



Institutionen för
Tal, musik och
hörsel

Att mäta gitarrkvalitet

-fysikaliska mätningar och ett lyssningstest



Magnus Nilsson

Handledare: Erik Jansson

Godkänd:..... Examinator:.....
(signatur)



Stockholm
juli 2003

Examensarbete i musikakustik

Institutionen för Tal, musik och hörsel
Kungl. Tekniska Högskolan
100 44 Stockholm

Sammanfattning

I rapporten "Att mäta gitarrkvalitet" ställer jag mig frågan "Hur mäter man gitarrkvalitet?". För att svara på den frågan måste man ha svaret på en andra fråga "Vad är gitarrkvalitet?". Observera att jag med gitarrkvalitet menar tonal kvalitet. Det visar sig att den andrafrågan är den som är besvärligast att besvara. Jag påstår att det inte går att ge ett entydigt svar på den frågan utan att man först begränsar sig till en viss typ av gitarrer och sedan ställa sig frågan vilka egenskaper som oftast är önskvärda hos en god gitarr av den typen. I mitt arbete har jag begränsat mig till den "spanska klassiska" gitarrer.

I ett lyssningstest fick lyssnarna avgöra huruvida gitarrerna uppfyller dessa egenskaper och i slutet av testet avgöra vikten av att egenskapen är uppfylld. I testet använder jag tre gitarrer av olika kvalitet, två fabriksbyggda, en svensk och en spansk. Den tredje gitarren är en handbyggd kopia av en mycket bra spansk gitarr. Den handbyggda gitarren fick bäst resultat följt av den fabriksbyggda gitarren från Spanien. Lyssnarna hörde dock färre skillnader än man kan ana när man vet att man får betala tio gånger så mycket för den bästa gitarren än för den billigaste. Anmärkningsvärt var också att lyssnarna hörde störst skillnader på de egenskaper de värdesatte minst. På de egenskaper som ansågs viktigast kunde jag inte visa en signifikant skillnad. Hela lyssningstestet spelades in och tekniska mätningar utfördes på de egenskaper lyssnarna vid testet hörde en skillnad. En egenskap som tonkvalitet är dock för subjektiv och antagligen för omfattande för att göra någon mätning på. Större energi borde ha lagts på att bestämma egenskaperna så att man skulle få en så komplett bild som möjligt med oberoende egenskaper.

I nästa del mäter jag gitarren inbyggda resonanser på de tre gitarrerna genom att knacka en impuls på stallet och spela in svaret i locket och luftresonanser. Jag begränsar mig till de tre lägsta lockresonanserna och de två lägsta luftresonanserna. Att veta vad som står för bra kvalitet här är om möjligt ändå svårare än hos inspelade toner. Alla resonanser ligger väl under 500Hz. Varför jag koncentrerat mig på lågfrekvensområdet är för att jag inbillar mig att de är viktigt och för att resonanserna kommer så pass glesat att de går att mäta. När man kommer upp i högre frekvenser blir det svårt att påverka var resonans var för sig eller ens de dem som enskilda toppar. Att använda dessa mätningar för att mäta gitarrkvalitet anser jag är svårt. Däremot kan det vara mycket användbart då man skall bygga en kopia på en gitarr. De lägsta resonanserna skulle då med ganska god precision kunna efterliknas originalet. Ett annat område mätningarna kan komma till pass är när man vill se vad en liten förändring av konstruktionen får för konsekvenser på de lägsta resonanserna. Det tredje och kanske viktigaste användningsområdet för gitarrbyggarna är att öka förståelsen för hur resonanserna i gitarren uppträder.

För att snickarna skall kunna fortsätta mäta har jag skrivit en lathund som kan användas för att göra dessa ganska enkla mätningar. Lathunden finns med som en bilaga till rapporten.

Abstract

In this report "To measure the quality of the guitar" I ask myself the question "How am I going to measure the quality of the guitar?". To answer this question I need to ask myself a second question "What is the quality of the guitar?". I have to make sure that I mean the tonal quality of the guitar when I am talking about guitar quality. The second question will be the most difficult to answer. The state is that one can't give an unambiguous answer without limiting the question to a certain type of guitar. Therefore, you have to ask yourself what kind of character the guitar should have. I have in this work limited it to "Spanish classical guitars".

In a blind listening test the "hearing group" decided how the guitars fulfilled the characteristics. In the ending of the test the group had to answer the question how important it is that each specific characteristic is fulfilled? In the test I used three different guitars with different quality, two factory-made guitars, a Spanish one and a Swedish one. The third guitar was a handmade copy of a very famous, Spanish guitar (by Ramirez). The handmade guitar got the best result followed by the Spanish factory made one. The hearing group didn't hear so many differences between the most expensive one and the cheapest one as you could imagine. The most expensive one is ten times more expensive than the most praiseworthy (cheapest) guitar. The most remarkable thing is that the hearing group did hear the biggest differences of the properties that they valued least important.

The whole listening test was recorded and measurements were done on the properties where differences could be heard. It is difficult to make a measurement on a thing as the quality of the tone because it is a subjective thing. If time permitted I should have done more work in the choice of parameters, i.e. to get a complete and independent list.

In the next part of the test I measured the built-in resonances on the three guitars. I knocked on the bridge and recorded the response on the top plate and in the air volume. It is difficult to know how the response will be on a good guitar. All five measured resonances are well under 500Hz. I measured these low resonances because I think they are the most important and they are also easy to detect. It is difficult, however, to use these measures to determine guitar quality. My answers do not always agree with previous researches.

Firstly, I think that you can use the above measurements if you want to build a copy of a guitar. The lowest resonances should with a good precision resemble the original. Secondly, the measurements could be useful when you want to see how small changes in the construction will affect the low resonances. The third and most important useful area for the guitar makers is to increase the knowledge of the acoustical function on the guitar.

In an appendix to the report there is a short description how to make the measurements.

Förord

Gitarrbyggaren bygger gitarrer som ofta blir bra men ingen vet varför. I kontrast till detta försöker industrin med ingenjörens hjälp att tillverka gitarrer under god kontroll som sällan blir lika bra. Men alla förstår hur de uppför sig akustiskt.

Med denna inställning började jag mitt examensarbete om gitarrkvalitet på KTH i samarbete med gitarrbyggjarlinjen på Carl Malmstens skola.

Jag försöker ge ett svar på vilka egenskaper den handbyggda gitarren har som den massproducerade gitarren saknar. Svaren söker jag med hjälp av ett lyssningstest plus mer tekniska mätningar.

Meningen är att texten skall vara lättläst och skall kunna begripas av gitarrbyggare med liten teknisk kunskap. Samtidigt skall texten kunna förstås av en intresserad tekniker varför jag har varit tvungen att ta med vissa tekniska begrepp.

Som bilaga finns en lathund som skall kunna användas av gitarrbyggare för tekniska mätningar på gitarrtoner och på gitarrens inbyggda resonanser.

En CD-skiva finns även som bilaga. CD-skivan innerhåller styckena från lyssningstestet plus ett MATLAB-program (speck) som är lämpligt för enklare mätningar på gitarrer.

Innerhållsförteckning

1.	Gitarren som akustisk ljudstrålarare	6
1.1	Hur uppstår tonen?	6
1.2	Luftresonanser och lockresonanser	6
1.2.1	Luftresonanser	6
1.2.2	lockresonanser.....	7
1.3	Hur kan gitarrens resonanser tänkas påverka tonen?	8
1.4	Vad är en bra respektive dålig gitarrrton?	8
2.	Ett lyssningstest med tre gitarrer.....	9
2.1	Bakgrund.....	9
2.2	Metod	9
2.3	Utförande.....	10
2.4	Teori	11
2.5	Resultat.....	13
2.6	Objektiva mätningar på gitarrrtoner.....	15
2.7	Diskussion	18
2.7.1	Hur säkert är resultatet?	18
2.7.2	Preferenser.....	19
3.	Knackresonanser på tre gitarrer.....	20
3.1	Bakgrund.....	20
3.2	Metod	20
3.3	Resultat.....	22
3.4	Diskussion	24

Bilaga A

Lathund Att spela in och analysera ljud i PC-miljö.....	25
Förord.....	25
Vad man kan mäta	26
Lockresonanser.....	26
Luftresonanser	26
Toner.....	26
Spela in och analysera ljud	28
Koppla in mikrofon och högtalare eller hörlurar	28
Mjukvarainställningar för hårdvara.....	28
Spela in ljud med programmet Soundswell	29
Analysera resultatet med programmet speck.....	30
Menyerna i speck.....	32
Att mäta rent praktiskt	33
Mätningar av gitarrens inbyggda resonanser	33
Utrustning	33
Mätningar av resonanser.....	34

Bilaga B

CD-skiva

1. Gitarren som akustisk ljudstrålare

Gitarren är som akustisk ljudstrålare är ganska ineffektiv, speciellt den nylonsträngade gitarren. Med det menar jag att gitarrens ton är ganska kort och svag i förhållande till andra musikinstrument. Därför gäller det att vara extra noggrann när man konstruerar gitarrer så att man får små förluster men ändå behåller gitarrens jämnhet och tonkvalitet.

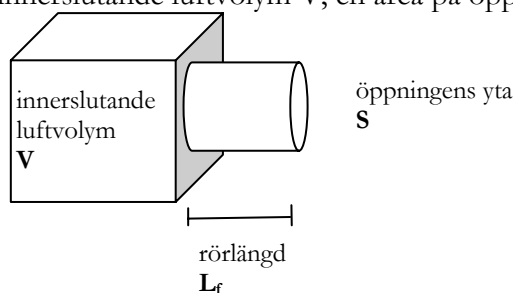
1.1 Hur uppstår tonen?

Tonen i gitarren uppstår genom knäppning på strängen. Strängen kopplar till kroppen på gitarren via stallet och halsen och sätter främst locket i vibration. Locket förmedlar vidare energin till rummet man spelar i. I gitarren finns också en innerslutande luftvolym som tillsammans med ljudhålet bildar en Helmholtz-resonator, samma typ av resonans som uppkommer då man blåser i en flaska. Den mycket begränsade energin i den vibrerande strängen skall alltså förmedlas till rummet på ett så bra sätt som möjligt. En tunt byggd gitarr blir lättdriven eller mer tekniskt sagt har låg inimpedans. Energin förmedlas då lätt till det ljudstrålade locket som dock har relativt låg massa och tappar energin snabbt. Den tungt byggda gitarren men hög inimpedans tar istället mot energin mer sparsamt och förmedlar mindre vibrationer under en längre tid. Genom att dimensionera gitarrens delar kan gitarrbyggarna styra gitarrens resonanser.

1.2 Luftresonanser och lockresonanser

1.2.1 Luftresonanser

Som jag tidigare sagt bildar ljudhålet och den innerslutande luftvolymen en Helmholtz-resonator vilket är samma typ som uppträder när man blåser i en flaska. Resonatorn är däremot långt ifrån ideal. Väggarna är nämligen rörliga och resonatorn är för grund¹. Resonatorn består av en innerslutande luftvolym V , en area på öppningen A , och en effektiv längd på öppningen L .



Figur 1: Helmholtz-resonator.

Resonansfrekvensen för Helmholtzresonatorn är $f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{L \cdot V}}$. Den effektiva längden är beroende av öppningens yta med radien r som $L = L_f + \Delta L_1 + \Delta L_2$ där $\Delta L = 0.85 \cdot r$ om röränden slutar i en baffel och $\Delta L = 0.6 \cdot r$ om röränden slutar fritt². På en gitarr är rörlängden lika med lockets tjocklek dvs. runt 3mm. Jämfört med öppningens radie som är i storleksordningen 5cm kan vi försumma rörlängden. På båda sidor om röret kan vi också säga att

¹ Erik Jansson, Kompletterande kursmaterial Del 1 & Del 2 Musikakustik 2F1212, Stockholm 2001.

² Johan Liljencrants, Elektroakustik, Stockholm 2000.

röret slutar fritt. Varför jag säger att det slutar fritt är för att gitarrens dimensioner är små i förhållande till lägsta luftresonansens våglängd som är ca $345/100=3.45\text{m}$. Vi får då en effektiv rörlängd som är $L = 2 \cdot 0.6 \cdot r = 1.2 \cdot r$. Ytan S skriver vi också om som $S = \pi \cdot r^2$. Uttrycket för gitarrens lägsta resonans blir då $f_0 = k \sqrt{\frac{r}{V}}$ där $k = \frac{c}{2\sqrt{1.2 \cdot \pi}}$. Vi ser här att ett större ljudhål höjer f_0 . Kanske inte riktigt vad man intuitivt skulle tro. Ökar vi däremot luftvolymen så sänker vi resonansfrekvensen. Man ser också att man måste ändra ganska mycket på ljudhålets yta för att flytta på f_0 . En minskning av ytan med a (dvs. $S \cdot a$ där $a < 1$) ger en minskning av radien med \sqrt{a} och f_0 förflyttas då bara med $\sqrt[4]{a}$.

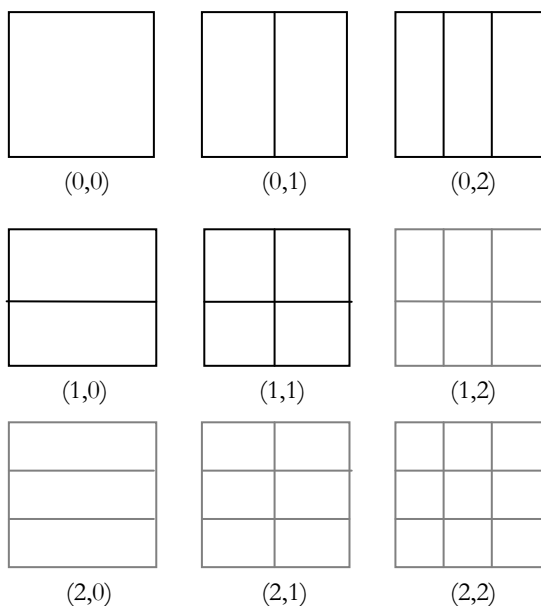
1.2.1.1 Ett mycket enkelt experiment

Ljudhålets yta minskades till hälften genom att tejpa en CD-skiva för halva ljudhålet. Faktorn a är alltså 0.5. Vi har då i princip minskar radien med $\sqrt{a} \approx 0.71$. Resonansfrekvensen bör då ha minskat med $\sqrt[4]{a} \approx 0.84$. Innan CD-skivan tejpades på hade vi en resonansfrekvens $f_0 \approx 98\text{Hz}$. Den bör då alltså minska till $f \equiv \sqrt[4]{a} \cdot f_0 \approx 0.84 \cdot 98 = 82.4\text{Hz}$. Vid mätningen fick jag dock ett resultat på 85Hz. Att resultatet inte riktigt stämmer med teorin beror antagligen på att vi inte har någon perfekt Helmholtzresonator.

