



EXAMENSARBETE

JULIUS JANSSON

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Medieteknik
Identifikationsnummer:	2366
Författare:	Julius Martin Johannes Jansson
Arbetets namn:	Förbättring av akustiken i ett lyssningsrum
Handledare (Arcada):	Johnny Biström
Uppdragsgivare:	Arcada / medieteknik
<p>Sammandrag:</p> <p>Att lyssningsrummet i ett hifi-system har för ändamålet lämpliga akustiska egenskaper är viktig för att skapa god ljudåtergivning. I professionella sammanhang som exempelvis inspelningsstudior är noggran design av de akustiska förhållandena en självklarhet och en förutsättning för studios användbarhet. För hemanvändaren är dock dylika konstruktioner utom räckhåll av både praktiska och ekonomiska orsaker, samtidigt som intresset för lyssningsrumsakustik ökar bland ljudentusiaster, och många känner därför förvirring över hur man som hemanvändare närmar sig problemet.</p> <p>Detta arbete beskriver akustikförbättrande åtgärder i lyssningsrum riktat till hemanvändaren. Läsaren får bekanta sig med de centrala begrepp som krävs för att kunna göra en analys av sitt lyssningsutrymme och ytterligare fördjupa sig i lyssningsrumsakustik. Vidare beskrivs ett antal enkla och kostnadseffektiva konstruktioner som är lämpliga i hemmet. Avslutningsvis undersöks ett verkligt blivande lyssningsrum i Arcadas lokalteter och lämpliga akustikelement konstrueras för utrymmet varpå deras funktion bekräftas genom mätningar och lyssningstest. Både mätmetoden och mätutrustningen presenteras och mätvärden över rummets efterklangstid jämförs när akustikförbättrande element successivt tillförs till rummet i flera steg.</p>	
Nyckelord:	Akustik, Audio, Ljudåtergivning, Hi-fi, RT-60, Efterklang
Sidantal:	40
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	14.12.2009

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Media technology
Identification number:	2366
Author:	Julius Martin Johannes Jansson
Title:	Förbättring av akustiken i ett lyssningsrum
Supervisor (Arcada):	Johnny Biström
Commissioned by:	Arcada / Media technology
<p>Abstract:</p> <p>The importance of appropriate acoustic conditions in the listening room when designing a HiFi system is a well known fact. In professional applications such as recording studios a well suited acoustic design is inevitable for the function of the studio. For the home users however such complicated constructions are out of reach because of both financial and practical reasons. At the same time the interest for acoustical treatment of the home listening room is growing rapidly, and many HiFi enthusiasts feel confused about how to approach the problem.</p> <p>This paper deals with acoustic design of the home listening room. The readers will be familiarized with the key concepts that are of importance to analyze the acoustic properties of ones listening room, and to further study the subject. Furthermore a number of effective and economical designs of acoustic elements suitable for home use are presented. Finally a real listening room is investigated and suitable acoustic elements are constructed for the room, and the results are confirmed with measurements and listening tests. Both the measurement method and the measurement equipment are presented and the measurement data is compared as the acoustic elements are gradually added to the room in a number of steps.</p>	
Keywords:	Acoustics, Audio, Sound reproduction, Hi-fi, RT-60, Reverberation time.
Number of pages:	40
Language:	Swedish
Date of acceptance:	14.12.2009

Förbättring av akustiken i ett lyssningsrum

Julius Jansson

Arcada – Nylands svenska yrkeshögskola
Medieteknik

Helsingfors 2009

INNEHÅLL

1	Inledning.....	- 5 -
1.1	Bakgrund.....	- 5 -
1.2	Syften, mål och avgränsningar.....	- 5 -
2	Begrepp.....	- 6 -
2.1	Ljudåtergivning.....	- 6 -
2.2	Reflektioner och resonanser.....	- 8 -
2.2.1	Tidiga reflektioner.....	- 9 -
2.2.2	Resonanser.....	- 9 -
2.2.3	Efterklang och modal decay.....	- 11 -
2.3	Absorption.....	- 13 -
2.3.1	Resonanta absorbenter.....	- 15 -
3	Praktiska lösningar.....	- 16 -
3.1	Absorbenter.....	- 16 -
3.1.1	Dämpande skycken och tyger.....	- 16 -
3.1.2	Mattor och möbler.....	- 17 -
3.1.3	Enkel panelabsorbent.....	- 17 -
3.1.4	Membranabsorbent.....	- 19 -
3.1.5	Resonator med perforerad panel.....	- 20 -
3.1.6	Ribbabsorbent.....	- 23 -
3.1.7	Kvartsvågspipa.....	- 24 -
3.2	Resonansdämpning genom placering av basmoduler.....	- 25 -
4	Rummet.....	- 27 -
5	Mätutrustning.....	- 30 -
5.1	Mikrofon och mikrofonförstärkare.....	- 30 -
5.2	Programvara och ljudkort.....	- 32 -
5.3	Ljudkälla.....	- 32 -
6	Mätning och lyssning.....	- 34 -
6.1	Mätning.....	- 34 -
6.2	Lyssning.....	- 39 -
7	Slutsatser.....	- 41 -

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Trots att det bland ljudentusiaster är vida känt hur viktigt lyssningsrummets akustik är för ljudupplevelsen har man traditionellt dragit sig för att åtgärda den dåliga akustiska förhållandena i sitt lyssningsrum samtidigt som man gärna spenderat stora summor på annan utrustning. Under de senaste årens hemmabioexplosion har dock trenden vänt och förbättrande av akustiken börjar bli ett allt vanligare inslag när man bygger upp sitt system och sitt lyssningsrum. Dock är förvirringen stor om hur detta skall åstadkommas på bästa sätt och på diverse internetfora sprids mängder av myter och felaktigheter.

Detta arbete kommer att behandla akustikförbättring av ett lyssningsrum i hemmiljö vilket länge intresserat mig som hifi-entusiast men också skapat mängder av problem och huvudbry på grund av nyss nämnda problematik. Vad som intresserar mig är hur långt amatören kan komma med universella regler och utan tillgång till mätutrustning och professionell hjälp.

1.2 Syften, mål och avgränsningar

Detta arbete är tänkt att fungera dels som en enkel guide för en hemanvändare att förbättra akustiken i sitt lyssningsrum och dels som en fallstudie där ett verkligt rum undersöks, i detta fall Arcadas blivande lyssningsrum, och då texten riktar sig till en hifientusiast förväntas att läsaren har viss grundläggande kunskap i akustik och ljudåtergivning. Texten behandlar inte studioakustik, ekofria rum eller andra professionella applikationer som står utanför hemanvändarens behov och budget, utan alla metoder och konstruktioner som beskrivs förväntas vara genomförbara och praktiska i hemmet. Därav undersöks inte heller några absoluta mätvärden eller standarder då sådana inte finns eller saknar relevans för en hemanvändare. Över huvud taget är mätningar någonting som är utom räckhåll för de flesta hemanvändare och någonting som förknippas med avancerade rumsbyggen varför jag vill undersöka hur långt man kommer genom enkla universella konstruktioner och enkel våglära. I slutändan är arbetet tänkt att resultera i en färdig plan för akustikförbättringen i Arcadas eget lyssningsrum.

2 BEGREPP

Då denna text delvis är ämnad att fungera som en guide för hemanvändare som vill förbättra kvalitén på ljudåtergivningen i sitt hifi eller hembiosystem är det av stor vikt att läsaren har en förståelse för några av de centrala begrepp som används inom ämnet. I detta kapitel kommer de mest grundläggande av dessa att förklaras. Läsaren förväntas ha kunskap om den grundläggande fysiken bakom ljud och vågrörelser.

2.1 Ljudåtergivning

Att förstå begreppet ljudåtergivning är grunden till allt konstruktivt audioarbete. Elementärt kan tänkas, men inte desto mindre är konceptet vagt och obekant för många. Ljudåtergivning, eller HiFi/High Fidelity ("hög naturtrogenhet") kan definieras som strävan efter att det inspelade eller på annat sätt skapade ljudmaterialet skall återges så korrekt som möjligt med avseende på inspelningen eller mixningen, utan färgningar och förvrängningar (Rossing Moore & Wheeler 2002:573-574). Exempelvis är målet med en puristiskt utförd inspelning av akustisk musik att lyssnarens upplevelse av materialet skiljer sig möjligast lite från det akustiska skeendet framför musikern eller musikerna vid inspelningstillfället. Vi vill således att hela kedjan från mikrofon till inspelningsutrustning och från mediet, exempelvis en cd-skiva, till uppspelningsutrustning såsom förstärkare och högtalare är så neutral som möjligt, d.v.s. förvränger signalen möjligast lite. All form av kompression, distorsion och frekvensförvrängning av materialet är ett steg bort ifrån detta.

Merparten av marknadens utrustning för inspelning såväl som uppspelning kan sägas vara mera eller mindre dåliga ljudåtergivare då deras förvrängande egenskaper oftast utan större problem kan detekteras i en kritisk testsituation. Ljudåtergivning kan således undersökas objektivt och vid uppbyggnaden av ett verkligt ljudåtergivningssystem lämnas betydligt mindre valmöjligheter åt lyssnaren rörandes utrustning och utformning. I kontrast till detta står den mer allmänt använda metoden där hifi-entusiasten förväntas lyssna till diverse utrustning och därefter avgöra vilken produkt som låter bäst i dennes öron. Nämda metodik är problematisk då det är svårt att avgöra vilken del i signalkedjan som ger upphov till en viss färgning och lyssnaren fastnar ofta i en evig cirkel av apparatbyten och uppgraderingar som ofta saknar betydelse.

Var kommer då lyssningsrummet in i detta? Som tidigare nämnts utgör högtalarna och lyssningsrummet den klart största påverkan på lyssningsupplevelsen och degraderingen av densamma. På marknaden finns eller har funnits in- och uppspelningsutrustning, exempelvis mikrofonförstärkare, cd-spelare, kablar och förstärkare, vars ljudförvrängande egenskaper ligger väl under hörseltröskeln, deras färgningar är alltså så små att de inte kan detekteras av det mänskliga örat. Hela kedjan från ingången på inspelningsutrustningen till högtalarutgången på lyssnarens förstärkare kan alltså i princip göras ohörbar. Högtalaren (och stereosystemet såväl som flerkanalssystemet) i dess nuvarande form med dess begränsningar och brister kommer dock alltid resultera i att uppspelat material kommer att kunna skiljas från den verkliga musiken som spelats in, trots att marknads bästa högtalare kan producera mycket övertygande resultat. Detsamma gäller lyssningsrummet som brukar benämnas som den sista komponenten i ljudåtergivningskedjan.

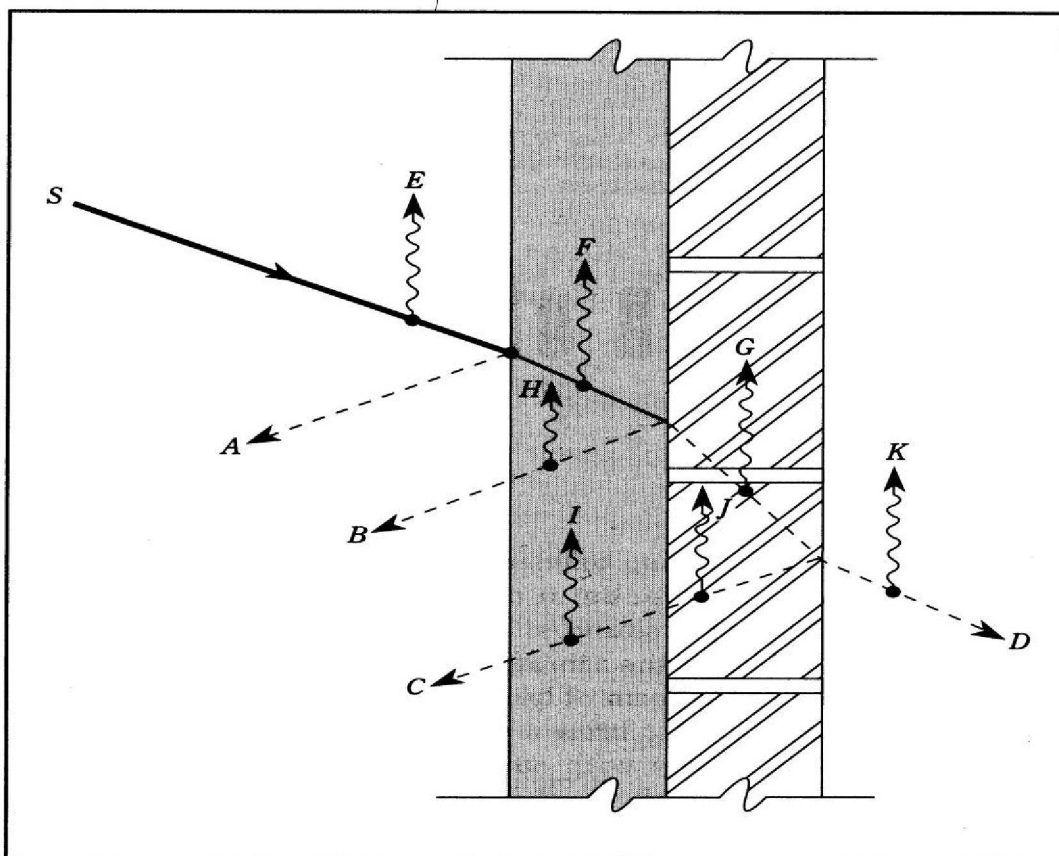
Vi kan alltså konstatera att högtalare och rum generellt sett påverkar kvalitén på ljudåtergivningen betydligt mera än övriga komponenter i kedjan. Detta leder givetvis till frågan om huruvida man då kan applicera några teorier om objektiv ljudåtergivning på ett hemsystem då kompromisser gällande högtalare och rum ändå kommer att behöva göras i slutändan? Är det inte trots allt bäst att låta lyssnaren fritt välja sitt system så att han eller hon är nöjd och trivs? Mycket riktigt så är ämnet alltför komplext för att några absoluta slutsatser för lyssningsrummets utformning skall kunna utformas, och hifi-världens uppdelning mellan ”subjektivister” och ”objektivister” är en stor förenkling av problemet. Det viktiga är dock att undersökningar har gjorts, bl.a. av Floyd E Toole/Harman Kardon (Floyd E. Toole. 2009), som pekar på att i blindtester föredrar människor allt som oftast goda ljudåtergivare framför dåliga. Exempelvis föredras nästan alltid högtalare med rak frekvenskurva framför högtalare med mindre rak frekvenskurva o.s.v. Människors hörsel och upplevelse av ljud är alltså förvånansvärt lika och det finns mål som är värda att eftersträva med sitt ljudåtergivningssystem som högst troligen kommer leda till en anläggning som föredras av både dig och andra människor.

