



**KTH Computer Science
and Communication**

Nittontonsskalan

DAN ISACSON
GRUSÅSGRÄND 154
121 30 ENSKEDEDALEN
076-345 39 50
DISACSON@KTH.SE

-

BJÖRN HEGERFORS
BIRGER JARLSGATAN 46
114 29 STOCKHOLM
076-207 31 27
BJORNHEG@KTH.SE

Kandidatuppsats
Handledare: Lars Kjell Dahl
Examinator: Mads Dam

Sammanfattning

Uppsatsen behandlar ämnet musik, och redogör den bakomliggande teori som dagens tonskalor och notsystem är baserade på. Hela västvärlden har sedan länge ett standardiserat system där en oktav är uppdelad i tolv toner. Men det sägs att en uppdelning i 19 toner kan vara intressant, och denna tonskala kommer vara uppsatsens fokus. En jämförande undersökning av 12-tonsskalan och 19-tonsskalan genomförs. Till detta har ljudprogrammeringsspråket ChuckK använts. Som en del av undersökningen konstruerades även en instrumentprototyp. Resultaten visar att båda skalorna kan anses som likvärdiga. En eventuell omstandardisering från 12- till 19-tonsskalan är därför inaktuell.

Abstract

This report deals with the topic music, and explains the underlying theory that the tone scales and musical notation used today are based on. The Western world has standardized a system in which an octave is divided into twelve parts. But a division in 19 parts has been put forth as an interesting alternative. This 19 tone scale is the main focus of this report and a comparative study between it and the 12 tone scale is carried out. To this end the music programming language ChuckK is used. Also, as a part of this study, an instrument prototype is implemented. The results show that the two tone scales can be considered equivalent, thus making a switch from the 12 tone scale to the 19 tone scale unjustified.

Förord

Denna rapport är produkten av ett arbete inom kursen DD143X, Examensarbete inom datalogi, grundnivå, som pågick under vårterminen 2011 på Kungliga Tekniska Högskolan. Rapporten är skriven av Björn Hegerfors och Dan Isacson. Alla moment av arbetet har gjorts i nära samarbete mellan författarna och lika mycket tid och möda tillägnades av båda parter.

Innehåll

Innehåll	vi
Figurer	vii
1 Inledning	1
2 Problemformulering	3
3 Musikteori	5
3.1 Harmonier och intervall	5
3.2 Stämningar och skalor	6
3.3 19-tonsskalan	8
3.4 Datorgenererade toner	9
4 Chuck	11
4.1 Vad är Chuck?	11
5 Instrumentprototyp	13
5.1 Implementation	13
6 Undersökning	17
6.1 Metod	17
6.1.1 Teststycken genererade i Chuck	17
6.1.2 Genomförande av undersökningen	18
7 Resultat	19
7.1 Analys av undersökningen	19
8 Slutsats	23
8.1 Reflektion över 19-tonsskalan	23
8.2 Hur väl fungerade Chuck för våra ändamål?	23
9 Ordlista	25

Figurer

5.1	Det vanliga pianoupplägget.	14
5.2	Ett pianoupplägg anpassat för 19-tonsskalan.	14
5.3	19-tonspianoupplägget anpassat för ett svenskt tangentbord.	14
7.1	Resultatet för undersökningen på intervallet kvint.	19
7.2	Resultatet för undersökningen på intervallet liten ters.	20
7.3	Resultatet för undersökningen på intervallet stor ters.	20
7.4	Resultatet för de olika fallen där 12-tonsskalan jämfördes direkt med 19-tonsskalan.	21

Kapitel 1

Inledning

Inom musikteorin läggs mycket vikt på de musikaliska intervallen, det vill säga de harmoniska avstånden mellan två toner. En oktav är ett intervall som flertalet människor uppfattar som välljudande. Detta intervall har ett 2:1 förhållande, vilket innebär att frekvensen för den högre tonen är dubbelt så hög som den låga tonens. Människor har genom historien delat upp oktaven i olika skalor. Den i dag mest använda skalan är 12-tonsskalan som delar upp en oktav i tolv toner, där det är lika långt avstånd mellan varje ton. Våra instrument och notsystem är anpassade för just den här skalan. Man har studerat andra skalor i hundratal år, men det har varit svårt att utvärdera dessa fram tills senare år i och med datorernas framgång.

