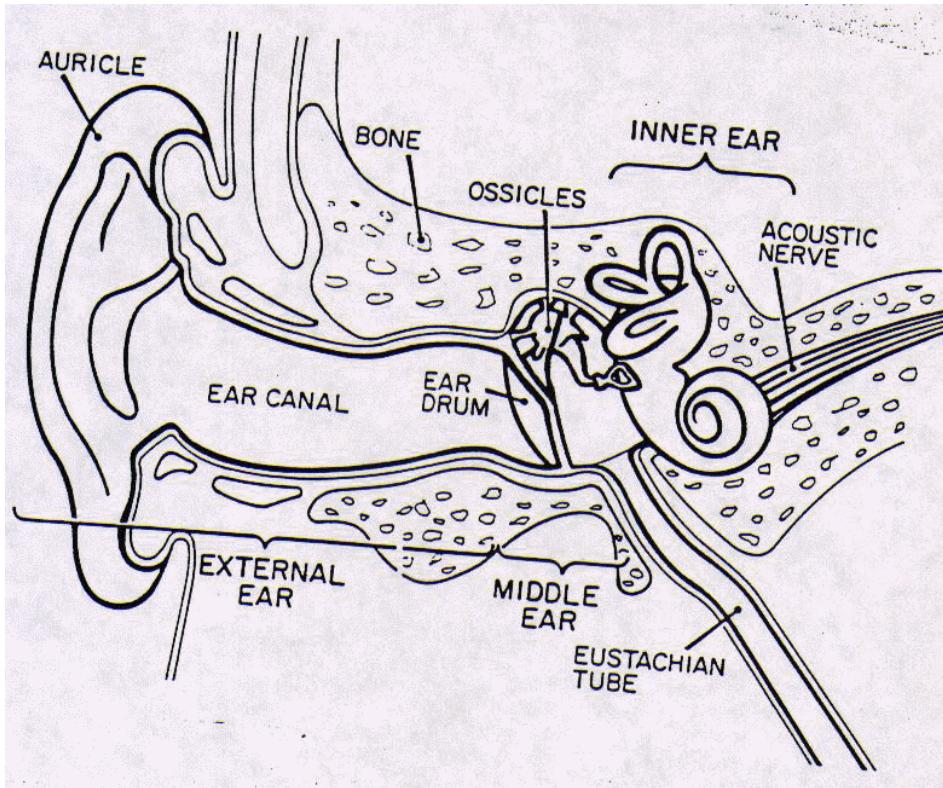
1.2.5. Poenostavljen sistem „sobe v sobi“



Slika 33: Vsaka površina prostora je vpeta na elastomeričnih elementih

<http://www.mason-ind.com>

2. Psihoakustika in kako slišimo



Slika 34: Sestava ušesa

<http://ehs.sc.edu/modules/Noise/hearing.htm>

Ko **zaznamo zvok** ali hrup naše telo **spreminja** s pomočjo ušesa **zvočno valovanje v živčne impulse**, samo zvočno valovanje pa nastane ko se molekule zraka mehanično vznemiri.

Frekvenca nam pove kako je **zvok nizek ali visok**, fizikalno pomeni **koliko oscilacij** je na **sekundo (Hz)**.

Intenziteta je **glasnost zvoka** in se meri v decibelih **dB**.

2. Psihoakustika in kako slišimo

Kako uho deluje:

- **zvočno valovanje vstopi** v ušesni kanal in **povzroči nihanje bobniča**;
- **vibracije** gredo preko 3 **povezanih kosti** v **srednjem ušesu**;
- to **gibanje povzroči premikanje tekočine** v srednjem ušesu;
- ta **tekočina ukrivlja na tisoče majhnih občutljivih „dlačic“** oz. **celic** katere **spreminjajo kinetično energijo vživčne impulze**;
- **živčni impulzi** se preko **slušnega živca** prenesejo v **možgane**;
- **možgani te signale sprocesirajo** tako, da nam **povedo kaj sploh slišimo**.

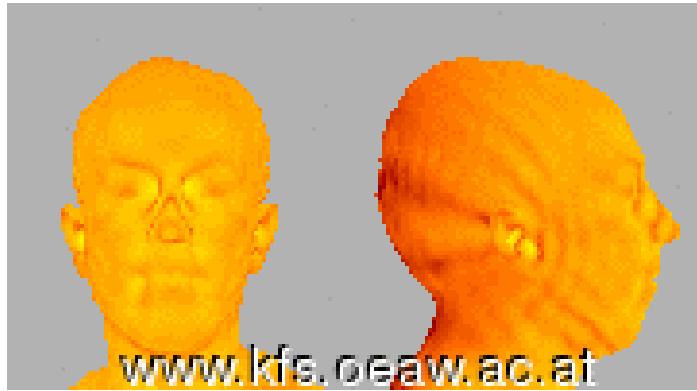
2. Psihoakustika in kako slišimo

- **Psihoakustika** pa pomeni **kako človek subjektivno zaznava zvok**. To kar slišimo ne slišimo zgolj z ušesi ampak tudi z možgani!
- Torej slišan zvok je **kombinacija mehaničnega delovanja ušesa in naknadne obdelave možganov...** + individualnih asocijacij, preferenc, izkušenj individuma, vaj/učenje ipd.
- **Ne slišimo pa samo z ušesi** ampak tudi s **celotnim telesom**; od glave do pete...