Avslutningsvis är det viktigt att nämna att trots att rummet och högtalaren ofta står för den stora degraderingen av ljudåtergivningen betyder det inte på något sätt att

resterande delar i återgivningskedjan saknar betydelse. Trots att det finns ett fåtal utmärkta ljudåtergivare på marknaden är fortfarande merparten av produkterna på en onödigt låg ljudåtergivningsnivå och mycket kan ännu göras för att förbättra denna. Och kanske framför allt för kvalitén på det inspelade materialet.

2.2 Reflektioner och resonanser

Då ljud träffar en yta kommer det delvis att absorberas och övergå i värme, och delvis reflekteras enligt *figur 1*:

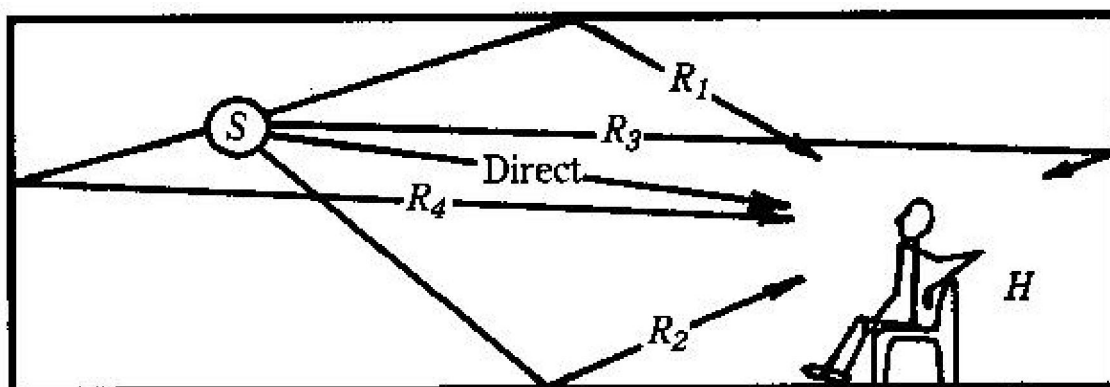


Figur 1. Infallande ljud S och dess reflekterade komponenter (Everest, F Alton 2002 :180).

A är den huvudsakliga reflektionen av det infallande ljudet S. E, F, G, H, I, J och K är värmeavgång orsakade av absorption. De reflekterade komponenterna B och C är resultatet av ljudets övergång mellan olika medier och saknar betydelse i dessa sammanhang. Detta är orsaken till de fenomen som kanske starkast degraderar ljudåtergivningen i ett lyssningsrum, nämligen rummets efterklang och resonanser.

2.2.1 Tidiga reflektioner

De tidiga reflektionerna och dess inverkan på lyssningsupplevelsen är lätta att inse och de flesta hifi-etusiaster är säkerligen bekanta med *figur 2*.

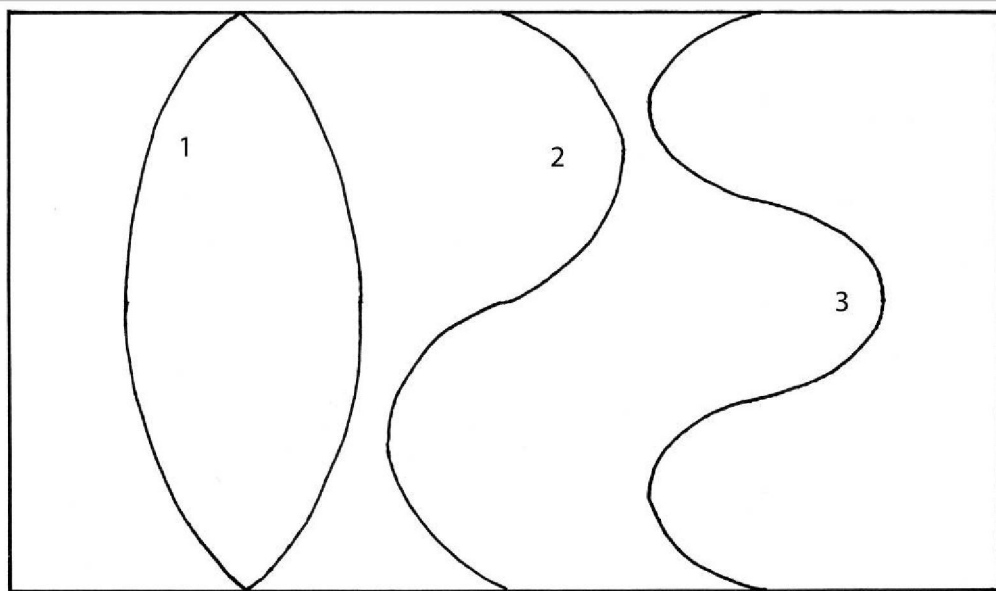


Figur 2. Tidiga reflektioner från ljudkällan S (Everest, F Alton 2002 :133)

Hårda reflekterande ytor fungerar i detta avseende som akustiska speglar och lyssnaren kommer att nås av den första reflektionen från exempelvis golvet eller väggen några millisekunder efter direktljudet som strålar från ljudkällan S. Detta kommer att skapa illusionen av multipla ljudkällor runt om i rummet som kommer att störa lyssningen och stereobilden och det är lätt att förstå att detta kraftigt påverkar ljudåtergivningskvalitén. De mest akuta reflektionerna brukar vara de från sidoväggar, golv och tak närmast högtalarna, då dessa är starkast.

2.2.2 Resonanser

Resonanser, eller stående vågor, hör till de mest omdiskuterade akustiska problemen i hifi-kretsar, och missförstånden är många. Den utan tvekan största delen av alla lyssningsrum är konstruerade med mera eller mindre parallella väggar. Kombinationen av avståndet mellan de parallella väggarna och luftspalten emellan dessa kommer att resultera i en serie resonanser/resonansmoder bestående av en grundfrekvens och multiplar av denna som kommer att sättas igång av högtalarna och klinga ut på ett för lyssningen mycket störande sätt.



Figur 3. Tre resonansmoder i ett rum

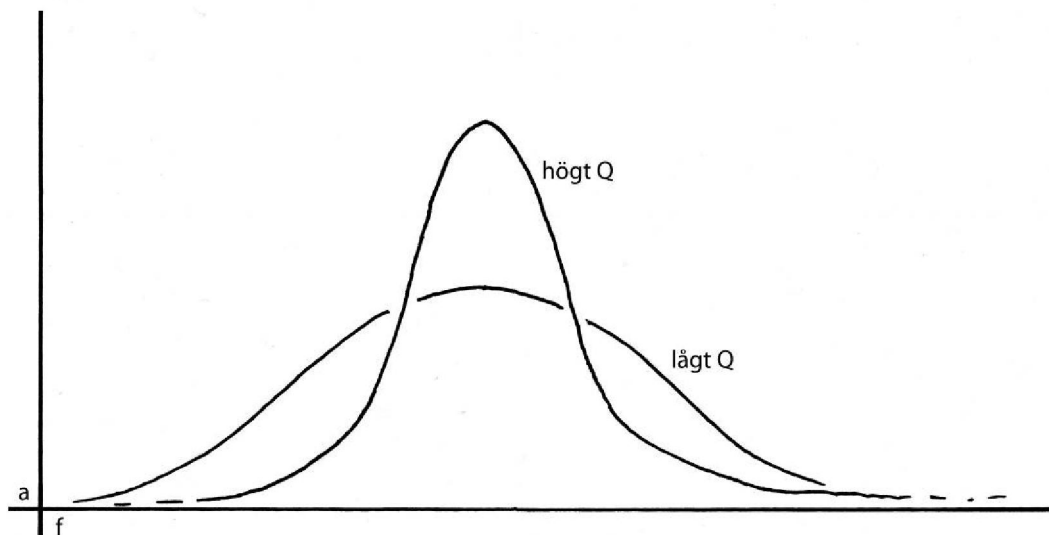
På bilden ses en resonansmod (1) mellan två väggar och två av dess multiplar (2,3). Som synes ges grundtonen av ljudets hastighet/väggarnas avstånd x2, det vill säga grundtonens halva våglängd ses på bilden. I ett rum med formen av en rektangulär låda (och även alla andra rum) kommer dock resonanser uppstå i flera olika dimensioner. Formeln i *formel 1* är då mera användbar än att räkna ut diskreta moder.

$$f_{lmn} = \frac{v}{2} \sqrt{\left(\frac{l}{L}\right)^2 + \left(\frac{m}{W}\right)^2 + \left(\frac{n}{H}\right)^2},$$

Formel 1.

L, W och H är rummets dimensioner. *l*, *m* och *n* är heltal och *v* ljudets hastighet i m/s. Om två av heltalen *l*, *m* och *n* sätts till noll sägs den erhållna resonansmoden att vara axiell (moden mellan två parallella väggar), om ett av heltalen sätts till noll är moden tangential och om ingen sätts till noll är moden indirekt. De axiala moderna är oftast de starkaste och mest akuta. Som exempel tar vi ett utrymme med dimensionerna 7,0 m x 5,0 m x 2,8 m. I detta fall kommer axiala moder att uppstå vid frekvenserna **f₁₀₀** = 24,5 Hz **f₀₁₀** = 34,3 Hz och **f₀₀₁** = 61,25 Hz

Resonansers egenskaper ges av dess Q-värde, eller kvalitetsvärde. Resonanser kan vara frekvensspecifika med en lång utklingningstid och har då ett högt Q-värde. Resonanser med lågt Q-värde sträcker sig över ett bredare frekvensband och klingar ut snabbare.



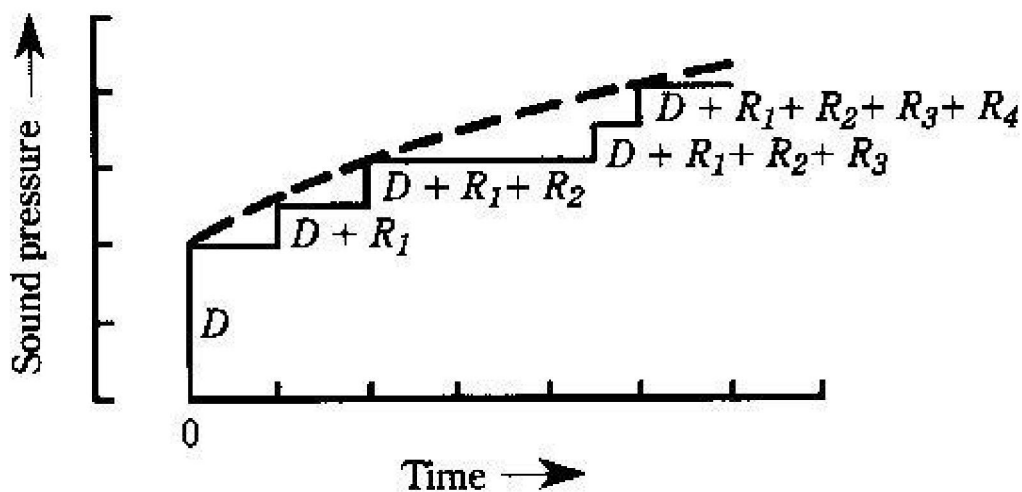
Figur 4. Högt Q-värde jämfört med lågt Q-värde

I stora utrymmen är dessa resonanser dock sällan kritiska då de hamnar mycket lågt i frekvens. I ett genomsnittligt hemlyssningsrum är situationen dock en annan och kraftiga resonanser uppstår ofta i det hörbara basregistret mellan 20 Hz och 100 Hz. Dessa resonanser degraderar starkt basåtergivningen och leder till otydlig ringande bas. I det rektangulära rummet kan resonanserna ofta förutsägas genom uträkning, men i andra fall och helst även alla fall bör mätningar tas till hjälp för att hitta problematiska resonanser som bör åtgärdas.