En annan skala, 19-tonsskalan, sägs ha intressanta egenskaper, bland annat på grund av att 19 är ett primtal vilket innebär att man kan använda valfritt intervall för att gå igenom alla 19 toner. 19 har också sagts vara det första talet efter 12 som delar in en oktav i rimligt naturliga intervall, något som diskuteras närmare i kapitel 3.

Datorer gör det möjligt att generera toner av önskad frekvens och karaktär. Detta förenklas ytterligare av diverse programmeringsspråk/mjukvara, exempelvis ChucK, där man med enstaka kodrader kan få ut önskat ljud.

Kapitel 2

Problemformulering

Vi vill undersöka hur 19-tonsskalan låter jämfört med det man är van vid ifrån västerländsk musik, och få bättre förståelse för den bakomliggande musikteorin. Vår huvudfrågeställning är som följer:

- Hur låter 19-tonsskalan, och skulle en övergång från 12-tonsskalan till 19-tonsskalan vara motiverad?

För att bedöma detta har vi ett antal ledfrågor till hjälp. Dessa är:

- Varför låter vissa saker bättre än andra? Är det ens väldefinierat i teorin och tycker alla lika?
- Hur skulle ett 19-tonsbaserat instrument kunna vara utformat?

Under arbetet vill vi även utforska möjligheterna med programmeringsspråket ChuckK, samt bedöma hur lätthanterligt det är och hur väl det passar in för våra ändamål.

Kapitel 3

Musikteori

I det här kapitlet presenteras termer som kan vara obekanta för den oinsatta läsaren. Dessa markeras i kursivt första gången de nämns och förklaras i ordlistan under kapitel 9.

3.1 Harmonier och intervall

Tänk dig att du får höra två toner som börjar på samma frekvens, där den ena tonen vilar kvar medan den andra ständigt stiger. Det vore matematiskt intuitivt att tänka sig att skillnaden mellan tonerna ständigt ökar. Men det är inte så vår ljudperception fungerar. När tonernas intervall når en oktav, det vill säga när den högre tonen har nått den lägre tonens dubbla frekvens, finns det en aspekt av vår uppfattning som säger att den stigande tonen är tillbaka i startläget[1]. Detta är ett exempel på vårt sätt att tolka musikaliska intervall. Oktaven är ett viktigt sådant intervall som har egenskapen att *oktaver*ing av toner knappt har någon påverkan på *harmonin*.

Precis som oktaven har alla intervall någon slags karaktär. Till exempel låter vissa intervall glada, andra sorgsna; vissa låter rent illa. En viktig egenskap hos ett harmoniskt intervall är hur välljudande det är. Man brukar använda begreppen *konsonans* och *dissonans* för att beskriva renhet respektive orenhet. Eftersom oktavering inte ändrar harmonin ryms alla harmonier inom en oktav, och därför är intervall större än en oktav ganska ointressanta att studera.

Redan Pythagoras (som levde runt år 500 f.Kr.) lär ha upptäckt ett visst samband mellan två toners frekvensförhållande och hur intervallet mellan dem låter. Det är inte absoluta frekvensskillnader som avgör ett intervalls storlek, utan det är det relativa förhållandet. Ett exempel är oktaven, som är ett 2:1-förhållande (läses som "två till ett-förhållande"). Det som Pythagoras märkte var att intervall som kunde beskrivas med små heltal lät mest konsonant. Det saknas egentligen bevis för ett sådant samband, men Pythagoras antagande verkar passa bra med vad som historiskt har accepterats som konsonanta intervall[1].

För att ytterligare understödja korrektheten hos Pythagoras antagande har tes-

Intervall	Frekvensförhållande	Cent
Prim	1:1	0
Oktav	2:1	1200
Kvint	3:2	701,96
Kvart	4:3	498,04
Stor ters	5:4	386,31
Liten ters	6:5	315,64
Stor sext	5:3	884,36
Liten sext	8:5	813,69

Tabell 3.1. De åtta mest naturliga intervallen.

ter gjorts där försökspersoner har fått lyssna på dessa intervall blandat med andra intervall mellan dessa. Då har ofta de mellanliggande intervallen misstagits som något av de kända intervallen. Det tyder på att man har en diskret kategorisering av intervall, där man försöker dela in allt i olika fack. Detta fenomen kallas kategorisk perception. Det visar också att man har en viss tolerans för felspelade toner[1].