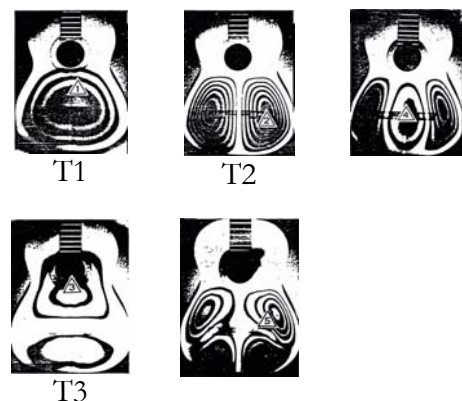
Den andra luftresonansen är den stående våg som uppstår mellan hals- och bottenklossen. På den ledden är en klassisk gitarr ca. 0.5 meter lång. En stående våg uppkommer om avståndet mellan väggarna är en multipel av halva våglängden. Detta ger att andra luftresonansen bör ligga runt 345Hz. Den verkliga frekvensen blir dock lägre, antagligen på grund av att väggarna är rörliga.

1.2.2 lockresonanser

Gitarrens Lockresonanser uppför sig i princip som resonanserna i en kvadratisk platta. I Figur 2 ser du resonanserna systematiskt uppträdande med nodlinjer i x- och y-led.



Figur 2: Den kvadratiske planets nodlinjer.



Figur 3: Holografibilder på ett symmetriskt gitarlocks fem lägsta resonanser av Nils-Erik Molin.

I Figur 3 ser du en gitarrs fem lägsta lockresonanser i ett symmetriskt uppbyggt gitarrlock. T1, T2 och T3 är de jag intresserar mig för i rapporten. Titta också på likheten med det kvadratiska planet. Frekvenserna på dessa resonanser kan styras genom att man t.ex. lägger till massa i buken för den aktuella resonansen. Frekvensen kommer då att sjunka. För att höja resonansfrekvensen får man styva upp locket i resonansens utbredningsriktning eller ta bort massa. Man bör dock tänka på att styvheten försämras ofta då massa tas bort i locket vilket leder till att resonansfrekvenserna sjunker.

1.3 Hur kan gitarrens resonanser tänkas påverka tonen?

En ton som ligger mycket nära en resonanstopp blir stark men kort. I värsta fall kan gitarrens resonans höras så tydligt att man uppfattar en svävning i tonen. Svävningens frekvens är då skillnaden mellan tonen och gitarrens frekvens.

I extremfallet elgitarr där vi har förhållandevis mycket svaga eller mer ”trög-exciterade” resonanser och vi får en lång men svag ton. Ett annat fall, dock inte lika extremt (men kan väga nästan som en elgitarr) är Bolins gitarrer som har en svag men lång ton. Motsatsen blir den tunt byggda flamencogitarren som har ”lätt-exciterade” resonanser och en stark men kort ton. Hur lättdriven den perfekta gitarren skall vara är svårt att säga eftersom idealen är olika. Flamencogitarristen vill ha den korta starka tonen som passar bra till deras musik och den klassiska gitarristen vill ha den långa, varma, välbalanserade tonen som finns i den klassiska gitarren.

Man får inte glömma att resonanserna som ställer till det för tonerna ändå är de som får gitarren att låta och dessutom ge gitarren dess underbara karaktäristiska ljud.

1.4 Vad är en bra respektive dålig gitarnton?

Att ställa sig frågan hur en bra gitarnton låter är relevant men inte särskilt lätt ge ett svar på som är sant. Vissa saker är dock ganska självklara. Jag tänker då på missljud som bandskorr eller att gitarren inte är väl intonerad. Dessa saker är dock trivialt att rätta till och ligger nästan på användarens eller gitarristens nivå att justera.

Hos gitarrister och särskilt mellan olika musikstilar är preferenserna för en bra gitarnton olika. Flamencogitarren passar bra för flamencomusik och Bolins gitarrer för Bach och Sor. Någonstans där emellan finns den spanska klassiska gitarren som jag intresserar mig för i detta arbete. För att återknyta till frågan vad en bra respektive sämre gitarnton är finns det alltså inte ett svar utan lika många svar som gitarrister. Visst kan lyssnare också ha en uppfattning men hör de verkligen någon skillnad?

2. Ett lyssningstest med tre gitarrer

Gitarrister märker stor skillnad mellan gitarrer av olika kvalitet. Gitarrister förefaller i allmänhet också tro att lyssnarna märker stor skillnad. Detta undersöktes med ett lyssningstest i lilla salen på Kungliga Musikhögskolan i Stockholm. Lyssnarna fick också i uppgift att bedöma vilka egenskaper som främst önskas av en god gitarr. Till lyssnargrupp användes tränade lyssnare såsom gitarrister och gitarrbyggare. Tre gitarrer jämförs i ett blint lyssningstest. Testet undersöker om en gitarr av bättre kvalitet uppfyller vissa egenskaper bättre än den billigare gitarren. Den bättre gitarren kostar ca. 10 gånger så mycket som den billigare. Vissa skillnader kunde påvisas mellan gitarrer av olika kvalitet. Skillnaderna finns i tonstyrkan, tonlängden, jämnheten, formbarheten, dynamiken och bärigheten. Inga skillnader kunde dock ses i tonkvalitén, klangen eller balansen. Den bättre gitarren fick ett bättre resultat än de andra två på alla egenskaper utom tonlängden. Lyssnarna var överens om att tonkvalitén var en viktig egenskap men var inte överens om vilken gitarr som uppfyllde egenskapen. Därför blir det svårt att relatera tonkvalitet till kvalitén eller priset på gitarren. En mer objektiv analys av tonerna ingår där man ser liknande resultat som i lyssningstest.

2.1 Bakgrund

Erik Jansson (docent i Musikakustik på KTH) har tidigare i en undersökning frågat gitarrister vilka egenskaper som främst önskas av en konsertgitarr. Resultatet blev att "hur stark gitarren/tonen är" var det som värdesattes mest. Näst viktigast torde tonlängd och klang vara. Vidare har Jansson genomfört lyssningstest mellan tre spanska och två svenska gitarrer. Här kunde lyssnarna klart höra skillnad mellan gitarrerna i såväl inspelad musik som live³.

2.2 Metod

Testet utfördes som ett blindtest i den meningen att de som lyssnade inte med andra medel än hörseln kunde avgöra vilken gitarr som spelades på. Testpersonerna visste heller inte innan testet vilka gitarrer som skulle jämföras. Gitarristen var dock medveten om vilken gitarr han spelade på vilket kanske inte är så bra men praktiskt svårt att undvika.

Tre gitarrer jämfördes. En billigare svensk fabrikstillverkad gitarr (Bjärton), en dyrare spansk fabrikstillverkad gitarr (Cuenca) och en gitarr handbyggd av Mattias Berggren på Carl Malmstens Gitarrbyggerlinje i Stockholm. Den sistnämnda gitarren är en kopia av en Ramirez från 1961.

Med inspiration från Erik Jansson och i samråd med Nicola Nerström (Gitarrbyggmästare på Carl Malmstens skola) bestämdes nio egenskaper som en bra gitarr bör ha. Jag bör nämna att ingen tror att listan är komplett men alla är överens om att den måste begränsas så att inte testet blir orimligt långt. Tonlängd, tonkvalitet och tonstyrka tycker jag är självklara egenskaper hos en bra gitarr. Om alla toner på gitarren vore långa, starka och med ett lämpligt deltonsinnerhåll skulle vi ha en bra grund att stå på. Nu är det så att det inte är tillräckligt för den kräsne gitarristen. Gitarrister talar gärna även om jämnhet, balans och klang som är den andra kategorin viktiga egenskaper. Alla dessa tre handlar om hur gitarrens alla toner fungerar tillsammans. Till jämnheten hör att ingen ton får sticka ut eller försvinna. Närliggande toner skall klinga lika. När det gäller balansen handlar det mer om att inte något register på gitarren skall dominera. Klangen

³ Erik Jansson, Akustik för fiol- och gitarrbyggare, Stockholm 1998

har att göra med att tonerna skall klinga snyggt tillsammans. En ton kan ha bra innerhåll men samtidigt låta mindre bra om man bygger ett ackord av toner med den kvalitén. Det vi nu har glömt är två saker. Musikern måste ha möjlighet att forma tonen, dels övertonsinnerhållet genom att spela nära stallet resp. nära tolfte bandet. Formbarheten av tonstyrkan kallar vi för gitarrens dynamik. Det sista är det svårdefinierade begreppet bärigheten. Hur bra bär gitarren ut i lokalen och ur bra tränger gitarrljudet genom annan musik eller buller.

Tonlängd	<i>Hur lång tonen uppfattas.</i>
Tonkvalitet	<i>Vilken gitarr som har bäst deltonsinnerhåll.</i>
Tonstyrka	<i>Hur stark tonen uppfattas.</i>
Jämnhet	<i>Hur lika är närliggande toners klang?</i>
Balans	<i>Hur bas och diskant-registret är balanserat.</i>
Klang	<i>Hur gitarren låter i ackord? Hur klingar gitarren?</i>
Formbarhet	<i>Skillnaden vid spel nära stallet resp. tolfte bandet.</i>
Dynamik	<i>Skillnaden mellan starkt och svag spel.</i>
Bärighet	<i>Hur gitarrens ton bär ut i lokalen. OBS, ej tonstyrka.</i>
Övergripande intryck	

Tabell 1: De egenskaper som jag tycker på ett bra sätt kan beskriva skillnader mellan den bra och den mindre bra gitarren.

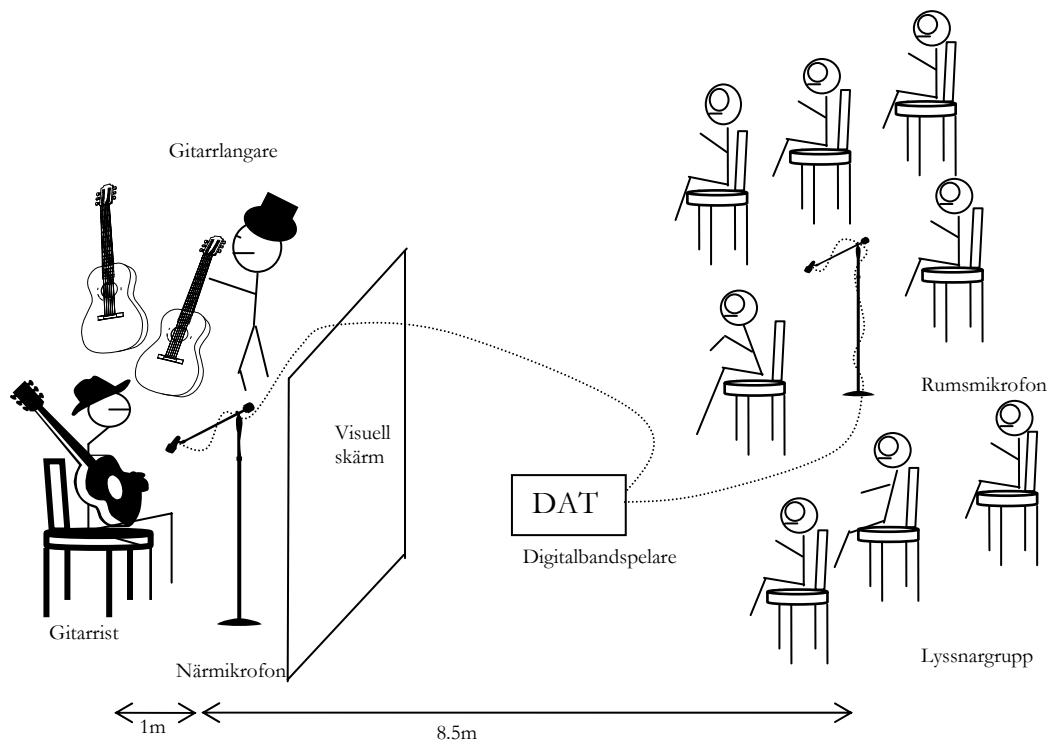
2.3 Utförande

Styckena som användes för att testa de olika egenskaperna valdes av gitarristen Mats Bergström (lektor på KMH) som också spelade vid lyssningstestet. Vid sidan om honom stod Nicola Nerström och hantlangade gitarrer vid alla 60 gitarrbyten. Jag bör nämna att gitarrerna spelades på i en förutbestämd "oordning" så att lyssnarna inte skulle "se" något mönster men att jag ändå i efterhand skulle veta vilken gitarr som spelades på.

Tonlängd	<i>Enstaka toner spelades.</i>
Tonkvalitet	<i>Början av Francisco Tárregas Lagrima</i>
Tonstyrka	<i>Början av Heitor Villa-Lobos Preludio No.1 plus rasgueando</i>
Jämnhet	<i>En skala.</i>
Balans	<i>Ackorden i början av Joaquín Rodrigo's Concierto de Anjuez</i>
Klang	<i>Början av Manuel Ponce's Prelude No.6</i>
Formbarhet	<i>Något improviserat, inerbåller delar ur Federoco Moreno-Torrobos Sonatin A-dur, 2a satsen</i>
Dynamik	<i>William Waltons Bagatelle No.5</i>
Bärighet	<i>Början av Agustín Barrios Mangores La Catedral plus början av Villa-Lobos Preludio No.1</i>
Övergripande intryck	<i>Del ur Mauro Giulianis Grande Overture Op. 61</i>

Tabell 2: Styckena som spelades för att testa de olika egenskaperna.

Uppställningen såg ut som Figur 4. Hela testet spelades in på en DAT (Digital Audio Tape), bandspelaren har modellbeteckningen Sony TCD-D10. Samplingsfrekvensen på DAT-bandspelaren är 48 kHz och den har en upplösning på 16 bitar. På vänster kanal spelades rumsljudet in med en mikrofon som var placerad vid åhörarplats, 9,5 meter från källan. Till höger kanal var istället en närmikrofon kopplad. Närmikrofonen var en meter från källan. Som mikrofoner användes billiga men bra elektretmikrofoner, AV-JEFE TCM110. Mikrofonerna är rundtagande och med en relativt rak frekvensgång. En visuell skärm (gardiner upphängda på en tvättställning) fanns mellan gitarrist och åhörare.



Figur 4: Uppställning av lyssningstest.

Ett viktigt rumsakustiskt begrepp är efterklangstiden T_{60} . Efterklangstiden är den tid det tar för energinivån att falla 60dB.⁴ Energinivån är proportionell mot ljudtrycksnivån och mikrofonen mäter ljudtrycket. För att mäta upp efterklangstiden kan man excitera en impuls och mäta hur lång tid det tar för energinivån att falla 60 dB. I stället för en impuls (som är svår att realisera) kan man bygga upp ett stationärt tillstånd av vitt brus. Mäter man efterklangstiden och känner till rumsvolymen V kan man beräkna efterklangsradien r som.

$$r = 0,056 \cdot \sqrt{V/T}$$

Inom efterklangsradien är direktljudet starkare än det diffusa ljudfältet. Observera dock att efterklangsen är frekvensberoende. Man kan om man vill använda bandpassfilterat brus för att bestämma detta beroende.