2.2.3 Efterklang och modal decay

Efterklang (eng. reverbation) i mindre rum bereder ofta en del problem och missförstånd. När en högtalare slås på i ett utrymme kommer högtalarens direktljud att först nå lyssnaren, men mycket kort därefter kommer, som vi sett, de första reflektionerna från rummets ytor, därefter de andra osv. Ljudnivån kommer snabbt att byggas upp och balansera sig på en viss nivå som utgörs av direktljud och ett myller av reflektioner från rummets alla ytor (*fig. 2*). När högtalaren sedan slås av kommer ljudet i rummet att avta för att till slut tystna helt. Tiden för hur länge det tar för ljudet att klinga ut är rummets efterklangstid (eng. reverbation time) och är en viktig faktor för att avgöra rummets kvalitéer som ljudåtergivningsutrymme. Olika standarder som exempelvis RT60 används för att beskriva rummets efterklangstid och dessa kan studeras närmre vid behov (Rossing Moore & Wheeler 2002:530).

I ett rum med överdriven efterklang kommer lyssnaren att akustiskt bländas av den kvardröjande ljudet i rummet och mängder av information i det inspelade materialet går förlorad. Alla kan lätt höra fenomenet genom att klappa med händerna i olika utrymmen och lyssna till ekot och ljudets utringning.



Figur 5. Direktljud D och reflektioner som bygger upp rummets efterklang över tid (Everest, F Alton 2002 :133)

Grafen visar hur ljudtrycket i ett rum byggs upp när de olika reflekterade komponenterna R läggs till direktljudet D. Tidsfönstret är i storleksordningen millisekunder.

Ett rums efterklangstid vid olika frekvenser kan förutses med Sabines formel (*formel 2*) och förutsätter att man känner till rummets volym och mängden ljudabsorberande ytor och dess beskaffenhet med avseende på dess absorptionskoefficient som behandlas senare (olika materials ljudabsorberande egenskaper är starkt frekvensberoende). För korrekta resultat förutsätts en någotsånär jämn fördelning av det absorberande materialet i rummet.

$$RT = 0.161 \frac{V}{A}$$

Formel 2.

Efterklangstiden RT ges av Sabines konstant (0,161) multiplicerad med rummets volym V i m³ genom den totala arean av rummets absorption A i m². Observera att A är

absorberande yta med absorptionskoefficienten 1. 4 m² absorberande yta med koefficienten 0,25 bör således räknas om till 1 m² yta med koefficienten 1.

I stora rum ger Sabines formel ofta en förvånansvärt exakt bild av rummets efterklangstid. I lyssningsrum där rumsdimensionerna är i samma område som våglängden för frekvenser i det hörbara registret är situationen dock en annan. Vi tar vårt utrymme från det tidigare exemplet med dimensionerna 7,0 m x 5,0 m x 2,8 m som exempel. På bredden kommer vi ihåg att en resonansmod vid frekvensen 34 Hz uppstår som kommer att ha en lång utringningstid. Men då detta är en resonans och inte en lång serie avtagande reflektioner påverkas den endast av de motstående väggarnas absorption, de fyra omkringliggande ytorna saknar här betydelse. Sabines formel saknar alltså relevans i de lägre registren för små rum, och i dessa sammanhang talar man istället om ”modal decay” som alltså inte är samma sak som ett rums efterklang i vanlig mening.

2.3 Absorption

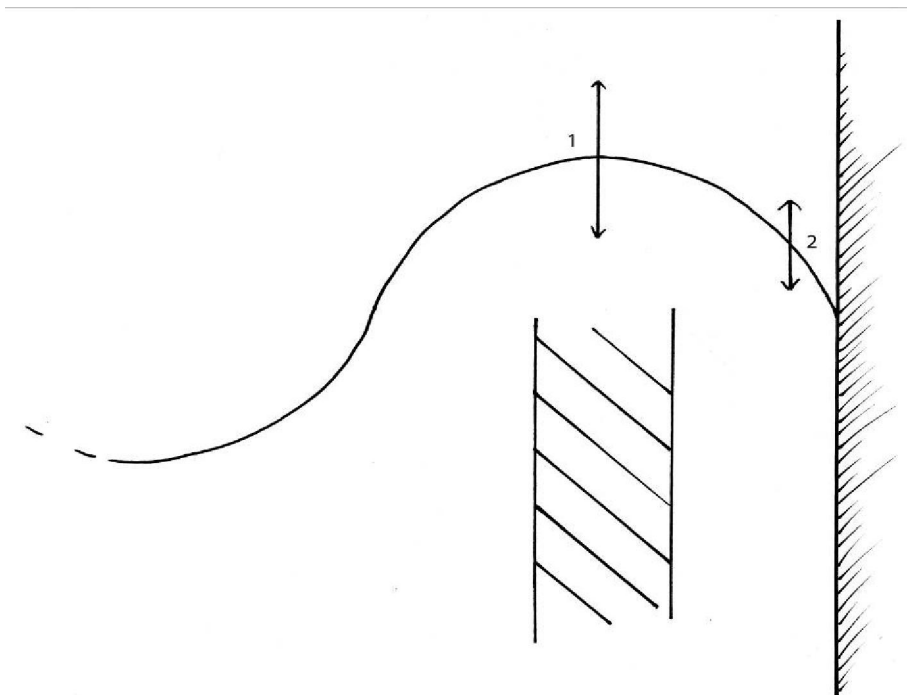
Vi har konstaterat att rummets efterklang och resonanser stör ljudåtergivningen och måste åtgärdas. Efterklangen och resonanserna är överflödig ljudenergi som vi måste göra oss av med av med genom att transformera luftpartiklarnas vibrationsenergi till någon annan form, i detta fall värme, eller genom interferens med någon resonant konstruktion. Detta är absorption.

Intuitivt vet vi att olika former av porösa material som stnull och tyg är goda ljudabsorberare. Dessa material har en relativt hög absorptionskoefficient vilket innebär att den reflekterade komponenten av en mot materialet infallande ljudvåg är betydligt mindre än den infallande. Om exempelvis 60 procent av det infallande ljudet absorberas är absorptionskoefficienten 0,60. En fullständigt absorberande yta, som exempelvis ett öppet fönster ger den maximala absorptionskoefficienten 1. Viktigt att nämna är att absorptionskoefficienten kan ges i två olika former, nämligen energiabsorptionskoefficienten α och den sabinska absorptionskoefficienten a som förhåller sig till varandra enligt följande:

$$a = -\log_e (1 - \alpha)$$

Formel 3.

Man använder sig vanligtvis av den sabinska absorptionskoefficienten som är den som brukar publiceras i tabeller över olika materials absorption. Vad bestämmer då ett materials absorberande egenskaper? Som nämnts är olika former av porösa material goda absorbenter då dessa lätt sätts i rörelse av ljudvågor och låter ljudenergin övergå i värme genom friktion. Vidare är de absorberande materialens absorptionskoefficient starkt frekvensberoende och ju lägre frekvenser man önskar dämpa desto tjockare bör materialet vara. Som en tumregel bör det absorberande materialets tjocklek åtminstone vara $\frac{1}{4}$ av våglängden för den aktuella frekvensen. Den absorberande effekten påverkas även av det absorberande materialets placering i förhållande till ytan det monteras på. Dämpningen är som mest effektiv i det område där hastigheten för de vibrerande luftpartiklarna är som högst för en given frekvens vilket vi uppnår genom att absorbenten flyttas ut från exempelvis väggen så att en luftspalt uppstår mellan vägg och absorbent.



Figur 6. Ljudvågens partikelhastighet på olika avstånd från väggen, 1 och 2.

2.3.1 Resonanta absorbenter

Vi känner sedan tidigare till att starka resonanser ofta uppstår i det låga basregistret. Då vi exempelvis vet att våglängden för en 30 Hz ton är ca. 11,5 m och med tumregeln om att det absorberande materialet bör vara minst $\frac{1}{4}$ av frekvensen som önskas dämpas i minne ser vi snabbt att en absorberant av t.ex. stenudd blir ohanterligt stor. Lösningen på detta är resonanta absorbenter.

Resonanta absorbenter finns i en mängd olika former (vilka behandlas i senare kapitel) men arbetsprincipen är densamma. Då någon form av material eller konstruktion som fungerar som ett motstånd för genomströmmande luft placeras över en sluten kavitet bildas en Helmholtz-resonator med en viss resonansfrekvens. Ett exempel på detta är tonen som uppstår då man blåser över mynningen på en glasflaska som är ett exempel på en Helmholtz-resonator i sin enklaste form. Mot resonatorn infallande ljud av samma frekvens som resonatorns resonansfrekvens kommer att interferera med resonatorn och dämpas. Resonatorn kan även bestå av olika panelkonstruktioner som behandlas senare. Detta fenomen är mycket användbart i dämpning av låga frekvenser då olika former av konstruktioner kan stämmas av till önskade frekvenser och frekvensband utan att bli ohanterligt stora (Everest F Alton 2001:215-233).

3 PRAKTISKA LÖSNINGAR

När vi nu vet de grundläggande mekanismerna bakom de akustiska fenomen som stör lyssningsupplevelsen i ett lyssningsrum måste vi se på de olika verktyg vi som hemanvändare har för att stävja dessa. Som bekant måste vi tillföra rummet lämpliga mängder absorption och diffusion för att ge rummet en önskad klanglig balans och karaktär, men samtidigt saknar vi de möjligheter som till exempel ett kontrollrum i en ljudstudio har gällande både konstruktion och estetik. I en övervägande del av fallen är ett hemmalyssningsrum eller en hembio även ett vardagsrum och de akustiskförbättrande ingreppen kan inte inkräkta för mycket på dessa användningsområden. I följande kapitel presenteras några enkla och lättbyggda absorberare och diffusorer som lämpar sig väl för hemanvändning och som borde vara möjliga att konstruera för de allra flesta användare.

3.1 Absorbenter

I de allra flesta fall är någon form av absorberare det första som kommer på tal då bristande akustik skall åtgärdas i ett rum. Följande konstruktioner är lättbyggda och billiga.

3.1.1 Dämpande skycken och tyger

De enklaste och kanske mest lättanvända absorberarna för hemanvändning är olika typer av tyger och skycken som kan hängas från tak och väggar för att förkorta rummets efterklang och skapa en behaglig lyssningsmiljö. Användbara material finns i en mängd olika varianter från enkla gardintyg till tunga dämpdraperier avsedda just för ljuddämpning, exempelvis teaterdraperier. Från tidigare kapitel förstår vi dock snabbt att dessa i sammanhanget relativt tunna tyger inte erbjuder effektiv dämpning i de lägre frekvensregistren och rum med problem i basregistret kommer att kräva assistans av exempelvis någon form av resonant absorberare för att erhålla en jämn dämpning i hela frekvensregistret. Det låga priset och möjligheten att effektivt göra det absorberande materialet till en naturlig del av rummets inredning gör dock metoden attraktiv för användning i en hemmiljö.

Den kanske enklaste metoden att montera dämpdraperier i ett rum är genom att montera glidskenor i taket vilket tillåter användaren att skjuta undan draperierna då dessa inte är i användning vilket är mycket värdefullt då utrymmet ifråga även skall användas som exempelvis vardagsrum som ofta är fallet. Metoden syns ofta i hembioapplikationer där man oftast önskar en betydligt mera kontrollerad efterklang än vad som kan tillåtas. Även fönstrens gardiner kan med fördel dubbelarbeta som absorbenter.

3.1.2 Mattor och möbler

Att nämna mattor och möbler kan tyckas vara elementärt i sammanhanget men faktum är att framförallt mattor är en av de viktigaste och mest effektiva akustikförbättrande åtgärderna man kan göra i sitt lyssningsrum. Då hela golvet täcks av mattor tillförs en betydande mängd absorption till rummet och till exempel dämpdraperier blir överflödiga. Mattor är samtidigt en naturlig del av ett rum och orsakar sällan estetiska problem. Heltäckningsmatta är givetvis utmärkt men en relativt stor investering för att förbättra akustiken. Flyttbara mattor fungerar lika bra. Ju tjockare desto bättre. Om möjlighet finns bör alltid hela golvet täckas, men om detta inte är fallet är det tvärt emot vad man kan tro bättre att placera de befintliga mattorna längs väggarna snarare än mitt på golvet där mattan även kommer att dämpa en del reflektioner från väggen.

Vad gäller övrig inredning kan soffor och fåtöljer vara utmärkta basabsorbenter. Dock är det mycket svårt att i förväg förutse deras absorptionsförmåga i önskade områden, men även här är tumregeln att mera är bättre.