Interesanten video:

http://www.ted.com/talks/evelyn_glenne_shows_how_to_listen.html

2. Psihoakustika in kako slišimo



www.kfs.oeaw.ac.at

Frequency= 10000Hz

Slika 35: Raziskave glede implantantov za sluh in kaj se dogaja z zvokom in glavo

Vir: http://www.kfs.oeaw.ac.at/content/blogsection/15/377/lang_8859-1/ in
<http://www.kfs.oeaw.ac.at/content/view/359>

Primer eholokacije:

<http://www.youtube.com/watch?v=G1QaCeosUmw&feature=related>

Zadnjih nekaj let se govori o človeških sposobnosti, da lahko »**slišimo**«/»**občutimo**« tudi frekvence mnogo **višje od 20.000Hz**:

<http://www.cco.caltech.edu/~boyk/spectra/spectra.htm>

http://www.kraske.ch/bilder_produkte/townshend/the Why_and_how_supertweeters.pdf

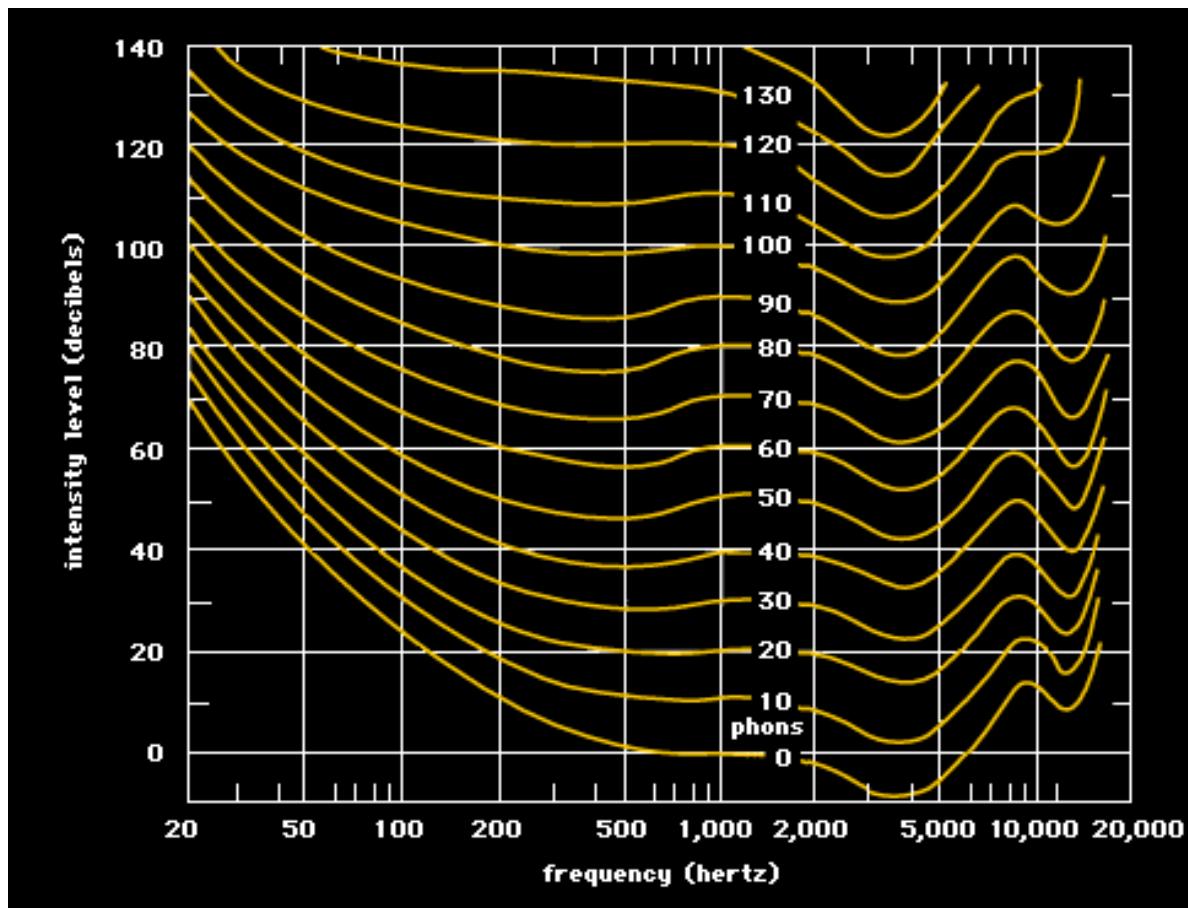
http://en.wikipedia.org/wiki/Hypersonic_effect

http://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasonic_hearing

<http://www.mendeley.com/research/inaudible-highfrequency-sounds-affect-brain-activity-hypersonic-effect/>