Å andra sidan har studier visat att dessa fack är inlärd och inte naturliga. En observation som har gjorts är att folk från olika kulturer kategoriserar olika[3]. Hur man ska förhålla sig till Pythagoras antagande i detta avseende är oklart. Det kan dock visas att de intervall som har små heltalsbråk som frekvensförhållande har vissa övertag när man spelar båda tonerna i intervallet samtidigt. Det beror på sidoeffekter som uppstår när flera toner spelas samtidigt, och gäller alltså inte när intervall spelas som en sekvens[1].

3.2 Stämningar och skalor

Vissa instrument såsom fiol och människans sång kan fritt spela och välja mellan en oändlig mängd toner. Detta eftersom dessa instrument inte är begränsade av tonstegsindelningar. Exempelvis piano och gitarr har denna begränsning, där man har tillämpat skalor för indelningen av toner. En skala är ett urval toner, man kan med andra ord se en skala som en delmängd av alla möjliga toner. Den skala som våra vanligaste instrument i den moderna musiken är anpassade efter är den liksvävande tempererade 12-tonsskalan, vilket innebär att man delat upp en oktav i tolv lika stora delar. Man kallar varje steg i en sådan här indelning för ett halvt tonsteg. Då tolv av dessa intervall tillsammans bildar en oktav, alltså ett 2:1-förhållande, så kan halvtonernas frekvensförhållande beskrivas med uttrycket 3.1.

$$\sqrt[12]{2} : 1 \quad (3.1)$$

En praktisk aspekt med att ha en skalindelning är att man smidigt kan skriva ner musik med noter. Med instrument stämde efter en skala slipper man som musiker

anstränga sig för att inte spela falska toner (toner som är dissonanta mot resten av harmonin).

Idag växer vi i västvärlden upp med musik baserad på den liksvävande tempererade 12-tonsskalan. Men intervallen som finns mellan olika par av toner i skalan är inte helt konsonanta. En jämn uppdelning med numret tolv är troligtvis vald för att intervallen inom denna uppdelning har relativt små avvikelser från de naturliga intervallen. Vi som växer upp med den musiken märker oftast inte av det lilla mått av dissonans som infinner sig[1].

Det är tyvärr omöjligt att anpassa en perfekt skala generellt sett, även om det kan göras för enstaka stycken i bestämd tonart[4][5]. Skolor kan lika gärna byggas av noga utvalda toner som de kan byggas av jämnt fördelade intervall. Nackdelen med ojämna fördelningar är att *transponering* av musik inte leder till samma harmoni, på grund av att intervallen mellan tonerna inte är lika stora i olika delar av skalan. Man blir i så fall tvungen att transponera hela skalan och stämma om instrumenten efter den nya skalan. Jämnt fördelade skolor har inte det problemet.

Att inte ständigt behöva stämma om instrument mellan låtar är av praktiska anledningar en stor fördel. Just 12-tonsfördelningen fungerar som sagt bra, men det finns definitivt andra bra nummer som man kan dela oktaven med. Ur en synvinkel vore det bättre ju fler intervall man delar oktaven i. Då skulle mer konsonanta intervall kunna spelas, men man skulle också förlora den praktiska aspekten hos skalindelningar som nämndes ovan. För stora nummer kompliceras både musiknotationen och instrumentuppbyggnaden. Nästa nummer efter tolv som i teorin sägs fungera bra är 19. Även 31 och 53 sägs vara bra uppdelningar, men dessa är antagligen lite för stora att handskas med i praktiken[1].

I sektion 3.1 framfördes de mest naturliga intervallen, och i tabell 3.1 listades intervallen med en enhet kallad cent. Cent används som ett mått på intervall (likt frekvensförhållandet) och har följande egenskaper:

1. 2:1-förhållandet (en oktav) är definierad som exakt 1200 cent.
2. Multiplikation av frekvensförhållanden översätts till addition av motsvarande representation i cent.