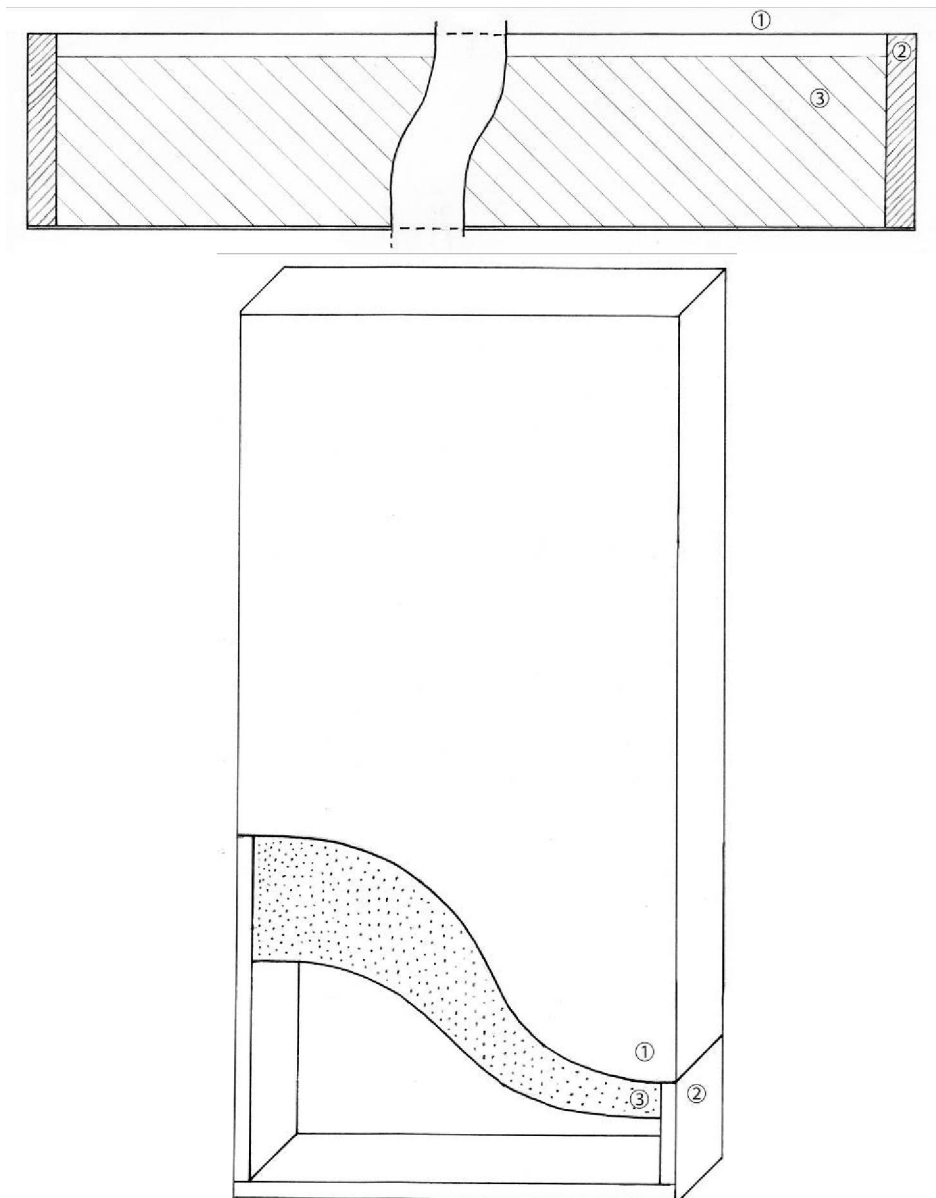
3.1.3 Enkel panelabsorbent

Här beskrivs en enkel och lättbyggd absorbent som i sin enklaste form består av en ram fylld med ett absorberande material, exempelvis stenull. Genom att spänna ett tyg över ramens öppning får man en lättanvänd, billig och relativt diskret absorbent som kan monteras på väggen. Då absorbenten genom sin ramkonstruktion blir styv och stadig kan den även enkelt konstrueras för att stå fritt på golvet och blir därmed mobil och kan flyttas till önskad plats i rummet eller tas fram vid önskat tillfälle. Dessa typer av absorbenter används ofta för att dämpa kraftiga tidiga reflektioner från lyssningsrummets sidoväggar.

Med tumregeln om att en absorberande panel behöver vara minst $\frac{1}{4}$ av våglängden hos den lägsta frekvens som man önskar dämpa i minne ser vi att även här är

konstruktionens oförmåga att dämpa låga frekvenser dess största begränsning. Om man önskar erhålla effektiv lågfrekvensdämpning blir panelen snabbt ohanterligt tjock men lågfrekvensdämpning är sällan av vikt vid dämpande av tidiga reflektioner.

Panelramen konstrueras enklast av trä i önskade dimensioner. Hyvlat virke finns i en mängd lämpliga dimensioner men ur stabilitetssynpunkt är någon form av skivmaterial effektivast då trävirket ofta slår sig och resulterar i skeva paneler. Panelerna brukar av praktiska skäl sällan göras tjockare än 20 cm. Som baksida används med fördel ett billigt och mjukt skivmaterial som masonit eller styv kartong. Både stenull och glasull är billiga och effektiva dämpmaterial, men risken för allergi och klåda finns och som nämnts bör ett tyg av någon form spännas över ramens främre öppning. Tyget kan väljas fritt och ger möjlighet för användaren att skapa en dekorativ och diskret absorbent som smälter in med eller blir en del av rummets inredning. En 15 cm tjock absorbent med måtten 1 m x 2 m dämpar effektivt frekvenser så lågt som 500 Hz och har i övrigt en lämplig storlek, men panelens dimensioner och utformning kan givetvis väljas fritt efter användarens behov och smak.



Figur 7. Enkel absorbent med 1. tyg 2. ram och 3. dämpmaterial

3.1.4 Membranabsorbent

Att skapa tillräcklig högfrekvensabsorption i ett rum är som synes lätt med exempelvis mattor och draperier och följaktligen är det sällan där, utan i basområdet de största akustiska problemen finns. Att tillföra ett rum tillräcklig absorption för att stävja basresonanser kräver dock i praktiken någon form av resonant absorbent som stämmas av till ett visst arbetsområde då vanliga absorbenter som bekant blir ohanterligt tjocka. En enkel och lättbyggd absorbent av denna typ är den såkallade membranabsorbenten. Genom att ett membran, exempelvis en plywoodskiva av lämplig tjocklek, monteras över en kavitet bildas ett resonant system som genom val av material och dimensioner

kan avstämmas till att dämpa ett önskat frekvensområde. I själva verket drar många hemmarum redan nytta av membranabsorbenter då de gipsskivor som väggar ofta är konstruerade av t.ex. i trähus tillsammans med väggens isoleringsmaterial bildar utmärkta lågfrekvensabsorbenter.

För att själv konstruera en enkel membranabsorbent kan man med fördel göra en likadan ram som beskrivs för panelabsorbenten och montera en plywoodskiva över denna. En enkel formel för att estimerera panelens resonansfrekvens är:

$$f = \frac{600}{\sqrt{md}}$$

Formel 4.

f = resonansfrekvens

m = panelens densitet kg/ m²

d = luftspaltens djup cm

Dessa formler är inte exakta men de ger ofta en bra bild av vad man kan förvänta sig gällande resonansfrekvens. Ett högt Q värde hos absorbenten, det vill säga en smal resonanspik, kommer dock att bli problematisk, särskilt för hemanvändning då absorbenten måste stämmas av väldigt noggrant för att verkligen arbeta i det önskade frekvensområdet. Detta kan avhjälpas genom att absorbentens luftspalt fylls med en akustisk resistor, det vill säga ett dämpmaterial till exempel stenull. Detta kommer att minska absorbentens absorptionsfaktor vid resonanspiken något men i gengäld fås ett bredare arbetsområde vilket är önskvärt i de allra flesta fall. Q-värdet kan även minskas genom att luftspaltens djup varieras vilket ger möjlighet att bygga diskreta bredbandiga absorbenter i rummets hörn.

3.1.5 Resonator med perforerad panel

Den nyss beskrivna konstruktionen är diskret och lättbyggd men absorbentens arbetsområde kan vara svårt att förutse då till exempel styvheten på materialet som används till resonatormembranet kan variera. Aningen enklare att använda och förutse än membranabsorbenten är resonatorabsorbenten med perforerad panel. Konstruktionen är till panelform lik exempelvis membranabsorbenten men till skillnad från nämnda

konstruktion är frontpanelen på denna perforerad och bildar således tillsammans med luftrummet bakom en serie helmholzresonatorer. Systemets resonansfrekvens bestäms av panelens tjocklek, dess perforeringsprocent och luftrummet bakom och räknas lätt ut enligt följande formel:

$$f = 525 \sqrt{\frac{p}{dt}}$$

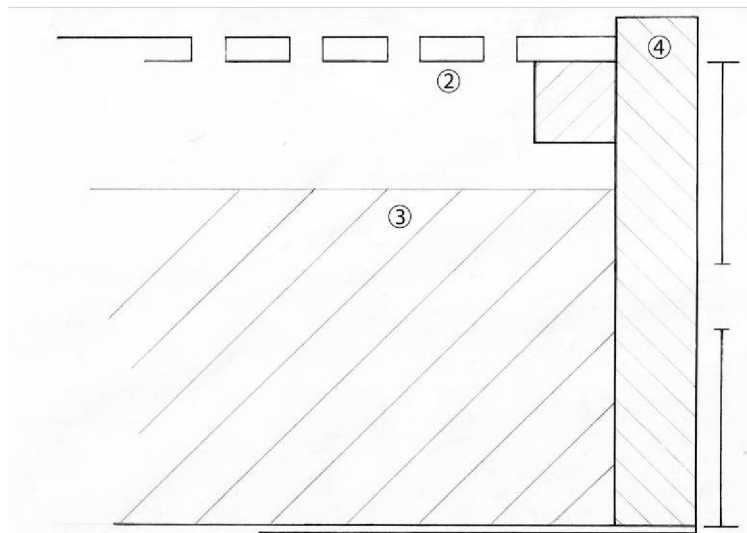
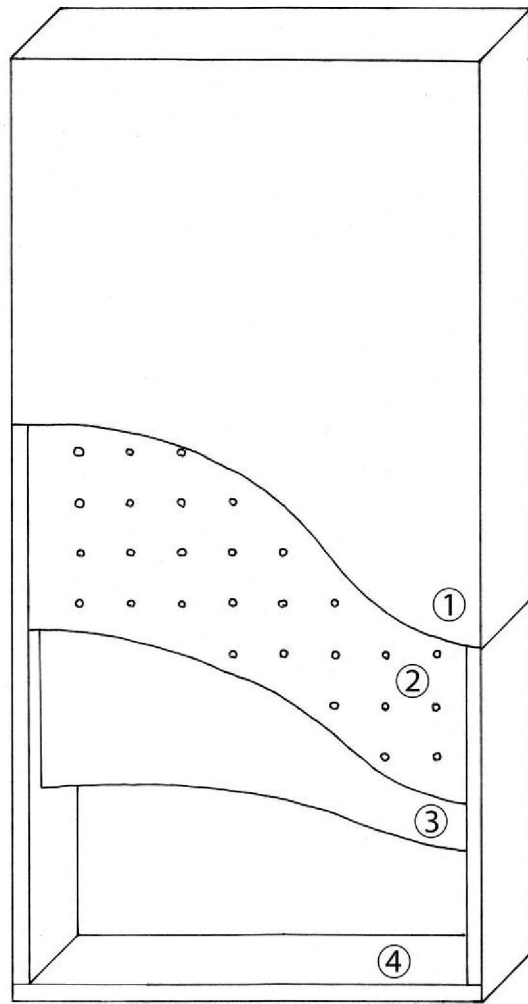
Formel 5.

p = Panelens perforeringsprocent, hålarea / panelarea x 100

d = Luftspaletens djup i cm

t = Effektiv hålarea, paneltjocklek + håldiameter x korrektionsfaktor 0,8

Precis som med panelabsorbenten (och de flesta andra absorbenter av resonant typ) är det brukligt att fylla tomrummet bakom panelen med absorberande material, helt eller delvis för att bredda absorbentens arbetsområde. Noteras bör dock att användandet av absorberande material i hålrummet kan och troligtvis kommer att förskjuta absorbentens arbetsområde ifrån de beräknade värdena. Av samma anledning är det ingen bra ide att försöka stämma av en absorbent alltför exakt för en given resonans då det för det första kommer att krävas exakta mätningar för att verifiera att absorbenten verkligen verkar i rätt frekvensområde. Utöver detta kommer även skillnader i temperatur och luftfuktighet att förskjuta absorbtionspiken vilket gör absorbenten ineffektiv. Ett bredare Q-värde är nästan alltid eftersträvänsvärt.



