



LUND
UNIVERSITY



AKUSTISK KOMFORT I MUSIKÖVNINGSRUM

FREDRIC JANSON

Engineering
Acoustics

Master's Dissertation

Department of Construction Sciences
Engineering Acoustics

ISRN LUTVDG/TVBA--06/5035--SE (1-97)
ISSN 0281-8477

AKUSTISK KOMFORT I MUSIKÖVNINGSRUM

Examensarbete utfört av
FREDRIC JANSON

Handledare
Jonas Brunskog, Avd. f. teknisk akustik

Copyright © 2006 by Engineering Acoustics, LTH, Sweden.
Printed by KFS I Lund AB, Lund, Sweden, March 2006

For information, address:
Division of Engineering Acoustics, LTH, Lund University, Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden.
Homepage: <http://www.akustik.lth.se>

Förord

Detta examensarbete genomfördes mellan april 2005 och februari 2006 med uppehåll för sommaren. Arbetet utfördes på Avdelningen för teknisk akustik vid LTH i samarbete med Musikhögskolan i Malmö.

Ett stort antal personer har varit engagerade och gjort detta arbete möjligt.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Jonas Brunskog, TeknD, på Teknisk Akustik för all hjälp och allt stöd och för alla intressanta och värdefulla diskussioner, förslag och infallsvinklar. Ett stort tack till studenterna på Musikhögskolan i Malmö för visat intresse och för deltagandet i undersökningen. Ett varmt tack till Robert Månsson, forskningsingenjör, på Teknisk Akustik för all hjälp med ljudmätningarna. Jag vill även tacka personalen på Musikhögskolan i Malmö. Främst prefekt Johannes Johansson som nappade på idén, ergonomiansvarig Inga-Britt Niemand för all hjälp och allt engagemang och Mats Lindstrand för hjälp med praktiska detaljer. På Ingemansson Technology AB i Malmö vill jag tacka Ann-Charlotte Johansson, TeknD och konsult, för hjälp med den statistiska undersökningen, Zlatan Bahtijaragic, konsult, för hjälp med mätningarna i rummen och Eva Sjödahl, konsult, för värdefull information. Tack också till Leif Cederfeldt, TeknD, på AkustikGruppen i Malmö AB för viktig fakta.

Fredric Janson

Lund, februari 2006

Abstract

Preferred acoustic characteristics in a room can vary depending on the purpose of the room. A room adjusted to e.g. teaching may not be suitable for music practice and a room suitable for one type of instrument may not fit another. The judgement of what defines good and bad acoustics is subjective and differs among individuals. Practice rooms at music schools are good examples of rooms where the acoustic characteristics are very important. Opinions among the musicians concerning the acoustic properties in such rooms vary depending on music instrument types. Different musicians playing the same instrument do also have different opinions. Many musicians suffer from ear damages of different kinds and this is a serious problem. The purpose of this thesis is to investigate how the acoustics in different practice rooms can be adapted to different types of instruments and what can be done to prevent ear damages. This is done by comparing subjective judgements of the acoustics with objective measurements. Questionnaires are handed out to musicians at Malmö Academy of Music (Musikhögskolan i Malmö) who have Spanish guitar, a brass instrument or a bowed string instrument as their main instrument. Two types of questionnaires are handed out. The first is a qualitative one. The musicians are asked which practice rooms at the school they think are most suitable and least suitable for practicing their instrument and which acoustic characteristics these judgements depend upon. According to the answers from these questionnaires three rooms are chosen for further investigations. The second questionnaire is an adjective test, which is a quantitative one, and concerns the chosen rooms. The questionnaire consists of a number of adjectives that describe the sound in a room and two questions concerning the general impression of the room and experienced ear problems. Each adjective and question has a seven grade scale and the musicians are asked to fill in how well they think each word and question describes the sound in the room. Sound measurements are made in the chosen rooms to obtain objective measures. Measurements of the sound insulation and impulse response are made. From the impulse response a number of objective measures can be derived. The subjective measures from the second questionnaire are compared with the objective measures to see if there are any connections. The main purpose is to investigate which subjective and objective measures affect the general impression of the room and experienced ear problems. Sertian values of the objective measures that corresponds to a good general impression of a room or few experienced ear problems can then be derived by using regression lines. According to these values, recommendations, objective measures and the answers from the questionnaires suggestions are given on how practice rooms can be adapted to fit the chosen instrument groups. There are not enough answers from the second questionnaire to make a proper statistic comparison. The results are therefore insecure.

Sammanfattning

Önskade akustiska egenskaper hos ett rum kan variera kraftigt beroende på vilket ändamål det är avsett för. En lokal som är anpassad för t.ex. skolundervisning kanske inte alls passar för utövande av musik och en lokal där förhållandena är lämpade för ett slags musikinstrument kanske inte alls passar för ett annat. Vad som är bra och dålig akustik är subjektivt och varierar från person till person. Övningsrum på musikskolor är exempel på lokaler där de akustiska förhållandena är viktiga. Åsikter bland musiker om vilka egenskaper sådana rum ska ha varierar beroende på instrumenttyp men åsikterna går även isär bland musiker som spelar samma instrument. Många musiker får med tiden problem med hörseln vilket är ett stort problem. Syftet med detta arbete är att ta reda på hur olika övningsrum kan anpassas akustiskt till olika typer av instrument och vad som kan göras för att förebygga hörselproblem. Detta görs genom att jämföra subjektiva bedömningar av akustiken med objektiva mått. Enkätundersökningar görs på Musikhögskolan i Malmö bland musiker som har spansk gitarr, ett brassinstrument eller ett stråkinstrument som huvudinstrument. Enkätundersökningen är uppdelad i två delar där den första är av kvalitativ typ. Här undersöks vilka övningsrum på skolan som musikerna föredrar och vilka som är mindre lämpade för just deras instrument och vad det är som gör dessa rum bra eller mindre bra. Med hjälp av svaren i dessa enkäter väljs tre rum ut som undersöks vidare. Den andra delen av enkätundersökningen är av kvantitativ typ och består av ett s.k. adjektivtest. Denna enkät rör de utvalda rummen. Enkäten består av ett antal adjektiv som beskriver ljudet i ett rum samt två frågor rörande totalintrycket av rummet och uppkomsten av hörselproblem. Undersökningsdeltagarna får på en 7-gradig skala bedöma hur väl de anser att respektive adjektiv eller fråga stämmer överens med rummets egenskaper. I de utvalda rummen görs även ljudmätningar för att få fram objektiva mått. Mätningar av ljudisolering samt impulssvar utförs. Med hjälp av resultaten från impulssvarsmätningarna kan ett antal objektiva mått beräknas. De subjektiva bedömningarna från enkätundersökningens andra del jämförs sedan med de objektiva måtten för att undersöka mellan vilka mått samband finns. Framför allt undersöks vilka mått, subjektiva och objektiva, som påverkar totalintrycket av ett rum eller uppkomsten av hörselproblem. Med hjälp av regressionslinjer kan sedan riktvärden för dessa objektiva mått som motsvarar ett bra totalintryck resp. få uppkomna hörselproblem tas fram. Med hjälp av dessa värden, rekommendationer, uppmätta värden och svaren från enkäterna ges sedan förslag till hur rum kan anpassas till de valda instrumenttyperna. Antalet inkomna svar från enkätundersökningens andra del är för få för att en riktig statistisk undersökning ska kunna genomföras. Detta gör resultaten osäkra.

Innehållsförteckning

1. INTRODUKTION	11
1.1 Bakgrund	11
1.2 Syfte	12
2. TEORI OCH METOD	13
2.1 Inledande om ljud	13
2.1.1 Ljudintensitet och frekvens	13
2.1.2 Reflektion och absorption	14
2.1.3 Ljudalstring från instrument	16
2.2 Tidigare undersökningar inom ämnet	16
2.3 Valda instrument	18
2.3.1 Gitarr	18
2.3.2 Brassinstrument	19
2.3.3 Stråkinstrument	19
2.4 Enkätmetoder	19
2.4.1 Enkät 1 – Val av rum	20
2.4.2 Enkät 2 – Adjektivtest	20
2.4.3 Utförande	22
2.5 Övningsrummen	24
2.5.1 Anpassning av akustiken vid byggandet	24
2.5.2 Rekommendationer för musiklokaler	25
2.5.3 Val av rum	25
2.5.4 Rumsbeskrivning	26
2.6 Mätmetoder	27
2.6.1 Ljudisolering	27
2.6.2 Impulssvar	30
2.7 Subjektiv terminologi kopplad till objektiva mått	33
2.7.1 Efterklangstid	33
2.7.2 Tidig efterklangstid	34
2.7.3 Variation hos efterklangstiden vid olika frekvenser	35
2.7.4 Intimitet	35
2.7.5 Levande ljud	35
2.7.6 Varmt ljud	35
2.7.7 Ljudstyrka	36
2.7.8 Rumsförstärkning	38
2.7.9 Diffusion	39
2.7.10 Stående eko	39
2.7.11 Klarhet	40
2.7.12 Stöd	40
2.7.13 Riktningssäkligheten	40

2.8 Simulering av övningsrummen	41
2.9 Jämförelse av subjektiva och objektiva mått	42
3. RESULTAT	45
3.1 Enkät 1	45
3.1.1 Gitarrgruppen	45
3.1.2 Brassgruppen	46
3.1.3 Stråkgruppen	47
3.1.4 Akustik i hemmiljö	48
3.2 Enkät 2	49
3.3 Ljudisolering	50
3.4 Impulssvar	50
3.5 Jämförelse av subjektiva och objektiva mått	52
4. DISKUSSION	55
4.1 Ljudisolering	55
4.2 Objektiva mått	55
4.3 Jämförelse av subjektiva och objektiva mått	56
5. SLUTSATS	59
5.1 Rum för gitarr	59
5.2 Rum för brassinstrument	60
5.3 Rum för stråkinstrument	61
REFERENSER	63
BILAGOR	65
Bilaga 1 – Resultat från ljudisoleringsmätning	67
Bilaga 2 – Resultat från mätning av impulssvar	79
Bilaga 3 - Enkäter	85
Bilaga 4 - Program	91
Bilaga 5 – Regressionslinjer, blockdiagram och resultat, Enkät 2	97

1. Introduktion

1.1 Bakgrund

Hur ljud upplevs i ett rum beror på en rad olika faktorer. Rummets storlek, isolering mot ljud utifrån och från intilliggande rum, material i väggar, golv och tak är några av dem. Önskade egenskaper hos ett rum kan variera kraftigt beroende på vilket ändamål det är avsett för. En lokal som är anpassad för t.ex. skolundervisning kanske inte alls passar för utövande av musik och en lokal där förhållandena är lämpade för ett slags musikinstrument kanske inte alls passar för ett annat.

Det finns en rad olika faktorer som påverkar hur ett rum bäst kan anpassas till ett instrument eller en instrumenttyp. Man kan se detta problem på olika sätt och behandla det med utgångspunkt från olika faktorer. Åsikter om vad som är bra och dålig akustik kan gå isär även bland musiker som spelar samma instrument. En musiker kan också ha olika önskemål vid olika tillfällen. Ibland önskas lite torrare akustik för att musiken ska blir tydligare. Ett sådant tillfälle kan t.ex. vara när ett nytt stycke ska övas in. Andra gånger kan rum med mer klang vara lämpligare för att göra musiken eller instrumentet rättvisa.

De akustiska förhållandena i övningsrum kan skilja sig från förhållandena i konsertlokaler eller andra rum för framträdanden. Om en musiker alltid övar i samma eller likartade rum kan det bli en stor omställning att sedan spela i en annan typ av lokal, t.ex. en konsertsal. Vad som händer med ljudet från instrumentet och hur musikern själv uppfattar ljudet kan variera från de förhållanden som musikern är van vid. Skillnader mellan olika övningsrum kan också skapa problem på liknande sätt.

Ett övningsrum har många andra egenskaper än just de akustiska som påverkar intrycket. Att ett rum är trivsamt och miljön inspirerande kan ibland vara viktigare än att akustiken är bra.

I orkestrar kan det ibland vara svårt att höra både sig själv och andra musiker ordentligt. Att utforma lokaler som ger bra balans mellan ljudet från det egna instrumentet och ljudet från övriga instrument är därför viktigt.

Många musiker får med tiden hörselskador eller problem med sin hörsel på ett eller annat sätt. Nedsatt hörselförmåga och tinnitus är exempel på problem som kan uppstå. En av orsakerna till detta är att musiker ofta utsätts för höga ljudnivåer t.ex. under övning eller vid ett framträdande. Då övningsrum på t.ex. musikskolor ofta är relativt små kan ljudnivåerna bli för starka. Rum som är konstruerade så att ljudet hålls på en lagom nivå men ändå har goda akustiska egenskaper är därför önskvärt. Vilka egenskaper ett rum ska ha varierar, som tidigare nämnts, beroende på vilken typ av instrument som ska spelas där och åsikterna hos olika musiker om vad som är bra och dålig akustik går isär. Det är därför viktigt att ta reda på vilka objektiva mått som kan användas för att beskriva ett rums akustiska egenskaper och hur dessa kan kopplas till subjektiva bedömningar.

1.2 Syfte

Detta arbete går ut på att genom jämförelser av subjektiva bedömningar med objektiva mätningar av ljudegenskaper i rum få fram riktlinjer och designparametrar för hur olika musikövningsrum kan anpassas akustiskt till olika typer av instrument och vad som kan göras för att undvika hörselproblem. Detta görs med hänsyn till musikers önskemål och åsikter om ett rums egenskaper för att försöka uppnå en så god akustisk komfort som möjligt för musiker i övningsrum.

2. Teori och metod

2.1 Inledande om ljud

2.1.1 Ljudintensitet och frekvens

Ljud är i grund och botten vibrationer som alstras från en ljudkälla, t.ex. en gitarrsträng som slås an och börjar vibrera. Dessa vibrationer ger upphov till vågrörelser. För att vågrörelser ska kunna uppkomma och transporteras krävs ett medium. Detta kan bestå av ett fast material, en vätska eller en gas. Då ett musikinstrument hörs spelas i ett rum är det luften som är mediet för de från instrumentet skapade vågrörelserna. Vågrörelserna i luften består av periodiska tryckskillnader över och under atmosfärstrycket, som ger upphov till regelbundna sammandragningar och utvidgningar i luften, vilket gör att vågorna förs framåt. Dessa kallas longitudinalvågor. När vågorna når örat sätts trumhinnan i rörelse och via örats övriga mekanismer omvandlas vibrationerna till nervsignaler som skickas till hjärnan och uppfattas av oss som ljud.

För att t.ex. en gitarrsträng ska kunna sättas i rörelse och ge upphov till ljudvågor i luften krävs en viss mängd energi. En del av energimängden går förlorad p.g.a. friktion och en del går åt för att föra ljudvågorna framåt i luften. Den effekt som ljudet i luften har mäts i watt, W. Förhållandet mellan den tillförda effekten och den effekt som går åt för att skapa ljudvågor kallas verkningsgrad, (W/tillförda W) och mäts i procent. Det högsta värdet för ett musikinstrument är i storleksordningen 1 procent, alltså mycket lågt [1]. Med hjälp av en känd effekt hos ett visst ljud kan ljudstyrkan, ljudets intensitet fås fram. Sambandet ges av ekv. 1 (endast då ljudkällan avger lika mycket ljud i alla riktningar)

$$I = \Pi / (4\pi r^2) \quad (W/m^2) \quad (1)$$

där I är intensiteten, Π effekten hos ljudet och r avståndet från ljudkällan (radien hos en tänkt sfär kring ljudkällan) [2]. Detta samband visar att då avståndet till ljudkällan fördubblas minskar intensiteten till $\frac{1}{4}$ av värdet vid det ursprungliga avståndet, d.v.s. intensiteten är omvänt proportionell mot kvadraten på avståndet. Den lägsta intensitet som kan uppfattas av det mänskliga örat är ungefär 10^{-12} W/m^2 vid 1000 Hz men kan variera från person till person. Den övre gränsen är satt vid den ljudintensitet då obehag och rent av smärta i öronen uppstår och har värdet 1 W/m^2 [1]. Utifrån värdet för den lägsta intensitet som kan uppfattas, kallad tröskelintensitet, har den s.k. decibelskalan, dB, tagits fram vilken är ett mått på intensitetsnivån L . Den grundar sig på förhållandet mellan intensiteten hos ett aktuellt ljud, I , och tröskelintensiteten, I_0 [1]. Skalan är logaritmisk och beskrivs av följande ekv. 2

$$L = 10 \log(I/I_0) \quad (dB) \quad (2)$$

Detta leder till att om intensiteten hos det aktuella ljudet är samma som tröskelintensiteten blir värdet på intensitetsnivån 0 dB. Om en given intensitet fördubblas ökar intensitetsnivån med 3 dB. Då intensiteten ökar med en faktor 10 resp. 100 ökar intensitetsnivån med 10 resp. 20 dB [1]. Man kan även mäta nivån på trycket hos ett ljud, L_p , vilket också anges i dB [1]. Formeln för detta ges av ekv. 3

$$L_p = 20 \log(p/p_0) \quad (dB) \quad (3)$$

där p är största tryckskillnaden över eller under atmosfärstrycket hos ljudvågen och p_0 är det ljudtryck som motsvarar tröskelintensiteten.

Då t.ex. en gitarrsträng sätts i rörelse uppstår svängningar, d.v.s. strängen förskjuts fram och tillbaka kring sitt ursprungsläge. Den sträcka som strängen har förflyttat sig åt något håll från ursprungsläget vid maximal förskjutning kallas amplitud. Den tid det tar för strängen att genomföra en svängning, d.v.s. förskjutas fram och tillbaka kring ursprungsläget en gång kallas period, T . Med hjälp av perioden kan man få fram antalet svängningar per sekund hos en vågrörelse. Detta kallas för vågens frekvens, f , [3] och kan beskrivas med ekv. 4

$$f = (1/T) \quad (\text{Hz}) \quad (4)$$

Frekvensen mäts i Hertz, Hz (s^{-1}) och är en viktig parameter i musikaliska sammanhang. Det mänskliga örat är begränsat och kan uppfatta ljud mellan 20 – 20 000 Hz. Ljudets hastighet i luft varierar något beroende på temperatur och luftfuktighet. Då luften är torr och temperaturen 20 grader Celsius är ljudhastigheten, $c = 343 \text{ m/s}$ [3]. I direkt relation till frekvensen står våglängden. Detta är ett mått på den sträcka som vågen har färdats under tiden för en svängning. Våglängden, λ , kan fås fram med hjälp av frekvensen hos en våg och ljudhastigheten [3] och sambandet ges av ekv. 5

$$\lambda = c/f \quad (\text{m}) \quad (5)$$

2.1.2 Reflektion och absorption

En viktig faktor när det gäller ett rums karaktär är hur mycket ljud som reflekteras tillbaka till lyssnaren. Hur stor intensitet det reflekterande ljudet har beror bl.a. på hur stor del av ljudet som reflekteras av rummets inre ytor och hur mycket som absorberas av dessa. Detta beror i sin tur på vilka material ytorna är gjorda av.

Då ljudvågor träffar en yta är infallsvinkeln och reflektionsvinkeln lika, förutsatt att väggen är hård och plan. När så inte är fallet kan reflektionerna bete sig på annat sätt vilket beskrivs senare. Då ett ljud produceras i ett rum nås lyssnaren först av det direkta ljudet från ljudkällan. Detta ljud har en viss intensitet. En kort tid senare hör personen den första reflektionen från omgivande ytor. Reflektionens ljudintensitet, vilken är lägre än den hos det direkta ljudet, adderas till det direkta ljudets intensitet, vilket leder till att den totala intensiteten ökar. En kort tid därefter nås lyssnaren av den andra reflektionen och ljudintensiteten ökar ytterligare o.s.v. I takt med att ljudintensiteten ökar, ökar även den mängd ljud som absorberas av rummets ytor. När rumsytorna absorberar lika mycket ljud som källan producerar har maxintensiteten uppnåtts.

Då en ljudkälla tystnar nås lyssnaren endast av de kvarvarande reflektionerna. När dessa har absorberats hörs inte längre något ljud. Den tid det tar från det att ljudkällan tystnar till det att reflektionerna har absorberats kallas efterklangtid, T_{60} , och utgör ett viktigt mått på ett rums karaktär. Definitionen på efterklangtid är den tid det tar för ljudintensiteten att sjunka till en miljontedel av sitt ursprungliga värde, vilket motsvarar 60 dB [1].

Olika ytor i ett rum har olika egenskaper när det gäller att reflektera och absorbera ljud. Hårda, plana ytor reflekterar den största delen av ljudet, medan mjuka, porösa ytor absorberar

en stor del. Den ljudenergi som absorberas omvandlas till värme i materialet. I laboratoriemiljöer finns rum som är konstruerade för att uppnå maximal reflektion, vilket ger en mycket lång efterklangstid. Dessa kallas för ljudhårda rum. Motsatsen är de ljuddöda eller torra rummen. Här är ytorna klädda med extremt absorberande material, vilket leder till att efterklangstiden blir minimal.

För att beskriva hur mycket ljud som reflekteras från resp. absorberas av en yta används den s.k. absorptionskoefficienten, som benämns med α . Absorptionskoefficienten kan anta värden mellan 0 och 1 där värden nära 0 betyder att materialet absorberar en liten del av ljudet och värden nära 1 betyder att en mycket stor del av ljudet absorberas. Exempel på material med låg absorptionskoefficient är kakel och plan betong. Material med hög absorptionskoefficient är t.ex. glasull. Om absorptionskoefficienterna för alla ytor i ett rum är kända kan man med hjälp av dessa och arean för resp. yta få fram den totala absorptionen i rummet. Sambandet ges av ekv. 6

$$A = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n \quad (m^2(sabin)) \quad (6)$$

där α är absorptionskoefficienten för de olika materialen och S är arean för respektive material [1]. Enheten för A är $m^2(sabin)$. Ett material har dock olika absorptionskoefficienter för olika frekvenser och sambandet ovan gäller därför bara för en viss frekvens. Vissa material reflekterar mycket diskant men absorberar mycket bas. Dessa kallas därför basabsorbenter och ett exempel är perforerade gipsplattor. Andra material absorberar mycket ljud från det övre frekvensbandet och kallas diskantabsorbenter. En tjock matta på ett betonggolv är ett exempel på en sådan absorbent. Mellanregisterabsorbenter finns också och kan utgöras av tunna perforerade träpaneler. För vissa material är värdena för absorptionskoefficienterna för de olika frekvenserna i princip samma och för vissa material kan värdena variera kraftigt. Även luft absorberar en viss mängd ljud. I ett rum med volymen $1000 m^3$ är värdet för luftabsorptionen vid frekvenserna 1, 2 resp. 4 kHz motsvarande 3, 7 resp. $20 m^2(sabin)$ [3]. Då A för en viss frekvens är känt kan man genom att ta reda på rummets volym, V , få fram efterklangstiden, T_{60} , i sekunder i rummet för den aktuella frekvensen. Detta samband kallas Sabines formel [3] och beskrivs här med ekv. 7

$$T_{60} = 0.16V/A \quad (s) \quad (7)$$

Medelvärde för absorptionskoefficienten är

$$\alpha_{medel} = A/S \quad (8)$$

Om detta värde är större än 0.2 gäller inte Sabines formel. Då kan istället Eyrings formel, ekv. 9 användas, vilken också beskriver efterklangstiden [3]

$$T_{60} = 0.16V/(A_a - S \ln(1 - \alpha_{medel})) \quad (s) \quad (9)$$

A_a är luftens absorption. Denna formel kan användas för alla värden på α_{medel} . Vidare om reflektion och absorption finns i [1] och [3].

2.1.3 Ljudalstring från instrument

En ton från ett instrument har en viss ljudstyrka och en viss frekvens. Ljudstyrkan beror bl.a. på hur hårt t.ex. en gitarrsträng slås an, omgivningens egenskaper och avståndet till lyssnaren. En tons frekvens är mycket viktig i musikaliska sammanhang. Det är den som ger tonen ett visst tonläge. Den idag vanligaste tonskalan är uppdelad i intervall, oktaver, där varje oktav består av 12 grundtoner där var och en har en specifik grundfrekvens. Dessa tolv grundtoner är vidare indelade i 7 heltoner och 5 halvtoner. De 7 heltonerna benämns C – H (B). Sambandet mellan två intilliggande oktaver består av en fördubbling av frekvensen för en viss ton. Då tonen A (A_4) har frekvensen 440 Hz i en viss oktav har nästa ton A (A_5) frekvensen 880 Hz i nästa oktav. Tonen A (A_6) ytterligare en oktav upp har frekvensen 1760 Hz o.s.v. [3]. Skillnaden i frekvens mellan två intilliggande halvtoner består av en faktor 1.06. För att få frekvensen för en ton ett helt tonsteg upp från en viss ursprungston multipliceras ursprungstonen med 1.06^2 [3].

Den ton som hörs från ett instrument är dock ingen ren ton med bara en frekvens. Den har en grundfrekvens men består egentligen av summan av flera olika frekvenser, harmonier, med regelbundna intervall som tillsammans skapar en viss vågform. Detta kallas för en komplex vågform [1]. Denna vågform är inte sinusformad, som hos en ren ton, utan kan variera i utseende. Grundfrekvensen för en ton kallas även för den första harmonin. Övriga frekvenser som ingår i en komplex våg är multiplar av grundfrekvensen [1]. Om man t.ex. tar tonen A (A_4) har den första harmonin frekvensen 440 Hz, den andra 880 Hz, den tredje 1320 Hz o.s.v. Intervallet mellan de olika harmonierna gör dock att dessa olika svängningar upprepas med frekvensen för den första harmonin, vilket gör att den komplexa vågen blir periodisk [1]. Amplituden hos de olika harmonierna varierar mellan olika toner och instrument. Det är detta som ger en viss ton eller ett visst instrument dess karaktär och klang.

2.2 Tidigare undersökningar inom ämnet

I D. C. Lamberty's artikel "Musical practice rooms" [4] beskrivs en undersökning som behandlar förhållanden i musikövningsrum. Lamberty ville genom att ta reda på viktiga egenskaper hos ett rum ur musikers synvinkel ta fram riktlinjer för hur musikövningsrum kan utformas. Studien inriktades inte på specifika typer av instrument utan gällde alla grupper. Undersökningen utfördes med hjälp av en rad enkäter bland musikstuderande och uppmätta parametrar i rummen. I studien ingick faktorer så som bakgrundsljud, efterklangstid, rumsstorlek, rumsform och avskildhet. Slutsatser som kunde dras av undersökningen var bl.a. att studenterna i genomsnitt föredrog att öva i rum i storleksordningen 20 m² och att det ultimata vore att kunna variera efterklangstiden mellan 0.5 och 0.9 s. En så stor variation är inte genomförbar i så pass små rum enligt Lamberty, men en så stor variation som möjligt är önskvärd t.ex. med hjälp av tunga gardiner och flyttbara paneler. Vad gäller bakgrundsljud visade det sig att nästan alla studenter upplevde ljudet från andra övande musiker som det mest störande. Värst var ljudet av andra studenter som övade på samma instrument. En stor del av undersökningsdeltagarna ansåg att avskildhet vid övning var mycket viktigt. De ville inte ha insyn i rummet genom fönster eller dörrar med glaspartier.

I vissa avseenden ligger Lamberty's studie till grund för detta arbete, t.ex. vad gäller enkätmetoder, deltagare i enkätundersökningen och typ av rum, men med den skillnaden att denna studie inriktar sig på rum tänkta att anpassas till en viss typ av instrument.

I I. Nakayama och T. Uehata's artikel "Preferred Direction of a Single Reflection for a Performer" [5] undersöktes från vilken riktning en musiker föredrar att en specifik ljudreflektion kommer ifrån i ett scenutrymme. Undersökningen utfördes med hjälp av 7 studenter från ett musikkonservatorium och instrumentet var altblockflöjt. Experimentet utfördes i ett ekofritt rum. Ljudreflektionen simulerades med en högtalare som placerades i huvudhöjd, 1.2 m, med ett avstånd på 1.7 m från musikern. Ljudsignalen upptogs av en mikrofon placerad 0.1 m från instrumentets kanthål. Två olika musikstycken användes. Högtalarens position ändrades i 6 olika vinklar men med samma avstånd från musikern. 5 av vinklarna var i horisontalplanet, 0° (rakt framifrån), 54° , 90° , 126° och 180° (rakt bakifrån). Den sjätte positionen var rakt ovanför musikern huvud. Även amplituden och reflektionens fördröjning varierades. Musikerna ombads bedöma hur bekvämt eller lätt det kändes att spela (ease of playing).

Artikelförfattarna har i tidigare undersökningar tagit reda på vilken fördröjning hos en reflektion som föredrogs av altblockflöjtsolister vid olika musikstycken och olika amplituder.

Man undersökte för de båda musikstyckena vilken fördröjning som föredrogs vid olika amplituder då reflektionen kom rakt framifrån. Sedan undersöktes vilken effekt reflektionens infallsvinkel hade på den fördröjning som föredrogs vid olika amplituder. Man kom fram till att den fördröjning hos reflektionen som föredrogs bara beror på infallsvinkeln och inte på amplituden. Om amplituden däremot justerades vid varje vinkel så att den upplevda ljudstyrkan blev den samma föredrogs musikerna samma fördröjning vid alla infallsvinklar. Vilken fördröjning som föredras beror alltså inte på reflektionens infallsvinkel om den upplevda ljudstyrkan är den samma. När det sedan skulle undersökas vilken infallsvinkel som musikerna föredrar ändrades därför inte fördröjningen vid de olika vinklarna utan amplituden ställdes istället in så att den upplevda ljudstyrkan blev den samma. Testet genomfördes vid två amplituder för varje musikstycke. För varje musikstycke testades den fördröjning som föredrogs vid aktuell amplitud enligt den inledande undersökningen.