2.1. Kako človek dejansko sliši zvok?

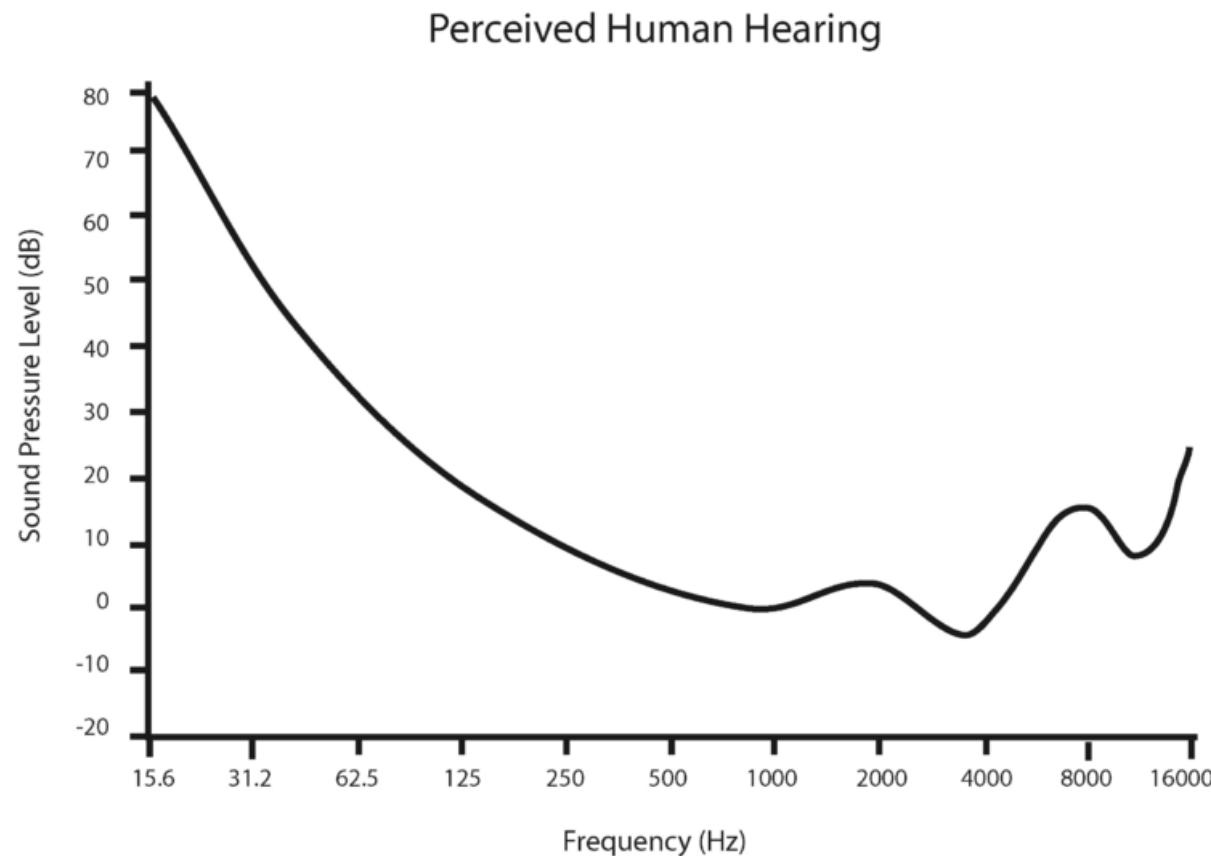
- Zvok katerega slišimo z ušesi **nikakor ni frekvenčno linearen**. Slika spodaj je **Fletcher-Munsonova krivulja**. Človek ima **specializiran sluh**, da sliši **najbolje frekvence** v res grobem med **1000-6000Hz**, to pa je tudi **področje**, kjer se nahaja **glavnina frekvenc človeškega govora**...



Slika 36: Fletcher-Munsonova krivulja

Vir: <http://www-ti.informatik.uni-tuebingen.de/~tiw3/mmtip/aufgabe4/flmun.gif>

2.1. Kako človek dejansko sliši zvok?



Slika 37: Poenostavljena F-M krivulja

Vir: <http://en.wikipedia.org/wiki/Psychoacoustics>

2.2. Problem ali izliv!?

- **Kako sedaj zaprt prostor urediti, da lahko človek sliši čim manj koloriran zvok s strani sobe in čim bolj nevtralno predvajan zvok iz zvočnikov?**
- **Zvok je sproduciran v namenskem prostoru oz. kontrolni sobi, ki je drugačen od domačega prostora ali javnega kraja kjer se predvaja, v avtu, supermarketu...**
- **Kako doseči čim boljšo možno translacijo zvoka iz enega prostora v drugega?**
- **+ naše uho je že mehanično po naravi zelo selektivno...**
- **+ človeška psihoakustika nam marsikaj „prikaže“ drugače kot je v resnici...**

... mogoče enega dne, ko bomo popolnoma preskočili v digitalen svet in se bomo lahko povsem izognili zakonom fizike, ne bo potrebno več toliko komplikiranja.

... ampak zaenkrat in do takrat ☹...