Figur 8. Resonator med perforerad panel med 1. tyg 2. perforerad panel 3. dämpmaterial och 4. ram

3.1.6 Ribbabsorbent

En konstruktion närbesläktad med den perforerade panelabsorbenten är ribbabsorbenten. Funktionen är densamma men till skillnad från tidigare nämnda konstruktion bildas panelens perforering av ribbor som monteras med luftspalt emellan över luftkaviteten. Resonansfrekvensen räknas ut enligt följande:

$$f = 550 \sqrt{\frac{p}{dD}}$$

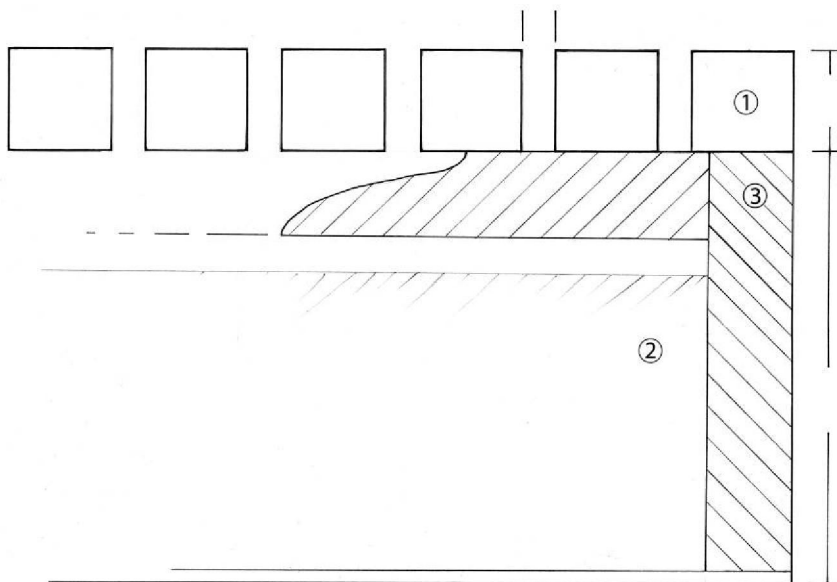
Formel 5.

p = perforeringsprocent

d = panelens tjocklek

D = luftspaltens djup

Ribbabsorbenten blir både dyrare och mera iögonfallande än panelabsorbenten men konstruktionen ifråga har några klara fördelar över absorbenten med perforerad panel. Till att börja med är metoden lättare att använda då stora absorbenter konstrueras, exempelvis då en hel vägg byggs till absorbent. Att här för hand borra panelens perforering blir mycket arbetsamt och att montera ribbor går betydligt fortare. Vidare kan man lätt låta mellanrummet mellan ribborna variera och även flyttas i efterhand för att skapa en bredbandig absorbent. Sist och kanske främst gör absorbentens ribbkonstruktion att absorbenten lätt kan dimensioneras för att fungera som en effektiv diffusor vilket behandlas senare i kapitlet.

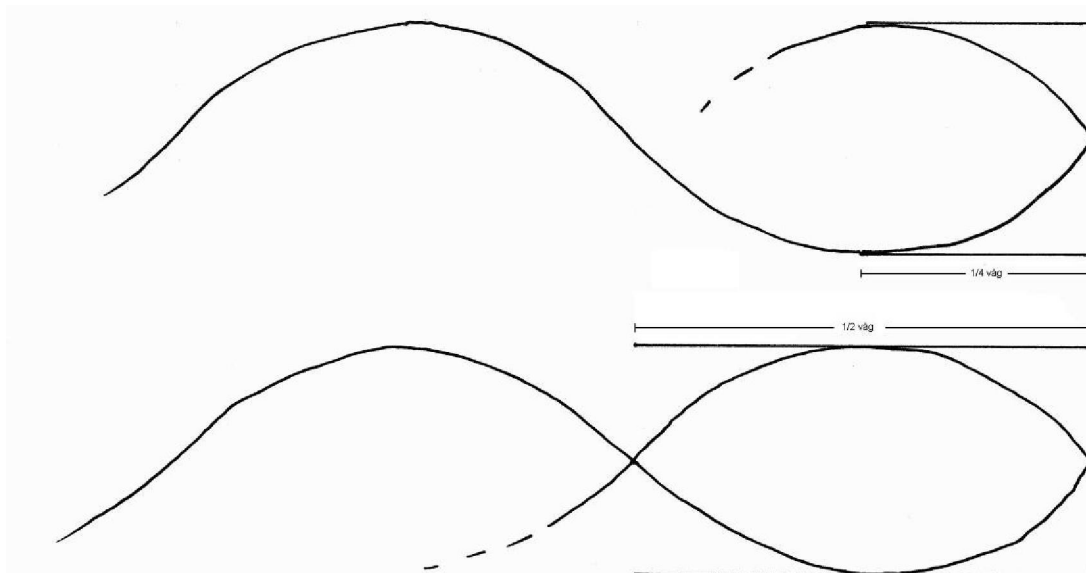


Figur 9. Ribbabsorbent med 1. ribbor 2. dämpmaterial och 3. ram

3.1.7 Kvartsvågspipa

Vi vet att en stående våg uppstår då avståndet mellan två väggar är hälften av våglängden hos resonansen. Om vi studerar vågformerna på bilden nedan ser vi någonting intressant. De två rören har ena ändan stängd och deras längd är hälften respektive en fjärdedel av den inkommande ljudvågens våglängd. Vi ser snabbt att vid mynningen av röret med längden $\frac{1}{2}$ av våglängden är den inkommande och reflekterade vågen i fas. I röret med $\frac{1}{4}$ av våglängden ser vi dock att den inkommande och reflekterade vågformen är ur fas och kommer således att absorbera den inkommande vågens energi. Man kan alltså tillverka effektiva absorbenter genom att kapa rör till $\frac{1}{4}$ av våglängden hos den frekvens som man önskar dämpa och stänga dess ena ända.

Kvartsvågspipan är mycket billig i jämförelse med de flesta andra absorbenter och olika rör kan hittas på en mängd ställen. De papprör som byggindustrin använder för att gjuta stolpar finns i flera lämpliga dimensioner och hittas billigt hos de flesta återförsäljare av byggnadsmaterial. Kvartsvågspipans nackdel är eventuellt de estetiska problem som stora rör kan innebära

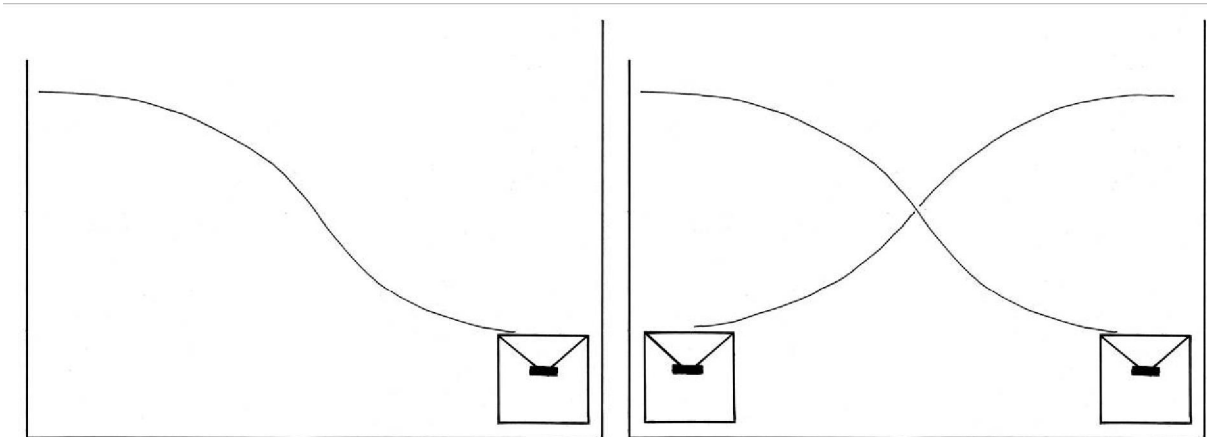


Figur 10. Kvartsvågspipa jämfört med halvågspipa. Observera hur den reflekterade vågen ligger i motfas till det infallande ljudet i kvartsvågspipan.

3.2 Resonansdämpning genom placering av basmoduler

I dagsläget då hemmabions stora genombrott lett till att användningen av separata basmoduler och ”sub-basar” ökat kraftigt har många ljudentusiaster ett kraftfullt verktyg för att undertrycka oönskade resonanser i basområdet till hands. Genom att använda sig av flera basmoduler kan man nämligen på ett effektivt sätt undertrycka rummets stående vågor genom högtalarnas placering i rummet.

Som bekant kommer man med största sannolikhet uppleva mera eller mindre starka resonanser i basområdet i ett rum som bestäms av rummets dimensioner och förhållandet mellan dess väggar. En ensam basmodul placerad i ett hörn kommer att bilda en fundamental resonans enligt figur 11. Då en till basmodul spelande samma signal placeras i motsatt hörn kommer samma resonans att bildas men i motsatt fas. Resonanserna kommer alltså effektivt att undertrycka och släcka ut varandra (Dalfors LTS 2000).



Figur 11. Resonanser i möttas

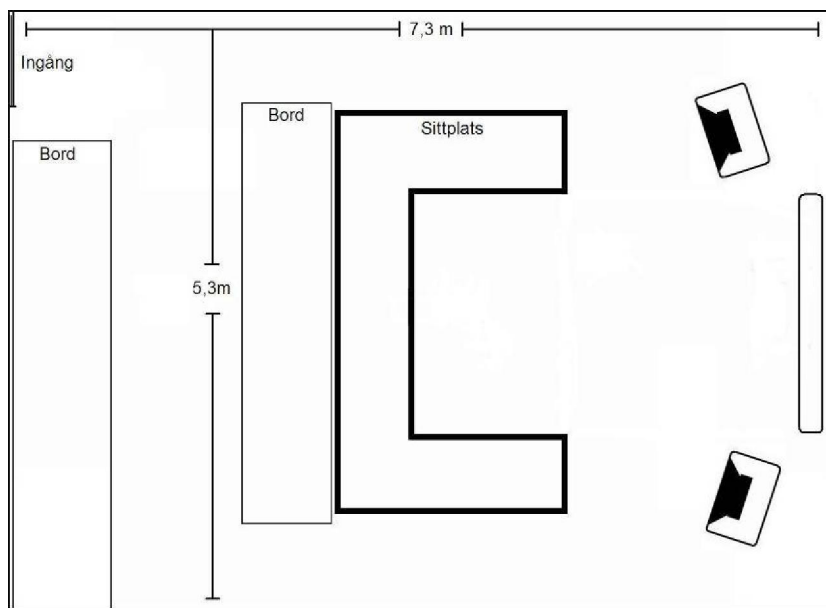
Genom att placera flera högtalare längs samma vägg kan man även undertrycka resonansens övertoner. Genom att basmodulerna placeras på välvalda platser i rummet kan man alltså stävja de förhatliga basresonanserna utan att använda stora skrymmande basabsorbenter. Nackdelen med metoden är naturligtvis kostnaderna för de extra högtalarna och de eventuella kraven på ökad förstärkareffekt för att driva dessa. Dock glömmer man lätt bort att stora passiva basabsorbenter lätt kan bli kostsamma konstruktioner och bashögtalare jämfört med fullregistershögtalare är förhållandevis billiga och enkla konstruktioner.

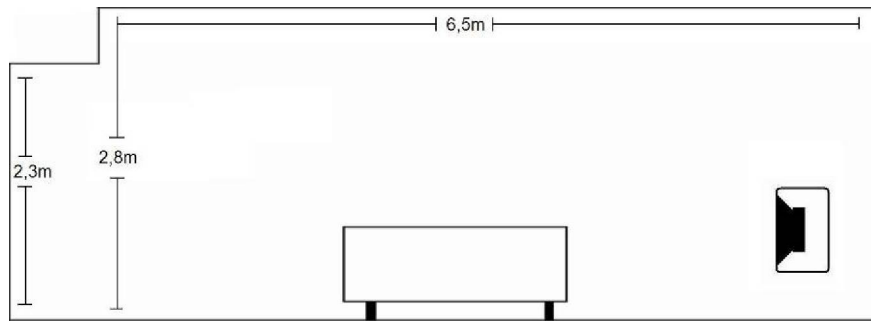
Hur många bashögtalare man behöver är givetvis beroende av situationen och användaren, men fyra stycken moduler placerade i rummets hörn är en bra utgångspunkt och brukar i de flesta fall vara fullt tillräckligt och utgör oftast ett stort lyft jämfört med att använda en bashögtalare som är standard i nuläget. Allt detta inräknat gör metoden mycket attraktiv för hemmanvändning.

4 RUMMET

När vi nu vet några enkla sätt att angripa akustikproblem i lyssningsrum är det dags att omsätta teori i praktik och undersöka ett verkligt utrymme. Rummet ifråga är ett normalt klassrum av mindre storlek i Arcadas lokalteter tänkt att användas för utvärdering av ljudåtergivningsutrustning och musiklyssning. I rummet finns även videoutrustning bestående av tv projektor och filmduk. Då rummet är tänkt att användas för utvärdering av exempelvis högtalare och annan ljudutrustning såväl som vanlig musiklyssning krävs att rummet har en kontrollerad och neutral akustik som motsvarar ideala hemförhållanden och är som nämnts inte tänkt att vara ett ekofritt eller extremt dämpat rum. Några standarder eller absoluta värden på förhållandena i ett gott lyssningsrum existerar inte och det är långt upp till lyssnaren att avgöra, dock verkar en allmän uppfattning på exempelvis diverse fora på internet vara att ett RT-60 värde mellan 0,4 och 0,2 är önskvärt. Då man i rum för flerkanalssystem, det vill säga surroundsystem, oftast föredrar hårdare dämpning än i rum för tvåkanalssystem är i detta fall ett värde lägre ner på skalan önskvärt.