Man kom fram till att musiker föredrar reflektioner i mittplanet och speciellt då infallsvinkeln är 180° , d.v.s. rakt bakifrån. Detta visar att den bakre väggen och taket spelar stor roll vid utformningen av ett scenutrymme.

X. Zha, H.V. Fuchs, H. Drottler's artikel "Improving the acoustic working conditions for musicians in small spaces" [6] tar upp akustiska problem i orkesterdiken och i övningsalar för orkestrar. Undersökningen handlar inte direkt om akustiken i små övningsrum men tar upp problem som kan uppstå då musiker tvingas spela i små utrymmen. Det är framför allt förhållandena i orkesterdiken som är intressanta för detta arbete. Undersökningen gäller en teater i Stuttgart (Staatsteater Stuttgart) där orkesterdiken och en övningsal undersöktes och en teater i Flensburg (Landsteater Flensburg) där orkesterdiken undersöktes. Utredningen gjordes av Fraunhofer-Institute of Building Physics (IBF) som vill betona vikten av effektiva basabsorbenter i trånga utrymmen som är avsedda för musik eller tal.

Orkestrarnas medlemmar vid ovan nämnda teatrar tyckte att ljudet i deras respektive orkesterdiken var alldeles för starkt och att de hade stora svårigheter att höra sig själva och andra då de spelade. Enligt artikeln är ett vanligt fenomen att många orkesterdiken saknar ordentliga basabsorbenter. En av anledningarna till detta är att man är rädd för att ytornas förmåga att sprida ljudet ordentligt ska bli sämre. Basabsorbenter kan också ofta vara stora och därför ta upp för stor plats i det redan trånga utrymmet. I vissa fall kan tunna, porösa absorbenter ha monterats på väggarna och en matta lagts ut på golvet. Detta är dock inte

tillräckligt för att de låga frekvenserna ska absorberas ordentligt. Detta leder till ett mullrande ljud då brass och slagverk spelar. För att åtgärda problemet användes basabsorbenter av typen Compound Baffle Absorbers som tar relativt liten plats. Denna typ reflekterar högre frekvenser samtidigt som den absorberar bas och gör de lägre frekvenserna klarare. De sattes in på prov i de båda orkesterdikena. Musikerna reagerade överlag positivt på denna åtgärd och tyckte att förhållandena hade blivit bättre. En tid senare sattes permanenta absorbenter in i Stuttgartteatern. Dessa bestod av ca 40 m² Alternative Fibreless Absorber –moduler (ALFA). Mätningar utfördes efter installationen. Man fann att ljudets tidiga efterklangstid var väldigt kort i orkesterdiket. Förhållandet mellan ljudets tidiga efterklangstid och den vanliga efterklangstiden var i storleksordningen 0.2-0.3. Detta leder till att ljudtrycket i medeltal hade sjunkit med ca 5-7 dB om ljudkällan hålls konstant. I verkligheten kan ljudintensiteten tänkas bli ännu lägre p.g.a. att musikerna nu hör sig själva och andra bättre och därför inte tvingas spela så starkt för att göra sig hörda. Mätningarna visar även att ljudet blivit tydligare vid alla frekvenser och speciellt vid de låga. Mellan dirigenten och musikerna hade tydligheten vid 125 Hz ökat med mer än 10 dB vid vissa punkter. Vid 250 Hz hade tydligheten i medeltal ökat med ca 5 dB. Även vid teatern i Flensburg sattes absorbenter in permanent i orkesterdiket. Ljudstyrkan sänktes och musikerna var väldigt nöjda med resultatet. Man tyckte dock att ljudnivån i åhörarsalen nu hade blivit för låg p.g.a. absorbenterna och speciellt var det ljudet från violinerna som hade sjunkit i styrka. Mätningar gjordes för att undersöka saken. Efterklangstiden i orkesterdiket hade sjunkit något i frekvensbandet mellan 125 och 1000 Hz. Vid lägre frekvenser än violinens hade dock efterklangstiden sjunkit avsevärt. Ljudstyrkan hade här sjunkit med minst 4 dB och det mullrande ljudet i diket hade sänkts. Ljudet från violinerna hade alltså inte blivit svagare utan man misstänkte att musikerna hade spelat svagare än vanligt vid tillfället. Efterklangstiden i hörsalen visade sig vid mätningar vara oförändrad. Absorbenterna fick sitta kvar. I artikeln kom man bl.a. fram till att det är en för hög ljudstyrka vid låga frekvenser som till stor del försvårar kommunikationen mellan orkestermedlemmar och orsakar hörselskador hos musiker då de spelar i små utrymmen.

2.3 Valda instrument

För att skapa variation i undersökningen är det viktigt att de instrument som ingår har olika egenskaper och karaktär. Musikinstrument kan skilja sig åt på många olika sätt, t.ex. vad gäller ljudstyrka, klangfärg, frekvensomfång, ljudalstring och ljudriktning. Det finns också många olika sätt att dela in instrument i grupper och kategorier. De vanligaste typerna av akustiska instrument kan grovt delas in i brassinstrument, träblås, stråkinstrument, stränginstrument, stränginstrument med tangenter och slagverk. Undersökningen är tänkt att omfatta spansk gitarr, brassinstrument och stråkinstrument. I gruppen brassinstrument ingår trombon, trumpet, tuba och valthorn. I gruppen stråkinstrument ingår viola, violin och cello (violoncell).

2.3.1 Gitarr

Ljudet i en gitarr alstras genom att strängarna sätts i rörelse och orsakar vibrationer som förstärks av gitarrkroppen. Olika tonlägen fås då strängarnas vibrerande längd varieras genom att de trycks mot greppbrädan på bestämda ställen, s.k. band. Detta instrument förekommer i många olika varianter, både akustiska och el-förstärkta och dessa skiljer sig åt i både utseende och klangfärg. I detta arbete beaktas inte el-förstärkta instrument. Bland de akustiska gitarrerna finns bl.a. klassisk eller spansk gitarr och westerngitarr. Formen hos dessa är

ungefär lika men en westerngitarr är större och grövre. Den största skillnaden är att en westerngitarr har strängar av stål medan strängarna hos en spansk gitarr är av nylon. De tre tjockaste strängarna hos den senare varianten är ofta lindade med metalltråd för att öka massan. Strängar av stål genererar högre spänningar i gitarren vilket är en av anledningarna till att en westerngitarr är mer robust konstruerad. Halsen på en stålsträngad gitarr är ofta förstärkt inuti med en metallstav. Dessa båda typer skiljer sig också åt i styrka och klangfärg. En spansk gitarr har ett svagare och mjukare ljud medan en westerngitarr är starkare och har ett vassare, mer distinkt ljud. I detta arbete undersöks spansk gitarr. Detta är ett relativt ljudsvagt instrument om man jämför med de andra instrumenttyperna som ingår i undersökningen. Mer om gitarrer finns i bl.a. [1] och [3].

2.3.2 Brassinstrument

I undersökningen ingår i denna grupp, som tidigare nämnts trombon, trumpet, tuba och valthorn. En rad andra typer av brassinstrument förekommer och ovan nämnda instrument finns i olika varianter. Instrumenten består i grunden av ett mer eller mindre konformat rör av metall av varierande storlek och form. Ljudet alstras genom att luften i röret sätts i rörelse av vibrationer från läpparna. Olika toner genereras genom att rörets längd ändras. Tonläget beror även på hur kraftiga vibrationerna från läpparna är. Det finns olika sätt att variera rörets längd och hur detta görs utgör en av skillnaderna mellan olika brassinstrument. På en trombon är en del av röret flyttbar vilket gör att rörets totala längd kan ändras till önskade lägen. Hos övriga brassinstrument ändras längden med hjälp av extra rördelar med varierande längd. Den totala rörlängden ändras genom att ventiler kopplade till rören öppnas eller stängs. För vidare läsning hänvisas till [1] och [3].

2.3.3 Stråkinstrument

Även stråkinstrument förekommer i en rad olika varianter som skiljer sig åt i storlek, utformning och klang. I undersökningen ingår från denna grupp viola, violin och cello vilka i sin tur förekommer i olika typer. Stråkinstrument har det gemensamt att strängarna sätts i rörelse genom friktion då en stråke dras över dem. Strängrörelsen ger upphov till vibrationer vilket gör att ljud alstras. Vibrationerna förstärks av instrumentkroppen på samma sätt som hos gitarren. Strängarna kan även sättas i rörelse med fingrarna. Tonläget varierar då strängarnas vibrerande längd ändras genom att de trycks mot greppbrädan enligt samma princip som hos gitarren. Viola, violin och cello har i stort sett samma form men skiljer sig åt i storlek och klang. Violinen är minst och cellon störst. Vilka grundtoner strängarna är stämde i skiljer sig också åt mellan instrumenten. Cellon har de lägst stämde strängarna och violinen de högst stämde. Läs mer i [1] och [3].

2.4 Enkätmetoder

Enkätundersökningen görs med hjälp av studerande på musikerutbildningen och musikpedagogutbildningen vid Malmö Musikhögskola. (Vissa av studenterna kommer att sluta efter vårterminen -05, vilket måste beaktas i undersökningen.) Skolan har inget bokningssystem för övningsrummen utan studenterna tar ett rum som är ledigt när de ska öva. Övningsrummen är heller inte anpassade för olika instrumenttyper. Övningsrum i olika storlekar finns dels i skolans huvudbyggnad och dels i en barackbyggnad intill. I

barackbyggnaden är överhörningen mellan rummen stor medan rummen i huvudbyggnaden inte har detta problem. Barackbyggnaden ska tas ur bruk. Rummen används både för individuell övning och för ensamblar. Enkätundersökningen består av två delenkäter där den första är av kvalitativ typ och utgörs av en rad frågor som behandlar hur studenterna upplever den miljö de övar i, dels på skolan och dels hemma. Den andra enkäten är ett s.k. attitydtest eller adjektivtest av kvantitativ typ.

2.4.1 Enkät 1 – Val av rum

Syftet med den första enkätundersökningen (se Bilaga 3) är att välja ut de rum som sedan ska undersökas vidare med hjälp av den andra enkäten och mätningar. För varje instrumentgrupp ska ett rum väljas ut där musikerna över lag tycker att förhållandena är bra och ett rum som är sämre. Studenterna får svara på frågor om vilket rum de trivs bäst resp. sämst med och varför. Alla skolans övningsrum ingår. Denna första enkät syftar även till att ta reda på vilka egenskaper hos ett rum som musikerna tycker är bra eller dåliga. Detta kan sedan vara till hjälp vid utformningen av den andra enkäten då svaren kan ge bra exempel på adjektiv som kan användas.

2.4.2 Enkät 2 – Adjektivtest

Den andra delen i enkätundersökningen är ett s.k. adjektivtest som även kallas attitydtest (se Bilaga 3). De är konstruerade så att deltagaren i undersökningen får framför sig ett antal beskrivande ord eller adjektiv, som i det här fallet beskriver akustiska egenskaper i ett rum. Till varje adjektiv hör en sjugradig skala där deltagarna får fylla i hur väl de tycker att ordet beskriver rummets akustiska egenskaper. Skalan är utformad så att 1 betyder att personen inte alls anser att adjektivet beskriver hur ljudet uppfattas i rummet och 7 betyder att adjektivet fullständigt beskriver hur ljudet uppfattas. Här ges ett exempel:

[illegible]

Fig. 1. Adjektiv med tillhörande skala – Enkät 2.

Adjektivtest kan utformas på många olika sätt och har genom åren använts inom en rad olika ämnesområden [7]. En viktig faktor är hur själva skalan utformas. Den kan vara graderad på olika sätt beroende på ändamålet. Skalan kan vara enpolig (unipolar) eller tvåpolig (bipolar) [7]. Den typ som används här är enpolig, d.v.s. till varje skala hör bara ett ord och skalan är utformad som ett intervall mellan två värderingar. En tvåpolig skala består av två ord, ett adjektivpar, som är varandras motsats. De står på var sin sida om skalan och man kan säga att de ersätter de värderande orden i den enpoliga skalan. Ett exempel kan vara adjektivparet kallt och varmt. Här kan man, om man har valt en sjugradig skala, utforma den så att 1 betyder kallt och 7 står för varmt och försökspersonen får ange sin värdering på skalan däremellan. En nackdel med den tvåpoliga skalan är att det kan vara svårt att avgöra om två adjektiv verkligen är varandras motsats. Man kan då istället ge en egen skala till vardera ord i ett adjektivpar och använda sig av en enpolig skala, som inte har detta problem. En nackdel med detta är dock att testen kan bli för långa. I denna undersökning används en enpolig skala då det är svårt att bestämma exakt vilka adjektiv som är varandras motsats. En annan viktig

faktor när det gäller adjektivtest är att man vet exakt vad det är man mäter. I detta fall är det undersökningsslagtagarnas uppfattning av ett rums akustiska egenskaper som ska mätas. De adjektiv som används i frågeformulären kan också användas till att beskriva andra saker än just akustiken. T.ex. ordet varmt kan förutom att beskriva hur ljudet känns också beskriva temperaturen eller en generell känsla av rummet. Det är därför viktigt att ha en tydlig frågeställning i enkäten så att deltagarna i undersökningen är säkra på vad frågorna avser.

Adjektiven väljs med utgångspunkten att så brett som möjligt försöka beskriva ett rums akustiska egenskaper samtidigt som enkäten inte kan innehålla allt för många ord. Hänsyn tas också till om det kan finnas några objektiva mått som kan motsvara adjektiven. Vissa ord hämtas från tidigare undersökningar där subjektiva beskrivningar av musik och ljud har undersökts [7, 8, 9]. Adjektiv hämtas också från svaren till första omgången av Enkät 1 (då andra omgången av Enkät 1 delades ut samtidigt som Enkät 2, se Utförande och Resultat, Enkät 1). Vissa ord är tagna direkt ur enkäten medan vissa får representeras av motsatsord eller liknande ord. I Enkäten ingår också två frågor rörande totalintryck av rummen och hörselproblem:

”Tycker du att rummet är bra eller dåligt lämpat för övning på ditt instrument ur akustisk synvinkel?”

”Har du någon gång upplevt obehag eller smärta i öronen under tiden du spelar eller efter att du har spelat i rummet?”

Dessa frågor besvaras likt adjektiven med en sjugradig skala (se Bilaga 3).

Följande adjektiv ingår

Adjektiv		
Varmt [8]	Detaljrikt* [9]	Bullrigt* [9]
Klart [9]	Mjukt* [8][9]	Tunt [9]
Intimt	Rent [9]	Svårspelat*
Dämpat* [9]	Avskilt*	Mörk klang [7]
Balanserat* [9]	Torrt* [9]	Obehagligt* [7]
Hög ljudnivå* [7]	Livfullt*	Skarpt [7][8][9]
Diffust* [9]	Lyhört*	Grötigt* [9]
Hårt* [9]	Tydligt [9]	
Jämnt* [9]	Förlåtande*	

Tab. 1. Adjektiven i Enkät 2 (ord markerade med * är tagna direkt eller indirekt från svaren till Enkät 1 och siffrorna med hakparentes är referenser).

Adjektivet balanserat motsvarar de åsikter om att vissa toner på instrumentet klingar mer än andra i vissa rum, vilket kan göra att ljudet blir ojämnt. Balanserat kan också motsvara balans mellan efterklang och torrhet. Diffust motsvarar beskrivningar av hur nyanserat och i viss mån hur jämt ljudet i rummen är. Livfullt får representera de beskrivningar av rum med fyllig klang i enkätsvaren. Motsatsen till livfullt kan också vara beskrivningarna av döda, torra och klanglösa rum. Avskilt och lyhört får motsvara åsikter om ljudisoleringen (se Resultat, Enkät 1).

2.4.3 Utförande

En första omgång av Enkät 1 skickas ut under vårterminen –05 till 78 st studenter på musikerutbildningen enligt fördelningen i Tab. 2 a nedan.

Fördelning över instrumentgrupper, Enkät 1, omg. 1		
Instrument	Deltagare	Inkomna svar
Gitarr	10 st	1 st
Brassinstrument		
Trombon	8 st	3 st
Trumpet	3 st	1 st
Tuba	4 st	1 st
Valthorn	6 st	2 st
Sum.	21 st	7 st
Stråkinstrument		
Viola	7 st	1 st
Violin	28 st	3 st
Violoncell	12 st	3 st
Sum.	47 st	7 st
Sum. tot.	78 st	15 st

Tab. 2 a. Fördelning över instrumentgrupper, Enkät 1, omg. 1.

Enkäterna skickas med post till studenterna som sedan lämnar in svaren till receptionen på Musikhögskolan i Malmö. En rundringning bland studenterna görs och påminnelsemail skickas ut. Ett visst bortfall bland undersökningsdeltagarna uppkommer då det visar sig att vissa inte går kvar på skolan samt att vissa adresser är felaktiga. Det är svaren från denna omgång som ligger till grund för Enkät 2.

Före sommaruppehållet skickas ett informationsbrev om Enkät 2 ut och enkätformulären läggs ut i de aktuella rummen. P.g.a. bortfallet blir antalet deltagare här lägre, 68 st enligt fördelningen i Tab. 2 b nedan.

Fördelning över instrumentgrupper, Enkät 2, omg. 1		
Instrument	Deltagare	Inkomna svar
Gitarr	8 st	0 st
Brassinstrument		
Trombon	7 st	0 st
Trumpet	3 st	
Tuba	3 st	
Valthorn	6 st	
Sum.	19 st	
Stråkinstrument		
Viola	7 st	0 st
Violin	22 st	
Violoncell	12 st	
Sum.	41 st	
Sum. tot.	68 st	0 st

Tab. 2 b. Fördelning över instrumentgrupper, Enkät 2, omg 1.

Ytterligare bortfall uppstår p.g.a. felaktiga adresser.

I början av höstterminen -05 görs ytterligare ett utskick av både enkät 1 och 2. Här utökas antalet undersökningsdeltagare till 108 st genom att studenter från musikpedagogutbildningen tas med i undersökningen. Fördelningen över instrumenttyper är enligt följande Tab. 2 c.

Fördelning över instrumentgrupper, Enkät 1 och 2, omg. 2			
Instrument	Deltagare	Ink. svar Enkät 1	Ink. svar Enkät 2
Gitarr	22 st	6 st	6 st
Brassinstrument			
Trombon	8 st	3 st	1 st
Trumpet	7 st	1 st	1 st
Tuba	4 st	1 st	3 st
Valthorn	8 st	2 st	2 st
Sum.	27 st	7 st	7 st
Stråkinstrument			
Viola	10 st	1 st	1 st
Violin	35 st	4 st	7 st
Violoncell	14 st	4 st	4 st
Sum.	59 st	9 st	12 st
Övriga			5 st
Sum. tot.	108 st	22 st	30 st

Tab. 2 c. Fördelning över instrumentgrupper, Enkät 1 och 2, omg 2.

Ett informationsbrev samt Enkät 1 läggs nu i studenternas elevfack. Enkät 2 placeras i de aktuella rummen. En rundringning bland studenterna görs och påminnelsemail skickas. Även ett påminnelsebrev läggs ut i facken och anslag sätts upp på dörrarna till de aktuella rummen. Ett visst bortfall uppstår p.g.a. att vissa studenter har studieuppehåll eller är borta av andra anledningar eller att de aldrig övar på skolan.

2.5 Övningsrummen

2.5.1 Anpassning av akustiken vid byggandet

Här följer en sammanfattning av samtal med Leif Cederfeldt, TeknD, på AkustikGruppen i Malmö AB [10] angående anpassningen av akustiken vid byggandet av Musikhögskolan i Malmö.

Nedan beskrivna rum med anpassad efterklangstid till olika instrumenttyper är undervisningsrum. Efterklangstiden i övningsrummen sattes till 0.4 – 0.5 s.

Akustiska åtgärder vidtogs i samband med byggandet. Alla lokaler konstruerades med bärverk i taken vilket består av plattor som ligger på uppochnervända T-profiler fästa i innertaket. Klangen i rummen kan då regleras genom att ändra antalet plattor. En indelning av undervisningsrummen gjordes med avseende på efterklangstid. Rummen konstruerades med lång, medel och kort efterklangstid för att passa till olika sorters musikinstrument. Vissa rum anpassades för slagverk och målsättningen var att få så kort efterklang om möjligt. Här sattes absorption i väggar och tak vilket resulterade i en efterklangstid på 0.3 – 0.4 s. Andra rum anpassades för ljudstarka instrument såsom bleckblås, elgitarr, bas och piano med en efterklang på 0.5 s. Även rum för t.ex. akustisk gitarr, stråkinstrument och sång konstruerades med 0.8 s efterklang. Dämpande skivor sattes upp i taket. I de rum som var avsedda för orgel önskades så lång efterklangstid som möjligt. Här sattes ingen absorption in. För varje läsår ändras andelen musiker från de olika grupperna av instrument. Till vissa läsår krävdes det kanske fler rum med t.ex. kort efterklang. Detta tillgodosågs genom att extra skivor ställdes på skolan så att de akustiska förhållandena i rummen kunde ändras.

Idag använder sig AkustikGruppen i Malmö AB mer av draperier som dämpning då dessa är mer lätthanterliga då musikerna vill anpassa ljudet i ett rum vid ett speltillfälle. Draperier är dock ömtåligare och blir lätt slitna och smutsiga.

Man lade stor vikt vid ljudisoleringen vid byggandet av skolan. Reduktionstalet mellan rummen sattes till $R'_w = 64$ dB och från korridor till $R'_w = 50$ dB. Väggarna mellan rummen består av tre lager gips på vardera sidan med delad stålstomme. Mot korridor är väggarna konstruerade på samma sätt fast med två lager gips på vardera sidan. Rummen försågs med dubbla dörrar. Bjälklagen består av massiv betong. På bjälklagen ligger ett flytande golv av spånskivor på 80 mm mineralull. I taken under bjälklagen hänger ett ljudisolerande, lutande gipsinnertak. Taken gjordes lutande för att hindra ljudet från att transporteras vidare i konstruktionen.

Detta var vad som gällde vid konstruktionstillfället.

2.5.2 Rekommendationer för musiklokaler

Efter samtal med Eva Sjö Dahl, konsult, på Ingemansson Technology AB i Malmö [11] erhöles material rörande bl.a. riktvärden för olika akustiska mått. Här följer en sammanfattning av delar av materialet.

Riktvärden finns för vilken efterklangstid som är lämplig för olika typer av instrument och instrumentgrupper. För instrument med hög ljudnivå t.ex. de flesta slagverksinstrument, elektroniska instrument och låga bleckblåsinstrument rekommenderas en efterklangstid på 0.2 – 0.4 s. För tonsvaga slagverksinstrument, höga bleckblåsinstrument, träblåsinstrument, piano och vissa stråkinstrument rekommenderas något längre efterklangstid, 0.4 – 0.6 s. En ännu längre efterklangstid, 0.6 – 1.0 s rekommenderas för vissa stråkinstrument, blockflöjt, gitarr och sång. Rekommendationer finns också för specifika instrument inom olika grupper. För trumpet, gitarr, flöjt och cello rekommenderas 0.6 s, för piano 0.7 s, för klarinett och fiol 0.8 s och för sång 1.1 s. Önskad efterklangstid fås genom att rummen utrustas med absorbenter i taket och på väggarna av olika typ och i varierad mängd. Dessa kan vara mjuka då mer dämpning önskas eller lite hårdare om man önskar något svagare dämpning. Dessa typer kan även blandas för att ge önskad effekt. Ibland behövs även panelabsorbenter längst väggarna för att få mer dämpning i rummet. Dessa kan ibland även sättas i taket.

Ett sätt att dämpa en lokal ytterligare är att sätta upp kraftigt tyg längst väggarna eller i taket med ca 1 dm luftspalt mellan ytan och tyget. Kraftigt sammetstyg eller fondväv kan vara lämpligt. Klangen i rummet kan då varieras genom att tygen dras för eller isär.

Det finns även krav på bakgrundsljudet från trafik och tekniska installationer i olika lokaler bl.a. för teatrar, konserthus och biografier. Repetitionslokaler i sådana byggnader ska inte ha ett bakgrundsljud som överskrider 25 dB(A).

2.5.3 Val av rum

De rum som ska undersökas närmare valdes ut efter att 15 svar från den första enkäten kommit in (se Resultat, Enkät 1). (Även en rundringning bland gitarristerna gjordes i samband med detta då dessa var underrepresenterade bland de 15 inkomna enkätsvaren.) Resultaten visade att musikerna i de olika grupperna föredrar samma typ av rum vid övning, nämligen något av de större rummen i A-korridoren på skolan. Rum A 213 valdes därför ut att representera ett bra övningsrum till alla instrumentgrupperna. När det gäller de rum som anses vara mindre gynnsamma är åsikterna också här ganska likvärdiga hos de tre grupperna. De rum som över lag anses vara de sämsta är de i E- och F-korridorerna, som är belägna i baracker utanför skolans huvudbyggnad. Av dessa anses de rum som saknar gardiner och draperier vara de allra sämsta. Även de små rummen i skolans Y-korridor anses av vissa, särskilt brassgruppen i den första enkätomgången, vara mindre bra att öva i. Till gitarr- och stråkgruppen valdes därför E 105 ut som ett sämre rum och till brassgruppen valdes Y 211. Då åsikterna bland musikerna är så likvärdig då det gäller vilka rum som är bra och dåliga har den första tanken om att musikerna endast ska besvara enkäter för två utvalda rum till deras instrumentgrupp ändrats något. Vid den andra enkätundersökningen får musikerna även fylla i enkäter i de rum som inte hör till deras instrumentgrupp. Tanken är att alla musiker som ingår i undersökningen ska fylla i enkäter för alla tre rummen.

Valda rum		
Instrumentgrupp	Bra rum	Sämre rum
Gitarr	A 213	E 105
Brassinstrument	A 213	Y 211
Stråkinstrument	A 213	E 105

Tab. 3. Valda rum.



Fig. 2 a. Rum A 213.



Fig. 2 b. Rum A 213.



Fig. 2 c. Rum Y 211.



Fig. 2 d. Rum E 105.

2.5.4 Rumsbeskrivning

A 213 är det största av de tre rummen med en area på ca 21 m². Rummet har ett ganska litet fönster och en flygel är placerad i ett av hörnen mot ytterväggen (se Fig. 2 a och b). Rummet ligger i skolans huvudbyggnad.

Y 211 är ca 9 m² stort och har en ganska långsmal form. Stora fönster är placerade längst hela ytterväggen. Rummet känns ganska litet och trångt. En av sidoväggarna har en trubbig vinkel ut mot rummet. Här står också ett piano (se Fig. 2 c). Även detta rum ligger i skolans huvudbyggnad.

E 105 har en area på ca 10 m^2 . Rummet har två fönster och ligger i en av barackerna utanför skolans huvudbyggnad. Även detta rum är utrustat med ett piano som är placerat mot en av sidoväggarna (se Fig. 2 d).

2.6 Mätmetoder

Efter provmätningar och tester på LTH görs två typer av mätningar i de utvalda rummen på Musikhögskolan i Malmö, ljudisolering och impulssvar. I ljudisoleringmätningen ingår även mätning av efterklangstid och bakgrundsljud.

2.6.1 Ljudisolering

En ljudisoleringsmätning bygger i stora drag på att mäta skillnaden i ljudnivå mellan två intilliggande rum eller utrymmen (se Fig. 3). Den ljudsignal som används är vitt eller rosa brus. Vitt brus är ett ljud som innehåller alla frekvenser och där ljudnivån är lika för alla frekvenser [1]. Ett rosa brus innehåller också alla frekvenser men här är istället ljudnivån för alla tersband lika. Då tersbanden blir bredare ju högre upp i frekvens man kommer gör detta att nivåerna för enskilda frekvenser blir lägre ju högre frekvensen är. I ett av rummen placeras en ljudkälla, en högtalare, som sänder ut vitt eller rosa brus. Man mäter ljudnivån, L_s , i detta rum, kallat sändarrum. Därefter mäts ljudnivån, L_m , i det andra rummet, kallat mottagarrum. Dessa nivåer mäts i dB. Skillnaden utgör den ljudeffekt som tas upp av väggen mellan rummen och kallas reduktionstal, R . Ljudet kan spridas mellan rummen dels som luftljud och delas genom flanktransmission. I en sådan här mätning beaktas bara luftljudet. En viss mängd ljudenergi absorberas av ytorna i mottagarrummet. Detta tar man hänsyn till i uttrycket för reduktionstalet [2]. Sambandet ges av ekv. 10

$$R = L_s - L_m + 10 \log(S/A) \quad (\text{dB}) \quad (10)$$

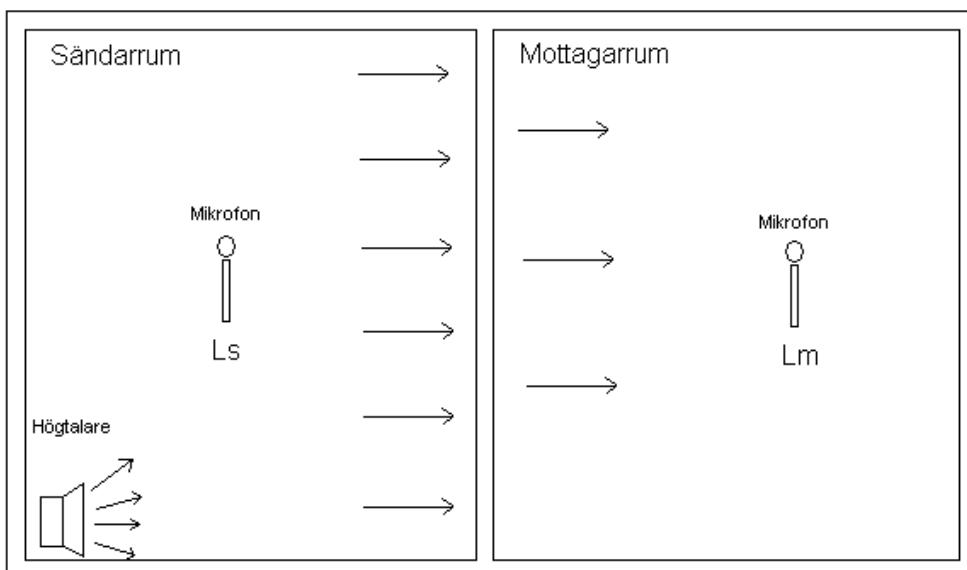


Fig. 3. Princip vid mätning av ljudisolering.