Matematiskt kan man uttrycka en centskillnad n mellan två frekvenser a och b som i uttrycket 3.2.

$$n = 1200 \cdot \log_2 \left(\frac{b}{a} \right) \quad (3.2)$$

Exempelvis skulle en ren kvart + en ren kvint = oktav kunna skrivas på följande två sätt:

$$\frac{4}{3} \cdot \frac{3}{2} = \frac{12}{6} = \frac{2}{1} \quad (3.3)$$

$$498cent + 702cent = 1200cent \quad (3.4)$$

Notnamn	Intervall i cent, 12-tonsskalan	Intervall i cent, 19-tonsskalan
A	0	0
A#	100	63
Bb		126
B	200	189
B#/Cb		253
C	300	316
C#	400	379
Db		442
D	500	505
D#	600	568
Eb		632
E	700	695
E#/Fb		758
F	800	821
F#	900	884
Gb		947
G	1000	1011
G#	1100	1074
Ab		1137
A	1200	1200

Tabell 3.2. Centindelning i respektive tonskala från tonen A.

3.3 19-tonsskalan

En liksvävande tempererad 19-tonsskala (hädanefter refererad som 19-tonsskalan) delar upp en oktav i 19 lika stora delar. Dessa kommer refereras som 19-tonssteg. Matematiskt kan man alltså uttrycka intervallet som ett 19-tonssteg utgör med uttrycket 3.5.

$$\sqrt[19]{2} : 1 \quad (3.5)$$

Det motsvarar $1200/19 \approx 63$ cent. Tabell 3.2 visar förhållandet mellan 12-tonsskalan och 19-tonsskalan. Man kan fortfarande använda de vanliga notbeteckningarna som man är van vid från 12-tonsskalan. Dock ser vi att exempelvis ett C# och ett Db är samma ton i 12-tonsskalan medan de skiljer sig åt i 19-tonsskalan. Ofta kan detta innebära att det kan låta dåligt om man väljer fel mellan två sådana toner

Det kan vara intressant att se hur väl 19-tonsskalan och 12-tonsskalan kan representera de i teorin mest harmoniska intervallen. I tabell 3.3 görs en jämförelse. Man kan se att en ren kvart och en ren kvint ligger inom 2 cent hos 12-tonsskalan, och är alltså närmare dessa intervall än 19-tonsskalan. När det gäller stor ters är

Intervall	Cent	Centavvikelse, 12-tonsskalan	Centavvikelse, 19-tonsskalan
Ren kvint	701,96	-1,96	-7,22
Ren kvart	498,04	+1,96	+7,22
Ren stor ters	386,31	+13,69	-7,36
Ren liten ters	315,64	-15,64	+0,15
Ren stor sext	884,36	+15,64	-0,15
Ren liten sext	813,69	-13,69	+7,36

Tabell 3.3. Ett vältränat öra påstås kunna höra avvikelser på 5 cent då de aktivt lyssnar efter dem. En avvikelse på mellan 20 och 30 cent anses vara oacceptabelt[1].

19-tonsskalan ungefär dubbelt så nära som 12-tonsskalan. Liten ters ligger nästan exakt rätt i 19-tonsskalan, medan den i 12-tonsskalan är en bra bit ifrån.

Inom 12-tonsskalan finns det fyra olika intervall som kan användas för att gå igenom alla toner i skalan. Dessa är lilla sekunden (1 halvton), kvarten (5 halvtoner), kvinten (7 halvtoner) och stor septima (11 halvtoner). Anledningen till att just 1, 5, 7 och 11 halvtoner cyklar genom alla halvtoner i 12-tonsskalan är på grund av att dessa siffror är relativt prima 12. Eftersom 19 är ett primtal kan man cykla igenom alla toner i 19-tonsskalan med vilket intervall som helst.