Rummet ser ut enligt följande:



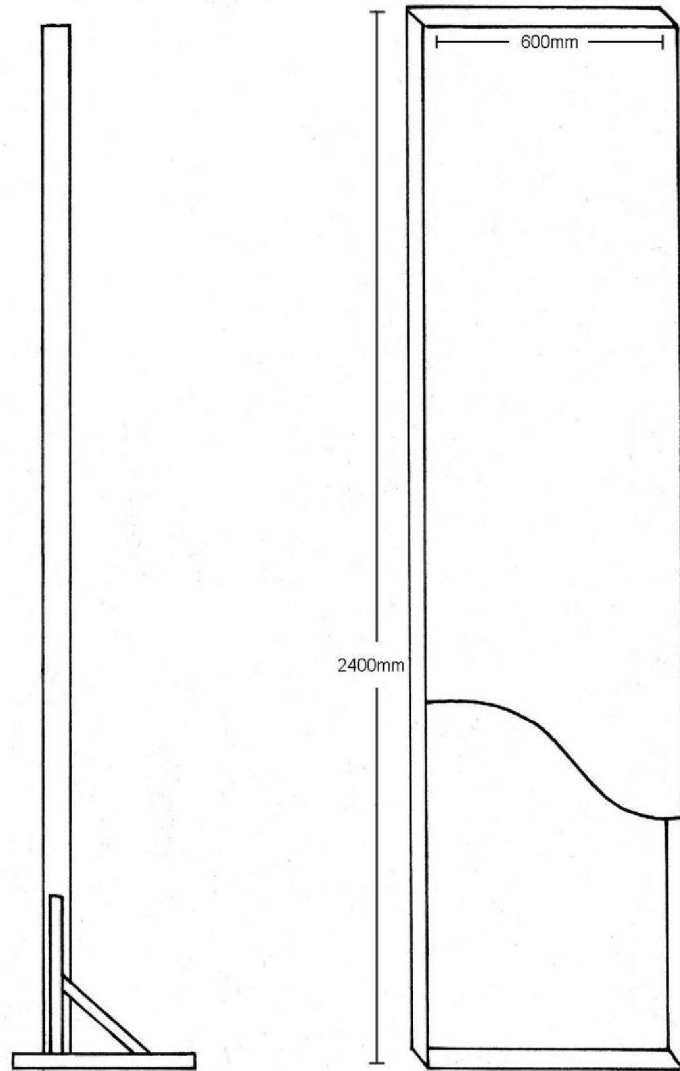


Figur 12. Rummet med dimensioner sett ovanifrån och från sidan.

Rummets väggar är byggda i målad betong och halva väggytan bakom högtalarna består till hälften av fönster och rummet saknar några absorberande material förutom mycket tunna skivor i taket från lyssningsplats framåt vilket som väntat gör att rummet har för lång efterklang och kraftiga första reflektioner från väggar och golv vilket stör lyssningen. Även störande rumsmoder är att vänta med rummets dimensioner.

Vad bör då göras? Utrymmets ljudsystem kommer i framtiden att utökas med fem stycken separata basmoduler och ett rimligt antagande är att rummets basproblem kommer att lösas genom dessas placering, varför vi i nuläget inte bygger några basabsorbenter. Rummet bör dock tillföras absorberande material för att dämpa reflektioner från främst sidoväggarna och för att minska rummets efterklang. Önskemål finns även för att absorbenterna ska vara flyttbara för att kunna ändra rummets akustiska karaktär vid behov. Den naturliga och mest praktiska konstruktionen är därför stående flyttbara paneler.

Vanlig stenull är effektiv som absorberande material men dammar och bör täckas med tyg då det används inomhus vilket kan bli kostsammare än väntat varför akustikskivan Ewona Compact valdes som absorberande material i detta fall. Ewona Compact är ett finsktillverkat absorberande skivmaterial som inte dammar eller spricker men som samtidigt är fast men böjligt. Skivorna levereras i dimensionen 600 mm x 1200 mm x 50 mm vilket gör att en panel med bredden 600 mm och höjden 2400 mm utnyttjar materialet i såväl absorbentmaterial och fanerskivor maximalt. Åtta stycken paneler byggdes.



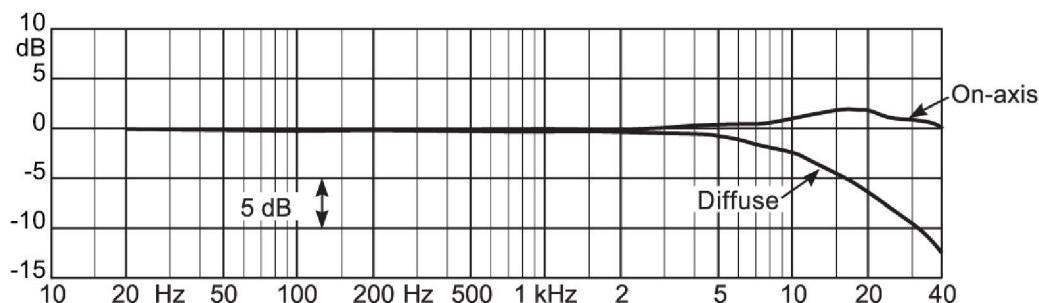
Figur 13. Ritning på panelerna som konstruerades för rummet.

5 MÄTUTRUSTNING

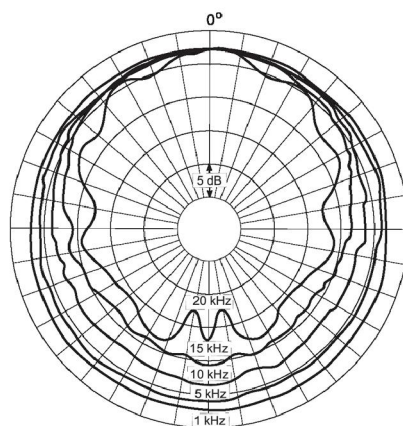
För att utvärdera om de tilltänkta absorbenterna presterar som önskat och ifall dessa behöver modifieras krävs mätningar av slutresultatet. Här följer en redogörelse för mätutrustningen som användes.

5.1 Mikrofon och mikrofonförstärkare

Som mätmikrofon har DPA 4004 använts. Mikrofonen ifråga är en mycket högklassig rundtagande kondensatormikrofon med rak frekvenskurva och utmärkt prestanda i övrigt. Då mätningarna utförs endast för att få fram relativa värden är mikrofonens prestanda långt över tillräcklig och en enklare och prisvärdare mikrofon som exempelvis den billiga Behringer ECM8000 hade mycket väl kunnat användas, men då DPA4004 fanns tillgänglig användes naturligtvis denna.



Figur 14. Frekvensrespons DPA4004 (DPA 2009)

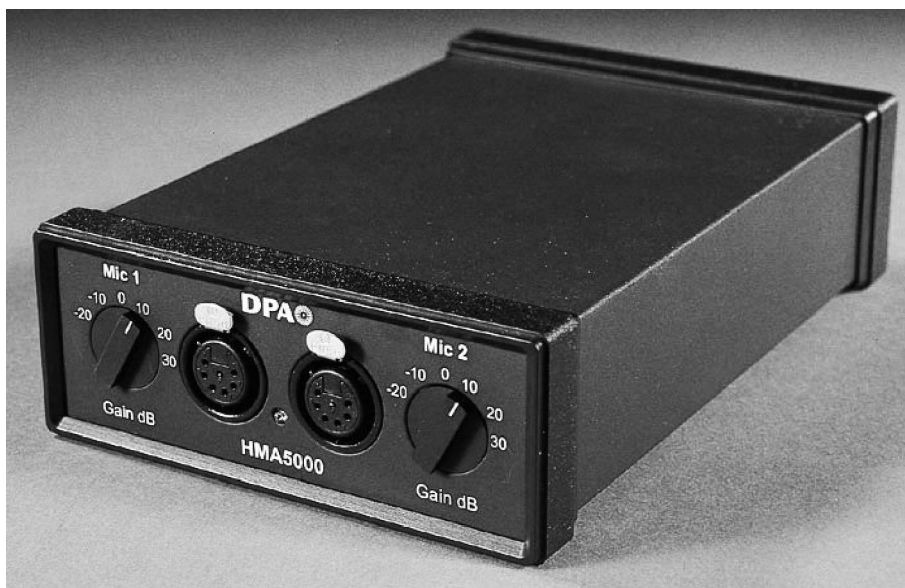


Figur 15. DPA4004 riktningskaraktäristik vid olika frekvenser (DPA 2009)

Tabell 1. DPA4004 specifikationer (DPA 2009)

Directional characteristics:	Omnidirectional
Cartridge type:	12 mm (0.47 in) pre-polarized condenser
Frequency range, ± 2 dB:	10 Hz - 40 kHz
Sensitivity, nominal, ± 2 dB:	10 mV/Pa; -40dB re. 1V/Pa
Equivalent noise level A-weighted:	Typ. 24 dB(A) re. 20 μ Pa (max. 26 dB(A))
Equiv. noise level ITU-R BS.468-4:	Typ. 36 dB (max. 38 dB)
S/N ratio, re. 1 kHz at 1 Pa (94 dB SPL):	70 dB
Total harmonic distortion (THD):	<0.5% up to 142 dB SPL peak, <1% up to 148 dB SPL peak
Dynamic range:	Typ. 124 dB
Max. SPL, peak before clipping:	168 dB SPL peak (f<4 kHz)
Output impedance:	<75 Ohm

Som synes kräver DPA4004 en fantommatning på 130V jämfört med det vanliga 48V vilket kräver att försteget HMA4000 (idag ersatt av HMA5000) används. Precis som mikrofonen DPA4004 uppvisar HMA4000 mycket hög kvalitet och prestanda på alla sätt tillräcklig för mätningarna ifråga.



Figur 16. HMA 5000, ny motsvarighet till HMA4000 (DPA 2009)

Tabell 2. Specifikationer för HMA4000

Frequency range, ± 2 dB:	10 Hz - 100 kHz +0 dB / -1 dB (Resistive Load)
Gain:	+30 dB, +20 dB, +10 dB, 0 dB, -10 dB, -20 dB (± 0,5 dB)
Total harmonic distortion (THD):	<0,009% (30 Hz – 30 kHz)
Maximum output DC offset:	±20 mV
Maximum output voltage:	32 V peak
Input impedance:	30 kOhm
Output impedance:	40 Ohm eachoutput (80 Ohm balanced)

5.2 Programvara och ljudkort

WinMLS är ett mätprogram från Morset Sound Development avsett för en rad olika mätningar inom audio och akustik exempelvis högtalarkonstruktion, rumsakustik och så vidare. Programmet anses ofta vara industristandard inom området och har gott rykte bland användarna för att vara pålitligt och kunna erbjuda pålitliga mätningar, något som inte alltid är fallet med andra program och verktyg.

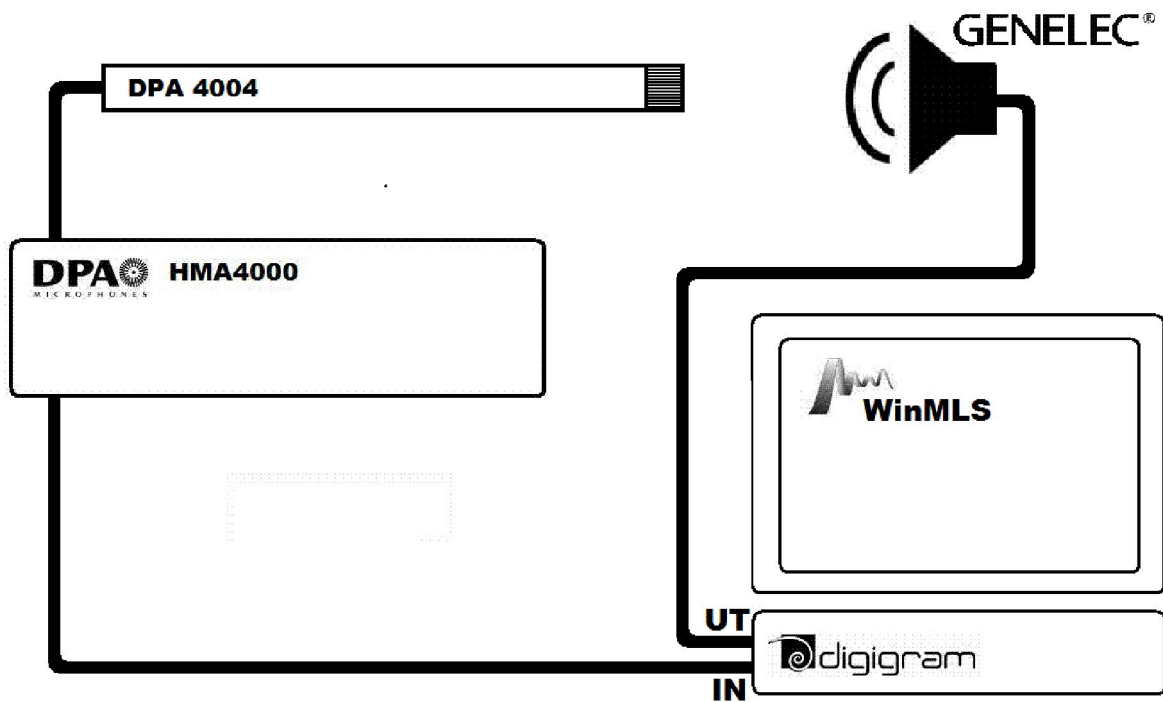
WinMLS är ett omfattande program med en mängd funktioner och parametrar som kan styras av användaren och att redogöra för dessa är långt utanför ramarna för detta arbete, men det var främst rummets efterklangtid vid olika frekvenser som var av intresse vilket mättes genom sinussvep på ca. 80 dB_{SPL} som WinMLS räknade om i lämplig form.