Bakgrundsljud och efterklangstid påverkar också resultatet vilket beskrivs senare. Man skiljer på uppmätta reduktionstal i laboratoriemiljö och i fält. Detta beror på att man vid fältmätningar inte kan garantera att allt ljud verkligen transmittas genom skiljeväggen då en viss mängd kan spridas som flanktransmission. Reduktionstal uppmätta i laboratorier kallas R och i fält R' . Det har tagits fram standarder för ljudmätningar. Hur en reduktionstalsmätning ska gå till anges i SS-ISO 140. Resultatet av mätningarna ges i en kurva som bildas av medelvärden av den reducerade ljudeffekten i intervall om $\frac{1}{3}$ oktav i frekvensområdet 50 Hz – 5 kHz. Man kan med hjälp av detta räkna ut ett s.k. vägt reduktionstal, R_w , vilket är ett värde på reduktionstalet vid 500 Hz. Man skiljer även här på reduktionstal från laboratoriemätningar och fältmätningar. Det vägda reduktionstalet mätt i ett laboratorium betecknas R_w och en fältmätning ger R'_w . R'_w beräknas med hjälp av en referenskurva som har tagits fram till den standard, SS-ISO 717/1, som används vid reduktionstalsberäkningar (se Fig. 4).

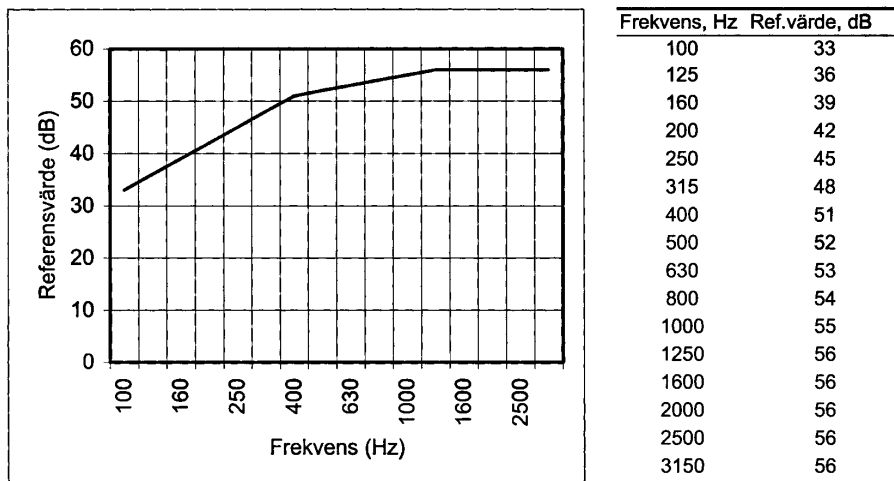


Fig. 4. Referenskurva och tabell för beräkning av R'_w [2].

Denna kurva omfattar frekvensområdet 100 – 3150 Hz. Man jämför den uppmätta kurvan med referenskurvan vid frekvenser i intervall om $\frac{1}{3}$ oktav. Om värdet för den uppmätta kurvan vid en frekvens är lägre än referenskurvas värde kallas detta för en ogynnsam avvikelse. Referenskurvan flyttas 1 dB åt gången tills dess att summan av alla ogynnsamma avvikelser är så nära 32 dB som möjligt men dock inte större. R'_w kan nu erhållas genom att läsa av värdet av ljudnivån vid 500 Hz. Dessa beräkningar kan utföras med hjälp av datorprogram vilket beskrivs nedan. Vidare om ljudisolering finns i [2].

Ljudisoleringsmätningarna på Musikhögskolan i Malmö görs med hjälp av utrustning från Avdelningen för teknisk akustik på LTH (se Fig. 5). Mjukvaran dBbati32 tillsammans med ljudkortet Symphonie 01 dB används som mätsystem. Utöver detta används även en mätmikrofon med tillhörande förstärkare, en förförstärkare, en effektförstärkare samt en rundstrålande högtalare. Systemet kopplas upp enligt följande figur:

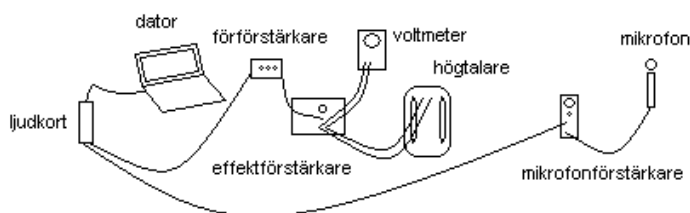


Fig. 5. Mätsystem.

Två mätningar av reduktionstalet görs i vart och ett av de tre utvalda rummen. Ett värde för väggen mellan korridoren och rummet och ett värde för väggen mot ett intilliggande rum. I de aktuella rummen placeras en stol med träfiberskivor på som någorlunda ska simulera de effekter en sittande människa har på ljudet när det gäller absorption och reflektion. Stolen placeras ungefär mitt i rummet på en position där en musiker kan tänkas öva (se Fig. 2 c och 2 d). I varje rum finns ett piano eller en flygel. I rummen finns även stolar, notställ och golvspeglar. Dessa flyttas ut eller ställs intill väggen. I varje mätning ingår fyra delmätningar; ljudnivå i sändarrum, L_s , ljudnivå i mottagarum, L_m , bakgrundsljud i mottagarum, L_b samt

efterklangstid i mottagarrum, T_{60} . För varje delmätning tas fem värden med olika mikrofonpositioner som sedan bildar ett medelvärde för rummet. Före mätningarna startar måste mätkedjan kalibreras och för varje uppställning av högtalare och mikrofon ställs dynamiken hos systemet in. Rosa brus används som ljudsignal i rum A 213. I de två övriga rummen används vitt brus och förstärkaren är då fränkopplad (p.g.a. felinställningar i programvaran vid mättillfället i A 213 kunde vitt brus inte användas). Vid mätning av L_s placeras högtalaren i sändarrummet som utgörs av korridoren utanför rummet eller av ett av de intilliggande rummen. Högtalaren placeras i det intilliggande rummet i ett hörn enligt Fig. 3 och vinklas 45° mot skiljeväggen. Vid mätning från korridor ställs högtalaren på samma sätt inom området för skiljeväggen. Mikrofonen placeras i sändarrummet och övrig utrustning en bit bort i korridoren. Ljudnivån mäts inom frekvensområdet 50 Hz – 5 kHz i intervall om $\frac{1}{3}$ oktav och mättiden för varje delmätning är 32 s. Vid mätning av L_m står högtalaren kvar i sändarrummet men mikrofonen flyttas in i mottagarrummet. Frekvensområde, intervall och mättid för varje delmätning är samma som vid mätning av L_s . Bakgrundsljudet L_b mäts helt enkelt genom att mikrofonen placeras i mottagarrummet på de fem olika positionerna. Frekvensområdet är även här 50 Hz – 5 kHz, intervallet $\frac{1}{3}$ oktav men mättiden 12 s. Vid mätning av efterklangstiden, T_{60} , är mikrofon och högtalare placerade i mottagarrummet. Högtalaren vinklas 45° ut mot rummet. Frekvensområde, intervall och mättid är samma som vid mätning av bakgrundsljudet. Mätningen utförs genom att ljudsignalen startas och hålls igång i några sekunder för att sedan stängas av. Ljudet i rummet får sedan klinga av helt. Systemet ställs i förväg in så att efterklangstiden börjar mätas när ljudsignalen har stängts av och nivån har sjunkit med 5 dB. Tiden mäts sedan fram tills dess att nivån sjunkit ytterligare 30 dB. Med hjälp av regression beräknas efterklangstiden ner till 60 dB. Intervallet på tidsaxeln hos kurvan ställs i förväg in till 20 ms. Resultatet ger ett värde för efterklangstiden hos varje frekvensintervall. Med hjälp av dessa fyra mätningar kan det vägda reduktionstalet samt anpassningstermerna C och C_{tr} för olika typer av buller erhållas med hjälp av programmet [12]. I svensk standard används termen $C_{50-3150}$. För att få ett tillförlitligt resultat måste dock skillnaden i ljudnivån mellan L_m och L_b vara minst 10 dB. Så länge denna differens inte är lägre än 6 dB görs dock korrigeringar av programmet.

2.6.2 Impulssvar

Impulssvar är ett mått på vilken karaktär ljudet får i ett rum och vad som händer med en ljudsignal då den färdas i rummet [13]. Resultatet av en impulssvarsmätning blir en ljudsignal som kan liknas vid ett pistolskott på vilken man direkt kan höra vilken typ av klang som rummet ger. Från den funktion som mätningen ger kan man sedan räkna ut en rad olika mått på rummets akustiska egenskaper och ljudets karaktär t.ex. klarhet och efterklangstid. Vid mätningen sänder en högtalare ut en MLS-signal (Maximum Length Sequence) som är en pseudoslumpmässig signal som innehåller alla frekvenser. Ljudsignalen låter bara som ett brus men i vissa fall går det dock urskilja en viss regelbundenhet och att bruset innehåller någon form av periodisk signal. Signalen tas sedan upp av en mikrofon och jämförs med den utgående signalen vilket ger impulssvaret (se Fig. 8). Högtalare och mikrofon placeras olika beroende på vad man vill mäta.

En mätning av impulssvar består egentligen av ett antal responsmätningar, n_{av} , som sedan vägs samman till ett medelvärde. Detta gör att ett visst bakgrundsbuller tillåts utan att resultaten försämrats. Tiden för en responsmätning betecknas T . Ljudet läses av vid ett bestämt

antal tidpunkter eller samplingspunkter, N . Tidsintervallet mellan avläsningarna är Δt och sambandet mellan dessa parametrar, ekv. 11, blir då

$$T = N \Delta t \quad (s) \quad (11)$$

Antalet samplingspunkter ges av ekv. 12

$$N = 2^n - 1 \quad (-) \quad (12)$$

där n är ordningen. Samplingsfrekvensen, f_s , d.v.s. hur många avläsningar som görs per sekund beräknas med ekv. 13

$$f_s = 1/\Delta t \quad (s^{-1}) \quad (13)$$

Impulssvarsmätningarna på Musikhögskolan i Malmö görs med samma utrustning som används vid reduktionstalsmätningarna med undantag för högtalaren som byts ut mot en mindre variant av vanlig stereomodell samt att förstärkaren inte används här. Mjukvaran dBFA32 används vid mätningarna. För att någorlunda simulera en person som spelar ett instrument placeras en stol med träfiberskivor i rummet på samma sätt som vid mätningarna av reduktionstal. Högtalaren placeras på stolsitsen och riktas framåt för att motsvara ljudalstringen från ett musikinstrument. Mikrofonen placeras en bit framför den del av den övre träfiberskivan som ska motsvara musikerns huvud för att motsvara ljudförhållanden kring huvud och öron (se Fig. 6, 7 a och 7 b). I varje rum görs tre mätningar av impulssvar för tre olika positioner på stolen. Den första görs när stolen är riktad rakt fram i rummet parallellt med sidoväggarna. Vid de övriga två mätningarna vrids stolen ca 45° åt höger resp. vänster. Detta för att undersöka hur ljudets riktning påverkar resultatet. Samma stol används i alla rummen och högtalare, mikrofon samt skivor placeras lika vid alla delmätningar enligt Fig. 6. En impulssvarsmätning görs även i LTH's ljuddöda rum (se Fig. 12). Resultatet från denna mätning ska sedan användas vid beräkningar av vissa objektiva mått, vilket beskrivs senare.

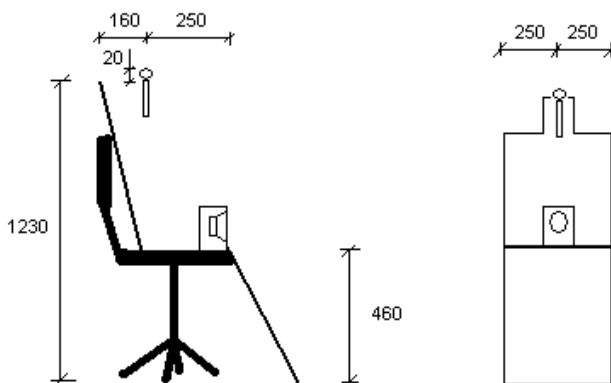


Fig. 6. Uppställning av utrustning vid mätning av impulssvar.

Före mätningen startar görs en del inställningar i programmet. Ordningen, n , som i sin tur ger antalet samplingspunkter, N , anges. Antalet responsmätningar, n_{av} , som sedan ska vägas samman till ett medelvärde ställs också in. Känsligheten för inverkan av störande

bakgrundsljud blir mindre och kvaliteten på det slutliga impulssvaret blir bättre ju högre dessa värden är. Den totala mättiden, T_{tot} , blir dock längre när dessa värden höjs och ges av ekv. 14

$$T_{tot} = T n_{av} \quad (s) \quad (14)$$

Även frekvensområdet för mätningen anges i programmet. Då frekvensområdet förlängs krävs fler samplingspunkter och responsmätningar.



Fig. 7 a. Mätning av impulssvar.

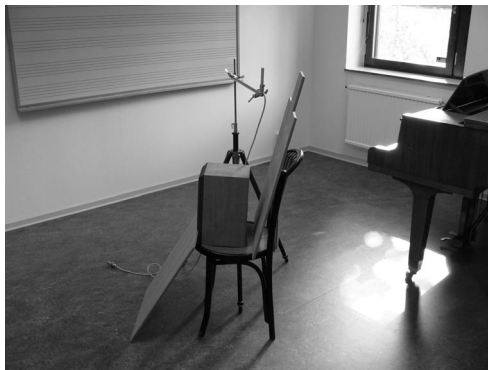


Fig. 7 b.

Före mätningarna på Musikhögskolan gjordes testmätningar på LTH för att ta reda på hur många samplingspunkter och responsmätningar som behövs för att ge det bästa resultatet. Vilka värden som är lämpliga att använda kan variera beroende på i vilken typ av rum mätningen ska utföras. Som tidigare nämnts ökar kvaliteten på resultatet då dessa värden höjs, men i vissa fall ger ytterligare höjningar ingen märkbar förbättring. De rum på LTH där tester utfördes motsvarar inte riktigt den typ av rum på Musikhögskolan som sedan ska mätas men ger ändå en bild av ungefär vilka värden som kan vara lämpliga. Efter att ha börjat testmätningarna med ganska låga värden visade det sig att 65535 samplingspunkter vilket motsvarar en ordning på 16 och 256 responsmätningar gav tillförlitliga resultat. Frekvensområdet valdes till 0 – 20 kHz för att motsvara vad som är hörbart för det mänskliga örat (20 Hz – 20 kHz). Detta ger en total mättid, T_{tot} , på 5 min 27 s 680 ms och en tid för varje responsmätning, T , på 1 s 280 ms. Mätningar med samma antal samplingspunkter men med en fördubbling av antalet responsmätningar gav ingen nämnvärd förbättring. Dessa värden visade sig sedan även ge bra resultat vid mätningarna på Musikhögskolan. För att bedöma hur bra ett resultat från en impulssvarsmätning är kan man undersöka hur mycket störande brus som har tagits upp vid mätningen. Detta görs här genom att jämföra den mängd ljudenergi som den användbara delen av impulssvaret innehåller med den energimängd som återstår efter att impulsen har klingat av. Med den användbara delen menas den del från det att impulsen startar tills den klingat av (vid ca 0.6 s i Fig. 8). För att göra denna jämförelse används ett Matlab-program, `rife_coherence` [14], som jämför energimängden för den användbara delen med energimängden för hela impulsen. Då förhållandet mellan dessa värden närmar sig 1 är mätningen nästan helt fri från brus och störningar. Det går även att lyssna på impulsen för att bedöma kvaliteten.

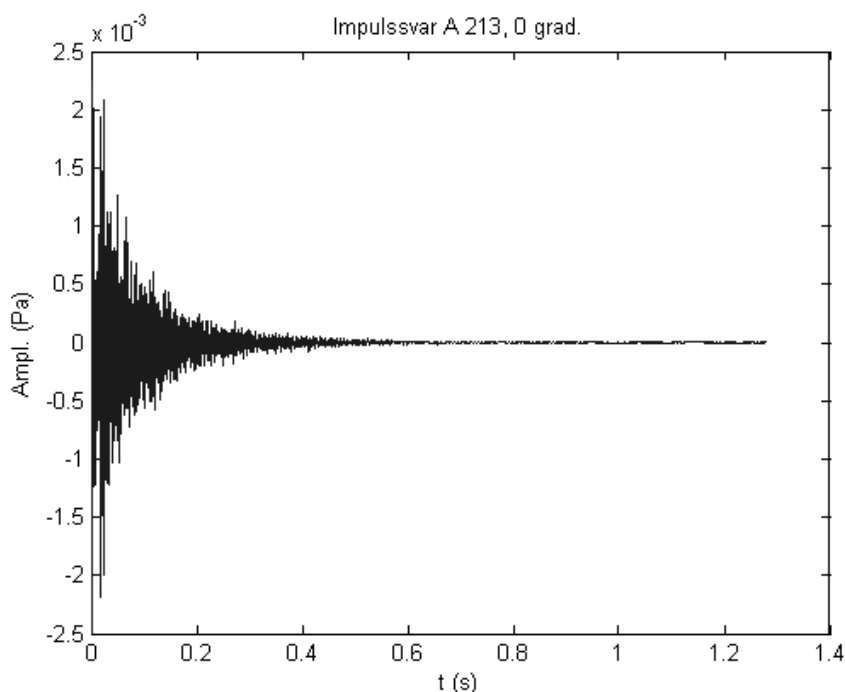


Fig. 8. Resultande kurva från impulssvarsmätning.

2.7 Subjektiv terminologi kopplad till objektiva mått

Hur ljudet upplevs i ett rum varierar från person till person och kan beskrivas på många olika sätt med en rad olika termer. Dessa egenskaper kan ofta härledas till uppmätta objektiva värden t.ex. när det gäller efterklangstid för olika frekvenser. Nedan följer några viktiga egenskaper och objektiva mått som kan användas för att bedöma ett rums karaktär när det gäller musik. Mått väljs som man kan anta motsvara subjektiva mått i Enkät 2. Detta kan man dock inte veta på förhand. De valda måtten ska också försöka beskriva rummets akustiska egenskaper så brett som möjligt. Nedan beskrivs även hur vissa objektiva mått kan antas höra samman med subjektiva bedömningar från svaren i Enkät 1 (se Resultat, Enkät 1). För beräkningsprogram i Matlab se Bilaga 4.

2.7.1 Efterklangstid

Efterklangstiden, T_{60} , i ett rum varierar, som tidigare nämnts, för olika frekvenser och beror bl.a. på rumsvolym och inre beklädnad. Man kan dock avgöra om ett rum har lång eller kort total efterklangstid. Även detta har beskrivits tidigare då de ljudhårda och torra rummen togs upp. Exempel på rum med lång efterklangstid är stora stenkyrkor. I vissa sådana byggnader kan ljudreflektionerna höras i flera sekunder efter det att en ljudkälla har tystnat. Stora lokaler har ofta längre efterklangstid än små då det reflekterande ljudet måste färdas längre mellan olika ytor och därför inte absorberas lika fort. I ett rum med för lång efterklangstid kan en musiker uppleva att tonerna flyter ihop och ljudet blir grötigt. Detta beror på att det reflekterande ljudet dör ut för långsamt och därför smälter ihop med det direkta ljudet som

produceras strax efteråt [1]. Fenomenet maskering har också betydelse här. Maskering betyder att ett ljud döljer ett annat [2]. Ett ljud sägs vara maskerat av ett annat då det första ljudet är hörbart då det får ljuda ensamt men inte hörbart då det andra ljudet är närvarande [3]. Ett exempel på maskering visas i Fig. 9 nedan. Det maskerande ljudet, d.v.s. det ljud som döljer ett annat, har störst maskerande effekt vid frekvenser högre än sin egen frekvens, vilket visas i figuren.

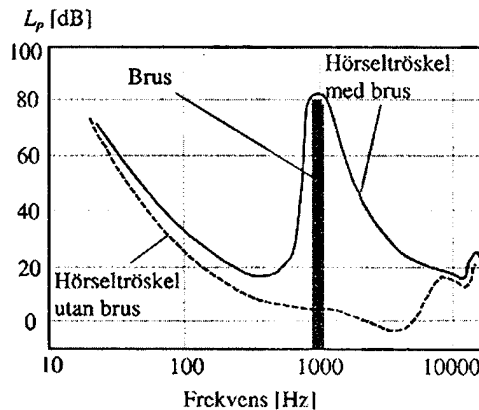


Fig. 9. Maskerande effekt av ljud kring 1000 Hz [2].

Ett rum med för kort efterklangstid kan istället upplevas som otacksamt att spela i då de enskilda tonerna dör ut för fort och ingen riktig klang skapas. Musiken kan kännas torr och livlös och musikern kan uppleva att rummet inte ger någon respons. Vad som anses som lagom lång efterklangstid varierar från musiker till musiker bl.a. beroende på vilket instrument de spelar. Vissa vill ha lång efterklangstid för att skapa sin önskade ljudbild, kanske för att det aktuella instrumentet i sig är ljudsvagt, medan andra vill ha en relativt kort efterklangstid, kanske för att lättare kunna urskilja detaljer i sin musik. T_{60} beräknas i detta arbete som medelvärdet av efterklangstiderna hos frekvensområdena 125 – 5000 Hz. Måttet används då det är vedertaget i rumsakustiska sammanhang. I enkätsvaren beskrivs också rummen ofta utefter vilken typ av klang de har, t.ex. om rummet har mycket efterklang eller är torrt, vilket kan tänkas relatera till detta mått. Rummen beskrivs t.ex. som absorberande eller dåligt dämpade. Adjektivet grötigt kan också tänkas hänga samman med efterklangstiden.

2.7.2 Tidig efterklangstid

Tidig efterklangstid, T_{EDT} , (early decay time, EDT) mäts som efterklangstid, T_{60} , men baseras på de första 10 dB av det avklingande ljudet istället för 30 dB. Med hjälp av regression beräknas sedan tiden ner till 60 dB. Tidigare undersökningar har visat att detta mått bättre representerar subjektiva bedömningar av efterklangstiden än vad efterklangstiden, T_{60} , gör [15]. Måttet används även för att få ytterligare ett mått på rummets klang. T_{EDT} beräknas i detta arbete som medelvärdet av de tidiga efterklangstiderna hos frekvensområdena 125 – 5000 Hz.

2.7.3 Variation hos efterklangstiden vid olika frekvenser

I svaren från Enkät 1 nämns att vissa toner på instrumentet klingar mer än andra i vissa rum, vilket kan göra att ljudet blir ojämnt. Detta kan bero på att efterklangstiden är olika lång för olika frekvenser. Det är därför intressant att försöka beskriva detta med ett objektivi mått. Detta görs genom att beräkna standardavvikelsen för efterklangstiden hos de olika frekvensområdena. Med standardavvikelse menas hur mycket värdena i genomsnitt skiljer sig från medelvärdet [16]. På detta sätt får man reda på hur mycket efterklangstiden för de olika frekvenserna varierar. Det kan tänkas att ju lägre detta värde är, desto jämnare är ljudet i rummet. Beräkningarna görs för både T_{60} och T_{EDT} . Adjektiven balanserat och jämt finns med i Enkät 2.

2.7.4 Intimitet

Med intimitet (intimacy) menas hur stort eller litet ett rum upplevs. Ett stort rum kan kännas mindre än vad det är ur akustisk synvinkel beroende på hur ljudet reflekteras. Vad som avgör om ett rum kan sägas vara intimt eller inte är skillnaden i tid från det att det direkta ljudet når lyssnaren till det att den första reflektionen hörs. Ett rum brukar kallas intimt om detta tidsintervall är mindre än 20 ms [17]. Fenomenet beror bl.a. på rummets storlek och hur reflekterande ytor är placerade. I enkätsvaren beskrivs ljudet i rummen bl.a. som litet, nära, direkt och påträngande vilket kan tänkas hänga samman med intimitet. I Enkät 2 finns intimt med som adjektiv. Måttet beräknas på två sätt i detta arbete. Den första metoden går ut på att beräkna den tid det tar för ljudet att färdas från instrumentet till närmaste vägg och sedan därifrån till lyssnarens (musikerns) öra samt att beräkna tiden det tar för ljudet att gå från instrumentet direkt till lyssnarens öra. Sedan beräknas tidsskillnaden. Beräkningarna utgår från de uppställningar som gjordes för att simulera en musiker med instrument vid mätningarna och vilka positioner denna utrustning då hade i rummen. Det andra sättet att beräkna intimiteten görs genom att betrakta impulssvarskurvorna från mätningarna i rummen. Genom att utläsa ur kurvorna när det direkta ljudet och den första reflektionen anländer kan även tidsskillnaden här emellan avläsas.

2.7.5 Levande ljud

Ett rum med lång efterklangstid sägs vara levande (liveness) och kännetecknas av ett fylligt ljud. Det är främst efterklangstiden hos ljud med frekvenser över 500 Hz som har betydelse [17]. I enkätsvaren sägs vissa rum ha en fyllig klang vilket skulle kunna motsvara ett levande ljud. Ljudet i vissa rum beskrivs även som dött, torrt och klanglöst vilket kan tänkas vara motsatsen till ett levande ljud. I Enkät 2 finns livfullt med som adjektiv. I denna undersökning får det levande ljudet representeras av medelvärdet av efterklangstiden hos $\frac{1}{3}$ -oktavbandet kring 4000 Hz.

2.7.6 Varmt ljud

Denna egenskap kännetecknas av att toner från de lägre frekvensbanden, d.v.s. bastonerna känns fylliga (warmth). Fenomenet uppkommer då efterklangstiden för ljud med frekvenser under 250 Hz är något längre än den för mellanregistret [17]. Därför får varmt ljud i denna undersökning representeras av medelvärdet av efterklangstiden hos $\frac{1}{3}$ -oktavbandet kring 125

Hz. Rummen beskrivs som både varma och kalla i svaren till Enkät 1 vilket skulle kunna kopplas till detta mått. I Enkät 2 finns adjektivet varmt med.

2.7.7 Ljudstyrka

Hur högt ett ljud upplevs beror dels på intensiteten men också på ljudets frekvens. För frekvenser under ca 1000 Hz kan man i stora drag säga att då två ljud med samma intensitet men med olika frekvens jämförs är det ljudet med den högre frekvensen som upplevs som starkare (över 1000 Hz kan detta variera något). I ett rum kan den upplevda ljudstyrkan delas upp i den från det direkta ljudet och den från det reflekterande ljudet. Styrkan hos det direkta ljudet avtar ju längre bort man befinner sig från ljudkällan och kan därför vara otillräcklig i stora lokaler. En sådan stor lokal kan dock kompenseras av en lång efterklangstid vilket ger en högre upplevd ljudstyrka hos det reflekterande ljudet och bidrar till en högre total ljudstyrka.

För att kunna mäta den upplevda ljudstyrkan (loudness) har enheten phon tagits fram. Man kan säga att skalan utgår från frekvensen 1000 Hz. Då en ton med en viss frekvens och en viss intensitet upplevs som lika stark som en ton med frekvensen 1000 Hz och intensiteten 60 dB har den en upplevd ljudnivå på 60 phon. Genom att variera intensiteten beroende på frekvens kan man få fram kurvor som visar när ljudstyrkan för olika frekvenser upplevs som lika hög. I Fig. 10 nedan visas dessa samband. Den upplevda ljudstyrkan i phon jämförs med ljudtrycksnivån i dB.