I fallet med lokalen vid lyssningstestet hade jag varken någon impuls eller vitt brus. Mäter jag däremot på en hanklappning får jag en efterklangstid på ca. 0,8s. Jag uppskattar lokalens volym till 1000 m³. Detta ger en efterklangsradien på ca. två meter. Detta betyder då att närmikrofonen vid inspelningen stod i direktfältet och rumsmikrofonen i det diffusa ljudfältet.

Efter lyssningstestet fördes informationen från DAT-bandet över till en PC analogt. Att detta steg inte gjordes digitalt beror delvis på att DAT-bandspelaren saknar digitalutgång och dels för att ljudkortet i datorn har en samplingsfrekvens på 44.1kHz vilket inte matchar DAT-bandspelarens samplingsfrekvens på 48kHz. Inspelningen i datorn fick en upplösning på 16 bitar.

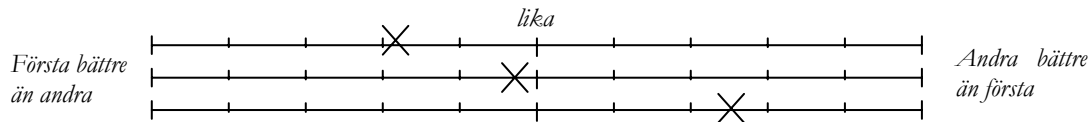
2.4 Teori

Gitarrerna jämfördes parvis, d.v.s. två gitarrer jämfördes åt gången och lyssnaren fick avgöra vilken gitarr som mest uppfyllde den efterfrågade egenskapen. Lyssnaren hade även möjlighet att yttra sig om hur mycket som skilde mellan gitarrerna genom att kryssa längre ut åt flankerna.

En fråga såg ut som Figur 5.

⁴ Johan Liljencrantz, Elektroakustik, Stockholm 1985

Vilken gitarr har bäst tonkvalitet?



Figur 5: Ett exempel på en fråga med ett svar i formuläret.

De tre linjerna motsvarar de tre gångerna gitarrerna ställdes mot varandra. Till exempel jämfördes först gitarr A mot B sedan B mot C och slutligen C mot A. Skulle kryssen vara satta som i Figur 5 betyder det att lyssnaren föredrar A framför B, hon tycker B är något bättre än C men att A är mycket bättre än C.

Åtta lyssnare deltog i testet. Frågan är nu om man kan påvisa på t.ex. ett 95% konfidensintervall att det fanns en uppfattbar skillnad mellan två gitarrer. Med ett 95% konfidensintervall menas att man med en sannolikhet av $p=0.95$ eller 95% kan säga att resultatet är sant, t.ex. att en gitarr hade toner som uppfattades som längre än en annan gitarr. Men hur gör man det? Har man läst någon grundkurs i matematisk statistik klarar man sig. Har man inte gjort det kan man hoppa till nästa stycke och inte för det gå miste om resultatet.

Vi låter ett svar från en fråga vara ett slumpmässigt stickprov från $N(m, \sigma)$. Dvs.

$X_i \in N(m, \sigma)$. X_1, \dots, X_n är oberoende och normalfördelade SV och med aritmetiska medelvärdet

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i / n \text{ då gäller att}$$

$$\bar{X} \in N(m, D) \text{ där } D = \sigma / \sqrt{n}.$$

Eftersom σ är okänd skattar vi σ med

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2} \text{ och får att } \bar{X} \in N(m, d) \text{ där } d = s / \sqrt{n}. \text{ Vi får då till sist att ett}$$

intervall $m \pm d \cdot t_{\alpha/2}(f)$, där $f = n - 1$. t-fördelningen går att slå upp i tabell.⁵

Ifall konfidensintervallet inkluderar nollan kan vi visa med en säkerhet på åtminstone $1-\alpha$ att det finns en hörbar skillnad mellan gitarrerna.

⁵ Gunnar Blom, Sannolikhetsteori och statistikteori med tillämpningar, Lund 1989

2.5 Resultat

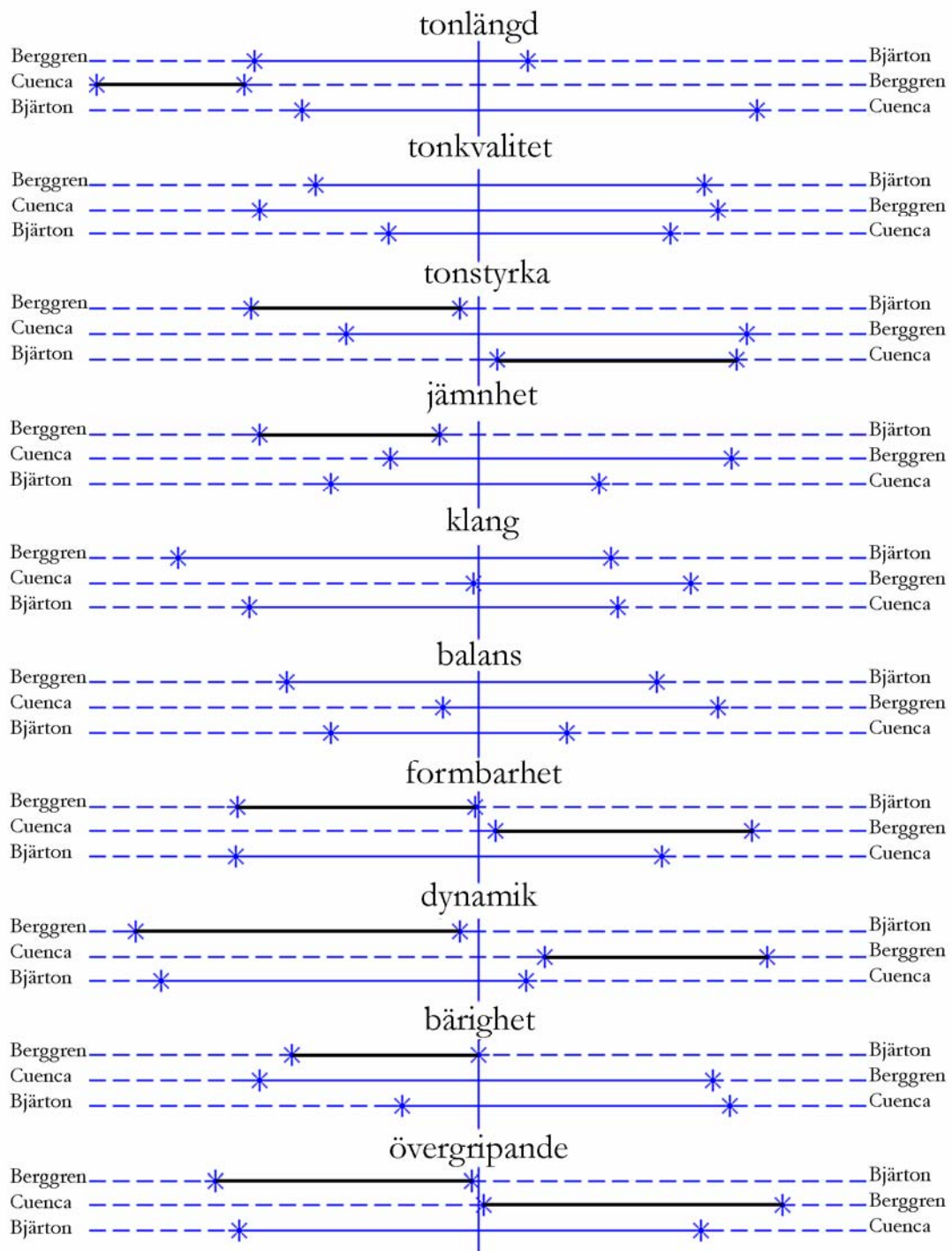
Med test på ett 95% konfidensintervall får vi resultaten i Tabell 3. I Kolumn tre står det Gitarr1-Gitarr2. Detta betyder att medelvärdet och de två sista kolumnerna gäller för Gitarr1 *minus* Gitarr2.

K	Egenskap	Gitarrer	\bar{x}_k	$d_k \cdot t_{\alpha/2}(f)$	$ \bar{x}_k - d_k \cdot t_{\alpha/2}(f)$
1	Tonlängd	Bjärton – Berggren	-6.6250	10.4113	-3.7863
2		Berggren – Cuenca	-23.3750	5.5872	17.7878
3		Cuenca – Bjärton	3.8750	17.3277	-13.4527
4	Tonkvalitet	Bjärton – Berggren	2.3750	14.7243	-12.3493
5		Berggren – Cuenca	0.7500	17.4325	-16.6825
6		Cuenca – Bjärton	3.8750	10.7080	-6.8330
7	Tonstyrka	Bjärton – Berggren	-9.3750	7.9400	1.4350
8		Berggren – Cuenca	5.1250	15.1930	-10.0680
9		Cuenca – Bjärton	10.5000	9.0966	1.4034
10	Jämnhet	Bjärton – Berggren	-9.7500	6.8188	2.9312
11		Berggren – Cuenca	6.2500	12.9704	-6.7204
12		Cuenca – Bjärton	-1.0000	10.1703	-9.1703
13	Klang	Bjärton – Berggren	-6.3750	16.4835	-10.1085
14		Berggren – Cuenca	7.8750	8.2412	-0.3662
15		Cuenca – Bjärton	-3.3750	13.9971	-10.6221
16	Balans	Bjärton – Berggren	-0.5000	14.0825	-13.5825
17		Berggren – Cuenca	7.7500	10.4762	-2.7262
18		Cuenca – Bjärton	-2.2500	8.9838	-6.7338
19	Formbarhet	Bjärton – Berggren	-9.2500	9.0280	0.2220
20		Berggren – Cuenca	11.0000	9.7611	1.2389
21		Cuenca – Bjärton	-2.2500	16.1655	-13.9155
22	Dynamik	Bjärton – Berggren	-13.7500	12.3256	1.4244
23		Berggren – Cuenca	13.5000	8.4505	5.0495
24		Cuenca – Bjärton	-10.2500	13.7953	-3.5453
25	Bärighet	Bjärton – Berggren	-7.1250	7.1142	0.0108
26		Berggren – Cuenca	0.6250	17.2038	-16.5788
27		Cuenca – Bjärton	6.6250	12.4156	-5.7906
28	Övergripande	Bjärton – Berggren	-10.2500	9.7891	0.4609
29		Berggren – Cuenca	11.7500	11.3861	0.3639
30		Cuenca – Bjärton	-0.6250	17.4962	-16.8712

Tabell 3: Resultatet av test på tre gitarrer. Positiva värden i sista kolumnen betyder att det går att påvisa en skillnad på ett 95% konfidensintervall.

För ett mer övergripbart resultat se Figur 6. Resultatet presenteras här som heldragna linjer inom vilka resultatet är sant med en sannolikhet av 95%. Något medelvärde är inte uttritat men ligger i mitten i de heldragna linjerna. Linjen lodrät i mitten representerar att gitarrerna är lika bra. Ett streck åt ena hållet som inte passerar det lodräta strecket betyder alltså att gitarren på den sida

strecket är uppfattades som bättre med en sannolikhet av 95%. De strecken är fetare i figuren. Observera att strecken inte betyder att ingen kryssade utanför dem. De betyder bara att 95% av kryssen hamnar innanför stjärnorna (på strecket) vid många kryss.



Figur 6: Resultat från lyssningstestet. Den heldragna linjen inom kryssen visar konfidensintervallet 95%.

Ja, det går att se vissa skillnader mellan kvalitetsgitarren och de billigare. Anmärkningsvärt är dock att gitarren av bättre kvalitet (Berggren) har en tonlängd som uppfattas som kortare än den spanska fabriksstillverkade gitarren (Cuenca). Dock kan det inte visas någon annan egenskap som Berggren-gitarren är sämre på.

När det gäller tonkvalitet, klang och balans kunde inte visas några skillnader. Skillnader finns istället i tonlängd där Berggren-gitarren var klart sämst. Vad gäller tonstyrka kan sägas att Cuencan och Berggren hade toner som uppfattades som starkare än den svenska Bjärton-gitarren. Den gitarr som var jämnast var Berggren. Skillnaden visades dock inte när Berggrens handbyggda gitarr jämfördes med den fabriksstillverkade spanska gitarren Cuenca. I kategorin formbarhet och dynamik har vi samma ensamma segrare, Berggren. Ingen skillnad kunde visas mellan de andra gitarrerna. Bärigheten uppfattades också som bättre hos den handbyggda gitarren, Berggren. Detta uppdagades dock bara när den jämfördes med Bjärton-gitarren.

Sist betygsattes gitarrens övergripande intryck. Här var Berggren bättre än både Bjärton och Cuencan. Ingen skillnad kunde dock visas mellan de fabriksstillverkade gitarrerna.

Lyssnarna fick också i uppgift att tycka om vikten av egenskaperna, dvs. hur viktig de tyckte varje egenskap var. Detta gjordes enkelt med genom att lyssnarna betygsatte egenskapernas vikt från ett till fem. Där fem betydde viktigast. Resultatet kan du se i Tabell 4.

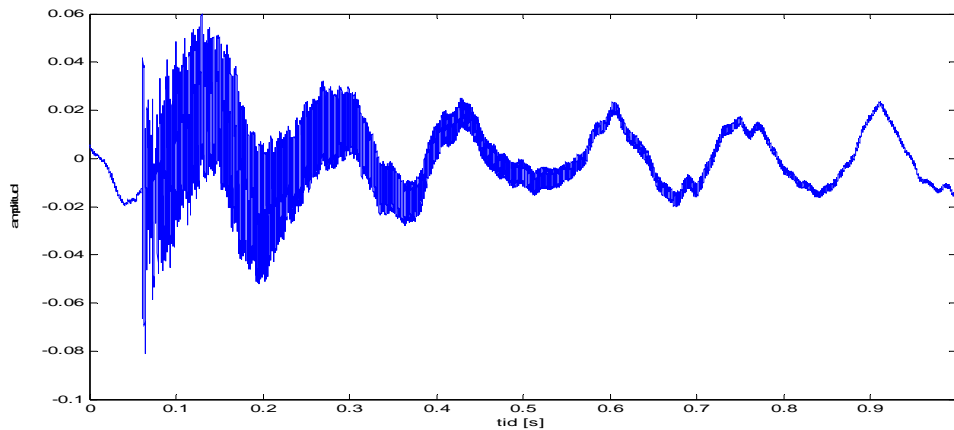
Lyssnare	Tonlängd	Tonkvalitet	Tonstyrka	Jämnhet	Klang	Balans	Formbarhet	Dynamik	Bärighet
1	3	5	3	3	5	3	5	4	5
2	2	4	4	4	5	3	3	4	5
3	3	4	3	5	5	4	4	4	3
4	4	4	2	5	4	5	4	5	4
5	3	5	2	4	5	4	3	3	2
6	4	5	4	5	5	5	4	4	5
7	2	5	2	3	5	3	3	4	3
Summa	21 (8)	32 (2)	20 (9)	29 (3)	34 (1)	27 (6)	26 (7)	28 (4)	27 (5)

Tabell 4: Tabell över hur lyssnarna viktade egenskaperna. På raden "Summa" visas totalpoäng (placering)

Lyssnarna tyckte att klangen och tonkvaliteten var viktigast medan tonstyrkan och tonlängden var minst viktig. Det anmärkningsvärda här är att lyssnarna hade lättare att avgöra skillnader på de egenskaper de värdesatte minst. Vad det gäller klangen och tonkvaliteten har jag inte i detta test kunnat visa att lyssnarna hör någon skillnad. En förklaring skulle kunna vara att de flesta lyssnarna värdesätter klangen och tonkvaliteten högt men har vitt skilda preferenser.