Som ljudkort användes Digigram VX pocket, ett ljudkort rekommenderat av Morset Sound Development (Morset sound development 2009).

5.3 Ljudkälla

Som ljudkälla användes den aktiva högtalaren Genelec 8020B tillsammans med basmodulen 7050. Använda tillsammans bör de båda ha ett frekvensomfång från 19 Hz till drygt 20 000 Hz vilket är fullt tillräckligt för mätningarna ifråga.

Som synes är hela kedjan från mätmikrofon till programvara kalibrerad och av professionell kvalité vilket tordes göra den utom räckhåll för hemanvändaren. Billigare fungerande alternativ finns som tidigare nämnda Behringer ECM8000 och gratisprogrammet HOLMImpulse av HOLM Acoustics som förespråkas av många, men man bör komma ihåg att relevanta mätningar kräver en förståelse för vad man mäter och hur programvaran arbetar. Man bör därmed avråda från att förlita sig på mätningar från okänd och otestad utrustning.

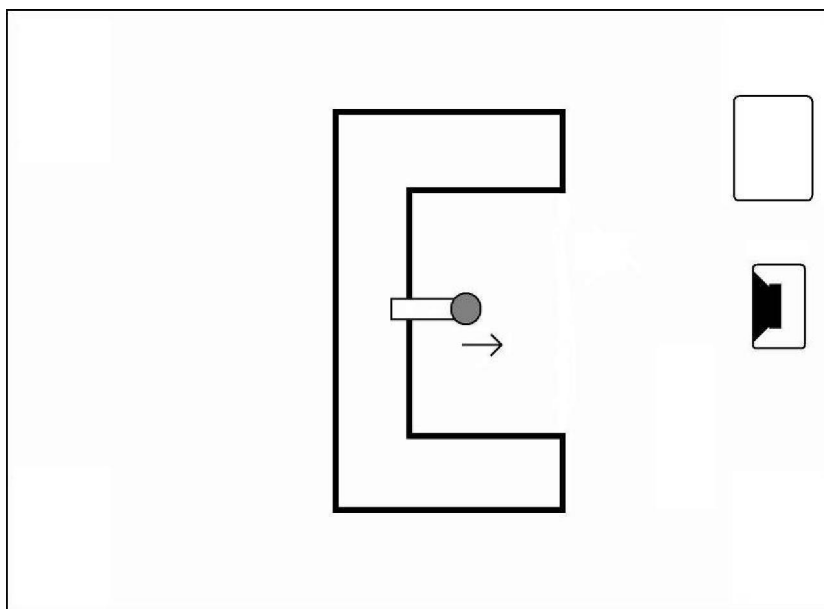


Figur 17. Mätuppsättningen

6 MÄTNING OCH LYSSNING

6.1 Mätning

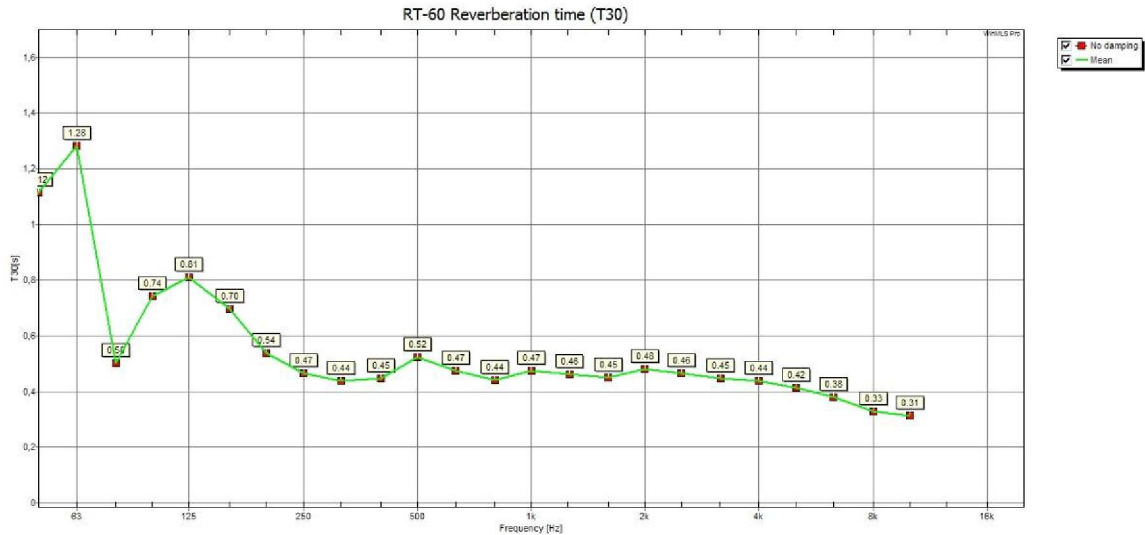
Mätningarna gjordes med mikrofon på lyssningsplats i mitten och med centerhögtalare och basmodul placerade enligt bilden. Mätvärdena presenteras som en plot av RT-60 över audioområdet.



Figur 18. Placering av mätmikrofon och ljudkälla bestående av basmodul och centerhögtalare.

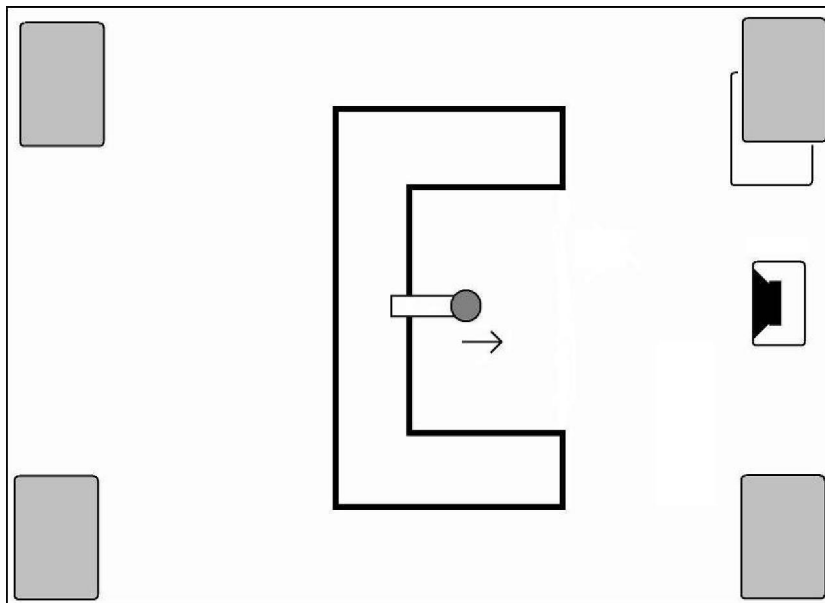
Som synes är systemet monofont vilket kan tyckas märkligt då rummet och systemet är avsett för stereo och flerkanalsslyssning. Detta saknar dock betydelse då vi som bekant inte vill undersöka några absoluta värden utan främst vill se om tillförandet av de konstruerade akustikpanelerna påverkar rummets efterklang i önskvärd riktning. Att här mäta i stereo tillför ingenting utan försvårar endast mätningen.

Vi utgår från ett tomt rum och gör en inledande mätning för att ha ett utgångsvärde. I nuläget märker man tydligt genom att vistas i rummet att rummet har en lång efterklang och är olämpligt för musiklyssning.

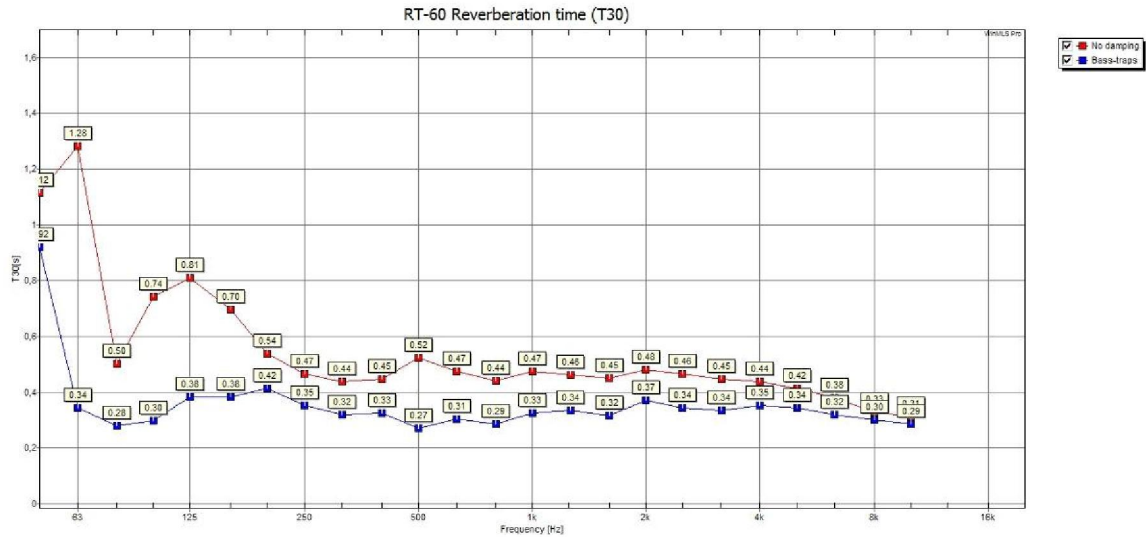


Figur 19. Plot över RT-60 i det tomma rummet.

Detta styrks även av mätningarna då vi ser att efterklangen är lång men någotsånär jämnt fördelad i registret över 250 Hz som ligger runt 0,47 s, medan vi som väntat ser ojämnheter nedåt i frekvens på grund av rumsmoderna. Som bekant är inte basområdet i fokus i nuläget, men då åtta stycken basabsorbenter i form av balar med stenull finns tillgängliga från tidigare projekt tar vi in dessa och placerar två balar i alla hörn. Dämpmaterial representeras av de grå områdena på bilden.



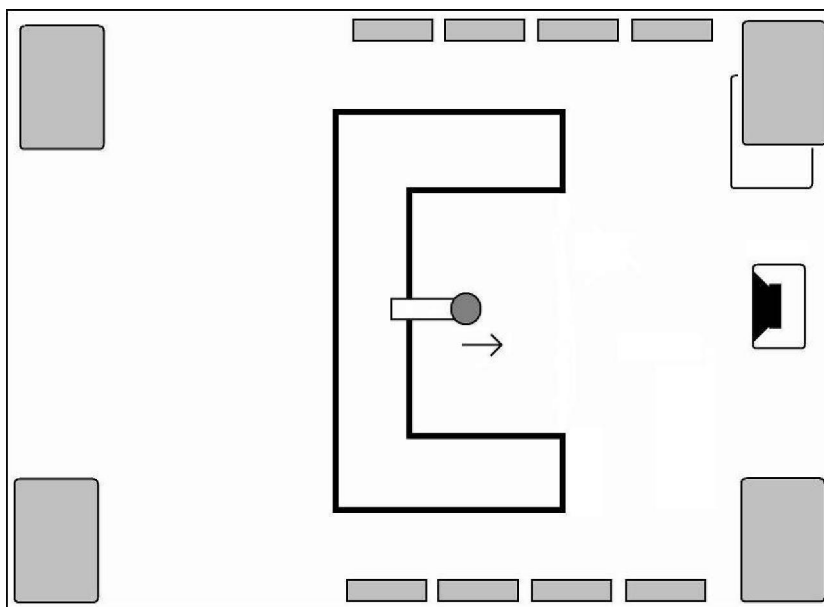
Figur 20. Placering av basabsorbenter.



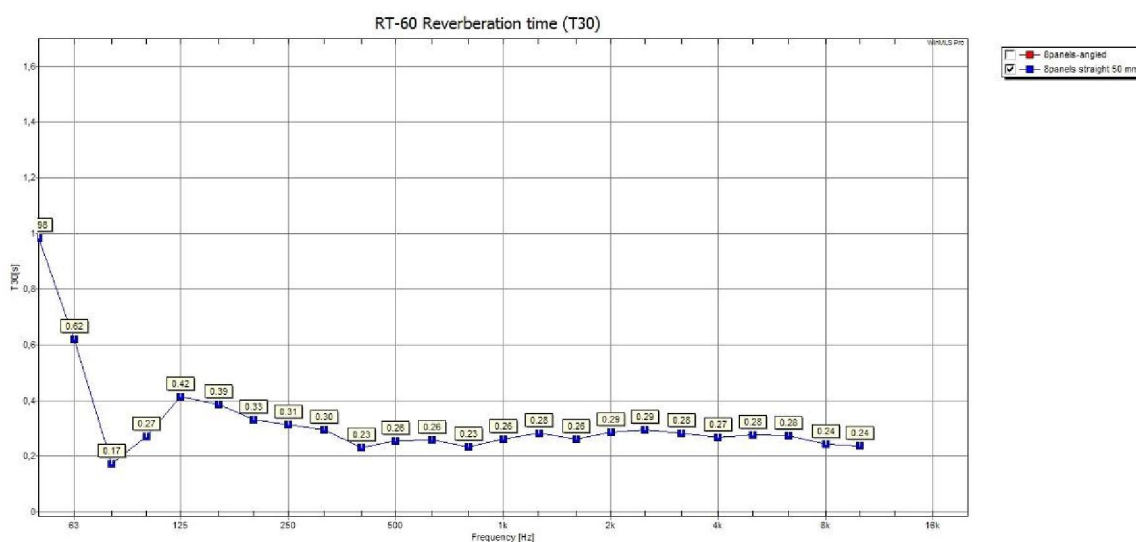
Figur 21. Den ursprungliga mätningen (överst) jämfört med mätning med basabsorbenter (underst).