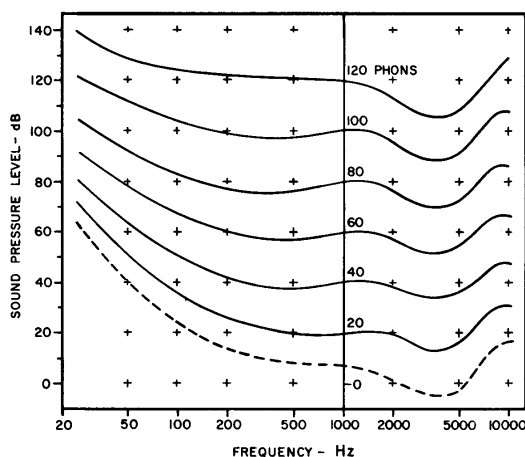


Fig. 10. Förhållanden mellan upplevd ljudstyrka i phon och ljudtrycksnivå i dB [1].

Ur figuren framgår t.ex. att för en ton med frekvensen 50 Hz krävs en intensitetsnivå på ca 80 dB för att tonen ska upplevas som lika stark som en ton med frekvensen 500 Hz med en intensitet på ca 58 dB [1].

En annan enhet för den upplevda ljudstyrkan är sone. Tester har visat att en upplevd fördubbling av ljudstyrkan motsvarar 10 phon. Detta motsvarar en ökning i antalet sone med en faktor 2. En ton med värdet 4 sone upplevs som dubbelt så hög som en ton med värdet 2

sone [3]. Den upplevda ljudstyrkan hos bakgrundsljudet i rummen beräknas i detta arbete med hjälp av ett Matlabprogram , loudness, och svaren ges i phon och sone.

Vid mätningar och beräkningar av upplevd ljudstyrka tas även hänsyn till effekter av maskering vilket kort beskrevs tidigare. Örats s.k. kritiska bandbredd beaktas också. Detta har att göra med örats sätt att registrera och sortera ljud. Örat använder sig av ett antal filter med olika bandbredd beroende på frekvens. Det är denna bandbredd som är den kritiska. Detta står vidare beskrivet i [2].

Ett annat sätt att beskriva upplevd ljudstyrka är med hjälp av s.k. vägda ljudtryckskurvor. Dessa fungerar som ett slags filter som höjer eller sänker ljudnivån beroende på frekvens. Dessa filter är framtagna ur inverterade phonkurvor för 40, 60 och 80 phon och kallas A-, B-, och C-filter [2]. A-filtret används vid relativt svaga ljudnivåer och minskar främst basljudet. B-filtret används vid medelhöga och C-filtret vid höga ljudnivåer. Även ett D-filter finns och detta används ibland vid mätning av buller från flygplan. I Fig. 11 nedan visas kurvorna för dessa filter (A-C).

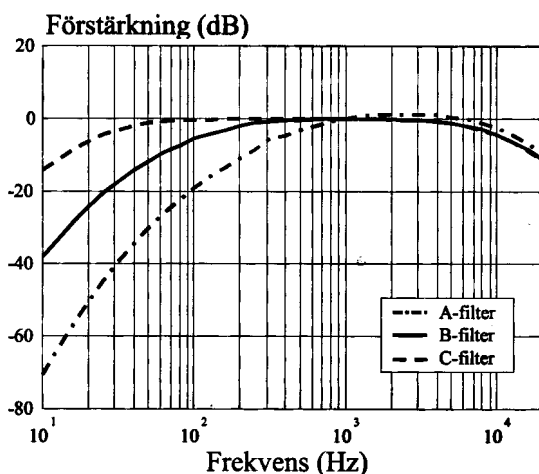


Fig. 11. Kurvor för vägning av ljudtrycksnivåer, A-C [2].

I denna undersökning beräknas den upplevda ljudstyrkan hos bakgrundsljudet i rummen även med denna metod. Till detta används A-filtret och beräkningarna utförs med hjälp av Tab. 4 nedan.

Frekvens [Hz]	A-filter [dB]	B-filter [dB]	C-filter [dB]
10	-70.4	-38.2	-14.3
12.5	-63.4	-33.2	-11.2
16	-56.7	-28.5	-8.5
20	-50.5	-24.2	-6.2
25	-44.7	-20.4	-4.4
31.5	-39.4	-17.1	-3.0
40	-34.6	-14.2	-2.0
50	-30.2	-11.6	-1.3
63	-26.2	-9.3	-0.8
80	-22.5	-7.4	-0.5
100	-19.1	-5.6	-0.3
125	-16.1	-4.2	-0.2
160	-13.4	-3.0	-0.1
200	-10.9	-2.0	0
250	-8.6	-1.3	0
315	-6.6	-0.8	0
400	-4.8	-0.5	0
500	-3.2	-0.3	0
630	-1.9	-0.1	0
800	-0.8	0	0
1000	0	0	0
1250	0.6	0	0
1600	1.0	0	-0.1
2000	1.2	-0.1	-0.2
2500	1.3	-0.2	-0.3
3150	1.2	-0.4	-0.5
4000	1.0	-0.7	-0.8
5000	0.5	-1.2	-1.3
6300	-0.1	-1.9	-2.0
8000	-1.1	-2.9	-3.0
10000	-2.5	-4.3	-4.4
12500	-4.3	-6.1	-6.2
16000	-6.6	-8.4	-8.5
20000	-9.3	-11.1	-11.2

Fig. 4. Tabell för vägning av ljudtrycksnivå, A-C [2].

Till ljudnivån för varje frekvens hos bakgrundsljudet adderas värdet för respektive frekvens ur vägningstabellen. Ur detta kan sedan ett vägt ensiffervärde beräknas med hjälp av ekv. 15

$$L_{v\ddot{a}gt} = 10 \log \left(\sum 10^{(L_n + v\ddot{a}gning)/10} \right) \quad (dB(A)) \quad (15)$$

där L_n är den ursprungliga ljudtrycksnivån och $L_{v\ddot{a}gt}$ är det vägda värdet med enheten dB(A) [2]. Den upplevda ljudstyrka hos bakgrundsljudet kan tänkas hänga samman med de beskrivningar av dålig ljudisolering som finns bland svaren till Enkät 1. I enkät 2 kan detta mått tänkas hänga samman med lyhört och avskiljt. Högljudda ventilationssystem kan ge höga värden på bakgrundsljudet.

2.7.8 Rumsförstärkning

Rumsförstärkning är ett mått på hur mycket ljudet förstärks av rummet och beräknas genom att normera impulssvaret för ett rum, $h(t)$, mot impulssvaret från ett ljuddött rum, $h_{dead}(t)$, då dessa mätningar är utförda under samma förhållanden. För att måttet ska vara relevant måste

Ljudstyrkan för det utgående ljudet vid de olika mätningarna vara samma. Så var inte fallet vid dessa mätningar. Det går dock att justera detta i efterhand genom att jämföra kurvorna för impulssvaren från rummen med kurvan för impulssvaret från det luddöda rummet. Man jämför då nivåerna för de första millisekunderna vilket motsvarar de utgående signalerna. Detta görs genom att pröva sig fram och multiplicera impulssvaren för rummen med olika faktorer tills nivåerna så bra som möjligt stämmer överens med det luddöda rummets nivåer. För varje impulssvar för rummen får man då fram en korrektionsfaktor, C , som sedan används i sambandet för rumsförstärkningen för att de jämförda impulssvaren ska få samma utgående ljudstyrka. Då dessa korrekationer görs genom att betrakta kurvorna ligger det en viss osäkerhet i detta mått. Det går inte att efterhand få fram exakt samma nivåer.

Rumsförstärkning är inget vedertaget mått utan något som har tagits fram på Avdelningen för teknisk akustik till detta arbete. Sambandet ges av ekv. 16

$$L_{RA} = 10 \log \left(\frac{C \int_0^\infty h^2(t) dt}{\int_0^\infty h_{dead}^2(t) dt} \right) \quad (dB) \quad (16)$$

I svaren till Enkät 1 beskrivs en del rum som starka och högljudda och ljudnivån i vissa rum sägs bli så hög att man måste ha öronproppar och att man lätt får huvudvärk. Rumsförstärkning kan då vara ett mått på detta. Hög ljudnivå i Enkät 2 kan tänkas hänga samman med rumsförstärkning.

2.7.9 Diffusion

Då de inre ytorna i ett rum är plana och hårda reflekteras ljudet, som tidigare nämnts, på så sätt att infallsvinkeln och reflektionsvinkeln är lika stora. Ljudreflektionerna kan då tyckas komma från bestämda riktningar i rummet och efterklangsljudet kan uppfattas som ojämnt av lyssnaren. I ett musikrum är det ofta önskvärt att ha ett jämt (och fylligt) efterklangsljud. Ojämna reflektionsytor ger upphov till detta genom att ljudet då reflekteras tillbaka ut i rummet åt olika håll. Den plana delen på en yta måste vara större än avståndet för 4 våglängder hos det reflekterande ljudet för att kallas plan [3]. Är den mindre än detta uppstår diffusa reflektioner. Med diffusion menas alltså hur ljudet i ett rum reflekteras och bra diffusion uppnås då ljudet reflekteras åt olika håll i rummet och ger ett jämnt efterklangsljud. Inget objektiva mått på diffusion används i detta arbete. Jämnheten hos ljudet beskrivs av måttet på variationen hos efterklangstiden för olika frekvenser. Detta kan dock inte sägas motsvara ett mått på diffusion. Det objektiva måttet på riktningskänsligheten, vilket beskrivs nedan, kan tänkas hänga samman med hur diffust ljudet i ett rum känns. I Svaren till Enkät 1 beskrivs ljudet i vissa rum som jämnt eller ojämnt och något rum sägs också ha ett diffust ljud. Diffust finns med som adjektiv i Enkät 2 men även orden jämnt och balanserat kan tänkas hänga samman med detta. Ett diffust ljud är tänkt som en positiv egenskap hos ett rum i detta arbete. Ordet diffust kan dock tolkas på olika sätt. Resultaten från undersökningen visar att deltagarna verkar ha tolkat ordet som en negativ egenskap (se Diskussion, Jämförelse av subjektiva och objektiva mått). Diffust kan tolkas som onyanserat och otydligt.

2.7.10 Stående eko

Då två väggar i ett rum är parallella kan s.k. stående eko eller fladdereko (flutter echo) uppstå. Ljudet i rummet studsar då fram och tillbaka mellan dessa väggar, vilket gör att ekot

repereras. Denna effekt är inte önskvärd. Fenomenet kan avhjälpas genom att väggarna snedställs vid konstruktionen. Vill man undvika denna effekt i ett befintligt rum kan absorberer sättas upp på en av väggarna eller på båda [3]. Stående eko kan mer ses som ett fenomen som kan uppstå i ett rum och representeras inte av något mått i undersökningen. Inget av adjektiven kan heller tänkas ha något direkt samband med detta fenomen.

2.7.11 Klarhet

Klarhet (clarity) är ett mått på hur klart och distinkt ljudet i ett rum upplevs [17]. Bland de inkomna svaren till Enkät 1 finns önskemål om rum med god efterklang men där även detaljer och nyanser i musiken framhävs. Ljudet beskrivs ibland också som klart, tydligt och rent eller dovt och grötigt. Dessa subjektiva beskrivningar kan tänkas sammanfalla med det objektiva måttet klarhet. Adjektivet klart finns med i Enkät 2. Klarhet beskrivs som förhållandet mellan den tidiga energin hos ljudet och den resterande energin fram tills ljudet har klingat av helt. Måttet beräknas från ett uppmätt impulssvar, $h(t)$, i ett rum. Den tidiga energin beräknas från tiden $t_0 = 0$ s till $t_1 = 80$ ms [18]. Sambandet beräknas med ekv. 17

$$C = 10 \log \left(\frac{\left(\int_0^{80 \text{ ms}} h^2(t) dt \right)}{\left(\int_{80 \text{ ms}}^{\infty} h^2(t) dt \right)} \right) \quad (\text{dB}) \quad (17)$$

2.7.12 Stöd

Vid utövande av musik kan det vara viktigt att musikern känner att rummet ger respons åt musiken vilket även nämns i enkätsvaren. Vissa rum beskrivs också som bärande eller att de svarar på klangfärger. Ett objektiva mått på hur mycket stöd ett rum ger skulle därför vara användbart. Stöd (support) beskrivs som förhållandet mellan den tidiga energin och det direkta ljudet [19]. Även detta mått beräknas från ett uppmätt impulssvar, $h(t)$, enligt ekv. 18

$$Sup = 10 \log \left(\frac{\left(\int_0^{100 \text{ ms}} h^2(t) dt \right)}{\left(\int_0^{80 \text{ ms}} h^2(t) dt \right)} \right) \quad (\text{dB}) \quad (18)$$

Ljudet i rummen beskrivs ibland som ihåligt i enkätsvaren vilket skulle kunna motsvara en känsla av att rummet ger dåligt stöd.

2.7.13 Riktningsskänsligheten

Riktningsskänslighet beskriver hur ljudet uppfattas beroende på vilken position ljudkällan och lyssnaren har i rummet. Då detta värde blir 0 har dessa positioner ingen betydelse för hur ljudet uppfattas. Riktningsskänsligheten kan teoretiskt sett bli hur hög som helst. Måttet beräknas med hjälp av tre uppmätta impulssvar på samma position i rummet. Vid den första mätningen, $h(t)_r$, är riktningen 0° rakt fram. Vid de resterande två mätningarna, $h(t)_{+45}$, resp. $h(t)_{-45}$, vinklas utrustningen $+45^\circ$ resp. -45° . Detta är heller inget vedtaget mått utan har tagits fram på Avdelningen för teknisk akustik till detta arbete. Vid beräkningarna måste de korrektionsfaktorer som beskrevs i avsnittet om rumsförstärkning användas för att få samma

utgående ljudstyrka hos de olika delmätningarna. Riktningssärligheten beräknas med ekv. 19

$$DS = \left(\int_0^\infty (C_1 h_r(t) - (C_2 h(t)_{+45}/2 + C_3 h(t)_{-45}/2))^2 dt \right) / \left(\int_0^\infty C_1 h_r^2(t) dt \right) \quad (-) \quad (19)$$

2.8 Simulering av övningsrummen

De resulterande impulssvaren från mätningarna i övningsrummen på Musikhögskolan kan användas för att simulera hur ett ljud, t.ex. ett musikstycke, skulle låta om det spelades i något av de aktuella rummen. Detta görs här genom att kombinera impulssvaret, $h(t)$, med ett antal inspelade musikspår, $s(t)$, på akustisk gitarr. För att denna simulering ska bli så bra som möjligt måste det inspelade ljudet i möjligaste mån vara fritt från rumsklang. Därför görs inspelningarna i LTH's ljuddöda rum så att det i stort sett bara är det direkta ljudet från gitarren som tas upp (se Fig. 12). Vid inspelningen används mjukvaran dBFA samt samma mikrofon och ljudkort som vid mätningarna av reduktionstal och impulssvar. Därefter görs en faltning av $h(t)$ och $s(t)$ enligt ekv. 20

$$S(t) = h(t) * s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t - \tau) s(\tau) d\tau \quad (20)$$

där τ är integrationens tidsintervall och $S(t)$ är ett nytt ljudspår med det aktuella rummets klang och egenskaper. (Faltningen genomfördes aldrig då nödvändig programvara ej fanns att tillgå.)



Fig. 12. Ljuddöda rummet, LTH.

2.9 Jämförelse av subjektiva och objektiva mått

Antalet inkomna enkätsvar från Enkät 2 är för få för att en helt riktig statistisk jämförelse ska kunna göras mellan subjektiva och objektiva mått. Fler rum skulle också behöva undersökas för att få ett tillförlitligt resultat (se Resultat, Enkät 2). En jämförelse görs ändå med det material som finns tillgängligt. Jämförelsen går ut på att undersöka om det finns några samband mellan de subjektiva måtten från Enkät 2 och de objektiva måtten. Det är framför allt intressant att ta reda på vilka mått som påverkar totalintrycket av ett rum och uppkomsten av hörselproblem. Undersökningen görs i tre led. Förhållandena mellan de beskrivande orden i enkäten, frågorna rörande totalintryck och hörselproblem samt de objektiva måtten undersöks enligt Fig. 13 nedan. De inbördes förhållandena i respektive grupp undersöks också. De subjektiva måtten representeras av medianen av resultaten i enkäterna (se Bilaga 5). För varje mått finns tre värden, ett för varje rum.

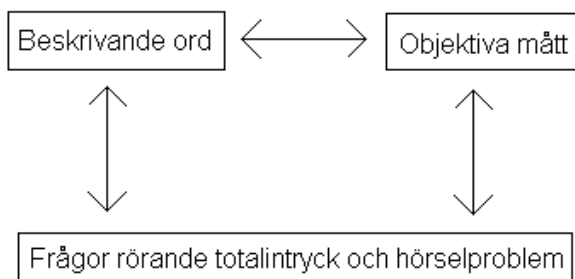


Fig. 13. Jämförelse av subjektiva och objektiva mått.

Vid jämförelsen används s.k. korrelationskoefficienter. Korrelationskoefficienten kan beskrivas som ett beroendemått mellan två variabler och kan sägas ge en bild av hur dessa variabler samvarierar. Korrelationskoefficienten kan anta värden mellan -1 och 1 [20]. Värdet 1 mellan två variabler ger en perfekt positiv korrelation och om variablernas värden ritas upp i ett diagram följs de åt längst en linje med positiv lutning. Värdet -1 ger en perfekt negativ korrelation och variablernas värden följs åt längst en linje med negativ lutning. Då korrelationskoefficienten blir 0 finns inget samband mellan variablerna. Med hjälp av Matlab tas korrelationskoefficienterna mellan parametrarna fram [21]. Detta görs genom att först undersöka hur måtten förhåller sig till varandra. Om två mått förhåller sig likvärdigt till övriga mått finns ett samband mellan dessa två mått. Ur detta sorteras de parameterpar ut där absolutbeloppet av korrelationskoefficienten är större än $0,99$ för att se vilka par som har ett starkt samband. De samband som här fås fram beskrivs sedan grafiskt genom att regressionslinjer ritas upp för de olika parameterparen. En regressionslinje är en linje som anpassas så bra som möjligt till värdena för två variabler uppritade i ett diagram. Sambandet mellan variablerna beskrivs då av uttrycket för regressionslinjen med ekv. 21

$$y = \alpha x + \beta \quad (21)$$

där x och y är variablernas värden och α och β är konstanter. Detta kallas även för enkel linjär regression [22]. Till detta används minstakvadratmetoden [21]. Även regressionskoefficienten, R^2 , beräknas och denna visar hur väl kurvan har anpassats till punkterna. R^2 kan anta värden mellan 0 och 1 där värden nära 0 betyder att kurvan är dåligt

anpassad till punkterna och värden nära 1 betyder att kurvan är väl anpassad. I detta fall, när antalet punkter är få, kommer värdet på R^2 bli väldigt högt. Detta kan man redan på förhand konstatera och R^2 säger därför inte så mycket om hur korrekt den resulterande linjen är. Även detta görs i Matlab [21].

Med hjälp av regressionslinjerna kan riktvärden för de objektiva måtten tas fram. Om man t.ex. finner att det finns ett samband mellan efterklangstiden, T_{60} , och totalintrycket av ett rum kan man med hjälp av regressionslinjen se vilket värde på efterklangstiden som motsvarar ett bra totalintryck. För att visa spridningen hos svaren i enkäterna ritas även de övre och undre kvartilerna för de subjektiva måtten in i figurerna med regressionslinjer [22]. Den övre kvartilen är den gräns över vilken 25 % av datamängdens högre värden ligger. Den undre kvartilen är den gräns under vilken 25 % av datamängdens lägre värden ligger. Kvartilerna visas i blockdiagramen i Bilaga 5.

3. Resultat

3.1 Enkät 1

Ett visst bortfall bland undersökningsdeltagarna uppkom då det visade sig att vissa inte går kvar på skolan samt att vissa adresser var felaktiga. Före sommaruppehållet har 15 svar kommit in till den första enkäten. Svaren är över lag mycket bra och utförliga. Bland de inkomna enkäterna var 1 från gitarrgruppen (via telefon), 7 från brassgruppen och 7 från stråkgruppen. Då gitarrgruppen var underrepresenterad vid detta tillfälle gjordes en rundringning bland dessa studenter. Rundringningen omfattade ytterligare 5 gitarrister. Svaren blev här inte lika utförliga som i de inlämnade enkäterna.

Svaren från den första omgången av Enkät 1 används sedan för att välja ut vilka rum som ska undersökas vidare och för att få fram lämpliga adjektiv till Enkät 2.

I början av höstterminen –05 gjordes ett nytt utskick av både Enkät 1 och 2. Bland de inkomna svaren från Enkät 1 var 6 från gitarrgruppen (2 av dessa svarade även vid rundringningen bland gitarristerna före sommaruppehållet), 7 (var av 1 per telefon) från brassgruppen och 9 från stråkgruppen. Detta ger totalt 37 svar från Enkät 1 där 7 (12 med telefonintervjuerna) är från gitarrgruppen, 14 från brassgruppen och 16 från stråkgruppen.

Under sommaruppehållet gjordes en del renoveringar i rummen i A-korridoren. I de rum som saknade dämpande plattor i taket sattes sådana in, nytt golv lades in och rummen målades om. Detta har påverkat akustiken. Bland de studenter som nåddes under rundringningen i samband med enkätutskicken i början av höstterminen –05 tillfrågades ett antal om hur akustiken har förändrats. Gitarristerna tycker i genomsnitt att förhållandena har blivit bättre (dock bara 4 tillfrågade) medan musikerna i brass- och stråkgruppen i genomsnitt tycker att förhållandena har blivit sämre. Detta påverkar sammanställningen av svaren från Enkät 1. Enkät 2 påverkas inte då svaren här är inkomna efter sommaren.

Här följer en sammanfattning av svaren i de inkomna enkäterna.

(Följande åsikter om rummen är en sammanställning av svaren i enkäterna ifyllda av studenter vid Musikhögskolan i Malmö.)

3.1.1 Gitarrgruppen

Gitarristerna fördrar över lag ganska stora övningsrum med mycket efterklang som ger bra respons. Detta beror bl.a. på att en spansk gitarr är ett ganska ljudsvagt instrument. Rum med för mycket klang anses dock av vissa vara mindre bra. Någon tycker även att olika rum passar till olika övningsstillfällen. Ett ljudtorrt rum kan vara bra då ett nytt stycke ska övas in. I ett sådan rum är det lättare att urskilja enskilda toner och därför lättare att höra om man spelar fel. Det krävs också mer av musikern under sådana förhållanden. När ett stycke väl är inlärt kan ett rum med mer efterklang vara lämpligt för vidare övning. Rummen i skolans A-korridor anses över lag bland gitarristerna vara de bästa övningsrummen även efter renoveringen. (Det är dock svårt att säkert veta om svaren inkomna efter sommaren beskriver rummen före eller efter renoveringen.) Det är främst efterklangen i dessa rum som tycks passa. Följande beskrivningar av A-rummen kommer från gitarristers enkäter inkomna efter sommaruppehållet. Någon skriver i svaren att A-rummen, förutom A 206, har en lämplig

klang. Klangen beskrivs också som ganska stor eller stor och någon tycker att rummen inte är helt döda utan ger lite klang. I övrigt beskrivs ljudet i rummen som luftigt, kallt, skarpt, kraftigt och bärande. Någon tycker även att A-rummen, dock inte A 206, har ett varmt, fylligt och tydligt ljud. Hårt och klangrikt ljud är andra beskrivningar av dessa rum. Önskemål om ännu större akustik och att gardinerna ska plockas bort från rummen finns bland svaren. Det finns även andra egenskaper än de akustiska hos dessa rum som gör dem bra att öva i. De beskrivs som stora, rymliga och luftiga. De anses vara trevliga rum med bra belysning. Att rummen är nyrenoverade påverkar också. Spansk gitarr är som sagt ett ganska ljudsvagt instrument vilket leder till att störande ljud från omgivningen får stor inverkan vid övning. Ett rum med dålig ljudisolering utifrån och från intilliggande rum är därför mindre lämpligt.

Gitarristerna anser över lag att rummen i E- och F-korridorerna, belägna i barackerna, är de sämsta. De beskrivs som torra och lyhörda och bättre ljudisolering önskas. Någon tycker att de är överakustiska. Rummen beskrivs även som stumma, absorberande, bullriga, klanglösa och små. Någon tycker däremot att E 105 är ett bra rum med stor akustik och mycket klang. De små rummen i Y-korridoren beskrivs som torra vilket någon tycker är bra och någon tycker är mindre bra. De beskrivs även som stumma och absorberande. Önskemål om att ta bort gardiner och dämpande plattor i E- och Y-rummen finns bland enkätsvaren. Någon tycker att Y-rummen har ett stort, kraftigt och luftigt ljud. A 206 beskrivs av en student som svårspelat med ett hårt och mumligt ljud samt att detta rum förstärker anslagsljudet på ett dåligt sätt (svar efter renoveringen). Här önskas dämpning som tar bort förstärkningen. De speciella trum- och basrummen beskrivs av någon som torra stumma och tråkiga. Bland de ovan nämnda mindre bra rummen tycker ett par av gitarristerna att det är de akustiska egenskaperna som gör att rummen passar dåligt för övning. Andra tycker att det är andra egenskaper som spelar in. Någon trivs inte i små rum där ventilationen är dålig och önskar därför mer plats och bättre ventilation. E-rummen beskrivs som kvava. Någon tycker att det spelar stor roll om det finns en spegel eller inte i rummet och om det är smidigt att ta sig till rummet och att det är detta som mest påverkar vilket rum som väljs för övning. Spegel och även notställ önskas därför i alla rum.

3.1.2 Brassgruppen

Musikerna i brassgruppen föredrar över lag så stora rum som möjligt med lagom eller god efterklang men där även detaljer och nyanser i musiken framhävs. En bra balans mellan efterklang och torrhet är önskvärt. Musikerna upplever också att ljudet "får plats" och inte blir påträngande i ett större rum. De trivs över lag bättre i rymliga rum även av andra anledningar än ljudets egenskaper. Även denna grupp föredrar rummen i skolans A-korridor. Dessa rum beskrivs i de enkäter som kom in före renoveringen bl.a. som förlåtande (A 203), välklingande, lättspelade, öppna, mjuka och direkta. Någon tycker dock att ljudet i rummet kan kännas lite litet och ganska torrt och någon tycker att ljudet känns ekande och ibland vasst. Ett par musiker skulle vilja ha någon form av dämpning i rummen. Även i de enkäter som kommit in efter renoveringen beskrivs ljudet som mjukt men också som stort och rummen sägs vara högljudda. Någon tycker att ljudet känns varmt medan någon tycker att det känns kallt. Andra rum som nämns som bra av enstaka studenter i de senare enkäterna är F 206, D 206/208, C 404 samt rummen i Y-korridoren. F 206 beskrivs som ett bra rum där den stora ytan är ett plus. D 206/208 sägs ha en lagom efterklang. C 404 beskrivs som stort, lagom akustiskt och att rummet har en rymd utan att eko uppstår. Y-rummen sägs inte ha så mycket efterklang och ett dämpat men ändå klart ljud. Förutom de akustiska egenskaperna nämns utrymme som en anledning till vilket rum som väljs. Att C- och Y-rummen är lättillgängliga

spelar också stor roll. Önskemål om att dämpa rummen i A-korridoren, C-korridoren och F 206 finns. I Y-rummen önskas dock mer efterklang och att lysrören byts ut mot glödlampor.

Då musikerna i brassgruppen föredrar stora rum är det följaktligen skolans mindre övningsrum som de flesta trivs sämst med. Bland enkätsvaren nämns de små rummen i E-, F- och D-korridorerna samt rummen i Y-korridoren som mindre bra. Ljudet i E- och F-rummen anses vara kallt, platt, tråkigt, torrt, tungt, bullrigt, dött och hårt. Rummen tycks vara svårspelade, dåligt dämpade, ha en platt akustik och musikerna störs av ljud från intilliggande rum då ljudisoleringen är dålig. Någon störs av skallrande lampor och element. Bättre ljudisolering önskas här. Även rummen i Y anses vara torra, tunga och bullriga och då de är små tycks det också vara svårt att få en bred klang. De beskrivs även som hårda, dova och burkiga. Även här önskar någon bättre ljudisolering. D-rummen tycks också vara svårspelade med ett klanglöst, torrt, dött, bullrigt och påträngande ljud. I rummen i korridoren D-200 står basar och trumset som börjar vibrera och ge ifrån sig störande ljud när man spelar. Någon liknar akustiken i E-, F- och D-rummen vid ett badrums. Någon önskar att de små D-rummen skulle göras luftigare genom att ta bort förstärkare och trumset. Någon tycker tvärt emot de andra att rummen i A-korridoren är mindre lämpliga för övning och beskriver dem som bullriga med för lång efterklang och anser att de var bättre före renoveringen. Vad gäller de ickeakustiska egenskaperna som gör att studenterna väljer bort vissa rum nämns dålig luft i E- och F-rummen samt att Y-rummen är små och varma.