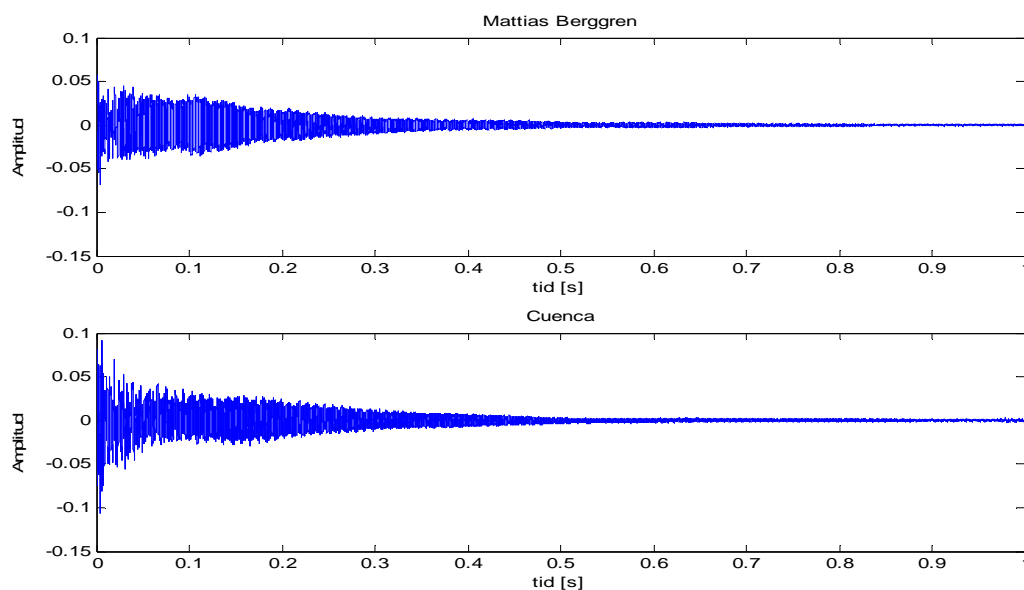
2.6 Objektiva mätningar på gitarrtoner.

Om vi tar allting i tur och ordning ger jag mig först i kast att mäta tonlängden. Efter att ha lyssnat själv verkar störst skillnad finnas i höga registret. Gärna ovanför 12:e bandet på första strängen. Figur 7 visar tonen uppritad i tidsled. Man får stora problem då man försöker mäta amplituden på tonen pga. en låg störfrekvens på $1/0.2=5\text{Hz}$.



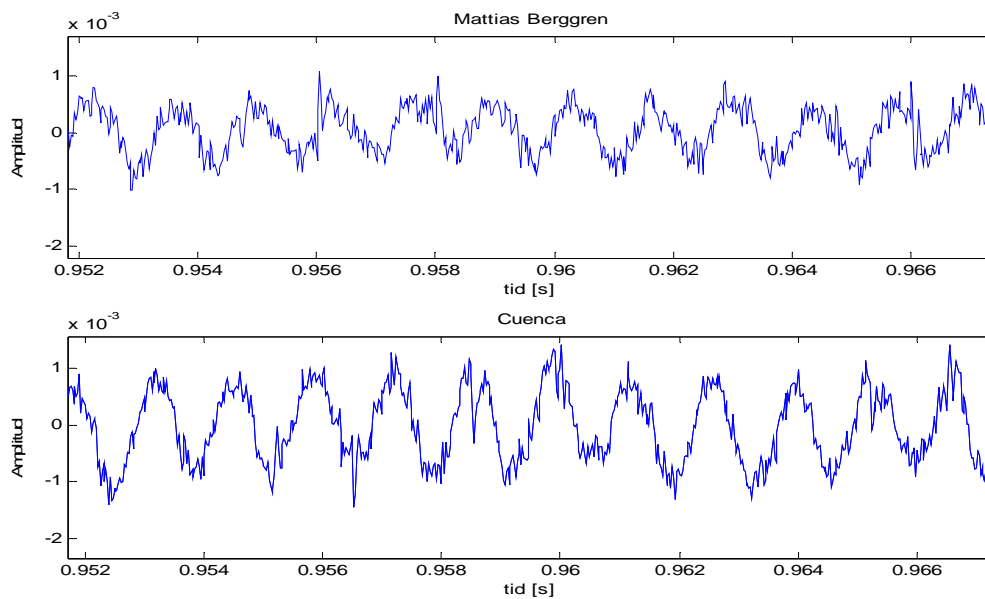
Figur 7: Ton med störfrekvens. Svår att mäta amplituden på.

Störfrekvensen kan enkelt filtreras bort med ett högpasfilter i MATLAB. Jag filtrerar bort allting under 100Hz helt enkelt genom att först fouriertransformera signalen och sedan plocka bort frekvenser under 100Hz. Efter inverstransformering fås resultatet som syns i Figur 8. Varför jag väljer 100 Hz är för att det inte finns någon intressant information under den frekvensen. Gitarrens lägsta resonans A0 ligger strax ovanför 100Hz.



Figur 8: Ton som är högpasfiltrerad vid 100Hz. Även här kan vara svårt att se vilken ton som är längst.

Det man kan se i Figur 8 är att Cuencan är starkare just i början av tonen. Tittar man noggrannare ser man att efter en tiondels sekund har Cuencans ton minskat till ca hälften eller en tredjedel av amplituden. Mattias Berggrens gitarr ligger fram till dess relativt konstant och är starkare än Cuencan där. Men nu var det ju tonlängden vi var ute efter. Då kan vi zooma in tonen runt en sekund och se att Cuencan är starkare. Se Figur 9. Att se när tonen helt försvinner är ganska svårt men det skiljer uppskattningsvis inte mer är ca 0.1 - 0.2s i tonlängd mellan gitarrerna.



Figur 9: Närbild av tonerna vid slutet av avklingningstiden. Man ser att Cuenca (som uppfattades ha längre toner) har starkare ton här.

För att testa tonkvaliteten i gitarrerna vid lyssningstestet spelades Lagrima av F. Tárrega. Valet av stycke kanske inte var det bästa. För att man skall kunna lyssna (eller mäta) övertonsinnehållet tror jag det krävs att man lyssnar på enstaka toner. Jag kan heller inte i efterhand se några generella skillnader i övertonsinnehåll mellan de olika gitarrerna.

Vidare var det tonstyrkan vi intresserade oss för. Om man ritar upp amplituden på ett ackord som spelades väldigt starkt (rasgueando) kan i alla fall inte jag se några påtagliga skillnader. Frågan är nog egentligen vad man menar med tonstyrka. Skall det vara en stark högsta nivå eller skall man ta ett medelvärde av tonen/ackordet/stycket för att se vilket som har störst totala energi.

Först försöker jag med att titta på maxnivån av samma stycke spelat två gånger på samma gitarr. Det starkaste partiet är då det avgörande.

	Maxamplitud Rumsmikrofon	Maxamplitud Närmikrofon		Maxamplitud Rumsmikrofon	Maxamplitud Närmikrofon
Bjärton(1)	0.5594	0.4795	Bjärton(1)	0.7744	0.7806
Bjärton(2)	0.5733	0.4187	Bjärton(2)	0.7263	0.8875
Cuenca(1)	0.5227	0.5123	Cuenca(1)	0.9598	0.6493
Cuenca(2)	0.5566	0.5627	Cuenca(2)	0.7390	0.6718
Berggren(1)	0.6928	0.4291	Berggren(1)	0.8527	0.6767
Berggren(2)	0.5878	0.4455	Berggren(2)	0.9650	0.7282

Tabell 5: Maximal amplitud av inspelning vid lyssningstest. Stycke (Villa Lobos, Prelude nr. 1)

Tabell 6: Maximal amplitud av inspelning vid lyssningstest. (Rasgueando)

Om vi först tittar i Tabell 5 ser vi en trend att Cuenca verkar vara starkast vid närmikrofonen samtidigt som Mattias Berggrens gitarr får högst amplitud vid rumsmikrofonen. När gitarristen istället spelar ett Rasgueando har Cuenca och Mattias Berggrens gitarr störst amplitud i rummet

medan vår svenska Bjärton har störst amplitud vid närmikrofonen. Vad det betyder är svårt att säga. Antagligen beror det mycket på det vi kallar slumpen och har således ingen högre mening.

En annan modell vore att beräkna energin ur ett kort men starkt stycke som mellan tiden t_1 & t_2 som har energin⁶.

$$E_{n_2-n_1} = \sum_{n=n_1}^{n_2} |x[n]|^2$$

Resultatet ser i Tabell 7. Observera att energierna i tabellen inte är något absolut mått. Energierna skall bara jämföras gitarrerna emellan.

	Energi i rum	Energi nära
Bjärton(1)	2823.4	1835.1
Bjärton(2)	2634.1	1747.9
Cuenca(1)	3480.2	2548.7
Cuenca(2)	3201.0	2396.7
Berggren(1)	4943.7	3046.0
Berggren(2)	4262.3	3150.9

Tabell 7: Skillnad i energi för de tre gitarrerna. Observera att nivåerna är energier relativt de andra gitarrerna. Sambandet mellan energin i närfältet och energin i rummet är okänt.

Resultatet verkar här faktiskt ganska rimligt. I lyssningstestet tycktes Mattias Berggrens gitarr tillsammans med Cuencan vara mest tonstark. Samma svar får jag här. Om man kan relatera total energi till upplevd tonstyrka skulle jag här också kunna säga att Cuencan är näst tonstarkast och Bjärtonen tonsvagast.

Som svar på frågan vad man menar med en stark ton tror jag man kommer närmare sanningen om man mäter totala energin än maxnivån.

När det gäller att yttra sig objektivt i frågan om jämnhet blir det svårt med det material jag har. Jag kunde inte säga något om tonkvalitén och jämnheten är delvis skillnad i tonkvalitet för närliggande toner. Jag kunde heller inte mäta några skillnader i klang, balans eller bärighet.

2.7 Diskussion

Skeptikern skulle kunna säga att vi inte konstaterade något nytt vid lyssningstestet dvs. att vi som utförde testet redan innan kunde förutspå vad resultatet skulle bli. Denna kritik är inte helt obefogad eftersom vi redan innan faktiskt "visste" att Berggren lät bäst följt av Cuencan och sist Bjärton. Fördelen med testet är dock att det var "många" oberoende lyssnare som med sitt tycke och smak gjorde sin individuella bedömning. På det sättet får vi ett mer pålitligt resultat än om vi har en ensam bedömare. Att skillnaden mellan gitarrerna var så små kunde vi dock inte förutspå.

Jag bör också påpeka att lyssningstestet även var ett test av metoden där erfarenheten kan göra nästa lyssningstest bättre. Det är möjligt att man med ett nytt lyssningstest skulle kunna se större skillnader.

2.7.1 Hur säkert är resultatet?

Om man tittar på utformningen av lyssningstestet är det svårt att sätta någon siffra på hur säkert resultatet är. Det man kan säga är vilka som är de svaga länkarna i utförandet. Det första och kanske viktigaste är gitarristen. Han kände nämligen till viken gitarr han spelade på och kan ha påverkats av det och spelat på något olika sätt på de olika gitarrerna. Som jag ser det skulle den enda lösningen vara om en maskin spelade på gitarrerna. Jag känner dock inte till någon sådan

⁶ Signals & Systems second Edition, Oppenheim & Willsky, New Jersey 1997

maskin. En annan faktor som kan spela in är att lyssnarna kände sig osäkra på hur man skulle kryssa i formuläret. Detta skulle kunna leda till rena felkryssningar. Detta leder antagligen bara till att variansen blir större. Vilket i sin tur leder till att lyssnarna i själva verket hörde fler skillnader än jag kan visa.

En annan fråga man bör ställa sig är ifall lyssnarna hörde skillnad i den efterfrågade egenskapen eller om de bara vid det teststycket hörde skillnad på gitarrerna. Jag ser två lösningar på problemet. Antingen spelar man samma teststycke för alla egenskaperna men ställer olika frågor eller så spelar man olika teststycken och ställer samma fråga t.ex. ”Hur bra låter gitarren?”.

2.7.2 *Preferenser*

Först tittar jag på vilka egenskaper som lyssnarna bedömde som viktigast. Vid mitt test så var klangen, tonkvalitén och jämnheten de egenskaper som angavs som viktigast. Vid Erik Janssons test så angavs istället tonstyrka/bärighet, klang och tonlängd. Den enda gemensamma nämnaren verkar vara att klangen anses som viktig. Det intressanta här tycker jag är att mina lyssnare rankade tonlängd och tonstyrka som minst viktiga. För tonlängd och tonstyrka går det att påvisa en skillnad mellan gitarrerna men när det gäller klang och tonkvalitet kan jag inte säga någonting.

Varför tycker då folk att klang och tonkvalitet är viktigt när de inte är överens om vad bra klang och tonkvalitet är? Svaret på den frågan kan jag inte ge här utan jag nöjer mig med förklaringen att klang och tonkvalitet kan vara viktigt men att olika musiker har olika preferenser. Helt uppenbart är i alla fall att vi får mer problem när parametrarna blir mer subjektiva.

3. Knackresonanser på tre gitarrer

I denna del av rapporten koncentrerar jag mig på att mäta gitarrens inbyggda resonanser. Tre resonanser i locket och två luftresonanser hos de olika gitarrerna jämförs. Resonanserna i locket uppträder som i en kvadratisk platta. Första resonansen T1 svänger hela fria locket upp och ner. För andra lockresonansen, T2, delar sig svängningarna med en nod i linje med halsen. Denna resonans är i symmetriskt uppbyggda gitarrer mycket symmetrisk och strålar därför som en dipol. För tredje lockresonansen delar svängningen upp sig på andra ledden och har en nodlinje längs med stallet i höjd med stallet, den resonansen kallar i T3. De två luftresonanserna som mäts upp är Helmholtz-resonansen (flaskresonansen) A0 och den stående våg som uppträder mellan hals- och bottenklossen, A1. Berggren-gitarren har en bred T2:a medan den på Cuencan ligger högt i frekvens. Bjärton-gitarren har en stark T3:a viket enligt tidigare forsknings skall tyda på ett bra instrument.