3.4 Datorgenererade toner

Med hjälp av datorer kan man generera ljudvågor av önskad frekvens och form. Detta innebär att man har full kontroll över de toner man genererar, vilket gör att man slipper det oftast tidskrävande momentet att stämma om ett akustiskt instrument. Dessutom eliminerar datorerna den mänskliga faktorn, vilket innebär att man på beställning kan få perfekta frekvenser, något man inte kan begära av en violinist. Datorerna kan både spela efter skalor, som med ett piano, och fritt likt en fiol. Att prova andra skalor än den standardiserade 12-tonsskalan kan bli väldigt omständligt på vanliga instrument, men med rätt mjukvara kan en dator förenkla det hela.

Kapitel 4

Chuck

4.1 Vad är Chuck?

Chuck är ett relativt nytt musikprogrammeringsspråk från 2002 skapat av Ge Wang och Perry Cook. Programmeringsspråket ger programmeraren möjlighet att hantera ljud med flexibilitet och frihet, utan att behöva ägna sig åt hårdvarunära programmering. Det körs på en virtuell maskin och är i version 1.2.1.3 kompatibelt med plattformarna Windows, MacOS och Linux.

För att spela upp ljud i Chuck kopplar man en Unit Generator till ljudkortet på datorn. Unit Generator är fördefinierade enheter som representerar olika slags ljudvågor. De kan efterlikna ljud från instrument av olika slag. Vill man exempelvis koppla en sinusvågs-oscillator, den kanske simplaste vågformen, till ljudkortet gör man det med följande kodrad.

```
SinOsc s => dac;
```

Det finns olika egenskaper man kan ändra på i Unit Generators, till exempel frekvens och amplitud (ljudstyrka). Det är alltså enkelt att generera önskad ton. Vill man ändra på frekvensen kan man skriva det som följande:

```
1337 => s.freq;
```

I Chuck representeras ljudkortet med **dac**. Själva kopplingen görs med **=>** operatören (kallad Chuck-operatören). Denna operator används också som tilldelningsoperator. När denna koppling är genomförd har man definierat vad ljudkortet ska spela, och det enda som saknas är att låta tiden gå. Detta görs i Chuck genom att man tilldelar ett tidsförlopp till den speciella tidvariabeln **now**. Man låter tiden gå en sekund genom kodraden:

```
1::second => now;
```

Programmeringsspråket är imperativt, vilket innebär att koden körs rad för rad. Detta skapar problem när man exempelvis vill spela upp två separata slingor samtidigt. Lyckligtvis har Chuck en välimplementerad trådhantering, och kan på så

sätt smidigt lösa detta problem. Trådar kallas i ChucK för shreds (troligtvis en ordvits på engelskans threads).

ChucK stödjer även interaktion med exempelvis tangentbord, mus, midi-instrument och mikrofon. Dessutom går det att spela in och spara genererade ljud i vanliga ljudfiler.

Kapitel 5

Instrumentprototyp

Målet med prototypen är att skapa ett instrument baserat på 19-tonsskalan. Instrumentet kommer att vara digitalt och spelas med ett tangentbord. Eftersom Chuck stödjer interaktion med tangentbord och är ett språk som underlättar ljudprocessering på en dator, kommer prototypen byggas i detta språk.