3.1.3 Stråkgruppen

Stråkinstrumentgruppen föredrar också rummen i A-korridoren enligt den första enkätomgången. De anses av de flesta vara lagom stora och ha en gynnsam efterklangstid. Det nämns att ljudet inte blir grötigt och det beskrivs även som mjukt och stort. Någon tycker att rummen är ganska kala och ihåliga men ändå har en fyllig klang. En uppfattning är att rummen är bra men att vissa toner på instrumentet klingar mer än andra vilket kan göra att ljudet blir ojämnt. Vad gäller ljudisoleringen i dessa rum är åsikterna delade. Ett par musiker tycker att isoleringen är god medan någon annan tycker att den skulle kunna göras bättre. Många i stråkgruppen tycker att någon form av draperier eller gardiner borde sättas in i rummen så att de själva kan reglera klangen. Det är även andra egenskaper än de akustiska som gör A-rummen bra att öva i. De är rymliga, ljusa och har bra vädringsmöjligheter. Vissa tycker dock att inredningen kunde göras lite mer trivsamt. Även efter renoveringen anser majoriteten av studenterna i stråkgruppen att A-rummen är de bästa. Rummen sägs ha en stor akustik och en stor och naturlig klang. De tycks också hjälpa instrumentet och svara på klangfärger. A 208 och A 211 anses av någon vara mindre högljudda än de andra A-rummen. Ljudet i A-rummen beskrivs som stort och öppet och A 208 och A 211 beskrivs av någon ha en förlåtande klang och ett rent ljud. Någon tycker att det ibland ekar för mycket i A-rummen. Även i de senare inkomna enkäterna finns önskemål om draperier för att dämpa ljudet något samt att de plattor som sattes in vid renoveringen byts ut mot den mjukare variant som satt där före ombyggnaden. Även rummen i D-korridoren tycks passa någorlunda till denna instrumentgrupp. Någon tycker om de små, torra D-rummen vid tekniska övningar (för att det då är lättare att urskilja enskilda toner). Andra tycker att de lite större rummen i D-korridoren är bra. Någon beskriver rummen i den övre D-korridoren som mjuka, jämna, avslöjande och ej överakustiska men skulle önska lite mer klang. Någon tycker att D-rummen är ett bra komplement till A-rummen om man vill ha lite mindre klang. Flera av studenterna anser att valet av rum mycket beror på situationen och vilket humör man är på. De tycker också att det är viktigt att ha olika typer av rum att välja bland. Vid tekniska övningar önskas kanske ett

torrt rum medan man vid andra tillfällen vill ha en större klang. Någon föredrar Y- och ibland D- och F-rummen och beskriver dem som torra rum men med mycket ljud och klang och att det direkta ljudet här hörs väl. Ljudet sägs vara torrt, direkt och artikulerat. Mindre ljud men samma torrhet önskas dock. Y- och E-rummen beskrivs av någon som tydliga, klara rum med liten akustik. Man kan här spela starkt utan att behöva öronproppar och man hör tydligt hur det verkligen låter. Önskemål om att rummen kunde vara lite större fast med samma akustik nämns. Flera av studenterna tycker att andra egenskaper än de akustiska ibland är viktigare och spelar större roll då de ska välja rum. Att rummen är stora, rymliga och att speglar finns är viktigt. Andra uppskattar avskildhet och lugn och ro. Ljudisoleringen är också viktig. Om ett spelbart piano finns i rummen spelar stor roll för någon.

Musikerna i stråkgruppen tycker, likt de andra två grupperna, att rummen i barackerna, E och F, är de sämsta att öva i. Allra sämst tycks de rum vara som saknar gardiner och draperier. Ljudet i dessa rum anses bli för starkt och en del skriver i enkäten att man nästan måste ha öronproppar och att man lätt får huvudvärk. Ljudet beskrivs som starkt, onyanserat, läckande, vasst, kallt, ihåligt och hårt. Någon skriver att rummen blir som en extra resonanslåda vilket ger ett bullrigt och diffust ljud. Ljudet i rummen beskrivs även som hoppressat, torrt, grötigt, högljutt, burkigt, kallt och instängt. Flera av studenterna i denna grupp anser att ljudisoleringen mellan rummen är för dålig och att ljud från intilliggande rum stör vid övning. Gardiner eller draperier för att kunna reglera rummets klang önskas också i dessa rum. Någon önskar även dämpning så att hela rummet inte vibrerar med när man spelar. Bortsett från rummens akustiska egenskaper anses luften vara dålig då fönsterna inte går att öppna. Detta gör även att det kan bli för varmt. Trivsammare inredning är också önskvärt. Trumrummen i D-korridoren anses av någon vara för ljudisolerade och ha ett klanglöst, torrt ljud. Någon tycker att dessa rum är trånga och har en liten, tråkig akustik och att det är dess akustiska egenskaper som gör rummen mindre lämpliga för övning. Ljudet anses vara torrt och platt. Ljud från vibrerande instrument i dessa rum anses störande. Någon tycker att rummen i Y-korridoren är för dåligt isolerade. Ljudet i Y-rummen beskrivs som stort, påträngande, torrt och dämpat. Andra förhållanden som gör dessa rum mindre bra är att de är trånga, har ett ganska starkt ventilationsljud samt att de låga lamporna anses störande. Någon tycker ändå att akustiken är okej. Någon anser att de i övrigt omtyckta A-rummen är mindre bra att öva i. Akustiken i rummen beskrivs som förskönande och lång. Ljudet blir stort med mycket legato, vilket betyder att tonerna följer på varandra utan uppehåll [23]. Detta ses som orättvist. En torrare akustik önskas.

3.1.4 Akustik i hemmiljö

I enkäten ingick även en del med frågor som gällde de akustiska förhållandena då musikerna övar hemma. Det är lite svårt att jämföra svaren rakt av då det inte är samma rum som avses. Rummen kan skilja sig åt bl.a. vad gäller storlek, konstruktionsmaterial och möblering men man vågar ändå anta att rum i hemmiljö i väldigt stora drag har en viss typ av akustik vilket även sammanfattningen av enkätsvaren nedan till viss del påvisar. Hur mycket musikerna övar hemma framgår inte helt av svaren men en del skriver dock att de aldrig övar hemma. Enligt enkätsvaren övar musikerna i sina sovrum, kök eller vardagsrum. Även källarrum och toalett används.

Studenterna i gitarrgruppen tycker över lag att de akustiska förhållandena hemma är ganska bra eller bra. Akustiken i hemmiljön beskrivs ändå av någon som halvtorr, stum, instängd och att ljudet blir lite för starkt. Andra beskriver ljudet som behagligt, tydligt, varmt, runt och att

rummen har en viss efterklang. Någon beskriver ljudet i sitt rum som torrt, litet och nära medan någon annan säger att det är långt, stort och starkt. I en av enkäterna beskrivs akustiken i hemmiljön som ganska dålig då det är lyhört och ljudet är torrt och dämpat. Mer klang och rymd önskas av någon medan någon annan vill ha torrare rum vid övning.

I brassgruppen skriver sex av musikerna att de nästan bara eller bara övar på skolan. En del skriver att de använder sig av en sordin då de övar hemma. En sordin är ett tillbehör som fästs i eller på instrumentets klockstycke för att dämpa ljudet eller för att ändra klangfärg eller tonhöjd [23]. Av de som övar hemma i denna grupp skriver någon att förhållandena är dåliga och någon att det är svårt att hitta ett rum hemma som passar. En del skriver dock att förhållandena är sådär eller ganska bra. Rummen beskrivs bl.a. som stora varma och inbjudande men också som torra, dämpade, tråkiga, hårda, avslöjande och bullriga. Någon beskriver dock sitt rum som odämpat.

Stråkgruppen verkar överlag tycka att egenskaperna hemma är bättre. Av de musiker som har svarat anser fem att förhållandena hemma är okej eller ganska bra medan sju tycker att hemförhållandena är bra. Rummet sägs ha en lagom klang och ljudet beskrivs som klart, balanserat, mjukt, stort, tydligt samt att rummet varken dämpar eller hjälper klangen. Någon beskriver ljudet i sitt rum som skarpt men dämpat, ganska torrt samt artikulerat. Här sägs också att ljudet från instrumentet hörs tydligt. Rummen beskrivs dock av en del som lite små, torra, matta, dämpade och lite påträngande och att ljudet ibland slår över om man spelar för starkt. Någon skriver om sitt rum att det är behagligt i övningssyfte. Ett par tycker att ljudet hemma blir för starkt. Någon skriver att det blir för lång efterklang och att grannarna störs. En annan tycker att ljudet blir för hårt. I en av enkäterna beskriv akustiken hemma som dålig då rummet tar bort instrumentets naturliga klang vilket ger ett matt ljud. Här sägs också att dåliga ljud urskiljs lätt.

3.2 Enkät 2

Det utskick av Enkät 2 som gjordes strax före sommaruppehållet gav inget resultat. Den andra omgången som delades ut i början av höstterminen gav efter lång tid ett visst resultat. Denna enkät låg ute under i princip hela höstterminen. De insatser som gjordes för att få in fler svar gav små men märkbara resultat. Före juluppehållet var jämförelsen tvungen att påbörjas p.g.a. tidsbrist. Fler svar kunde därför inte inväntas. Antalet inkomna svar och deras fördelning visas i Tab. 5 nedan.

Inkomna enkäter, Enkät 2					
	Instrumentgrupper				
Rum	Gitarr	Brass	Stråk	Övriga	Totalt/rum
A 213		3	4	2	9
Y 211	3	2	5		10
E 105	3	2	3	3	11
Totalt/grupp	6	7	12	5	30

Tab. 5. Resultat, Enkät 2.

Antalet svar är dock totalt sett för lågt för att undersökningen ska kunna genomföras som det var tänkt från början, d.v.s. att svaren från varje instrumentgrupp jämförs separat med de objektiva måtten för varje rum, vilket skulle ge 9 st olika jämförelser. Nu läggs istället svaren från de tre instrumentgrupperna ihop för varje rum vilket ger 3 st jämförelser. Några av svaren är från musiker vars instrument egentligen inte ingår i undersökningen. Dessa svar tas med ändå för att få något bättre underlag.

3.3 Ljudisolering

Då differensen mellan ljudnivån i mottagarrummet och bakgrundsljudet vid vissa frekvenser är under 6 dB vid 5 av de 6 mätningarna är resultaten inte helt tillförlitliga. Vissa slutsatser kan dock ändå dras. De framräknade vägda reduktionstalen, R'_w , för de tre rummen anges i Tab. 6.

Endast vid R'_w från korridor i E 105 är $L_m - L_b > 6$ dB. Vid R'_w från intilliggande rum i A 213 är L_b 0,5 dB högre än L_m vid 1 kHz. Vid R'_w från korridor i Y 211 är L_b 0,3 dB högre än L_m vid 50 Hz och 0,9 dB högre vid 100 Hz. Detta beror troligen på störande ljud vid mätningarna. P.g.a. detta tas inte L_b med i beräkningarna av R'_w för dessa mätningar vilket gör resultatet ännu lite osäkrare. För reduktionstalskurvor, bakgrundsljud och efterklangstider se Bilaga 1.

3.4 Impulssvar

Här följer de ur impulssvaren framräknade måtten på rummens egenskaper samt de framräknade vägda reduktionstalen R'_w . För resulterande impulssvarskurvor se Bilaga 2.

Resultat, objektiva mått												
	A 213 Impulssvar				Y 211 Impulssvar				E 105 Impulssvar			
	0	(+) 45	(-) 45	Medel	0	(+) 45	(-) 45	Medel	0	(+) 45	(-) 45	Medel
Klarhet, C (dB)	6,8	6,3	6,3	6,5	14	15	15	14,7	6,2	6,6	5,8	6,2
Stöd, Sup (dB)	0,28	0,33	0,3	0,3	0,093	0,082	0,07	0,082	0,34	0,3	0,35	0,33
Rums- förstärkning, L _{RA} (dB)	5,4	5,6	5,4	5,5	6,1	5,6	6	5,9	8,8	9,2	8,1	8,7
Riktungs- känslighet, DS (-)				1,1				0,8				1,1
T ₆₀ (s)				1				0,5				0,7
T _{EDT} (s)				0,86				0,39				0,64
Ljudstyrka, bakgrundsljud L (sone) L (phon) L (dB(A))				0,53 32 24				1,4 45 32				0,49 31 23
Variation T ₆₀ (s)				0,26				0,33				0,071
Variation T _{EDT} (s)				0,2				0,11				0,15
Varmt ljud med. T ₆₀ 1/3-okt. kring 125 Hz (s)				1,3				1,35				0,54
Levande ljud med. T ₆₀ 1/3-okt. kring 4 kHz (s)				0,82				0,31				0,73
Intimitet (tid till första refl.) Fr. kurva, t _i (ms)	14	10	13	12	4	5	4	4	6	6	6	6
Ber. t _{ib} (ms) närmsta vägg				10				4				6
R' _w (C, C _{tr}) (dB)												
R' _w korridor	54 (-1 : -2)				44 (0 : -1)				41 (-2 : -3)			
R' _w intill. rum	72 (-4 : -12)				60 (-2 : -6)				60 (-5 : -11)			

Tab. 6. Resultat, objektiva mått.

3.5 Jämförelse av subjektiva och objektiva mått

Med tanke på det tunna statistiska underlaget bör följande resultat mer ses som tendenser än som säkra resultat.

Totalintrycket och uppkomsten av hörselproblem representeras som subjektiva mått i enkäten genom de två frågorna:

”Tycker du att rummet är bra eller dåligt lämpat för övning på ditt instrument ur akustisk synvinkel?”

”Har du någon gång upplevt obehag eller smärta i öronen under tiden du spelar eller efter att du har spelat i rummet?”

Undersökningen av korrelationen mellan måtten visade på starka samband mellan ett stort antal mått. Det är dock väldigt osäkert om dessa samband verkligen är så starka som resultaten här visar. Detta beror på att antalet värden, d.v.s. antalet rum, är för få. Inbördes förhållanden mellan mått av lika art, d.v.s. två subjektiva eller två objektiva mått, beaktas inte. Undersökningen begränsas till de mått som direkt hänger samman med ovanstående frågor och om dessa mått i sin tur har några vidare samband. Sambanden undersöks alltså bara i två steg och bara om måtten i det andra steget är av olika art. (För lista med numrering av subjektiva (*S*) och objektiva (*O*) mått, se Bilaga 5) Totalintrycket beror enligt undersökningen på de objektiva måtten rumsförstärkning (O_{30}) och varmt ljud (O_{39}) samt det subjektiva måttet diffust (S_7). Diffust har i sin tur samband med rumsförstärkning och varmt ljud. Till rumsförstärkning hör även det subjektiva måttet rent (S_{12}). Uppkomsten av hörselproblem beror enligt undersökningen på de objektiva måtten efterklangstid (T_{60}) (O_{32}), tidig efterklangstid (T_{EDT}) (O_{33}) och variation i tidig efterklangstid (O_{38}). Till tidig efterklangstid hör även det subjektiva måttet tunt (S_{20}). Sambanden och tillhörande korrelationskoefficienter visas i Fig. 14 a och 14 b nedan.

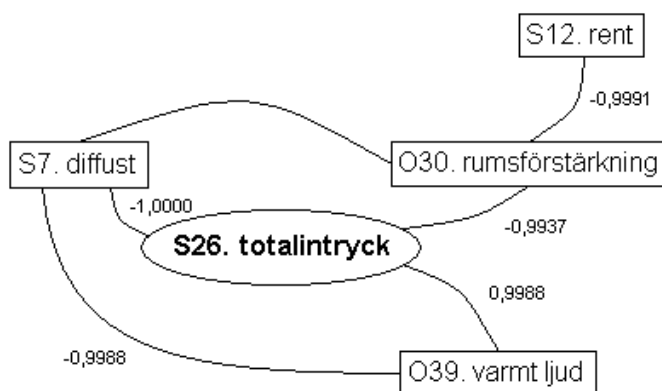


Fig. 14 a. Totalintryck med tillhörande mått.

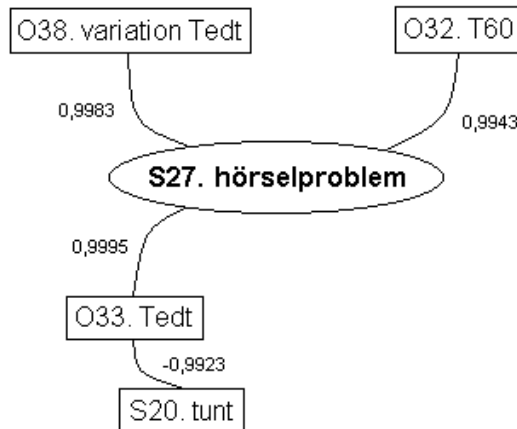


Fig. 14 b. Hörselproblem med tillhörande mått.

En positiv korrelationskoefficient mellan två mått betyder att värdet för det ena måttet ökar om det andra ökar. En negativ korrelationskoefficient betyder att värdet för det ena måttet minskar då det andra ökar.

Detta ger totalt 10 samband, vilka kan ritas upp i diagram där regressionslinjer kan tas fram. De 10 diagrammen med regressionslinjer finns i Bilaga 5. Med hjälp av regressionslinjerna kan riktvärden för de objektiva måtten som motsvarar ett bra totalintryck resp. få upplevda hörselproblem tas fram. Ett bra totalintryck får motsvaras av värdet 6 på skalan och få upplevda hörselproblem får motsvaras av värdet 2. Riktvärdena fås då genom att undersöka vilka värden på måtten som motsvarar 6 för totalintrycket resp. 2 för hörselproblemen. Dessa riktvärden visas i Tab. 7 nedan. Riktvärden mellan övriga subjektiva och objektiva mått tas också fram då dessa kan vara till nytta när förslag till rum för olika instrumenttyper ska ges. Då diffust verkar ha tolkats som en negativ egenskap (se Diskussion, Jämförelse av subjektiva och objektiva mått) får riktvärdena för rumsförstärkning och varmt ljud motsvara värdet 2 på diffust i dessa diagram. Rent antas vara en positiv egenskap och riktvärdet för rumsförstärkning får därför motsvaras av värdet 6 på rent i detta diagram.

Tunt är en egenskap som kan tänkas tolkas som både positiv och negativ då vissa önskar rum med mindre klang och vissa vill ha mer klang. Därför tas två riktvärden för T_{EDT} fram som motsvarar värdet 2 resp. 6 på tunt för detta samband.

Riktvärden		
Totalintryck		
Rumsförstärkning (dB)	< 4,7	
Varmt ljud (s)	> 1,6	
Hörselproblem		
T_{60} (s)	< 0,5	
Variation T_{EDT} (s)	< 0,1	
T_{EDT} (s)	< 0,4	
Diffust		
Rumsförstärkning (dB)	< 5,7	
Varmt ljud (s)	> 1,3	
Rent		
Rumsförstärkning (dB)	< 5,4	
Tunt		
T_{EDT} (s)	för inte tunt	> 0,7
	för tunt	< 0,06

Tab. 7. Riktvärden för objektiva mått.

Olika subjektiva mått ger olika riktvärden för samma objektiva mått. De tre riktvärdena för rumsförstärkningen ligger dock ganska nära varandra. De två värdena för varmt ljud ligger längre ifrån varandra. Riktvärdena för T_{EDT} har stor spridning beroende på subjektivt mått.

Det går även att visa sambanden genom att beskriva totalintrycket av ett rum och uppkomsten av hörselproblem som funktioner av tillhörande objektiva mått. Detta görs på formen

$$S = k_1 O_i + k_2 O_j + C$$

där k_1 , k_2 och C är konstanter och O_i och O_j är objektiva mått. Konstanterna beräknas i Matlab med hjälp av värdena för de olika måtten. Detta ger för totalintrycket (S_{26}) uttrycket

$$S_{26} = -0.32O_{30} + 2.59O_{39} + 3.42$$

och för uppkomna hörselproblem (S_{27}) uttrycket

$$S_{27} = 2.70O_{33} + 8.11O_{38} + 0.054$$

Då dessa uttryck beräknats med minstakvadratmetoden med hjälp av endast tre värden för varje mått kan uttrycken bara bestå av två mått (O_i och O_j) med tillhörande konstanter (k_1 och k_2) plus en konstant (C). I uttrycket för uppkomna hörselproblem ska egentligen måttet efterklangstid (T_{60}) (O_{32}) vara med, men då detta har samband med måttet tidig efterklangstid (T_{EDT}) (O_{33}) väljs det senare då ett måste tas bort.

4. Diskussion

4.1 Ljudisolering

Musikskolans rum konstruerades för en ljudisolering på 50 dB från korridor och 64 dB från intilliggande rum. Resultaten från de utförda mätningarna från intilliggande rum ligger något lägre än 64 dB i två av fallen och över 64 dB i ett fall (se Tab. 6). Från korridor är de uppmätta värdena dock lägre än vad som var tänkt. Detta kan bero på den tidigare nämnda osäkerheten i mätningarna. I de resulterande reduktionstalskurvorna för mätningarna från korridor syns dock en sänkning av reduktionstalet vid vissa frekvensområden. För rum A 213 sjunker reduktionstalet vid 800 – 1250 Hz. För rum Y 211 syns små sänkningar vid 400 Hz, 1250 Hz och 2500 Hz. För rum E 105 sjunker reduktionstalet vid 1000 – 3150 Hz. Detta kan bero på springläckage vilket också kan vara en tänkbar förklaring till de låga värdena.

4.2 Objektiva mått

En del av de objektiva måtten beskriver liknande egenskaper och kan därför förväntas ge värden som följs åt för varje rum (för mätresultat se Tab. 6). Efterklangstiden, T_{60} , och den tidiga efterklangstiden, T_{EDT} , borde båda ge motsvarande höga eller låga värden i ett rum. Så är också fallet vid dessa mätningar. Storleken på ett rum är en av flera faktorer som påverkar efterklangstiden på så sätt att ett litet rum ofta har kortare efterklang än ett större. Resultaten från mätningarna visar att detta stämmer för de aktuella rummen. Det minsta rummet har kortast efterklang och det största rummet har längst. Skillnaden i volym på det minsta och det mellersta rummet är dock väldigt liten (se Övningsrummen, Rumsbeskrivning) men efterklangstiderna skiljer sig ändå åt. Det är, som sagt, många andra faktorer som spelar in när det gäller efterklangstiden, t.ex. reflekterande och absorberande ytor.

Varmt och levande ljud är två objektiva mått som har med efterklangstiden att göra då dessa bygger på efterklangstider för valda frekvenser (se Subjektiv terminologi kopplad till objektiva mått, Varmt ljud och Levande ljud). När det gäller varmt ljud är det Y 211 som har det högsta värdet. Detta rum har lägst värden på övriga direkta mått på efterklangstider. Det levande ljudet varierar likt T_{60} och T_{EDT} med avseende på vilket rum som har högst respektive lägst värde.

När det gäller variationen hos T_{60} och T_{EDT} finns ingen tydlig trend. Skillnaden mellan dessa mått och vilket av dem som har det högsta värdet varierar. I svaren till Enkät 1 skrev någon att vissa toner klingar mer än andra i A-rummen. Detta är en anledning till att dessa mått används. Resultaten visar också att A 213 har det högsta värdet på variationen hos T_{EDT} men dock inte på variationen hos T_{60} .

Ett rum med lång efterklang kan tänkas ge ett högt värde på rumsförstärkningen då rumsklngen hjälper till att bygga upp en hög ljudnivå. Kort efterklang kan på samma sätt tänkas ge ett lågt värde på rumsförstärkningen. Resultaten från mätningarna styrker dock inte detta antagande. Rum A 213 har de högsta värdena på efterklangstiderna T_{60} och T_{EDT} bland de tre rummen men det lägsta värdet på rumsförstärkningen. Rum Y 211 har de lägsta värdena på efterklangstiderna. De är bara ca hälften så långa som i A 213. Rumsförstärkningen i

Y 211 är dock något högre än i A 213. I rum E 105 ligger efterklangstiderna någonstans mitt emellan de övriga två rummens värden. Här är däremot rumsförstärkningen klart högre.

Jämför man efterklangstiderna med värden för klarheten i rummen framgår att det rum med kortast efterklang har det högsta värdet på klarheten. Detta kan verka rimligt då ett torrt rum ofta ger ett mer tydligt och klart ljud. Detta stämmer dock inte riktigt för de övriga två rummen då A 213 och E 105, som har längst resp. näst längst efterklangstid, har ganska lika värden på klarheten trots att efterklangen skiljer sig åt. Det kan tyckas att både T_{60} och T_{EDT} borde spela in då det samband som används för att beräkna klarheten bygger på förhållandet mellan det direkta ljudet och resterande ljud (se Subjektiv terminologi kopplad till objektiva mått, Klarhet).

Rum Y 211 har klart lägre värde på stödet än de övriga två rummen. Det är svårt att säga vad detta skulle kunna bero på. Detta rum har dock kortast efterklang.

Undersökningen visar att alla tre rummen kan sägas vara intima då tidsskillnaden mellan det direkta ljudet och den första reflektionen är klart mindre än 20 ms för alla rum.

4.3 Jämförelse av subjektiva och objektiva mått

Resultaten visar hur olika mått hänger samman med totalintrycket av ett rum och uppkomsten av hörselproblem. Varför just dessa mått hör ihop kan man inte säkert veta. Nedan följer en diskussion om vilka egenskaper dessa mått har och vad som kan tänkas göra att just dessa hänger samman.

Totalintrycket av ett rum är egentligen ett brett mått, som kan tolkas väldigt olika från person till person. Denna undersökning visade att totalintrycket direkt beror på det subjektiva måttet diffust samt de objektiva måtten rumsförstärkning och varmt ljud. Man skulle dock kunna tänka sig att många andra mått i hög grad borde påverka totalintrycket. Både det i rumsakustiska sammanhang vedertagna måttet på efterklangstiden, T_{60} , samt den tidiga efterklangstiden, T_{EDT} , säger ganska mycket om ett rums karaktär och borde därför ha en ganska stor inverkan på totalintrycket. Även ljudisoleringen och bakgrundsljudets styrka borde påverka.

Regressionslinje 3 (se Bilaga 5) visar att totalintrycket blir bättre då intrycket av ett diffust ljud sjunker. Detta kan bero på att ett diffust ljud kan tolkas som onyanserat och otydligt vilket antas vara negativa egenskaper. Den första tanken var att ordet diffust skulle kunna representera diffusionen i rummet, d.v.s. hur jämt ljudet reflekteras och därför beskriva jämnheten hos klangen. En jämn klang antas då vara en positiv egenskap. Diffust verkar alltså inte ha tolkats av undersökningsdeltagarna på det sätt som först var tänkt vilket dock inte är fel. Detta mått hänger också samman med det objektiva måttet rumsförstärkning på så sätt att intrycket av ett diffust ljud ökar då värdet på rumsförstärkningen ökar (se Bilaga 5). Detta skulle kunna bero på att ljudet kan uppfattas som mer onyanserat, otydligt och kanske grötigt ju högre ljudnivån i rummet blir. Det kan vara lättare att urskilja detaljer i musiken när ljudnivån är lägre. Även det objektiva måttet varmt ljud hänger samman med diffust. Intrycket av ett diffust ljud sjunker då värdet på varmt ljud ökar. Det är ganska svårt att säga vad detta kan bero på. Man skulle kunna tänka sig att varmt ljud borde ha motsatt effekt. Varmt ljud kännetecknas, som tidigare nämnts, av att efterklangstiden hos tonerna från de lägre

frekvensbanden är något längre än den från mellanregistret [17]. De mörkare tonerna skulle då kunna tänkas maskera toner med högre frekvens då det maskerande ljudet har störst maskerande effekt på frekvenser högre än sin egen. Ju längre efterklangstiden är för de lägre frekvenserna, desto större maskerande effekt borde dessa toner ha på de högre frekvenserna. Ljudet skulle då kunna uppfattas som diffust då vissa frekvenser inte hörs och intrycket av ett diffust ljud borde då istället öka då värdet för varmt ljud ökar. Man skulle dock kunna tänka sig att bastonerna döljer frekvenser som annars skulle ha gjort ljudet otydligt och lämnar kvar högre frekvenser som gör ljudet mer tydligt och därför inte diffust.

Totalintrycket beror också enligt undersökningen på det objektiva måttet rumsförstärkning på så sätt att totalintrycket blir sämre då värdet på rumsförstärkningen ökar. Detta skulle kunna tolkas som att musikerna inte tycker om rum där ljudnivån blir för stark. Man skulle också kunna tänka sig att ljudet från instrumenten förstärks på ett ogynnsamt sätt av vissa rum och att denna effekt då ökar när rumsförstärkningen ökar. Det kan vara så att vissa toner eller missljud förstärks vilket också nämns i svaren till Enkät 1. En viss rumsförstärkning verkar dock önskas (se Riktvärden, Tab. 7). Rumsförstärkningen hör i sin tur ihop med det subjektiva måttet rent. Intrycket av ett rent ljud ökar då rumsförstärkningen sjunker. Detta samband kan tänkas uppstå av samma själ som kopplingen mellan diffust och rumsförstärkning som beskrivs ovan. Då ljudnivån blir för hög kan ljudet bli otydligt och grötigt om det förstärks på fel sätt. En viss rumsförstärkning verkar dock önskas för att ljudet ska uppfattas som rent (se Riktvärden, Tab. 7).

Det objektiva måttet varmt ljud verkar också påverka totalintrycket av ett rum enligt undersökningen. Totalintrycket blir bättre då värdet på varmt ljud ökar. Detta samband verkar ganska naturligt då det kan antas att de flesta uppfattar ett varmt ljud som något positivt.

Undersökningen visar att uppkomsten av hörselproblem hänger samman med objektiva mått på efterklangstiden.