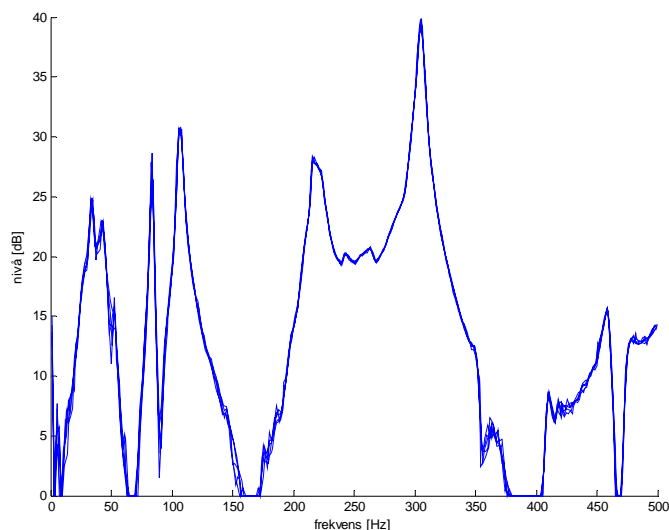
3.1 Bakgrund

Gitarrens inbyggda resonanser spelar stor roll för gitarrens klang och tonkvalitet. Meyer⁷ (som är en känd musikakustiker) har genomfört lyssningstest och mätningar motsvarande resonanserna T1, T2 och T3 hos 15 gitarrer. Resultatet visade att T3 var viktigast och skulle ha en hög nivå och smal bandbredd, T1 skulle ha hög nivå och A0 både hög nivå och stor bandbredd.

3.2 Metod

Gitarrernas resonanser existeras genom en knackning på stallbenet. Varför jag knackar på stallbenet är för att det är mest där som strängen kopplar till gitarrkroppen och ger gitarren dess karaktäristiska ljud. Halsen kopplar dock också till gitarrkroppen vilket inte är oviktigt men jag begränsar mig här till att göra mätningar på kroppen oberoende av halsen. Lockets svängningar detekteras med en magnet fastsatt på gitarrlocket med lite vax. Framför magneten på ett avstånd av 1 cm sätts en spole. När magneten rör sig med locket genereras en spänning i spolen som är kopplad till mikrofoningången på en vanlig PC med lämplig programvara. Luftresonanserna spelas in med en vanlig kondensatormikrofon. För att det skall vara meningsfullt att mäta nivån på resonanstopporna används en särskild anordning som utför knackningarna med god reproducerbarhet.

⁷ Jurgen Meyer, Quality Aspects of the Guitar Tone, Stockholm 1983



Figur 10: Fem knackningar uppritade i samma graf visar på god reproducerbarhet.

Ett mål med mätningarna är att göra så få och så enkla knackningar som möjligt. Detta för att gitarrbyggarelever skall kunna använda utrustningen för att mäta med dessa metoder vid ett senare tillfälle. Erfarenheten har visat att det är enklast att börja med att identifiera frekvenserna för de aktuella resonanserna. För att identifiera resonanserna i locket sattes först magneten i nodlinjen för T2 och sedan i en buk för T2. I Figur 10 syns ett exempel på när magneten sitter i en buk. Här syns T2 som den starkaste toppen med en nivå på närmare 40dB. Hittar man nodlinjen för toppen syns inte T2 över huvud taget. I Figur 10 syns även A0 tydligt som en topp runt 100Hz och T1 som är toppen runt 200 Hz. T1 och A0 borde vara ungefär lika starka i båda mätningarna man hittills utfört. Mer problem får man när man skall mäta resonanserna T3 och A1. Eftersom T3 har en nodlinje i höjd med stallet går det inte att knacka vinkelrätt mot locket. Knackar man däremot snett underifrån så att en kraftkomponent kommer i längdriktningen med locket kommer T3 att exciteras. Här kommer stallbenets höjd att spela en ganska stor roll eftersom stallbenet kommer att fungera som en hävarm. T3 kan vara ganska svår att identifiera. En metod jag har använt mig av är att fästa en mutter på locket i en buk till resonansen för att sedan se vilken resonansfrekvens som sjunker mest jämfört med mätning utan mutter. Med denna metod kan man enklare identifiera T3. För att identifiera A1 gjordes först en inspelning av impulsvaret med mikrofonen mot bottenklossen på gitarren. Knackningar som vid mätningar av T3 ger bäst resultat. Ljudet jämförs sedan med impulsvaret upptaget någon cm nedanför ljudhålet där A1 har sin buk.

När alla resonansfrekvenser var identifierade gjordes tre olika knackningar på gitarrerna. Första knackningen gjordes mellan första och andra strängen och ljudet togs upp i en buk för T2. Denna ljudupptagning användes för mätningar på T2. För andra knackningen vinklades knackanordningen för att knacka fram T3. Inspelningen användes också för mätningar på T1. Tredje knackningen var likadan som den andra med skillnaden att ljudet togs upp i gitarren, nära bottenklossen, med mikrofon användes för att mäta A0 och A1. Varje knackning repeterades fem gånger för att få en uppfattning om noggrannheten. Totalt gjordes alltså 45 knackningar som spelades in och analyserades.

3.3 Resultat

Nedan presenteras resultaten av uppmätt resonansfrekvens, bandbredd och nivå för de tre gitarrerna. Värdena är medelvärden av fem knackningar.

Resonansfrek. [Hz]	A0	T1	T2	A1	T3
Berggren	102	214	262	302	361
Bjärton	105	224	258	304	371
Cuenca	107	216	305	292	352

Tabell 8: Uppmätt resonansfrekvens för gitarrens fem lägsta resonanser.

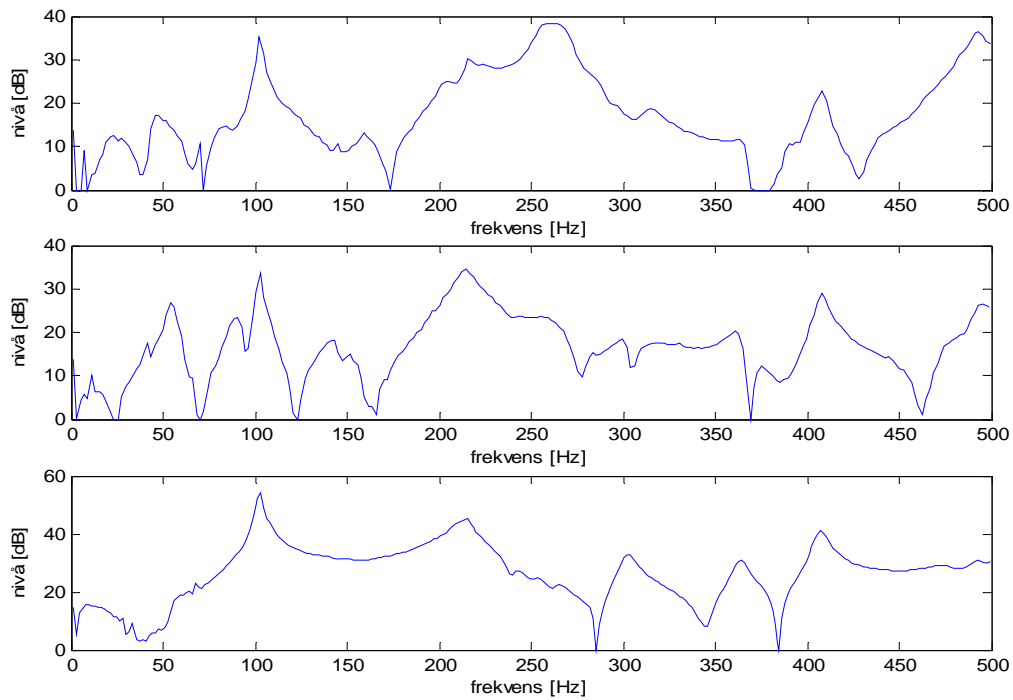
Bandbredd [Hz]	A0	T1	T2	A1	T3
Berggren	3	12	19	8	14
Bjärton	4	14	4	5	6
Cuenca	5	13	5	6	10

Tabell 9: Uppmätt bandbredd för gitarrens fem lägsta resonanser.

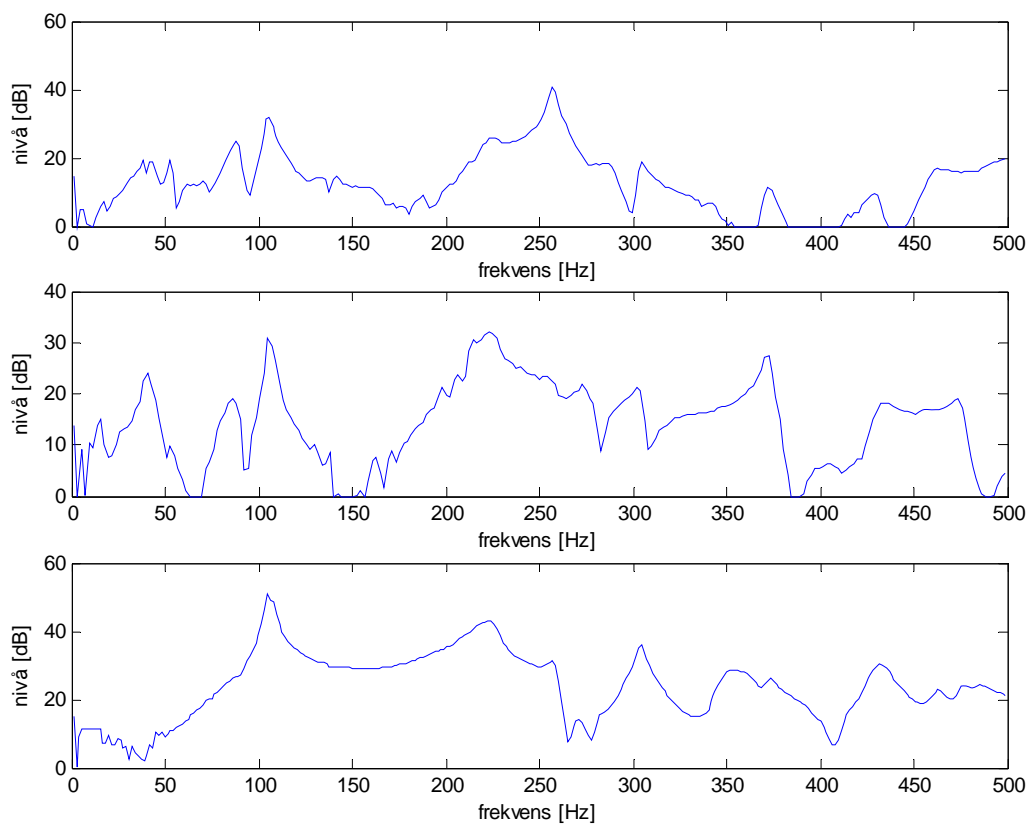
nivå [dB]	A0	T1	T2	A1	T3
Berggren	54	34	38	33	20
Bjärton	51	32	41	36	28
Cuenca	53	32	40	38	20

Tabell 10: Uppmätt nivå för gitarrens fem lägsta resonanser.

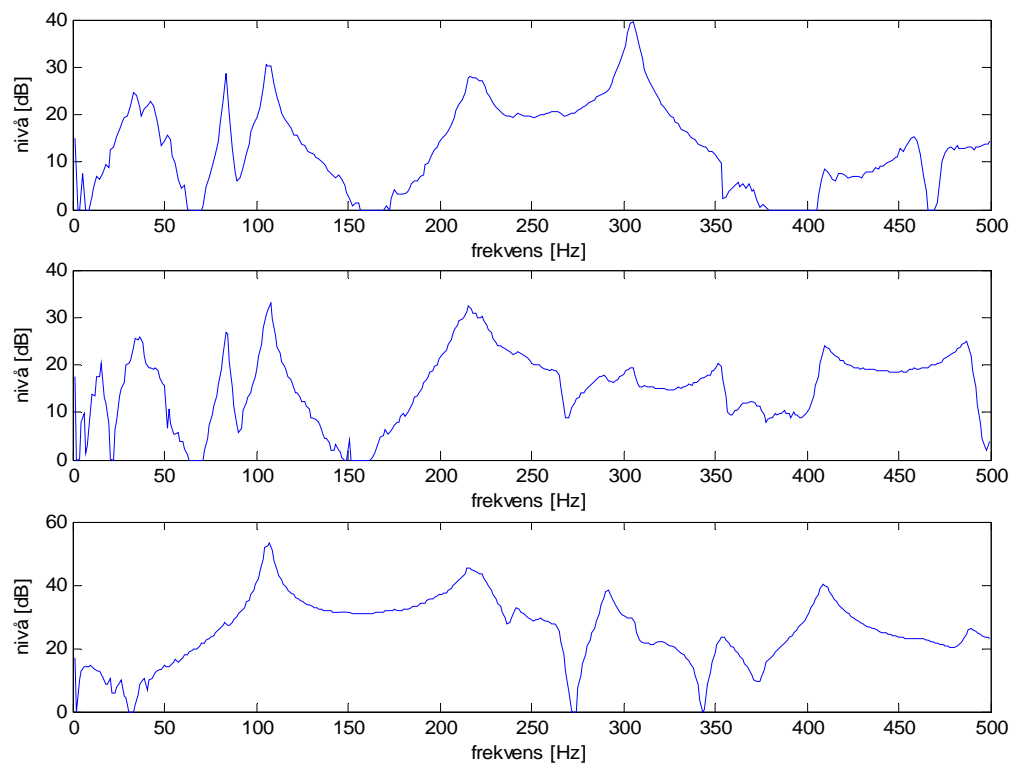
Gitarrens resonanser beskrivs långt ifrån komplett med dessa värden. Därför visar jag även impulssvaren för de tre mätningarna på alla tre gitarrer. Figur 11 visar impulssvaren på Berggren-gitarren, Figur 12 Bjärton-gitarren och Figur 13 visar Cuencans impulssvar.



Figur 11: Första till tredje inspelningen på Berggren. Man ser tydligt att T2 är bred i översta figuren.



Figur 12: Inspe­lingar på Bjärton-gitarren. Man ser en betydligt smalare T2 och T3 än hos de andra gitarrerna.



Figur 13: Hos Cuencan ser man en mycket stark T2 som dessutom ligger mycket högt i frekvens.

3.4 Diskussion

För gitarrernas två lägsta resonans A0 och T1 skiljer det inte särskilt mycket i varken nivå, bandbredd eller resonansfrekvens. Berggrena gitarrerna som fick bäst resultat vid lyssningstestet ligger dock lägst i frekvens för dess resonanser. Berggren har här också högst nivå men smalast bandbredd. Berggrena gitarrerna uppfattas också som betydligt basigare än de andra två gitarrerna.