När den inledande mätningen jämförs med den senast gjorda ser vi tydligt att basabsorbenterna avsevärt har dämpat resonanserna i området under 200Hz och även minskat efterklngen en aning över hela registret som dock fortfarande är för lång. Vi kan alltså sluta oss till att balarna med stenull är tämligen effektiva som basabsorbenter trots att deras utseende och förmåga att sprida damm gör dem olämpliga i hemmiljö.

Vi lämnar kvar basabsorbenterna i hörnen och tar in akustikpanelerna och placerar dem längs sidoväggarna enligt bilden med uppgift att dämpa de första reflektionerna från högtalarna.

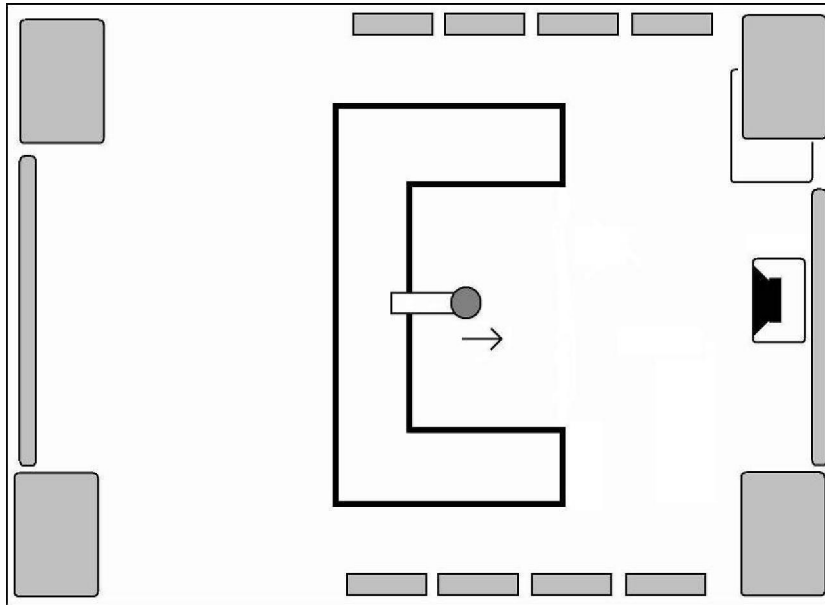


Figur 22. Rummet med basabsorbenterna och absorbentpanelerna placerade längs sidoväggarna.

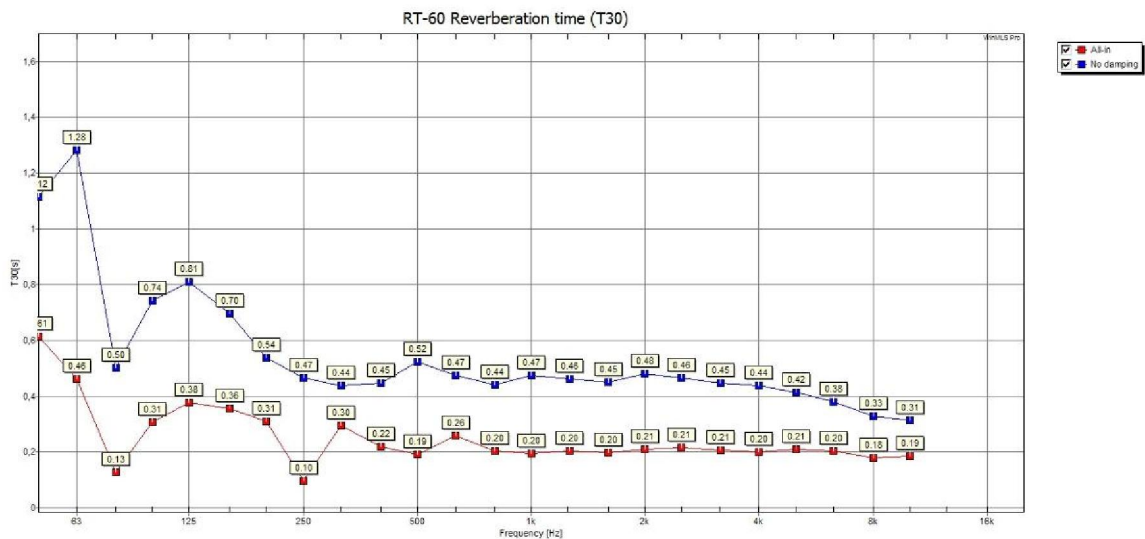


Figur 23. RT-60 med absorbentpaneler

Nu börjar vi se tydliga resultat. Efterklngen i rummet har minskat avsevärt över hela registret men uppvisar fortfarande små ojämnheter. Avslutningsvis tillför vi även dämpning till rummets fram och bakvägg och golvet framför högtalarna och jämför resultatet med den inledande mätningen av det tomma rummet.



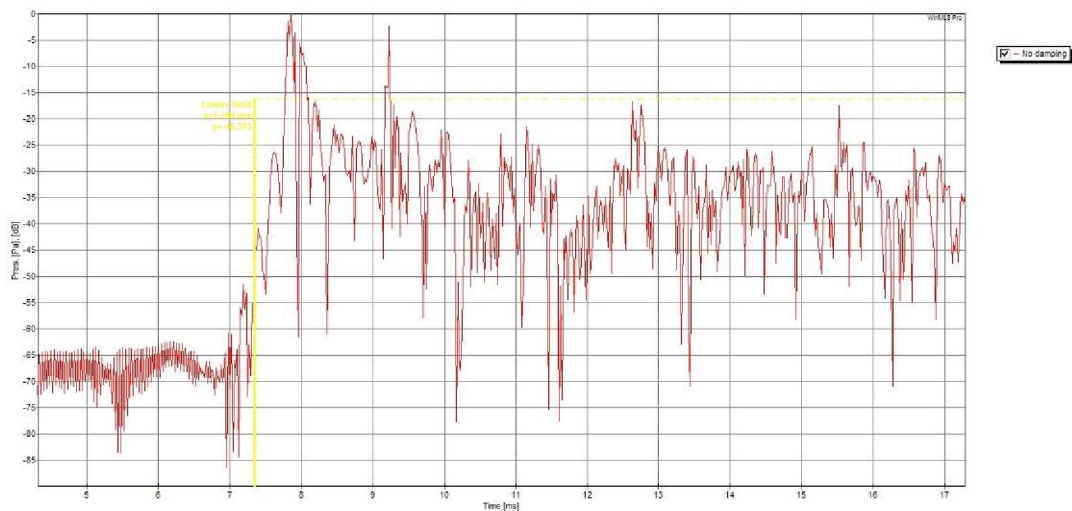
Figur 24. Rummet med absorpentmaterial även på rummets främre och bakre vägg.



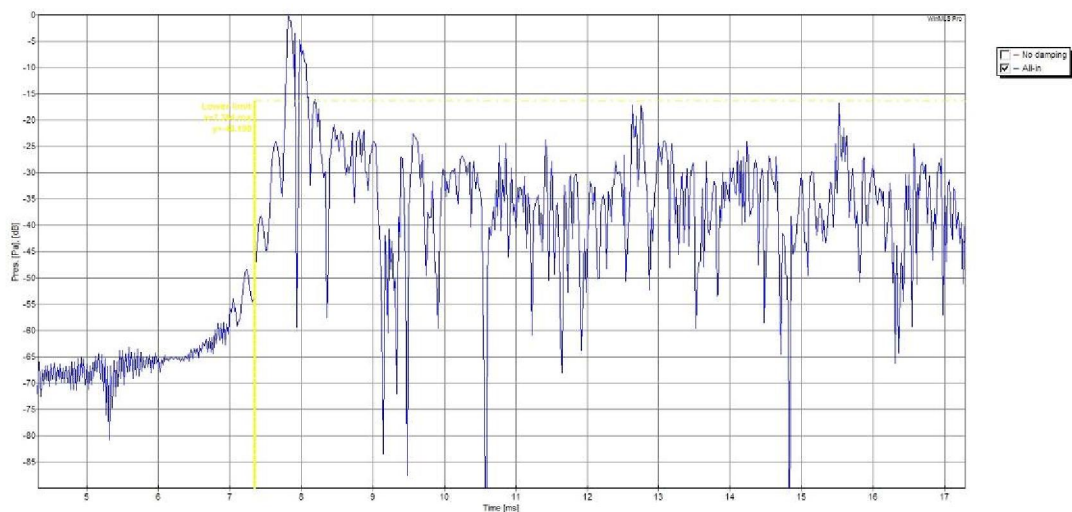
Figur 25. Den ursprungliga mätningen (överst) jämfört med den sista (underst).

När vi jämför den inledande mätningen mot den sista och slutgiltiga med dämpning av alla väggar ser vi tydligt att panelerna fungerar utmärkt. RT-60 är i stort sett halverat över hela registret och dämpningen är föredömligt jämn över 400 Hz där RT-60 ligger runt 0,20 s som får ses som ett målvärde. Även basområdet är betydligt bättre och jämnare med basabsorbenterna.

Hur är det då med de tidiga reflektionerna från golv och väggar? Genom att jämföra impulsresponserna mellan det tomma rummet och det slutgiltiga dämpade ser vi tydliga resultat.



Figur 26. Impulsrespons för det tomma rummet



Figur 27. Impulsrespons för det slutgiltiga rummet

Om vi jämför områdena mellan 8 och 12 ms ser vi att flera av topparna, det vill säga reflektionerna, har försvunnit, särskilt den mycket starka reflektionen från golvet vid 9 ms.

6.2 Lyssning

Svarar då rummets kvaliteter som utrymme för musikklyssning mot de goda mätvärdena? Svaret är givetvis subjektivt men får ändå anses vara ja, basåtergivningen är subjektivt

jämn på alla lyssningsplatser i soffan och rummet känns ”torrt” och kontrollerat utan att vara dött eller överdämpat, det vill säga ett utmärkt utrymme för musiklektion.

7 SLUTSATSER

Med mätningar och lyssningstester gjorda kan man sluta sig till att de byggda panelerna fungerar som önskat. Rummets efterklang har minskat betydligt och rent subjektivt är utrymmet numera betydligt bättre lämpat för musikyssning. De faktiska effekterna av absorberpanelerna svarade även bra mot de förutsedda. Med detta sagt finns dock förbättringar att göra. Som nämnts i den sista mätningen av rummet användes även absorberande material på den främre och bakre väggen, varför man alltså med fördel skulle kunna bygga flera paneler. Även golvet framför högtalaren dämpades med löst material vilket naturligtvis är opraktiskt och en tjock matta hör nog till de mest relevanta sakerna att förbättra i rummet i nuläget.

Vad gäller tillförlitligheten hos mätningarna är denna klart god. Högkvalitativ och kalibrerad utrustning har använts och även lämplig mätmetodik vilket borgar för att mätvärdena är korrekta. Det ultimata skulle givetvis ha varit att börja från ett helt tomt rum och bestämt den mest lämpliga lyssningsplatsen, men då rummet även i viss mån ska fungera som undervisningssal och i övrigt vara praktiskt att använda var möbleringen bestämd från början. Man skulle ha kunnat göra separata mätningar på alla platser i soffan och minimera skillnaden mellan dessa, men lyssningstestet pekade som bekant på att detta inte behövdes. Detta skulle dock kunna vara aktuellt då placeringen för de planerade basmodulerna bestäms i framtiden.

Avslutningsvis kan sägas att projektet som helhet varit lyckat och visar att man kan åtgärda akustiken i sitt lyssningsrum utan komplicerade mätningar och med enkel våglära vid hand. Idén kan dock vidareutvecklas och man skulle kunna undersöka och mäta olika former av absorber och absorberuppsättningar i olika typer av rum och på så sätt ha en referens till hur olika varianter på akustikförbättring verkligen fungerar i praktiken, vilket skulle vara praktiskt för amatören utan tillgång till teori och mätutrustning.

KÄLLOR

Dahlfors, J. 2000. Placering och mätningar av olika placeringar av basmoduler i ett rum. [www]. Hämtat 09.10.2009. <http://lts.a.se/Portals/0/artiklar/Rummet2.pdf>.

DPA produktblad. [www]. Hämtat 12.11.2009.
<http://www.dpamicrophones.com/en/Products.aspx>

Everest, F Alton. 2001. Masters Handbook of Acoustics. USA: McGraw-Hill. 4 uppl. 587 s. ISBN 0-07-136097-2.

Floyd E. Toole. Differences in Performance and Preference of Trained versus Untrained Listeners in Loudspeaker Tests: A Case Study. [www]. Hämtat 09.10.2009. <http://www.harman.com/EN-US/OurCompany/Technologyleadership/Documents/Scientific%20Publications/12206.pdf>.

Roosing, Moore & Wheeler. 2002. The Science of Sound. USA: Addison Wesley. 3 uppl. 783 s. ISBN 0-8053-8565-7.