De objektiva måtten på efterklangstiden, T_{60} , och den tidiga efterklangstiden, T_{EDT} , hör ihop med uppkomsten av hörselproblem. Detta kan vara förståeligt då en för lång efterklang kan ge upphov till ett för starkt ljud. Ökning av upplevda hörselproblem motsvaras av ökande värden på både T_{60} och T_{EDT} (se Bilaga 5). Riktvärdet för T_{60} när det gäller hörselproblem är ganska lågt jämfört med vissa av de rekommenderade värdena för efterklangstider i musikrum (se Övningsrummen, Rekommendationer för musiklokaler). Åsikterna bland musikerna går isär något när det gäller hur mycket efterklang ett rum ska ha. En del vill ha torra rum medan andra vill ha rum med mer klang. Olika klang önskas också vid olika tillfällen. Det kan vara svårt att kombinera de riktvärden på efterklangstiden som tagits fram i detta arbete med önskemål om längre efterklang. Om ett rum konstrueras efter dessa riktvärden kan ljudet kanske anses bli för torrt. Om en önskad efterklang är så lång att den ger upphov till hörselproblem kan det tänkas vara musikinstrumenten i sig som är för ljudstarka eller att musikerna spelar för starkt. Att behöva ha öronproppar för att kunna spela i ett rum med önskad klang är ganska motsägelsefullt.

Den tidiga efterklangstiden, T_{EDT} , påverkas i sin tur av det subjektiva måttet tunt. Intrycket av ett tunt ljud ökar då värdet på T_{EDT} sjunker. Detta skulle kunna bero på att ingen fyllig klang bildas då den tidiga efterklangstiden är kort och att ljudet då uppfattas som tunt.

Det objektiva måttet på variationen hos den tidiga efterklangstiden, T_{EDT} , hänger också samman med uppkomsten av hörselproblem enligt undersökningen. Regressionslinjen visar att uppkomna hörselproblem ökar då variationen hos den tidiga efterklangstiden ökar. Att uppkomsten av hörselproblem hänger samman med just detta mått kan kanske bero på att efterklangsen i vissa fall blir längre än genomsnittet för de frekvenser som örat är mest känsligt för och att dessa toner då förstärks för mycket och ger hörselproblem. Det kan också tänkas att efterklangstiden blir för kort för vissa frekvenser som är viktiga för musiken. Musikern kanske då spelar starkare för att kompensera vilket leder till att den totala ljudstyrkan blir så stark att den orsakar hörselproblem.

Andra mått som skulle kunna påverka hörseln men där samband inte påvisats i denna undersökning är rumsförstärkning och variationen hos efterklangstiden T_{60} . Ett rum med ett högt värde på rumsförstärkningen skulle kunna ge upphov till skadligt höga ljudnivåer. Variationen hos efterklangstiden, T_{60} , borde påverka uppkomsten av hörselproblem på ungefär samma sätt som variationen hos den tidiga efterklangstiden gör.

5. Slutsats

De resulterande riktvärdena från undersökningen bygger på sammanslagna enkätsvar från alla tre instrumentgrupperna. Det bästa hade varit om olika riktvärden kunde ha tagits fram till varje instrumentgrupp. Underlaget är dock för dåligt för detta då antalet inkomna enkäter för varje grupp är för få. De framtagna riktvärdena kan ändå komma till nytta. Med hjälp av rekommenderade värden, enkätsvar, mätningar och framtagna riktvärden ges här förslag på riktlinjer för hur övningsrum kan konstrueras och anpassas för olika instrument.

Alla rummen bör konstrueras med snedställda väggar och gärna också snedställt tak för att undvika stående eko.

Bakgrundsljudet bör inte överstiga 25 dB(A).

De efterklangstider som de nedan beskrivna rummen i grunden har erhålls med lämplig mängd absorbenter av olika typ. Då dessa typrum främst beskrivs utefter vilka värden på objektiva mått som kan tänkas vara lämpliga ges inga förslag till vilken typ av absorbenter som kan användas.

För mätresultat se Tab. 6 och för regressionslinjer se Bilaga 5.

5.1 Rum för gitarr

Vissa av gitarristerna föredrar torra rum vid övning, speciellt då ett nytt stycke ska övas in, för att det då är lättare att urskilja enskilda toner. Över lag önskas dock stora rum med mycket efterklang. Spansk gitarr är ett ganska ljudsvagt instrument som behöver respons från rummet. God ljudisolering är också särskilt viktigt i ett gitarrum av denna anledning. För gitarristerna är det rummen i skolans A-korridor som tycks passa bäst. Rummen är ganska stora, ca 21 m² golvyta och en volym på ca 59 m³ och har relativt lång efterklangstid. I det A-rum, A 213, där mätningar gjordes var efterklangstiden, $T_{60} = 1.0$ s och $T_{EDT} = 0.86$. Vissa av gitarristerna önskar ännu större rum med ännu mer klang. För ett rum anpassat till gitarr skulle därför en lämplig golvarea kunna tänkas ligga mellan 20 – 25 m² och den genomsnittliga takhöjden i rummet någonstans mellan 2.5 – 3 m. Då önskemål finns om både torra rum och rum med mycket efterklang är det viktigt att musikerna själva kan reglera klangen efter sina önskemål. I avsnittet Rekommendationer för musiklokaler, beskrivs kort hur lokaler i allmänhet kan dämpas med hjälp av tyg. Detta skulle kunna göras i ett sådant här rum genom att draperier sattes upp längst alla väggar. Om dessa monteras på skenor på så vis att de helt går att dra för så att väggarna täcks eller helt kan dras isär så att väggarna blir fria kan klangen i rummet varieras. (Något liknande har gjorts i vissa av rummen i barackerna på skolan.) Man skulle också kunna tänka sig att tyg sattes upp i taket på någon form av rulle på så sätt att taket lätt kunde täckas eller friläggas. Detta skulle ge ännu större variationsmöjligheter för klangen. Om klangen i rummet på detta sätt kan varieras så att alla olika önskemål uppfylls är inte säkert. I D. C. Lamberty's artikel "Musical practice rooms" [4] nämns att stora variationer i efterklangstid är svåra att uppnå men att så stora variationsmöjligheter som möjligt är önskvärda.

Rekommenderad efterklangstid för ett rum avsett för gitarr är 0.6 s [11]. När Musikskolan i Malmö byggdes konstruerades de rum som var tänkta för t.ex. gitarr och sång med en

efterklangstid på 0.8 s [10]. Efterklangstiden i ett av de rum som gitarristerna föredrar ligger, som sagt, på 1.0 s. Ett värde någonstans mellan 0.8 och 1.0 s skulle kunna vara lämpligt om goda dämpningsmöjligheter finns. Resultaten från undersökningen i detta arbete visar att ca 0.5 s är ett lämpligt riktvärde för efterklangstiden om hörselproblem ska undvikas. Bland de inkomna svaren från Enkät 2 svarar 5 av totalt 6 gitarrister att de inte alls har upplevt hörselproblem, d.v.s 1 på skalan och 1 bedömde upplevda hörselproblem som 3 vilket också är relativt lågt. Man kan därför tänka sig att riktvärdet på efterklangstiden när det gäller hörselproblem kan vara något högre i ett gitarrum innan problem uppstår.

Efterklangstiden för de lägre frekvenserna kan med fördel vara något längre än den totala efterklangstiden för att rummet ska ge ett varmt ljud.

Den tidiga efterklangstiden har ca 0.4 s som riktvärde för att inte hörselproblem ska uppstå. Även detta värde kan antas vara något högre för ett rum anpassat för gitarr. I A 213 är det uppmätta värdet 0.86 s. För att ljudet i ett rum inte ska kännas tunt är riktvärdet för den tidiga efterklangstiden ca 0.7 s. Ett lämpligt värde för ett gitarrum skulle därför kunna vara 0.6 – 0.7 s.

Rumsförstärkning är ett mått som borde ha stor betydelse vid utformningen av ett gitarrum då instrumentet behöver respons från rummet. Riktvärdena för detta mått som motsvarar ett bra totalintryck, intrycket av att ljudet inte blir diffust samt att ljudet känns rent ligger alla runt 5 dB. Resultatet från mätningarna i A 213 gav en rumsförstärkning i samma storleksordning på 5.5 dB. Ett lämpligt värde för ett gitarrum skulle därför kunna ligga runt 6.0 dB för att få något mer respons jämfört med riktvärdena.

Även det objektiva måttet stöd borde ha ett relativt högt värde i ett sådant här rum. Bland de tre undersökta rummen har A 213 och E 105 liknande värden medan Y 211 ligger något lägre. I enkätsvaren nämns att A-rummen känns bärande. Ett värde på stödet runt 0.3 dB likt det i A 213 skulle därför kunna vara lämpligt.

5.2 Rum för brassinstrument

Musikerna i brassgruppen föredrar över lag så stora rum som möjligt som varken är för torra eller har för mycket klang. I ett stort rum upplever musikerna i denna grupp att ljudet ”får plats” och inte blir påträngande. Samtidigt som rummet ska ha en viss efterklang önskas också att detaljer och nyanser i musiken framhävs. Lämplig golvarea hos ett brassrum kan därför likt gitarrummet vara i storleksordningen 20 – 25 m² eller ännu större om möjligheten finns. En genomsnittlig takhöjd på 2.5 – 3 m skulle passa även här.

Vad som är en lagom efterklangstid för denna instrumentgrupp kan vara svårt att avgöra då instrumenten skiljer sig åt t.ex. när det gäller tonhöjd. Rekommenderad efterklangstid för låga brassinstrument ligger mellan 0.2 – 0.4 s och för höga brassinstrument mellan 0.4 – 0.6 s [11]. De rum som var avsedda för brassinstrument konstruerades vid byggandet av skolan med en efterklangstid på 0.5 s [10].

De flesta brassmusikerna anser likt gitarristerna att skolans A-rum är bäst lämpade för övning. Vissa tycker dock att rummen kunde dämpas något. Bland de sämre rummen nämns de i Y-korridoren. De beskrivs bl.a. som torra och mer klang önskas. De uppmätta efterklangstiderna T_{60} och T_{EDT} är i A 213 1.0 s resp. 0.86 s och i Y 211 0.5 s resp. 0.39 s. Man skulle då kunna

tänka sig att en lämplig efterklangstid T_{60} för brassinstrumenten skulle kunna ligga mellan 0.6 – 0.8 s och för den tidiga efterklangstiden, T_{EDT} runt 0.5 – 0.6 s. I E-105 ligger de uppmätta efterklangstiderna i dessa regioner, $T_{60} = 0.7$ s och $T_{EDT} = 0.64$ s. Brassmusikerna anser ändå att barackrummen är dåliga och de egenskaper som beskrivs kan i viss mån tänkas ha med efterklangen att göra men kanske mer beskriver vilken typ av klang rummet ger. Det är dock viktigt att ta hänsyn till hörselproblem när ett brassrum ska konstrueras då dessa instrument är ljudstarka. Riktvärden för T_{60} och T_{EDT} när det gäller hörselproblem är lägre än de ovan föreslagna, 0.48 resp. 0.39. Med hänsyn till detta kan en efterklangstid T_{60} runt 0.6 – 0.7 s och en tidig efterklangstid T_{EDT} på ca 0.5 s vara lämpligare om goda möjligheter för dämpning ordnas likt lösningarna med tyg i det föreslagna gitarrummet. Att kraftigt kunna dämpa rummet är även viktigt då en kortare klang är lämplig för mörkare brassinstrument. En tidig efterklangstid på 0.5 s motsvarar också någorlunda intrycket av att ljudet inte känns tunt enligt riktvärdet.

De önskemål om ett rum som framhäver detaljer och nyanser skulle kunna motsvaras av ett rent ljud. Det riktvärde för rumsförstärkningen som motsvarar ett rent ljud är 5.7 dB. Då brassinstrumenten är ljudstarka och inte behöver så mycket förstärkning från rummet kan detta vara ett för högt värde. Ett något lägre värde någonstans mellan 4.0 – 5.0 dB skulle därför vara lämpligare och även ge intrycket av ett ännu renare ljud enligt regressionslinjen. Detta skulle också motsvara ett bra totalintryck och intrycket av att ljudet i rummet inte känns diffust.

Bra ljudisolering är viktigt för att musikerna inte ska störas av ljud utifrån men också för att musiker i intilliggande rum inte ska störas då brassinstrumenten är ljudstarka.

5.3 Rum för stråkinstrument

Även musikerna i stråkgruppen anser att A-rummen är de bästa. De flesta tycker att rummen är lagom stora och har en gynnsam efterklangstid. Vissa tycker dock att rummen kunde dämpas något, t.ex. med draperier längst väggarna. Ett rum med en golvarea mellan 20 – 22 m² och en genomsnittlig takhöjd på 2.5 – 3 m skulle vara lagom för stråkinstrument.

Likt brassgruppen skiljer sig instrumenten i stråkgruppen åt t.ex. när det gäller tonhöjd. Vilken efterklangstid som är lämplig kan därför variera. I rekommendationerna anges 0.6 s som lämpligt värde för cello och 0.8 s för fiol [11]. Värdet för fiol antas vara representativt för viola och violin. När musikskolan byggdes konstruerades rum för stråkinstrument med en efterklangstid på 0.8 s [10]. Det undersökta rummet A 213 har en efterklangstid, T_{60} på 1.0 s vilket är ett högre värde än vad som rekommenderas och en tidig efterklangstid, T_{EDT} på 0.86 s. Denna grupp anser att rummen i E- och F-korridorerna är minst lämpade för övning. Ljudet anses bl.a. bli för stark. I det uppmätta rummet E 105 är efterklangstiden, T_{60} 0.7 s vilket är ett ganska passande värde enligt rekommendationerna. Att rummen anses vara dåliga beror troligen mer på vilken typ av klang rummet ger än längden på efterklangstiden. Den tidiga efterklangstiden, T_{EDT} är här 0.64 s. Enligt enkätsvaren tycker flera av musikerna i denna grupp att olika rum passar bra till olika tillfällen. Valet av rum kan bero på situationen eller vilket humör man är på. Vid tekniska övningar önskas torrare rum och vid andra tillfällen vill man ha mer klang. Av denna anledning och för att de rekommenderade efterklangstiderna för

olika stråkinstrument skiljer sig åt är det viktigt att rummets klang går att reglera så mycket som möjligt om bara ett typrum ska konstrueras till stråkinstrumenten. Riktvärdena för efterklangstiderna när det gäller hörselproblem måste beaktas här då stråkinstrumenten kan ge ifrån sig starka toner. Dessa riktvärden är för $T_{60} = 0.48$ s och för $T_{EDT} = 0.39$ s. Med hänsyn till önskemål, rekommenderade värden samt riktvärden från denna undersökning skulle ett lämpligt värde för ett stråkrum för T_{60} kunna ligga mellan 0.7 – 0.8 s och för T_{EDT} mellan 0.5 – 0.6 s om goda möjligheter till dämpning ordnas i rummen. Justerbara tyger längst väggarna och i taket som i det föreslagna gitarrummet skulle vara lämpligt. Ett värde på T_{EDT} i denna storleksordning skulle även motsvara intrycket av att ljudet inte känns tunt enligt det framtagna riktvärdet.

En egenskap i A-rummen som nämns i enkätsvaren är att vissa toner klingar mer än andra. Värdena för variationen hos efterklangstiderna i det uppmätta A-rummet är också relativt höga jämfört med de andra rummen. Så låga värden som möjligt är därför önskvärt i ett stråkrum. Låga värden på variationen hos den tidiga efterklangstiden minskar också risken för hörselproblem enligt regressionslinjen.

Musikerna i denna grupp anser att ljudet i barackrummen blir för starkt. Bland de uppmätta rummen är det E 105 som har det högsta värdet på rumsförstärkningen vilket skulle kunna hänga samman med detta. Ett lämpligt värde på rumsförstärkningen i ett stråkrum borde ligga strax under det uppmätta värdet i A 213 då en viss dämpning i dessa rum önskas. Någonstans mellan 4.0 – 5.0 dB skulle passa. Detta skulle också motsvara ett bra totalintryck och intrycket av att ljudet är rent och inte känns diffust enligt riktvärdena.

Referenser

- 1) Backus, John, *The Acoustical Foundations of Music*, W. W. Norton & Company, Inc. 1969 1977, USA, Second Edition
- 2) Nilsson, E, Johansson, A-C, Brunskog, J, Sjökvist, L-G, Holmberg, D, *Grundläggande Akustik*, Lund, januari 2005, Tredje upplagan.
- 3) Campell, Murray, Greated, Clive, *The Musician's Guide to Acoustics*, Oxford University Press, Oxford, J. M. Dent & Sons Ltd, 1987, Reprinted 2001
- 4) D. C. Lamberty, *Musical practice rooms*, Journal of Sound and Vibrations, 1980, 69 (1), s. 149-155
- 5) I. Nakayama, T. Uehata, *Preferred Direction of a Single Reflection for a Performer*, Acustica, vol 65, nr 4, s. 205-208
- 6) X. Zha, H.V. Fuchs, H. Drottelleff, *Improving the acoustic working conditions for musicians in small spaces* Applied Acoustics 63 (2002) s. 203-221
- 7) Johansson, Ann-Charlotte, *Drumsound from floor coverings – objektive and subjektive assessmet*, Engineering Acoustics, LTH, 2005
- 8) Nykänen, Arne, *Methods for Specification of Sound Quality Applied to Saxophone Sound*, Division of Sound and Vibration, Department of Human Work Sciences, Luleå University of Technology, Luleå, 2004
- 9) Gabrielsson, Alf, Sjögren, Håkan, *Perceived sound quality of sound-reproducing systems*, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 65, Nr. 4, s.1019-1033, April 1979
- 10) Personlig kontakt - Cederfeldt, Leif, TeknD, Akustikgruppen I Malmö AB
- 11) Personlig kontakt - Sjödahl, Eva, Senior Consultant, Ingemansson Technology AB, Malmö
- 12) SIS (Standardisering i Sverige), *Byggakustik – Värdering av ljudisolering I byggnader och hos byggdelar – Del 1:Luftljudsisolering (ISO 717-1:1996)*
- 13) Kuttruff, Heinrich, *Room Acoustics*, Institut für Technishe akustik, Technischen Hochschule, Aachen, Germany, Essex 1991, Tredje upplagan.
- 14) Personlig kontakt - Brunskog, Jonas, TeknD, Teknisk Akustik, LTH
- 15) Barron, Michael, *Auditorium Acoustics and Architectual Design*, Clays Ltd, England, 1993, First edition
- 16) Vännman, Kerstin, *Matematisk statistik*, Studentlitteratur, Lund, 1990
- 17) Beranek, Leo L. *Music, Acoustics & Architecture*, Robert E. Krieger Publishing CO. INC. Reprinted Edition 1979

- 18) Boone, Marinus M. Braat-Eggen, Ella, *Room Acoustic Parameters in a Physical Scale Model of the New Music Centre in Eindhoven: Measurement Method and Results*, Applied Acoustics 42 (1994) s 13-28
- 19) R. P. Williamson, *Optimisation of Variable Lateral Energy for Spatial Impression in a Hall*, Applied Acoustics 26 (1989) s 113-134
- 20) Blom, Gunnar, Holmquist, Björn, *Statistikteori med tillämpningar*, Studentlitteratur, Lund, Tredje upplagan, 1998
- 21) The MathWorks, Inc, *Statistics Toolbox User's Guide*, Version 2, 1999
- 22) Blom, Gunnar, *Sannolikhetsteori och statistikteori med tillämpningar*, Studentlitteratur, Lund, Fjärde upplagan, 1989
- 23) Nationalencyklopedins Internetjänst, <http://www.ne.se>, 2006-02-03

Bilagor

Bilaga 1 – Resultat från ljudisoleringsmätning

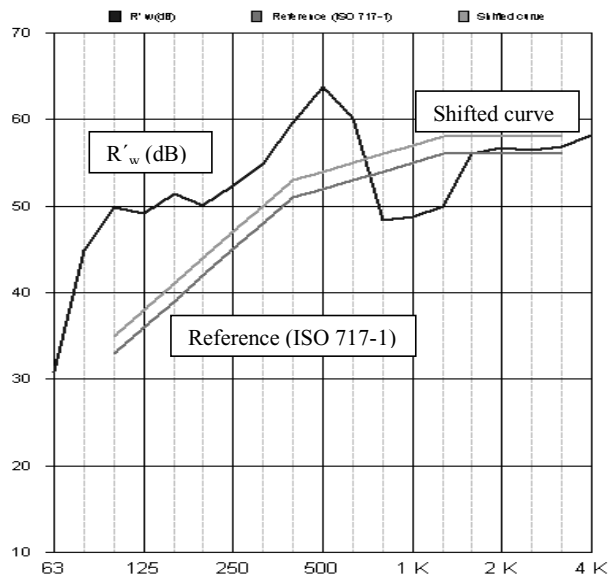
Reduktionstal

Reduktionstalskurva för rum A 213 från korridor:

R'_w (C ; Ctr) (dB) : (C;Ctr)=54 (-1 ; -2)

Rumsvolym: 58,8 m³
Area skiljeyta: 10,9 m²

Frequency f, (Hz)	R' (third octave), dB
50	26,7
63	30,9
80	44,9
100	>= 49,8
125	>= 49,2
160	51,4
200	50,1
250	52,4
315	>= 54,9
400	>= 59,6
500	63,8
630	60,2
800	48,4
1000	48,8
1250	50,0
1600	56,1
2000	56,7
2500	56,4
3150	56,8
4000	58,2
5000	57,8

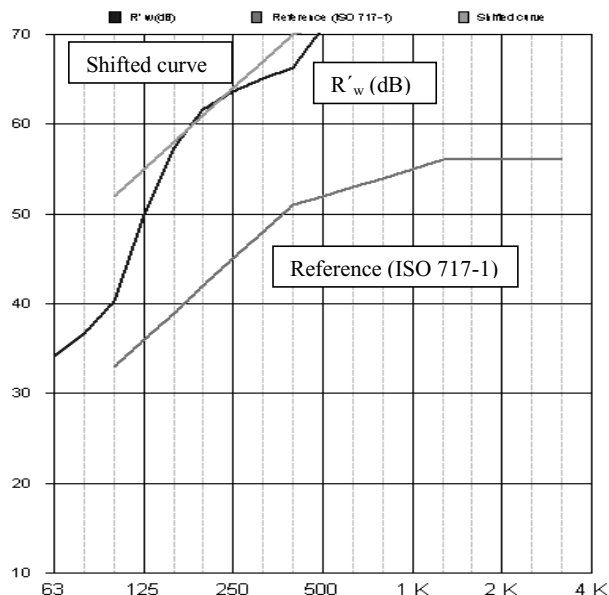


Reduktionstalskurva för rum A 213 från intelligande rum:

R'_w (C ; Ctr) (dB) : (C;Ctr)=71 (-4 ; -12)

Rumsvolym: 58,8 m³
Area skiljeyta: 15,0 m²

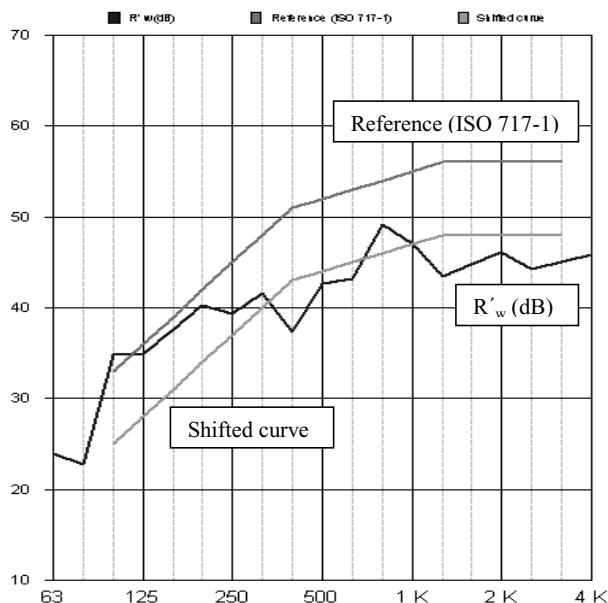
Frequency f, (Hz)	R' (third octave), dB
50	32,3
63	34,1
80	36,7
100	40,2
125	49,9
160	57,4
200	61,6
250	63,6
315	65,1
400	66,3
500	70,8
630	71,7
800	72,4
1000	70,6
1250	74,0
1600	77,4
2000	82,1
2500	81,0
3150	77,9
4000	76,4
5000	71,6



Reduktionstalskurva för rum Y 211 från korridor:
 $R'_w (C ; C_{tr}) (dB) : (C;C_{tr})=44 (0 ; -1)$

Rumsvolym: $21,3 \text{ m}^3$
 Area skiljeyta: $10,0 \text{ m}^2$

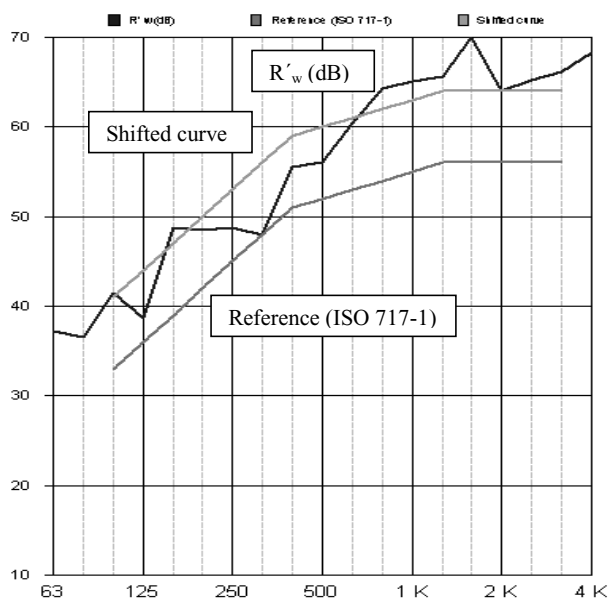
Frequency f, (Hz)	R' (third octave), dB
50	30,6
63	23,9
80	22,8
100	34,8
125	34,9
160	37,6
200	40,3
250	39,3
315	41,6
400	37,3
500	42,6
630	43,2
800	49,1
1000	47,0
1250	43,5
1600	44,8
2000	46,1
2500	44,3
3150	45,1
4000	45,9
5000	49,8



Reduktionstalskurva för rum Y 211 från intelligande rum:
 $R'_w (C ; C_{tr}) (dB) : (C;C_{tr})=60 (-2 ; -6)$

Rumsvolym: $21,3 \text{ m}^3$
 Area skiljeyta: $10,6 \text{ m}^2$

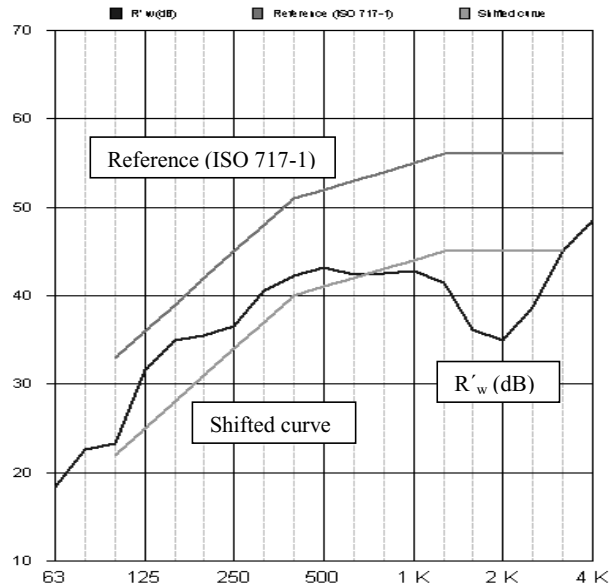
Frequency f, (Hz)	R' (third octave), dB
50	$\geq 30,0$
63	$\geq 37,2$
80	36,5
100	$\geq 41,4$
125	38,7
160	$\geq 48,8$
200	$\geq 48,5$
250	$\geq 48,7$
315	$\geq 47,9$
400	$\geq 55,5$
500	$\geq 56,1$
630	$\geq 60,5$
800	$\geq 64,3$
1000	$\geq 65,1$
1250	$\geq 65,6$
1600	70,0
2000	64,0
2500	65,2
3150	66,1
4000	68,3
5000	67,7



Reduktionstalskurva för rum E 105 från korridor:
 $R'_w (C ; Ctr) (dB) : (C;Ctr)=41 (-2 ; -3)$

Rumsvolym: $22,9 \text{ m}^3$
 Area skiljeyta: 10 m^2

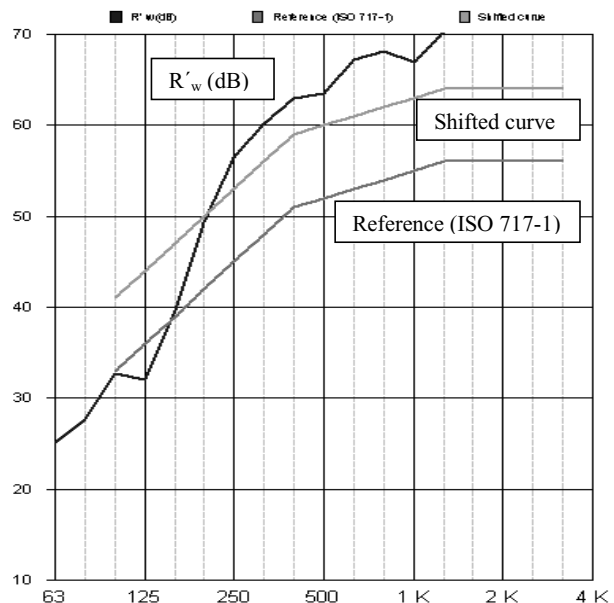
Frequency f_i (Hz)	R' (third octave), dB
50	18,6
63	18,3
80	22,6
100	23,3
125	31,6
160	35,0
200	35,5
250	36,6
315	40,5
400	42,2
500	43,2
630	42,4
800	42,5
1000	42,8
1250	41,4
1600	36,2
2000	35,0
2500	38,7
3150	45,1
4000	48,5
5000	52,2