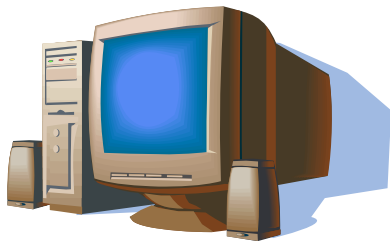
För resonansen T2 är det två saker som sticker ut. Berggren-gitarren har en betydligt bredare bandbredd än de andra två. Förklaringen till det är antagligen att Berggren är den enda gitarrerna som inte har symmetriskt uppbyggda tonribbor. Nivåerna för T2 skiljer sig inte mycket men jag påstår att Berggren borde stråla bättre här eftersom den inte uppträder som en dipol på samma sätt som en symmetriskt uppbyggd gitarr gör. Detta skulle kunna vara någonting som bidrar till bättre bärighet. Den andra stora avvikelserna för T2 är att Cuencan ligger betydligt högre i frekvens. Att den gör det förklarar jag med att den har en ovanligt kraftig tvärsgående tonribba som styr upp locket på tvären. Man har antagligen gjort så på Cuencan för att ge alla gitarrer av samma modell liknande egenskaper. Olika träbitar skiljer sig nämligen väldigt mycket på styvheten vinkelrät mot fibrerna.

För A1 finns det inte några stora skillnader vilket inte är särskilt förvånande eftersom A1 bara är en stående våg i lådan. Dess egenskaper är säkert inte heller särskilt enkla att påverka. Det som borde spela roll för den resonansen är längden på lådan, hur stum gitarrerna är vid halsen och vid bottenklossen och i viss mån även formen.

För den viktiga resonansen T3 får jag däremot ett underligt resultat som inte stämmer överens med Meyers. Han säger nämligen att T3 skall ha hög nivå och smal bandbredd. Alltså skulle Bjärton-gitarren vara bäst här följt av Cuencan och sist Berggren. Antingen är inte T3 så viktig som det påstås eller så är det viktigt att den är "lagom" stark med "lagom" bandbredd. En tredje möjlighet skulle kunna vara att jag har mätt fel men den möjligheten är jag ingen förespråkare för.

Bilaga A, Lathund

Att spela in och analysera ljud i PC-miljö.



Förord

Denna text är skriven för elever på Gitarrbyggerlinjen, Carl Malmstens Skola. Texten är skriven som en del i examensarbete vid TMH, KTH i samarbete med Gitarrbyggerlinjen.

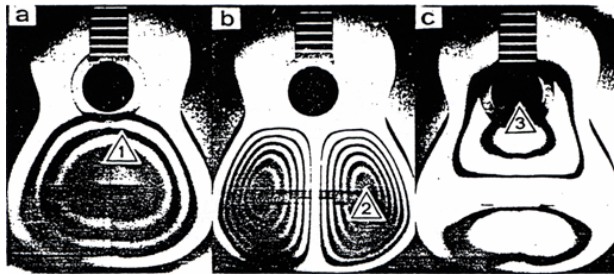
Texten är skriven i form av en lathund. Med det menas att jag beskriver hur man gör utan att gå in på djupet varför. Det är också tanken att användare med dålig datorvana skall kunna använda datorn för att utföra enklare tekniska mätningar.

Vad man kan mäta

Att gitarren låter som den gör beror på en mängd olika faktorer. Viktigaste delen tros vara locket. Lockets svängningar styrs dock till stor del av innerslutande luftvolymen, ljudhålet, halsen och stallet. Jag tänker här beskriva tre olika saker man kan mäta, Lockresonanser, luftresonanser och toner. Lockresonanserna och luftresonanserna knackas fram med knackanordningen som finns tillgänglig vid mätdata. Tonerna spelas lämpligen av en duktig gitarrist eller med någon smart anordning.

Lockresonanser

Lockets rörelser påminner starkt om resonanserna i en kvadratisk platta. Vi koncentrerar oss på de tre första lockresonanserna. Resonansen där hela locket svänger upp och ner kallar vi för T1. Resonansen på tvären med nodlinje i samma riktning som halsen för T2 och resonansen vinkelrät mot den för T3.



Figur 14: Holografibild på tre första resonanserna i ett symmetriskt gitarlock.

Dessa vibrationer i locket mäter vi med en magnet fastsatt på locket med lite vax. Framför magneten sätter vi en spole. När sedan magneten rör sig med locket genereras en spänning i spolen som är kopplad till ljudkortet på datorn.

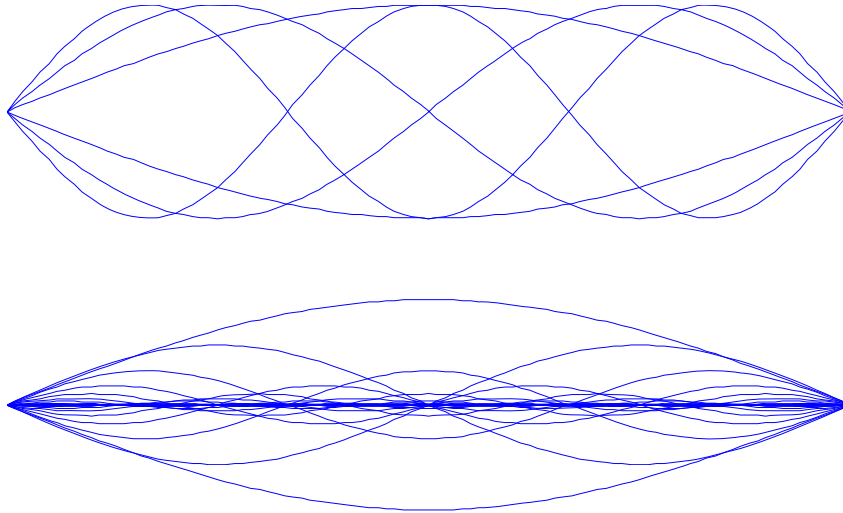
Luftresonanser

Luftresonanserna som uppstår i gitarren påverkar locket rörelser men de strålar också ljud i sig självt. För lägsta luftresonansen A0 fungerar luften i gitarrlådan som en akustisk fjäder och luften i ljudhålet som en akustisk massa. Alla vet ju att en massa upphängd i en fjäder gungar med en viss frekvens (antal gungningar per sekund). På samma sätt är det med gitarren. Högtalarlångsträcker tänker på detta när de bygger basreflexhögtalare. Högtalarlådan är fylld med luft och massan finns i basreflexporten. Denna resonans som är gitarrens lägsta är mycket viktig och ligger runt 100Hz dvs. något under lös A-sträng. Om man täpper för ljudhålet med t.ex. en CD-skiva märker man att basen eller botten i gitarrljudet helt försvinner. Den andra luftresonansen som vi kallar A1 är en stående våg mellan gitarrens över och underkant. En stående våg uppkommer om avståndet mellan väggarna är en multipel av halva våglängden. En gitarrens låda är ca. 0.5 meter lång och ljudets hastighet ca. 345 m/s. En våg vars halva längd är 0.5 meter bör ha en hel längd på 1 meter. Detta ger att A1 bör ligga på ca. $345/1=345\text{Hz}$. A1 strålar inte ut så mycket ljud men den påverkar locket resonans T3.

Toner

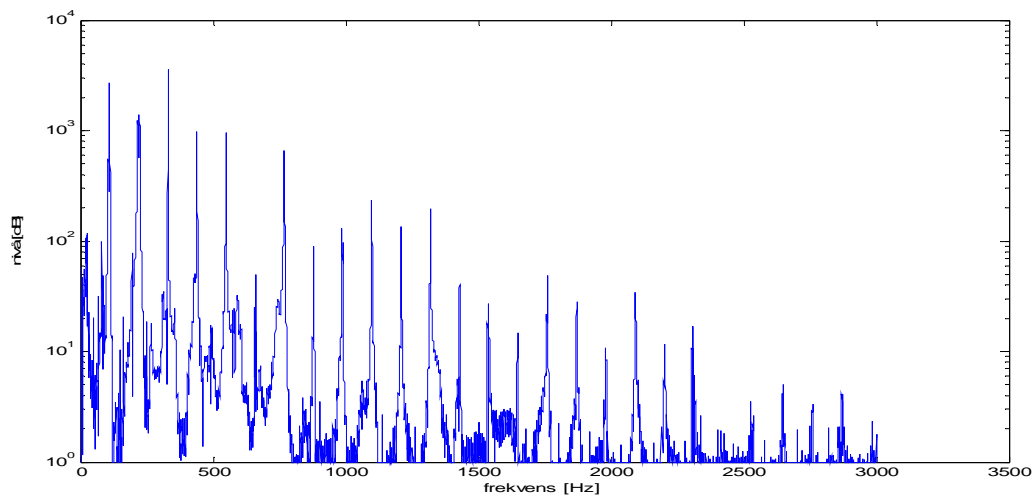
När en sträng dras ur sitt jämviktsläge och släpps börjar den svänga med en rad olika frekvenser. Den lägsta svängningen kallas grundtonen som följs av högre deltoner som är multiplar av

grundtonen. Är lägsta svängningen 100Hz är andra deltonen 200Hz, tredje 300Hz osv. Strängens utseende för de tre lägsta deltonerna syns överst i Figur 15. Denna bild är dock ingen verklighet för en gitarrsträngs rörelser. Alla deltoner är nämligen inte lika starka. Gör vi en liten förfining och låter deltonernas nivå sjunka logaritmiskt och dessutom tar med hela 15 deltoner får vi en bild som den undre figuren.



Figur 15: Översta figuren visar en strängs tre lägsta deltoner lika starka. Den undre bilden är mer realistisk där övertonerna avtar logaritmiskt.

När man spelar in ljud är det omöjligt att se vilka deltoner som finns med. Som tur är finns det något som kallas fouriertransform. Hur det fungerar matematiskt går jag inte in på för er gitarrbyggare utan ber er i stället gå en kurs i signalteori om intresse finns. Hursomhelst är det enkelt att göra en transform i datorn och få fram en bild som liknar Figur 16



Figur 16: Spektrum över tonen A (110Hz)

På horisontella axeln ser man frekvensen och på den vertikala axeln nivån. Man ser alltså nivån för de olika deltonerna. Varje stapel representerar en delton där deltonen längst till vänster är grundtonen (i figuren 110Hz). Observera att bilden inte har någon dimension för tid utan visar ett medelvärde för deltonernas nivå.

Spela in och analysera ljud

Att spela in ljud i PC-miljö är enkelt. Det finns mängder med program att spela in ljud med. De flesta program ser ungefär likadana ut och fungerar på liknande sätt. Jag kommer i det här kapitlet beskriva hur man spelar in ljud med programmet Soundswell som finns installerat på datorn. Ljudet man spelar in med datorn blir digitalt. Man får alltså inte någon kontinuerlig signal utan bara en rad med siffror som representerar ljudnivån vid olika tidpunkter.

Jag har förstått att datorn varierar mycket bland gitarrbyggare och blir därför tvungen att ta saker ganska grundligt.

Koppla in mikrofon och högtalare eller hörlurar

Lättast är att koppla in mikrofonen i fronpanelens ingång MIC IN 2. Förstärkningen går då att ställa med ratten MIC som sitter till höger om ingången. Till höger om mikrofoningången finns uttag för hörlurar med tillhörande ratt för förstärkning. Frontpanelen har dock inte alla ingångar som finns till ljudkortet. På baksidan av datorn finns också ingångar för mikrofon och utgångar för högtalare. Den rosa är en mikrofoningång och den gröna utgång för hörlurar/förstärkare.

Mjukvarainställningar för hårdvara

Ofta händer att man inte får någon insignal eller utsignal. Ett litet tag tror man alltid att datorn har gått sönder. Tack och lov är det nästan alltid någon inställning som har ändrats av en annan användare eller något program. För att inte totalt gå i bitar skall jag visa på några inställningar som är viktiga att hålla koll på. Om du får problem, kontrollera först att högtalare och mikrofoner är inkopplade, påslagna och att volymkontroller inte står på noll. Efter det är det dags att kontrollera Windows egen volymkontroll. Volymkontrollen startas genom startknappen → Programs → Accessories → Entertainment → Volume Control.

Längst till vänster finns en regel som heter "Play Control". Det är mastervolymen och styr allt ljud. Jag brukar alltid ha den på max och använda den ratten på förstärkaren eller högtalaren istället. Nästa viktiga regel är "Wave/DirectSound" denna regel styr volymen på ljudfiler t.ex. wav, mp3, au, mm dvs. inspelat ljud. Det som inte är inspelat ljud är syntetiskt ljud. Varje ljudkort har en inbyggd synt för detta som kan styras via MIDI. Volymkontrollen för detta heter därför "MIDI".

Om man i volymkontrollens menyrad väljer Options → Properties kan man vidare välja "Playback" eller "Recording". Det säger sig säker själv men playback är uppspelning och recording är inspelning. Om man klickar i "Recording" och sedan "OK" kommer en ny rad med regler upp där man kan välja från vilken källa man vill spela in och ställa inspelningsnivån för den. "Line-in2/Microphone2" är datorns frontpanels ingång som heter "MIC IN 2". Det är en vits att alltid ha även denna regel på dess maxvärde för att istället ställa nivån med den ratten på datorns frontpanel. Skulle man istället av någon anledning vilja koppla in en mikrofon direkt i datorns ljudkort (på datorns baksida) väljer man den gråa ingången. Volymkontrollen som styr den ingången heter då kort och gott "Microphone". Observera att man kan behöva starta om datorn eller i alla fall logga ut och logga in på nytt när man byter mikrofoningång. Om man i menyraden för volymkontrollen klickar i Options → Advanced Properties får man även en liten knapp nedanför regeln för microphone. På knappen står det "Advanced". Trycker man på den så kan man vidare välja "mic boost (+20dB)" denna ruta skall vara i-klickad. Skälet till detta är att mikrofoner har så mycket svagare utsignal än en normal linekälla, som t.ex. utgången på en CD-spelare.

Skulle man tycka att Windows inbyggda volymkontroll är oöverskådlig, ful eller att man helt

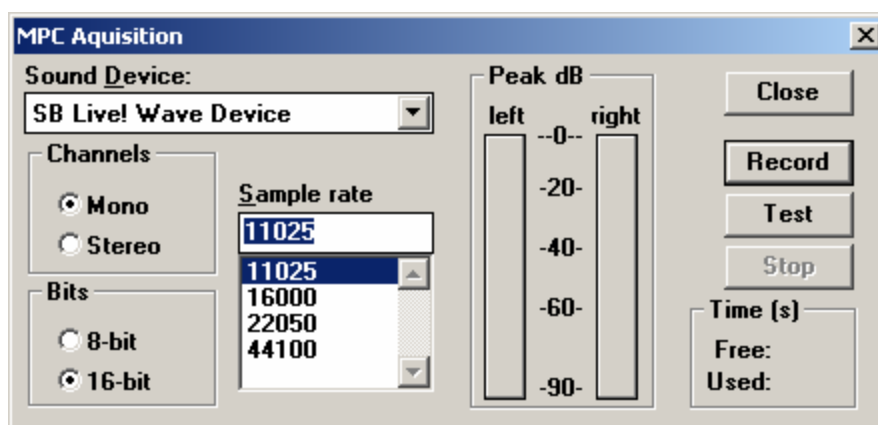
enkelt inte gillar den finns motsvarande kontroller utvecklade av ljudkortstillverkaren, Sound Blaster. Dessa kontroller startas genom startknappen → Programs → Creative → Soundblaster Live! → Surround Mixer. Långt ner till vänster, över där det står ”REC” kan man välja källa för inspelning. Till höger om detta kan man ställa volymerna för utenheterna.