Reduktionstalskurva för rum E 105 från intelligande rum:
 $R'_w (C ; Ctr) (dB) : (C;Ctr)=60 (-5 ; -11)$

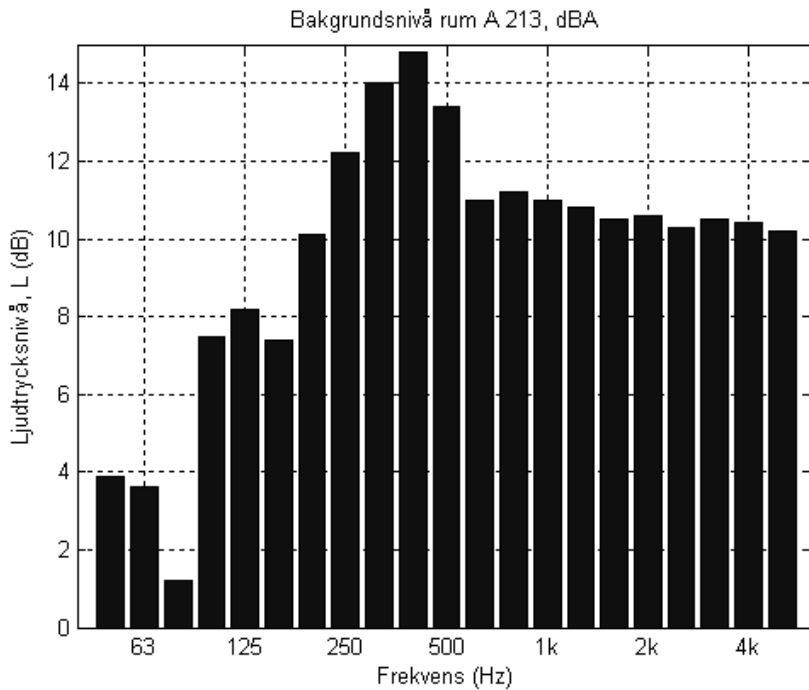
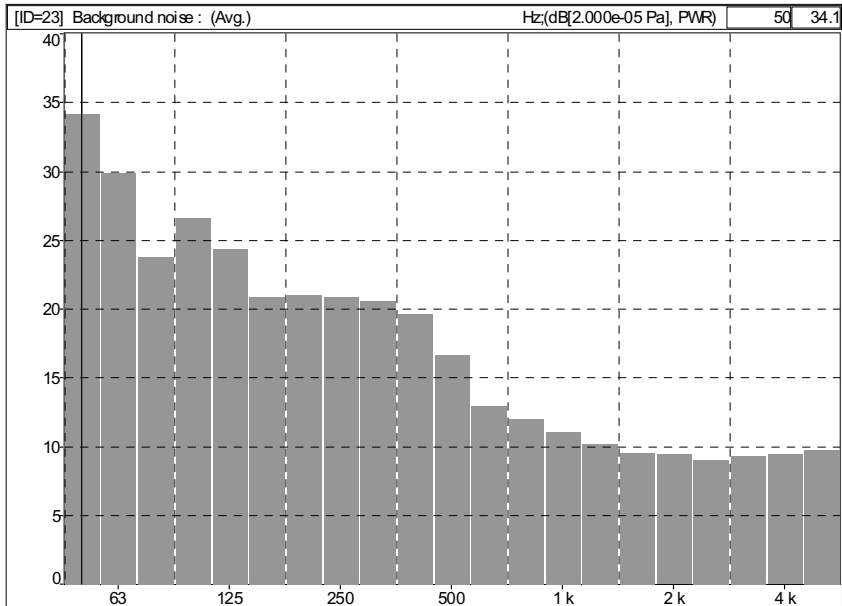
Rumsvolym: $22,9 \text{ m}^3$
 Area skiljeyta: 10 m^2

Frequency f_i (Hz)	R' (third octave), dB
50	24,1
63	25,1
80	27,6
100	32,7
125	32,1
160	39,6
200	49,3
250	$\geq 56,4$
315	$\geq 60,2$
400	$\geq 62,9$
500	63,5
630	67,2
800	$\geq 68,1$
1000	$\geq 66,9$
1250	$\geq 70,3$
1600	73,4
2000	77,2
2500	81,9
3150	$\geq 83,5$
4000	82,8
5000	77,8

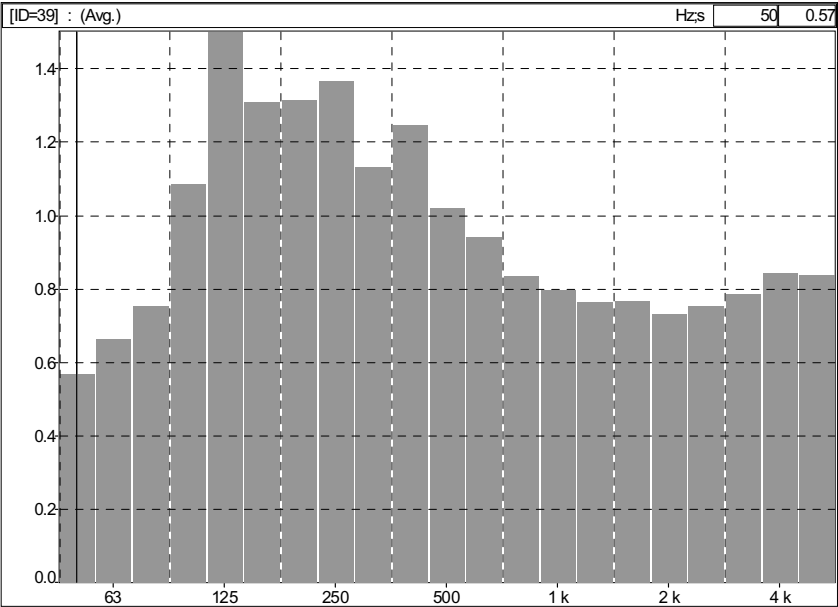


Bakgrunds nivåer och efterklangstid

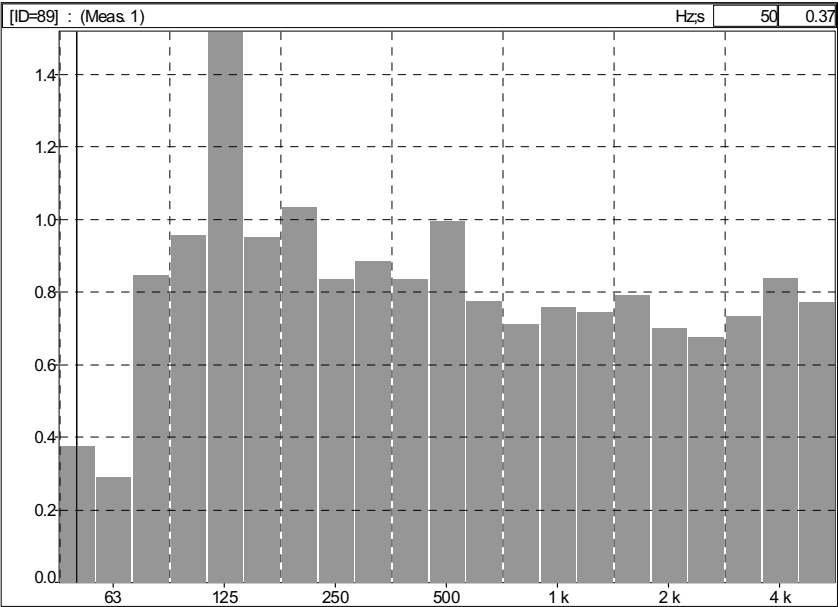
Bakgrunds nivå, L_b (dB) , A 213



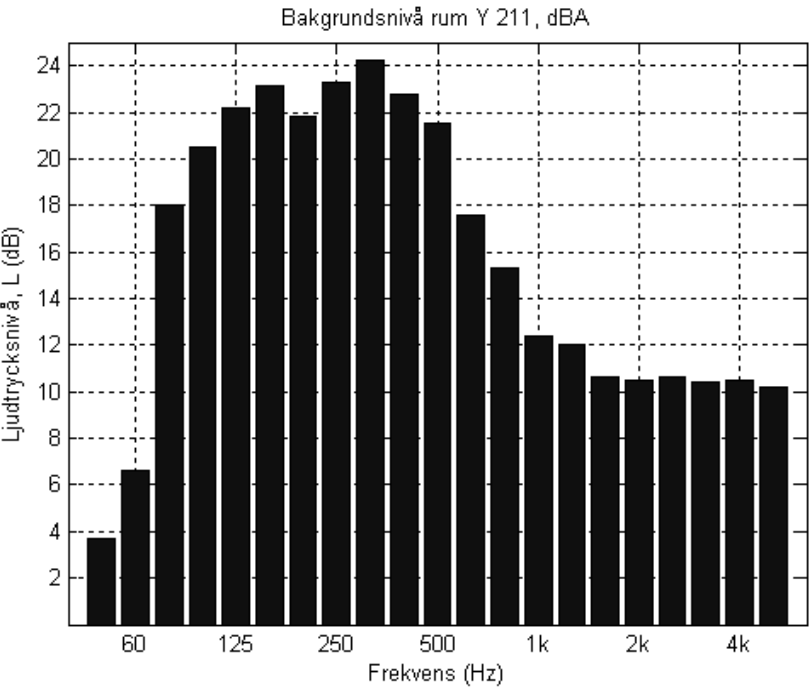
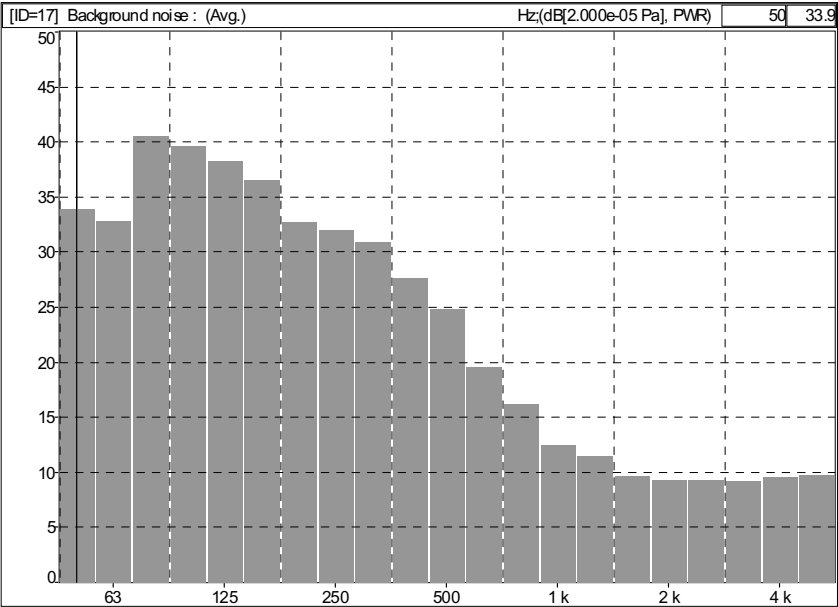
Efterklangstid, T_{60} (s), A 213



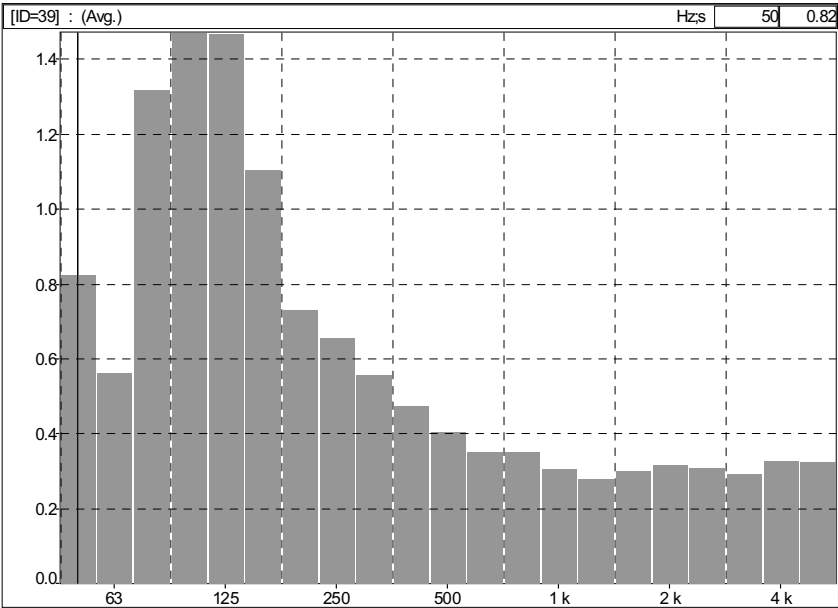
Tidig efterklangstid, T_{EDT} (s), A213



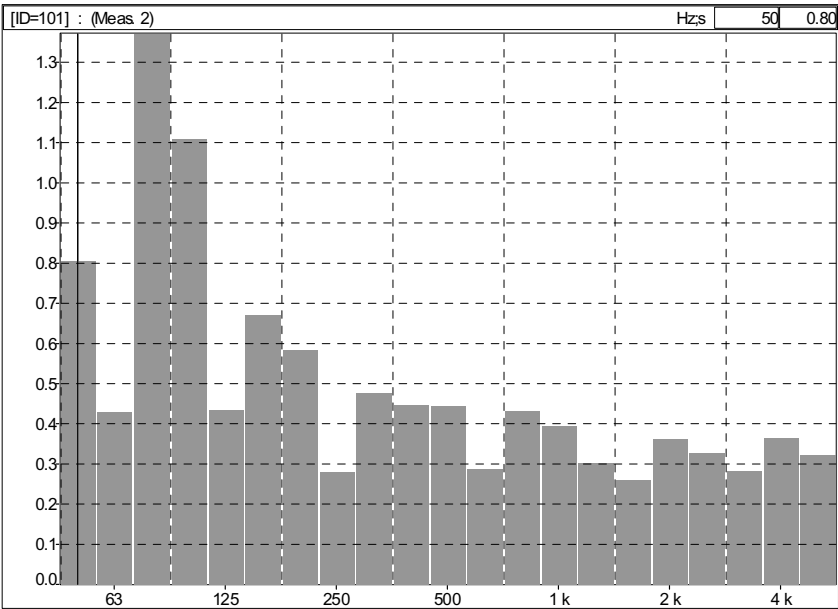
Bakgrundsni , L_b (dB), Y 211



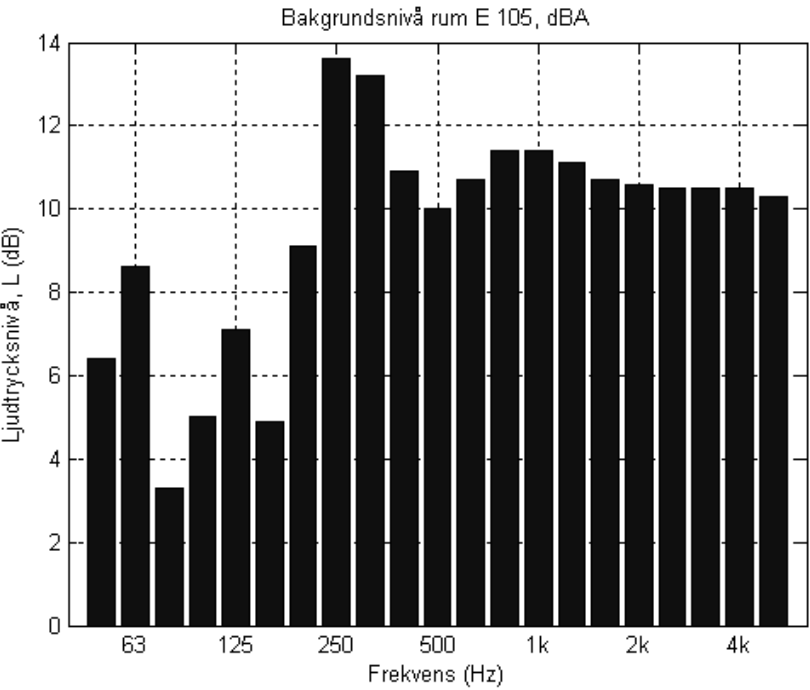
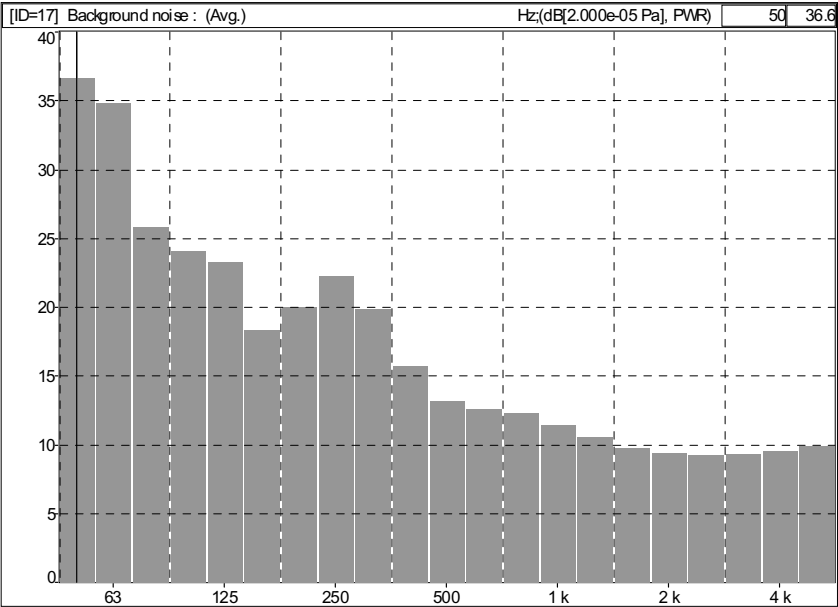
Efterklangstid, T_{60} (s), Y211



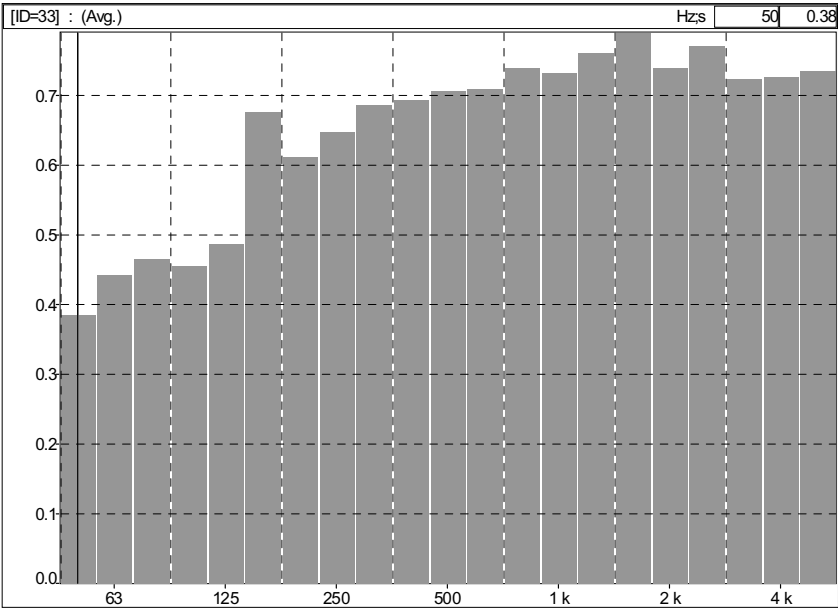
Tidig efterklangstid, T_{EDT} (s), Y211



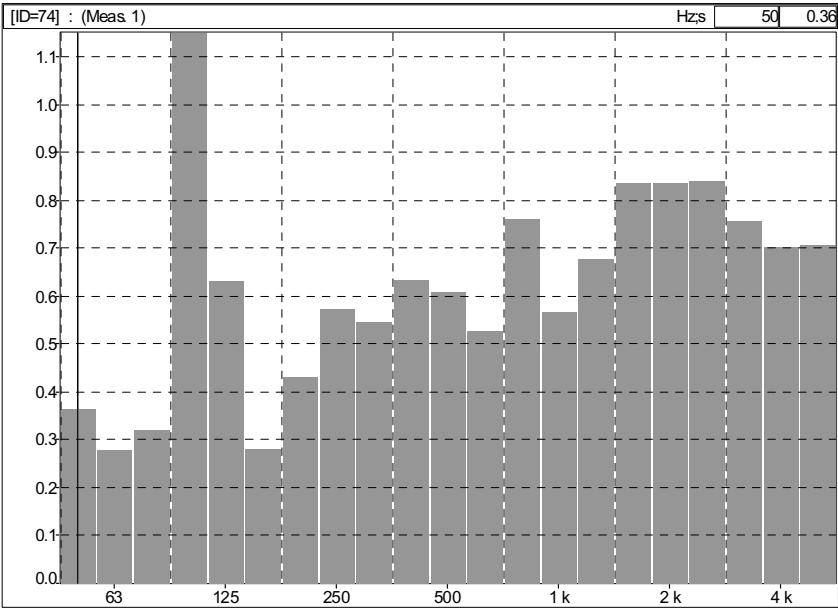
Bakgrundsni $\ddot{a}$, L_b (dB), E105



Efterklangstid, T_{60} (s), E105

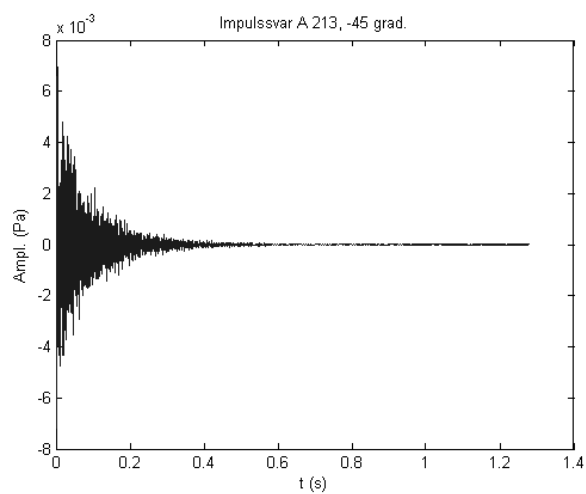
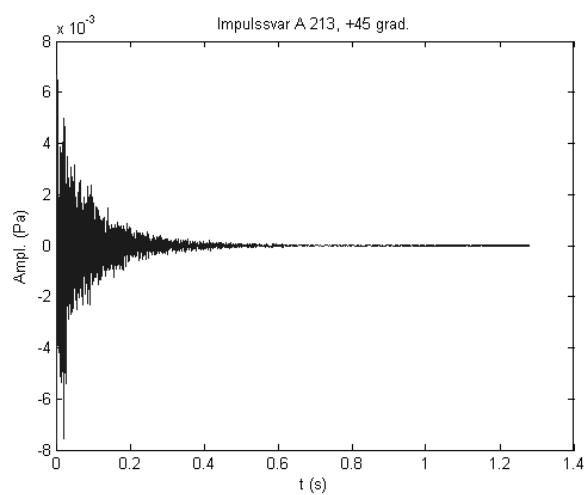
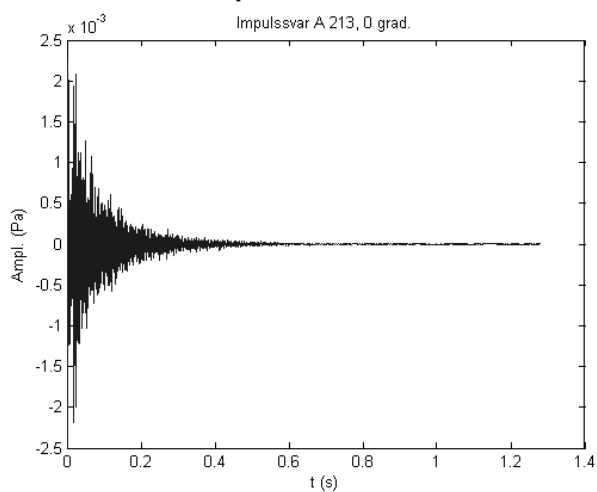


Tidig efterklangstid, T_{EDT} (s), E105

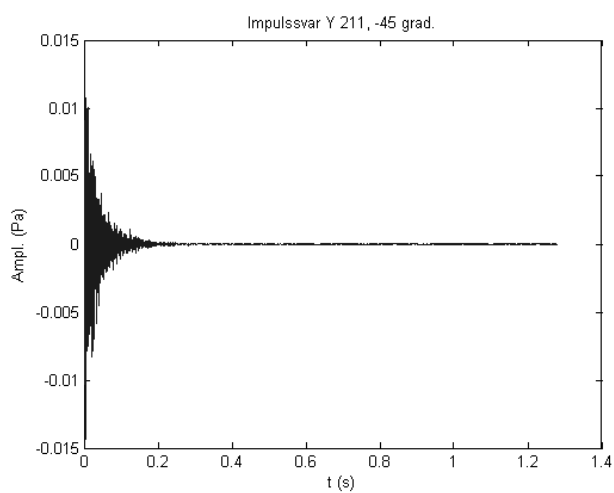
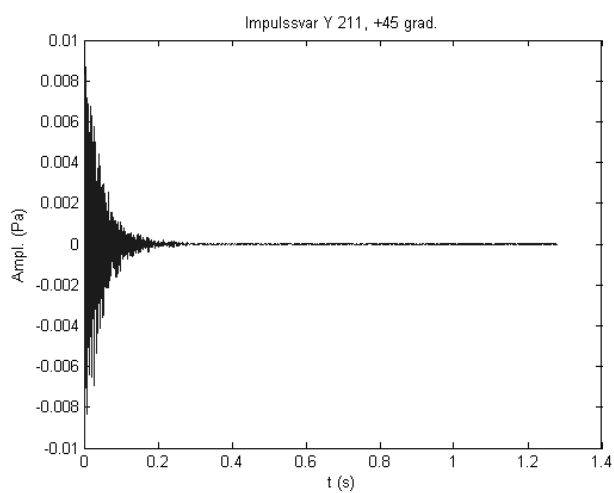
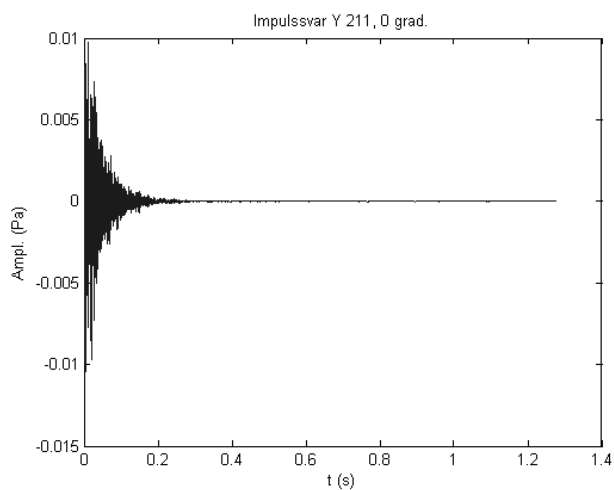


Bilaga 2 – Resultat från mätning av impulssvar

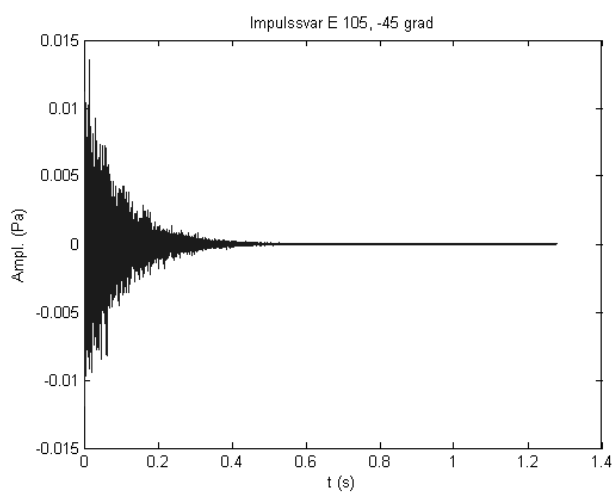
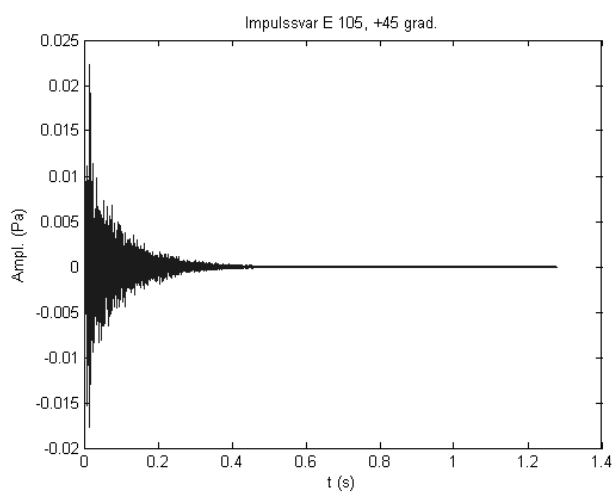
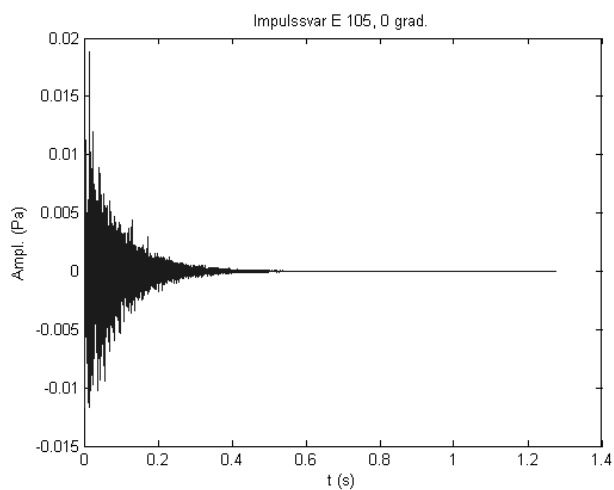
Impulssvar A 213



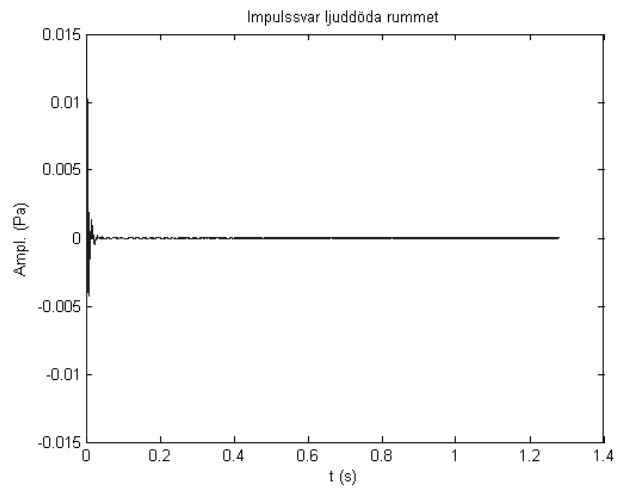
Impulssvar Y 211



Impulssvar E 105



Impulssvar Ljuddöda rummet



Bilaga 3 - Enkäter

Enkät 1

Denna enkät består av tre mindre delar där frågorna i varje del hänger samman. Frågorna avser de tillfällen då du övar ensam på ditt instrument och hur du själv uppfattar ljudet. På de frågor som rör rummen på Musikhögskolan i Malmö kan du välja bland alla övningsrum på skolan. Var vänlig och ange skolans övningsrum med rumsnummer.