Spela in ljud med programmet Soundswell

I detta avsnitt beskriver jag hur man spelar in ljud med programmet Soundswell. Jag går igenom steg för steg hur man spelar in ett ljud, klipper ut den del man vill ha och slutligen sparar det på en fil i datorn.

Programmet startas som många andra Windowsprogram från startknappen → Programs → Soundswell signal workstation → Swell eller genom genvägen som ligger på skrivbordet.

När programmet startat väljer man i menyraden Sound → Record och får upp fönstret i Figur 17.



Figur 17: Fönster för inspelning

Högst upp till vänster står det ”Sound Device: SB Live! Wave Device” detta är vilka ljudkortsdrivrutinerna som används. Se till att använda drivrutiner som matchar datorns ljudkort. SB Live står för Sound Blaster live vilket är ljudkortet i mät datorn.

I rutan under väljer du om du vill spela in stereo eller mono. Stereo är två kanaler och mono är en. Valet beror på vad du har för mikrofon/mikrofoner. Mestadels används monoinspelning för mätningar jag beskriver i den här texten.

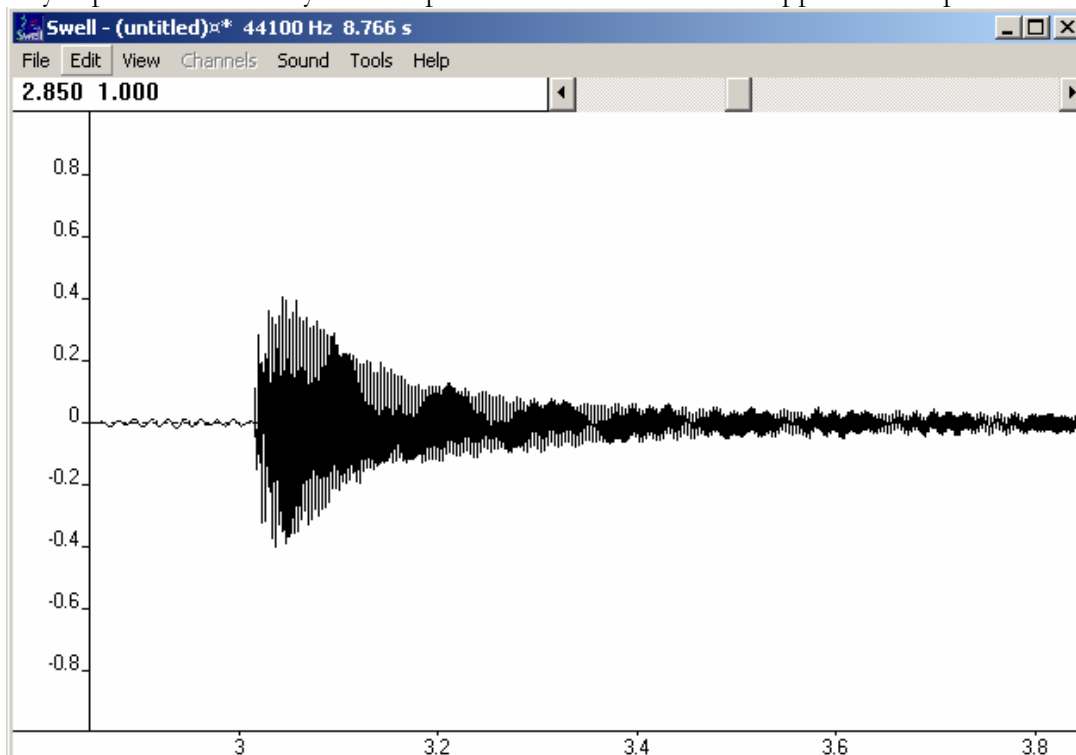
I rutan längst ner till vänster kan du välja om du vill spela in med 8 eller 16 bitar. Med det menar man upplösningen i amplitudled. Åtta bitar ger $2^8 = 256$ nivåer och 16 bitar ger $2^{16} = 65536$ nivåer. Du får alltså bättre upplösning med 16 bitar än med åtta. Sexton bitar ger dubbelt så bra precision som åtta. Fördelarna med åtta bitar är att det är lättare för datorn att arbeta med och filerna blir också mindre. Använd 16 bitar, datorn har inga problem med det.

Går vi vidare ser vi en rubrik ”Sample Rate” som på svenska heter samplingsfrekvens. Samplingsfrekvensen är upplösningen i tidsled som kan jämföras med hur många gånger per sekund man läser av ljudnivån. För att kunna återskapa ljud med en frekvens f måste man sampla med en frekvens större än $2f$. Skall man alltså spela in ett ljud som har frekvenskomponenter upp till 20000Hz måste man sampla med 44100 Hz. Använd alltid samplingsfrekvensen 44100 om du skall spela in som du inte vet så mycket om. Märker man sedan att man bara är intresserad av frekvenser mindre än t.ex. 8000 Hz räcker det att sampla med samplingsfrekvensen 16000Hz. På CD-skivor används samplingsfrekvensen 44100Hz och en upplösning på 16 bitar.

För att kunna spela in ljud måste du ställa in en lämplig inspelningsnivå. Trycker du in

knappen "Test" åskådliggörs inspelningsnivån på staplarna längst till vänster i fönstret. Ställ in så att starkaste ljudet hamnar nära 0 dB men absolut inte över. När man spelar in digitalt är det mycket viktigt att signalen inte blir för stark. Om inspelningen bottenar eller överstyrs låter det förfärligt. En för svag signal leder bara till att man inte utnyttjar hela dynamiken. Använd heller en för svag signal än en för stark. Speciellt när du spelar in med 16 bitar. Skulle det vara så att det inte händer någonting när man trycker på knappen "Test" får du hoppa tillbaks ett kapitel och se om det löser problemet. När du har ställt in en lämplig inspelningsnivå är det dags för tagning. Tryck då helt enkelt på knappen "Record" och inspelningen startas. Du kan hela tiden se på reglarna hur ljudtrycksnivån ändras. Se till att signalen inte överstyrs. När du sedan tycker att din inspelning är färdig tycker du på knappen "Stop" följt av knappen "Close". Detta är viktigt, tryck inte på kryssset uppe i högra hörnet för då riskerar din inspelning att gå förlorad.

När du gjort din inspelning ser det ut som Figur 18. Det tomma partiet i början kan man enkelt klippa bort genom att sätta markören på den plats man vill klippa från, tryck sedan ner shift-tangenten och sätt markören på den plats du vill klippa till. Gå sedan på till menyradens Edit och tryck på cut. Har du mycket skräp även efter tonen kan du klippa bort det på samma sätt.



Figur 18: En inspelad ton.

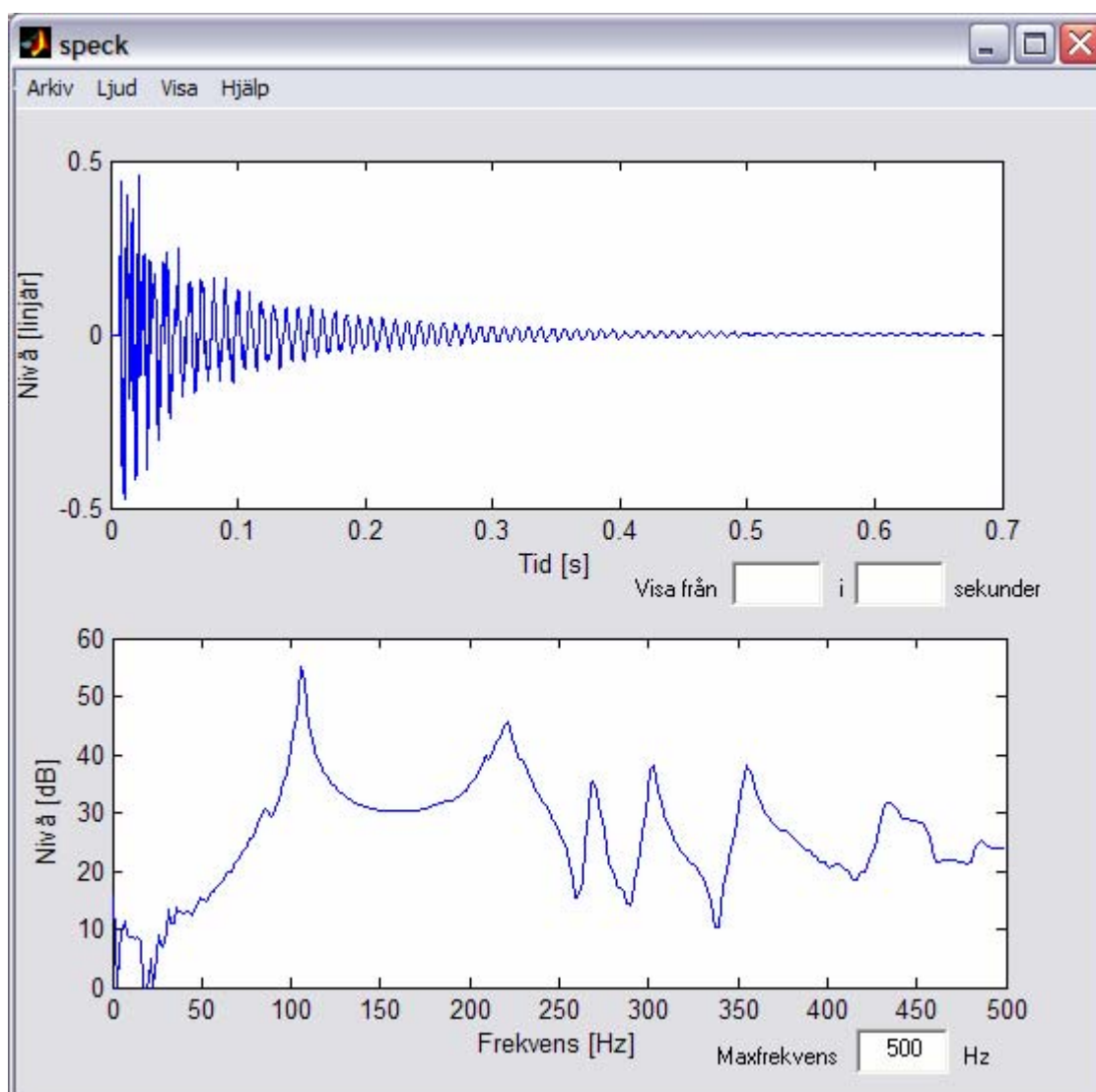
Lyssna på hela tonen kan man göra från menyraden → Sound → Play File, lyssna på markerat område görs med Play Selektion. Ett enklare sätt är att använda tangenterna F8 och F9. Känner man sig nöjd med tonen skall man spara den. Gå till menyraden och välj File → Save as... Ett nytt fönster kommer upp där du högst upp till vänster, under "File Name", skriver vad filen skall heta. Sedan väljer du att spara filen i .wav format under rubriken "Save File as Type". Till höger skriver du in vart du vill lägga filen. Det finns en mängd andra finesser med programmet Swell men jag kan inte skriva med allt utan att denna lathund blir alldeles för lång. När du nu har sparat din ljudfil kan du enkelt köra analysen med andra program.

Analysera resultatet med programmet speck

Det går att rita spektrum med programmet Soundswell. Dock blir inte resultatet alltid vad man önskat. Därför har jag i mina mätningar använt mig av programmet MATLAB. MATLAB är ett

matematikprogram som är speciellt bra på numeriska beräkningar med vektorer. Problemet är det att det tar ett tag att lära sig använda. Därför har jag gjort ett grafiskt gränssnitt för de funktioner gitarrbyggaren har nytta av. Det är det jag kallar speck. Med speck kan man enkelt visa resonansfrekvens, nivå och bandbredd för knackresonanser. Man kan också lyssna på ljud i valfritt tempo fram och baklänges. Vidare är det lätt att se hur deltonsspektra ser ut vid olika tidpunkter för tonen. För att starta speck måste man först starta MATLAB.

MATLAB startas som vanligt från ikonerna på skrivbordet eller från startknappen → Programs → Matlab 6.5 → Matlab 6.5. När man startat programmet kommer det upp ett fönster med en kommandorad där du skriver speck följt av knappen Enter på tangentbordet. Ett nytt fönster kommer upp där du kan välja Arkiv → Öppna ljudfil... När du öppnat en fil med ett knackljud ser det ut som Figur 19



Figur 19: En inspelad knackning öppnad i speck.

I övre bilden visas tonens tidsförlopp och i undre bilden dess spektrum. I rutorna under övre bilden kan man zooma i tidsled. Man skriver in från vilken tid i ljudet man vill mäta och sedan hur länge från den tiden. Du kan alltså inte skriva in två värden där summan blir längre än själva ljudfilens längd. Använd punkt (.) och **inte** kommatecken (,) när du skriver in decimaler. När du skrivit i ett värde i en vit ruta är det bara att trycka på tangenten Enter så uppdateras bilden. Under nedre bilden finns också en vit ruta. Här anger du maxfrekvensen för bilden. Kom ihåg att du inte kan visa en högre maxfrekvens än halva samplingsfrekvensen. När du zoomar i tonens

tidsförlopp ser du att spektrum ändrar sig. Undre bilden är alltså kopplad till övre bilden så att den bara visar spektrum för den del av tonen som visas i övre bilden.

Menyerna i speck

Under "Arkiv" kan du som jag sa tidigare "Öppna ljudfil..." men man kan också spara ljudfil. Man sparar då den del av ljudfilen som man zoomat in i i övre bilden. Under detta står det "Exportera bilder...". Man skickar här en bild till ett nytt fönster för att spara bilden eller skriva ut den. Längst ner i "Arkiv-menyn" kan man "Avsluta".

Går vi till höger om "Arkiv" står det "Lyssna". Jag har fått uppfattningen att gitarrbyggare hellre lyssnar på ljud än tittar på kurvor. Under menyn högst upp kan man trycka på "Spela". Ljudet spelas du upp helt vanligt. Under den står det "Annan hastighet" där man kan välja att spela i "Dubbla hastigheten", "Halva hastigheten" eller "Fritt val...". Observera att ljudet som spelas upp bara är det som är visas i övre bilden.

Nästa meny i tur är "Visa" där man överst kan välja "Vänd" och vända ljudet bak och fram för att sedan lyssna på det. Observera att spektrat inte påverkas av att vi vänder på ljudet eftersom det inte beror av tiden på det sättet. Vill du vända tillbaks ljudet trycker du på "Vänd" igen. Under "Vänd" står det "Återställ" den går att vända tillbaks ljudet med denna också men dess primära funktion är att återställa ljudet i tidsled så att du visar hela tonen igen.

Längst ner i menyn "Visa" står det "Datafönster". Klickar man där kommer ett nytt fönster upp enligt Figur 20.



Figur 20: Datafönster som söker efter en resonanstopp och visar dess resonansfrekvens (F_s), bandbredd (F_b) och nivå.

I det vita fältet skriver man in mellan vilka frekvenser resonansen man är ute efter finns. Resonansen måste ha den högsta nivån inom detta område. Skriv först in värdena och tryck sedan på "Visa!" så visas värdena till höger. F_s är resonansfrekvensen och F_b är bandbredden. I undre figuren i speck visas också en stjärna i toppen på en resonans man mäter.

Att mäta rent praktiskt

I detta kapitel beskriver jag hur man på ett enkelt sätt hittar gitarrens lägsta resonanser. Lite tips för hur man exciterar rätt svängning och spelar in svaret ges. Det är en stor fördel, nästan ett måste, att veta hur svängningarna ser ut för att kunna avgöra hur mätningen bör utföras.

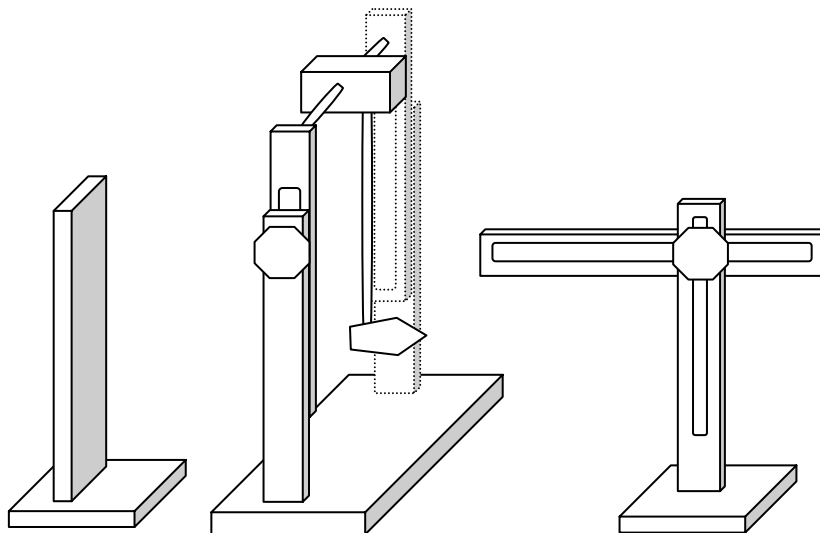
Mätningar av gitarrens inbyggda resonanser

Gitarrens inbyggda resonanser mäts genom att man knackar på gitarrens stallben. Gitarren står hela tiden i vertikalt läge t.ex. i ett gitarrställ. Nedan följer några punkter som är bra att tänka på vid alla mätningar.

- Mät i lokalen när det är så tyst som möjligt
- Gitarren skall stå så mjukt som möjligt. Låt endast de delar som svänger minst vila mot skumgummiklossar.
- Dämpa bort strängarna genom att kila in en bit skumgummi mellan greppbrädan och strängarna. Det kan även vara bra att dämpa bort strängarna vid gitarrhuvudet.

Utrustning

Förutom datorn finns en del annan utrustning man behöver. Jag tänker då främst på anordningen som används för att knacka på gitarren.



Figur 21: I mitten anordningen som knackar på gitarren (knackanordningen), till vänster ett stopp som bestämmer utgångsläget för klubban (stoppet) och till höger ett stativ för exempelvis mikrofon (mikrofonstativet).

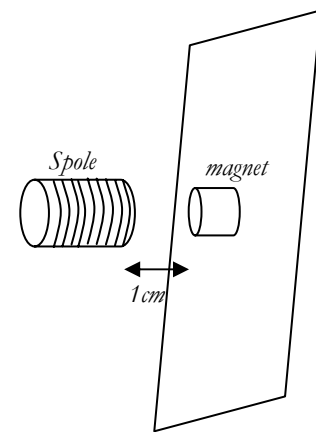
Knackanordningen fungerar så att klubban dras bakåt mot knockstoppet och släpps sedan för att knacka på gitarren.

Förutom knackanordningen behövs en spole och magnet eller en mikrofon beroende på om man vill mäta lockresonanser eller luftresonanser. För att få fast magneten på gitarren behövs lite vax. För uppställningen av gitarren behövs ett gitarrställ och skumgummi. En linjal är alltid bra att ha och du behöver en gitarr att mäta på.

Mätningar av resonanser

När vi mäter locket resonanser sätter vi en liten magnet på den delen av locket som svänger mest. Magneten klibbas fast på locket med lite vax. Lägg på lite vax på magneten, så lite som möjligt, värms upp det med fingrarna så att det blir mjukt och tryck dit magneten på locket. Det kommer att bli en liten fläck på gitarlocket. Men lugn, det går bort med lacknafta. Spolen bör alltid sättas framför magneten på samma avstånd. Speciellt när man gör jämförelser mellan olika gitarrer. Jag brukar ha ett avstånd på cirka 1cm. Ett bekvämt sätt att mäta avståndet när man gör många mätningar är att ha ett föremål som är en centimeter tjockt, hålla det mot magneten och föra spolen mot föremålet. Föremålet skall givetvis avlägsnas innan mätningarna utförs.

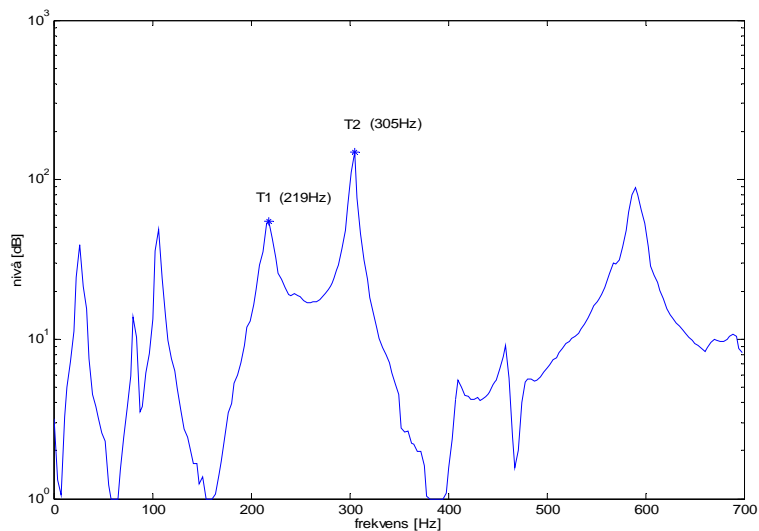
Angående knackningarna gör jag nästan alltid knackningarna mellan första och andra strängen på gitarren alternativt mellan femte och sjätte. Vidare brukar jag i huvudsak använda mig av två punkter där jag sätter magneten. Den första kallar jag p1 och är i centrum av gitarren (akustiskt sett) se Figur 22. Med centrum akustiskt sett menar jag där resonansen T2 har sin nodlinje. På de flesta gitarrer som har symmetriskt uppbyggda lock är akustiska centrat samma som det geometriska. Jag rekommenderar att börja dina mätningar på locket med att hitta punkten p1. Knacka mellan första och andra strängen och spela in vibrationerna längs den streckade linjen. Ställ knackanordningen så långt ifrån gitarren att klubban träffar stallbenet vinkelrät mot gitarren. På ett symmetriskt uppbyggt lock brukar det räcka med två knackningar medan det på ett asymmetriskt uppbyggt lock kan behövas upp till tio punkter. Det du letar efter är var på locket du inte kan se resonansen T2. Jag påminner om att T2 ligger runt 300Hz. Hittar du punkten p1 har du kommit en bra bit på väg. Den resonansfrekvens som försvinner vid p1 nämligen är T2. Att identifiera resonansen T1 brukar vara enklare. Ser du en topp runt 200Hz vid p1 är det med största sannolikhet T1. När du identifierat T1 och T2 kan du flytta magneten till punkten T2. Här brukar båda resonanserna synas ganska tydligt se Figur 24



Figur 23: Figuren visar hur spolen skall vara placerad i förhållande till magneten.

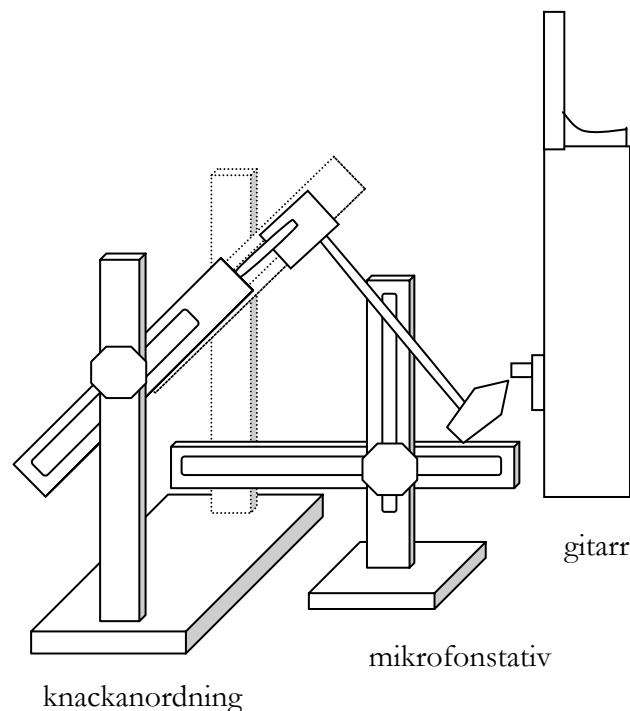


Figur 22: Punkter där magneten vanligtvis sätts



Figur 24: Upptagning av ljudet vid p2 på en mellankvalitetsgitarr. Knackningen är utförd på stallbenet mellan första och andra strängen.

När vi vidare skall identifiera resonansen T3 blir det mer problematiskt. Det duger nämligen inte att knacka vinkelrät mot stallbenet. Det är nämligen bara kraftkomponenter parallellt med locket som vid stallet kan excitera T3. För att få till en bra anslagsvinkel mot stallbenet brukar jag vinkla fram övre delen av knackanordningen se Figur 25



Figur 25: Vinkling av knackanordning för att få en kraftkomponent parallellt med locket.

Sätt magneten vid p1 knacka mellan första och andra stängen och spela in. Att få plats med både knackanordningen och mikrofonstativet kan vara lite knöligt men inte omöjligt. Den resonans som nu har tillkommit runt 350Hz på den klassiska gitarren är den vi kallar T3. T3 är mycket lätt att blanda ihop med luftresonansen A1. Gör därför i samma uppställning mätningar på A1. Eftersom A1 är en luftresonans spelar vi den med en vanlig mikrofon. A1 är starkast vid

halsklossen och vid bottenklossen på gitarren. Sin trycknod har den några centimeter under ljudhålet. Gör därför mätningar från t.ex. bottenklossen på gitarren och flytta mikrofonen successivt upp mot ljudhålet. Några centimeter under ljudhålet bör du se en resonanstopp som försvinner. Och det är just den som är A1. Kontrollera nu så att du inte har antecknat samma resonansfrekvens på T3 som för A1. A0 ser du antagligen i alla bilder och är en stark topp runt 100Hz. Om bara är intresserad av A0 och vill ha den toppen så stark som möjligt är det bara att sätta mikrofonen strax utanför ljudhålet och knacka som vanligt.

Var det mycket att komma ihåg? Nedan följer en liten komihåglista i viken ordning du bör utföra dina mätningar för att det skall flyta så smidigt som möjligt.

1. Leta efter punkten p1, notera T2 och T1. p1 är den punkt där T2 som har en resonansfrekvens på 250-300Hz försvinner. T1 är toppen runt 200 Hz. Är du osäker på T1 kan du se om du hittar den ungefär lika stark på hela det fria locket.
2. Sätt magneten och spolen vid p2 och använd dessa värden för T2.
3. Ställ om knackanordningen för att mäta T3, notera T3. T3 är den resonans som tillkommer till mätningarna du tidigare fått vid p1. Använd inspelningen för mätningar av T3 och T1.
4. Använd vanlig mikrofon för att hitta A1, notera A1 och A0. A1 hittar du genom att göra ett flertal inspelningar i gitarrkroppen från bottenklossen till ljudhålet. A1 är den resonans som försvinner några/någon centimeter under ljudhålet.

Du bör nu ha sparat minst tre ljudfiler. Först ljudet upptaget vid p2 där du ser T2, inspelningen av T3 där även T1 är tydlig och inspelningen av A1 där du också bör se A0.

Kör nu analysen av resultaten i speck och rita spektrum från noll till 500 Hz.

Bilaga B

CD-skivan

CD-skivan innehåller **Ljudfiler** från lyssningstestet som kan spelas i vanlig CD-spelare. På vänster kanal finns närmikrofonen, 1 meter från gitarristen, och på höger kanal mikrofonen 9.5 meter från gitarristen. Ljudfilerna spelas i ordningen Bjärton, Cuenca, Berggren. För de egenskaper där teststycket är uppdelat i fler filer t.ex. för tonlängd spelas samma ton på de tre gitarrerna i följd och sedan nästa ton.

Spår nr	Egenskap	Stycke
1 - 27	Tonlängd	<i>Enstaka toner spelades.</i>
28 - 30	Tonkvalitet	<i>Början av Francisco Tárregas Lagrima</i>
31 - 36	Tonstyrka	<i>Början av Heitor Villa-Lobos Preludio No.1 plus rasgueando</i>
37 - 39	Jämnhet	<i>En skala.</i>
40 - 42	Balans	<i>Ackorden i början av Joaquín Rodrigos Concierto de Anjez</i>
43 - 45	Klang	<i>Början av Manuel Ponces Prelude No.6</i>
46 - 48	Formbarhet	<i>Något improviserat, innehåller delar ur Federico Moreno-Torrobos Sonatin A-dur, 2a satsen</i>
49 - 51	Dynamik	<i>William Waltons Bagatelle No.5</i>
52 - 54	Bärighet	<i>Början av Agustín Barrios Mangores La Catedral plus början av Villa-Lobos Preludio No.1</i>
55 - 57	Övergripande intryck	<i>Del ur Mauro Giulianis Grande Overture Op. 61</i>

Tabell 11: Tabellen visar CD-ljudspår som kan spelas på en vanlig CD-spelare.

CD-skivan innehåller också datafiler.

I **katalogen ljud** ligger samma ljud som beskrivs ovan fast som datafiler (*.wav-filer). Gitarrerna heter b, c & r där b är Bjärton, c är Cuenca och r är Berggren.

I **katalogen speck** ligger programmet speck. Kopiera hela katalogen till lämplig plats på hårddisken och lägg till platsen i "search path" i MATLAB. Sedan skall det bara vara att köra programmet speck i MATLAB genom att skriva speck i MATLAB's kommandofönster.

I **katalogen bilder** hittar du bilder på de tre testgitarrer som jag använt under arbetet.