Ditt namn:

Ditt huvudinstrument:

Del 1

1. 1. Vilken typ av rum brukar du använda dig av då du övar hemma på ditt instrument?
1. 2. Hur tycker du att detta rums akustiska egenskaper passar till ditt instrument?
1. 3. Kan du beskriva rummets akustiska egenskaper med tre ord.

Del 2

2. 1. Vilket övningsrum på skolan väljer du helst då du ska öva ensam på ditt instrument (förutsatt att alla rum är lediga)? Föredrar du en viss typ av likvärdiga rum, ange då dessa.
2. 2. Vilka akustiska egenskaper tycker du att detta rum har som gör att det passar bra till just ditt instrument?
2. 3. Är det rummets akustiska egenskaper eller är det andra förhållanden i rummet som får dig att välja just detta rum?

2. 4. Kan du beskriva rummets akustiska egenskaper med tre ord.

2. 5. Vad tycker du skulle kunna göras för att detta rum ska bli ännu bättre?

Del 3

3. 1. Vilket övningsrum på skolan undviker du då du ska öva ensam på ditt instrument?
Är det en viss typ av likvärdiga rum som du inte trivs med, ange då dessa.

3. 2. Vilka akustiska egenskaper tycker du att detta rum har som gör att det inte passar till just ditt instrument?

3. 3. Är det brister i rummets akustiska egenskaper eller är det andra förhållanden i rummet som får dig att undvika just detta rum?

3. 4. Kan du beskriva rummets akustiska egenskaper med tre ord.

3. 5. Vad tycker du skulle kunna göras för att rummet ska bli bättre?

Övriga kommentarer:

Tack!

Formulär – rum A 213

Här följer 25 adjektiv som beskriver ett rums akustiska egenskaper eller hur ljud kan uppfattas i ett rum. Till varje adjektiv hör en sjugradig skala. Ange för varje adjektiv hur väl du anser att det stämmer överens med rummets akustiska egenskaper. Skalan är utformad så att 1 betyder att du inte alls anser att adjektivet beskriver hur du uppfattar ljudet i rummet och 7 betyder att adjektivet fullständigt beskriver hur du uppfattar ljudet. Utnyttja hela skalan. Slutligen följer två kompletterande frågor. Formuläret är avsett att fyllas i vid ett övningstillfälle i rum A 213 då du övar ensam på ditt instrument. Formuläret lämnas in till receptionen (serviceenheten) på Musikhögskolan i Malmö.

Ditt namn:

Ditt huvudinstrument:

Hur uppfattar du ljudet i rummet då du övar ensam?

Varmt	Instämmer inte alls	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>	1	2	3	4	5	6	7								Instämmer fullständigt
1	2	3	4	5	6	7											
Klart	Instämmer inte alls	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>	1	2	3	4	5	6	7								Instämmer fullständigt
1	2	3	4	5	6	7											
Intimt	Instämmer inte alls	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>	1	2	3	4	5	6	7								Instämmer fullständigt
1	2	3	4	5	6	7											
Dämpat	Instämmer inte alls	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>	1	2	3	4	5	6	7								Instämmer fullständigt
1	2	3	4	5	6	7											
Balanserat	Instämmer inte alls	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>	1	2	3	4	5	6	7								Instämmer fullständigt
1	2	3	4	5	6	7											
Hög ljudnivå	Instämmer inte alls	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>	1	2	3	4	5	6	7								Instämmer fullständigt
1	2	3	4	5	6	7											
Diffust	Instämmer inte alls	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>	1	2	3	4	5	6	7								Instämmer fullständigt
1	2	3	4	5	6	7											
Hårt	Instämmer inte alls	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>	1	2	3	4	5	6	7								Instämmer fullständigt
1	2	3	4	5	6	7											
Jämnt	Instämmer inte alls	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>	1	2	3	4	5	6	7								Instämmer fullständigt
1	2	3	4	5	6	7											
Detaljrikt	Instämmer inte alls	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>	1	2	3	4	5	6	7								Instämmer fullständigt
1	2	3	4	5	6	7											
Mjukt	Instämmer inte alls	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>	1	2	3	4	5	6	7								Instämmer fullständigt
1	2	3	4	5	6	7											
Rent	Instämmer inte alls	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>	1	2	3	4	5	6	7								Instämmer fullständigt
1	2	3	4	5	6	7											

Avskiljt	Instämmer inte alls	1	2	3	4	5	6	7	Instämmer fullständigt
Torrt	Instämmer inte alls	1	2	3	4	5	6	7	Instämmer fullständigt
Livfullt	Instämmer inte alls	1	2	3	4	5	6	7	Instämmer fullständigt
Lyhört	Instämmer inte alls	1	2	3	4	5	6	7	Instämmer fullständigt
Tydligt	Instämmer inte alls	1	2	3	4	5	6	7	Instämmer fullständigt
Förlåtande	Instämmer inte alls	1	2	3	4	5	6	7	Instämmer fullständigt
Bullrigt	Instämmer inte alls	1	2	3	4	5	6	7	Instämmer fullständigt
Tunt	Instämmer inte alls	1	2	3	4	5	6	7	Instämmer fullständigt
Svårspelat	Instämmer inte alls	1	2	3	4	5	6	7	Instämmer fullständigt
Mörk klang	Instämmer inte alls	1	2	3	4	5	6	7	Instämmer fullständigt
Obehagligt	Instämmer inte alls	1	2	3	4	5	6	7	Instämmer fullständigt
Skarpt	Instämmer inte alls	1	2	3	4	5	6	7	Instämmer fullständigt
Grötigt	Instämmer inte alls	1	2	3	4	5	6	7	Instämmer fullständigt

Tycker du att rummet är bra eller dåligt lämpat för övning på ditt instrument ur akustisk synvinkel?

	1	2	3	4	5	6	7	
dåligt								bra

Har du någon gång upplevt obehag eller smärta i öronen under tiden du spelar eller efter att du har spelat i rummet?

	1	2	3	4	5	6	7	
Nej, inte alls								Ja, mycket

Övriga kommentarer:

Tack!

Bilaga 4 - Program

Klarhet

```
% Clarity

%Ladda in impulsfilen (och sätt h=impulsfilens variabel)
h=input('Impulsfil h:');
L=length(h);
t=linspace(0,1.279,L);
plot(t,h)
%Sätt ti=sluttid för h (tar bort den ointressanta delen av h)

ti=input('Sluttid ti:');
N=min(find(t>80*10^-3));

K=min(find(t>ti));
hi=h(1:K);

C=10*log10(sum(hi(1:N).^2)/sum(hi(N:K).^2))
```

Stöd

```
% Support

%Ladda in impulsfilen (och sätt h=impulsfilens variabel)
h=input('Impulsfil h:');
L=length(h);
t=linspace(0,1.279,L);

N=min(find(t>80*10^-3));
M=min(find(t>100*10^-3));

Sup=10*log10(sum(h(1:M).^2)/sum(h(1:N).^2))
```


Rumsförstärkning

```
% Rumsförstärkning
```

```
%Ladda in impulsfilen för aktuellt rum (och sätt h=impulsfilens variabel)
```

```
%Ladda in impulsfilen för ljudöda rummet (och sätt hdead=impulsfilens variabel)
```

```
h=input('Impuls för aktuellt rum h:');
```

```
hdead=input('Impuls för ljudöda rummet hdead:');
```

```
L=length(h);
```

```
t=linspace(0,1.279,L);
```

```
plot(t,h)
```

```
%Sätt ti=sluttid för h resp. hdead (tar bort den ointressanta delen av h resp. hdead)
```

```
ti=input('Sluttid ti:');
```

```
K=min(find(t>ti));
```

```
hi=h(1:K);
```

```
hdead_i=hdead(1:K);
```

```
C=input('Korrektionsfaktor (vid olika utgående ljudstyrkor):');
```

```
L=10*log10(sum((C*.hi).^2)/sum(hdead_i.^2))
```

Riktningskänslighet

% Riktningskänslighet

%Ladda in följande impulsfiler och sätt

%hr=impulssvar 0 grad.

%hp45=impulssvar +45 grad.

%hm45=impulssvar -45 grad.

hr=input('impulssvar 0 grad. hr:');

hp45=input('impulssvar +45 grad. hp45:');

hm45=input('impulssvar -45 grad. hm45:');

L=length(hr);

t=linspace(0,1.279,L);

figure(1)

plot(t,hr)

figure(2)

plot(t,hp45)

figure(3)

plot(t,hm45)

%Sätt ti=sluttid för hr, hp45 och hm45 (tar bort den ointressanta delen av hr, hp45 och hm45)

ti=input('Sluttid:');

K=min(find(t>ti));

hri=hr(1:K);

hp45i=hp45(1:K);

hm45i=hm45(1:K);

C1=input('Korrektionsfaktor C1 (vid olika utgående ljudstyrkor):');

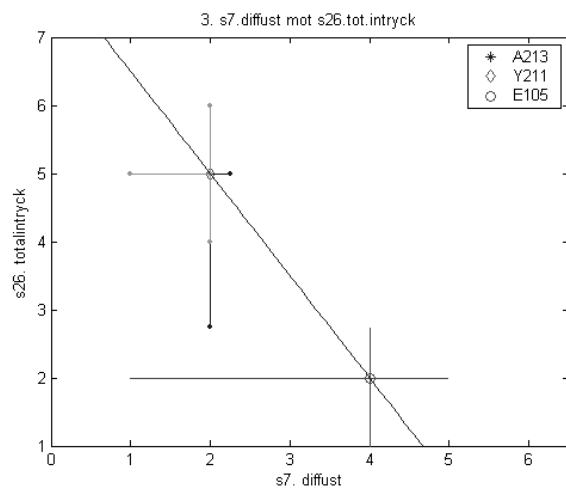
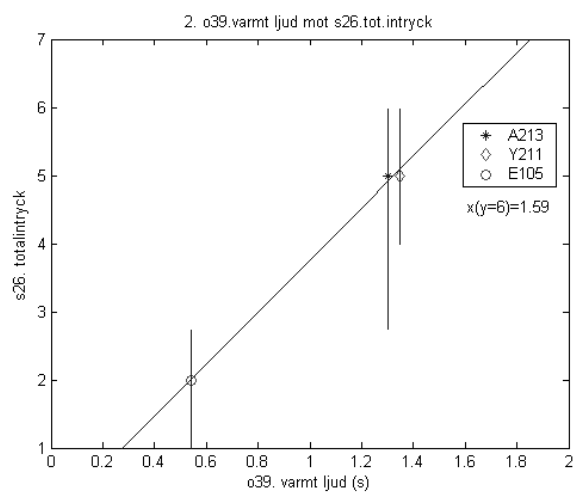
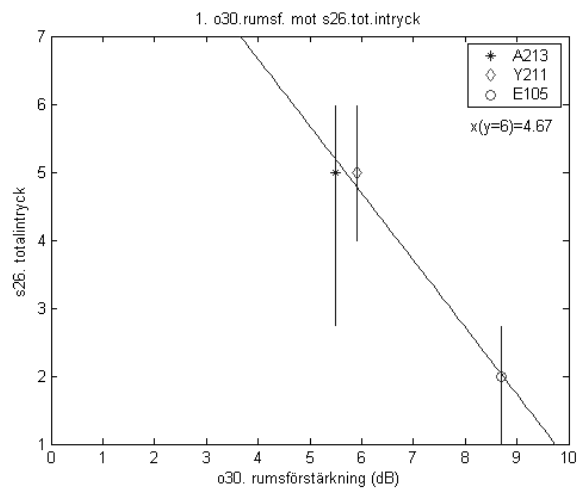
C2=input('Korrektionsfaktor C2 (vid olika utgående ljudstyrkor):');

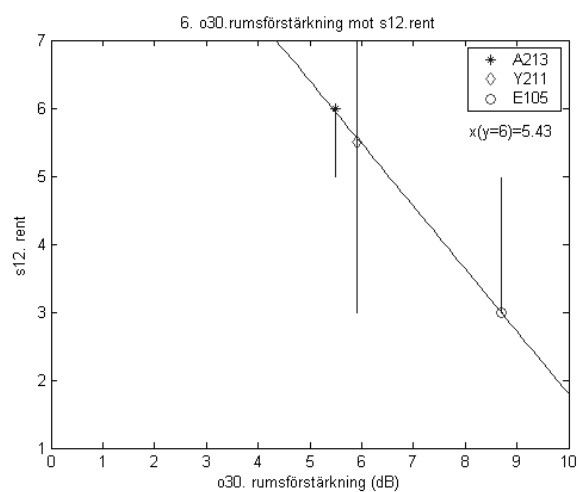
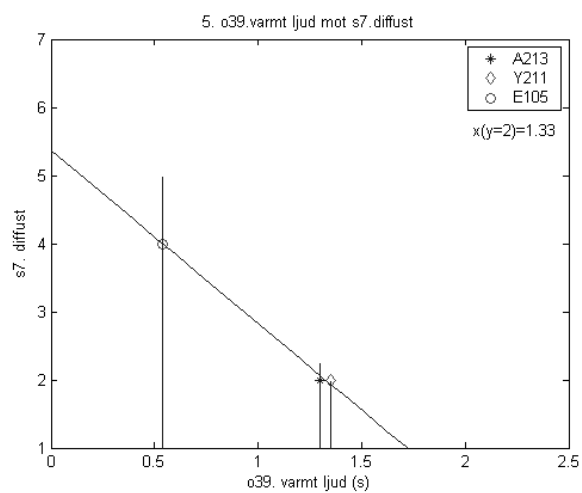
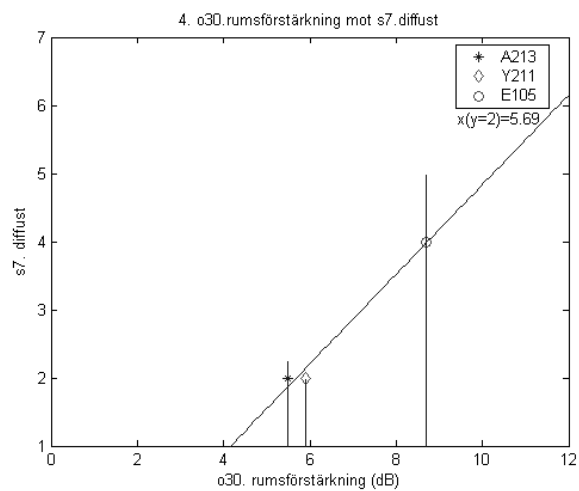
C3=input('Korrektionsfaktor C3 (vid olika utgående ljudstyrkor):');

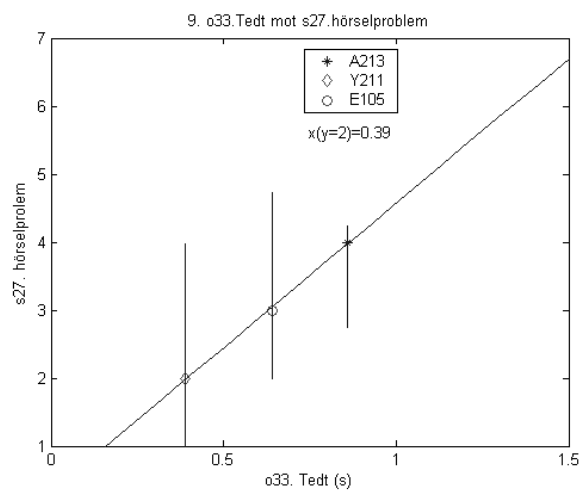
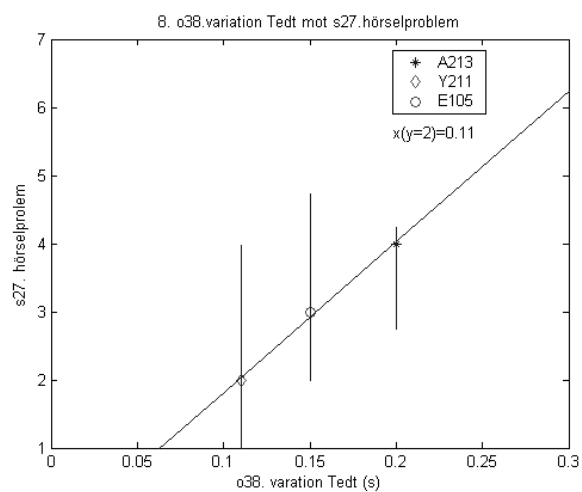
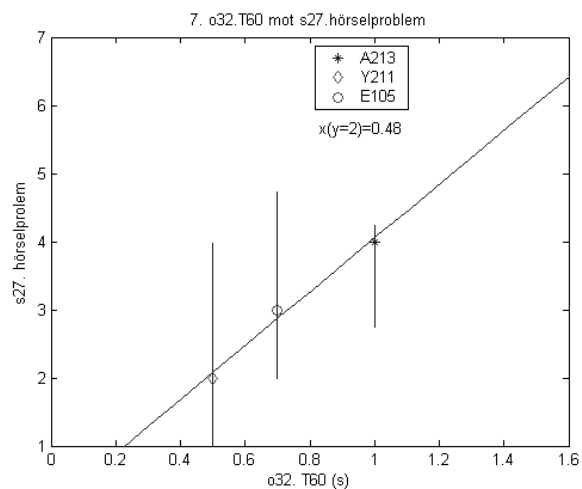
$$DS = \frac{\sum((C1 \cdot hri - (C2 \cdot hp45i./2 + C3 \cdot hm45i./2)).^2)}{\sum((C1 \cdot hri).^2)}$$

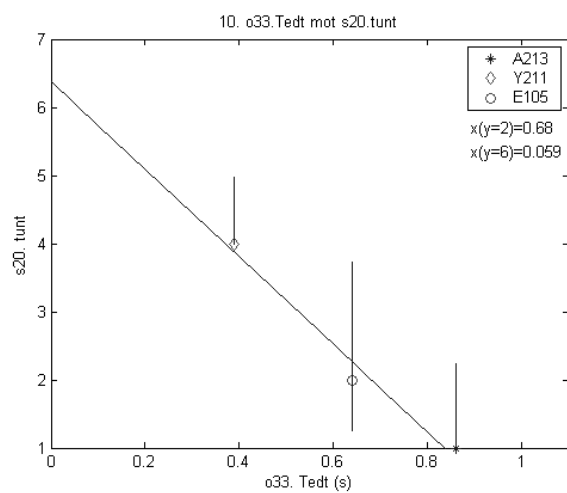
Bilaga 5 – Regressionslinjer, blockdiagram och resultat, Enkät 2

Regressionslinjer

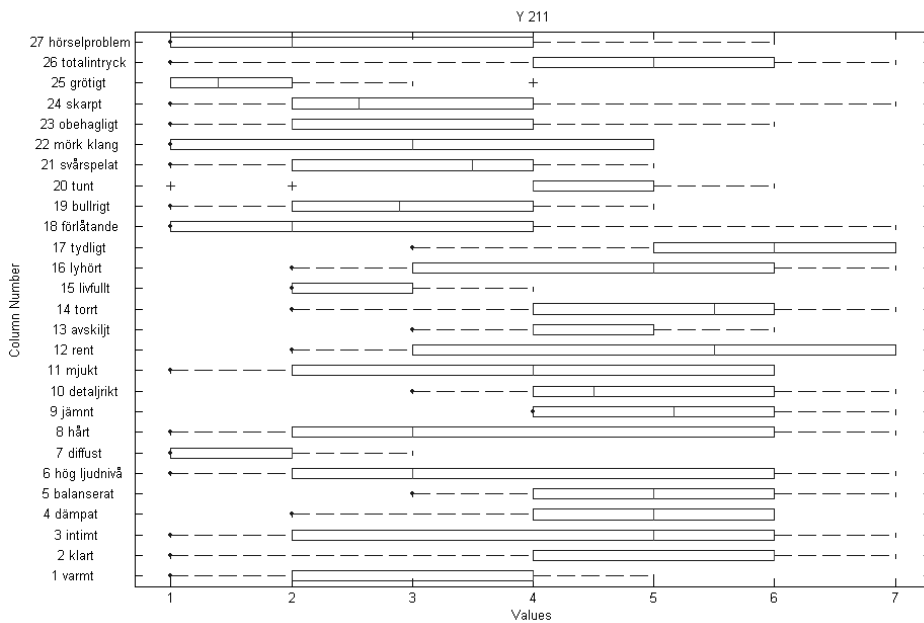
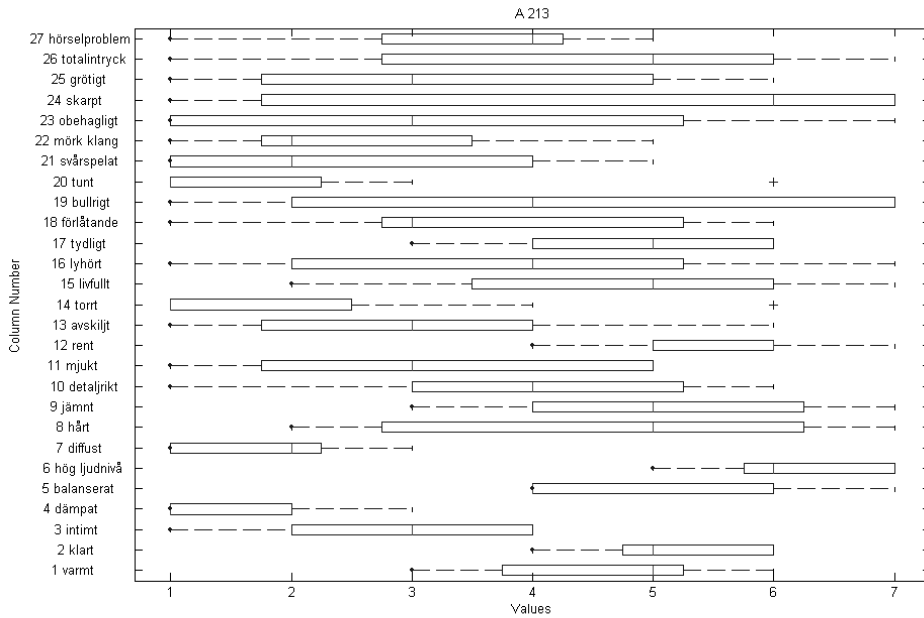


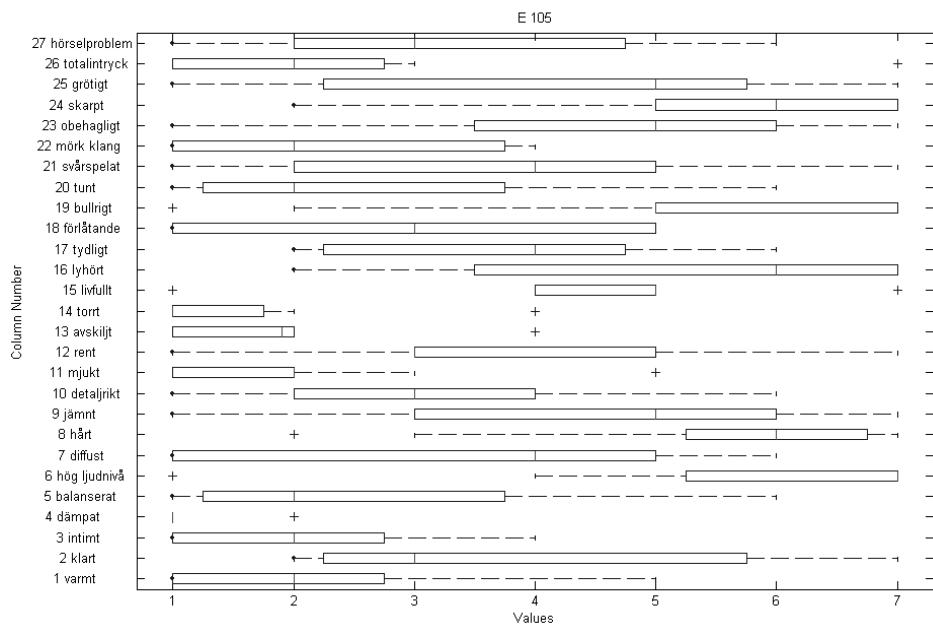






Blockdiagram – median och kvartiler för svaren, Enkät 2





Resultat – Enkät 2 och objektiva mått

A 213	Y 211	E 105	
5.0000	4.0000	2.0000	S_1 varmt
5.0000	6.0000	3.0000	S_2 klart
3.0000	5.0000	2.0000	S_3 intimt
1.0000	5.0000	1.0000	S_4 dämpat
4.0000	5.0000	2.0000	S_5 balanserat
6.0000	3.0000	7.0000	S_6 hög ljudnivå
2.0000	2.0000	4.0000	S_7 diffust
5.0000	3.0000	6.0000	S_8 hårt
5.0000	5.1650	5.0000	S_9 jämnt
4.0000	4.5000	3.0000	S_{10} detaljrikt
3.0000	4.0000	2.0000	S_{11} mjukt
6.0000	5.5000	3.0000	S_{12} rent
3.0000	4.0000	1.9000	S_{13} avskiljt
1.0000	5.5000	1.0000	S_{14} torrt
5.0000	2.0000	5.0000	S_{15} livfullt
4.0000	5.0000	6.0000	S_{16} lyhört
5.0000	6.0000	4.0000	S_{17} tydligt
3.0000	2.0000	3.0000	S_{18} förlåtande
4.0000	2.8900	5.0000	S_{19} bullrigt
1.0000	4.0000	2.0000	S_{20} tunt
2.0000	3.5000	4.0000	S_{21} svårspelat
2.0000	3.0000	2.0000	S_{22} mörk klang
3.0000	2.0000	5.0000	S_{23} obehagligt

6.0000	2.5550	6.0000	S_{24} skarpt
3.0000	1.3900	5.0000	S_{25} grötigt
5.0000	5.0000	2.0000	S_{26} Tycker du att rummet är bra eller dåligt lämpat för...
4.0000	2.0000	3.0000	S_{27} Har du någon gång upplevt obehag eller smärta i öronen...
6.5000	14.7000	6.2000	O_{28} clarity, C
0.3000	0.0820	0.3300	O_{29} support, Sup
5.5000	5.9000	8.7000	O_{30} rumsförstärkning, L_{RA}
1.1300	0.8200	1.0800	O_{31} riktningskänslighet, DS
1.0000	0.5000	0.7000	O_{32} T_{60}
0.8600	0.3900	0.6400	O_{33} T_{edt}
0.5300	1.4000	0.4900	O_{34} sone ljudstyrka, bakgrundsljud, L
32.0000	45.0000	31.0000	O_{35} phon ljudstyrka, bakgrundsljud, L
24.0000	32.0000	23.0000	O_{36} dBA ljudstyrka, bakgrundsljud, L
0.2600	0.3300	0.0710	O_{37} variation T_{60}
0.2000	0.1100	0.1500	O_{38} variation T_{edt}
1.3000	1.3500	0.5400	O_{39} varmt ljud
0.8200	0.3100	0.7300	O_{40} levande ljud
12.0000	4.0000	6.0000	O_{41} intimitet (från kurva)
54.0000	44.0000	41.0000	O_{42} R_w' korridor
72.0000	60.0000	60.0000	O_{43} R_w' intilliggande rum