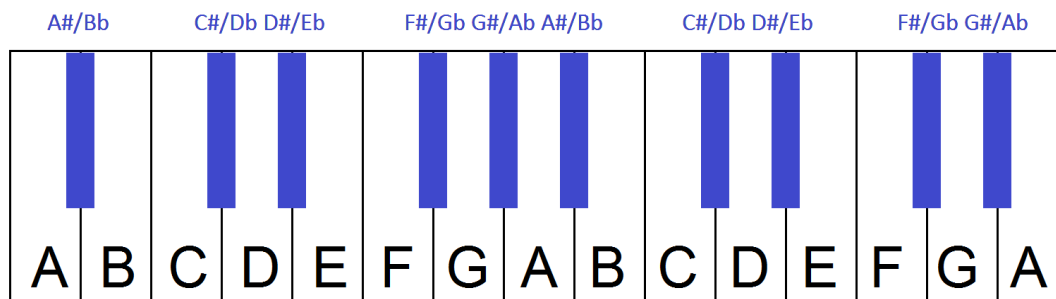
5.1 Implementation

Eftersom instrumentprototypen spelas med tangentbord är det rimligt att utgå från ett annat tangentinstrument, exempelvis ett piano. Pianots tangentupplägg ser ut som i figur 5.1. Detta upplägg är baserat på 12-tonsskalan med en oktav uppdelad i sju vita tangenter och fem svarta. I den standardiserade 12-tonsskalan har alla tonerna i skalan givits namn som A, G, F# (uttalas fiss) och Bb (uttalas bess). De toner som bara består av en bokstav, alltså utan korsförtecken (#) eller b-förtecken (b), utgör de vita tangenterna. Detta upplägg gör att man med de vita tangenterna kan spela i C-durskalan. De svarta tangenterna utgör de övriga fem tonerna i 12-tonsskalan och benämns i form av höjningar eller sänkningar av de sju tidigare nämnda tonerna. Den svarta tonen mellan C och D kallas alltså antingen för C# eller Db - höjt C respektive sänkt D.

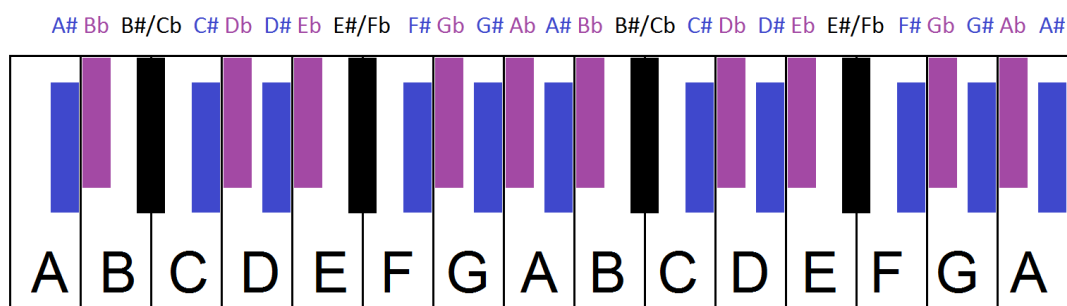
Detta namnschema ger utrymme för $3 \cdot 7 = 21$ olika tonnamn. Många av dessa syftar på samma ton i 12-tonsskalan, detta gäller bland annat det ovan nämnda exemplet med C# och Db. Då 19 är mindre än 21 och är 7 mer än 12 kan man lägga till 7 extra tangenter, en extra tangent vid varje vit, och behålla samma namnschema. Ett möjligt upplägg för ett 19-tonspiano kan se ut som i figur 5.2. Centfördelningen mellan dom vita tangenterna förändras lite vid en sådan här uppdelning, men bör ändå hamna relativt nära den ursprungliga 12-tonsuppdelningen, se tabell 3.2.

Nästa steg är att överföra och anpassa detta upplägg till tangentbordet. Detta gjordes enligt figur 5.3.

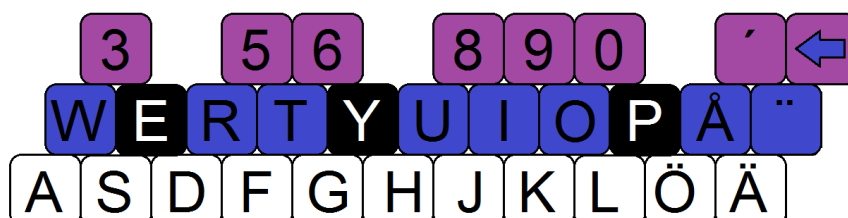
I Chuck kan man lyssna på tangentbordstryckningar med hjälp av så kallade event handlers. Chuck väntar tills en tangent antingen blivit nedtryckt eller släppt. Man kan då avläsa vilken tangent som blivit berörd. Om en tangent blivit nedtryckt



Figur 5.1. Det vanliga pianoupplägget.



Figur 5.2. Ett pianoupplägg anpassat för 19-tonsskalan.



Figur 5.3. 19-tonspianoupplägget anpassat för ett svenskt tangentbord.

kan man till exempel spela en ton (där tonhöjden kan bero på vilken tangent man trycker ner). Och om en tangent släpps kan man sluta spela pågående ljud. ChuckK-dokumentationen innehåller ett kodexempel som gör detta, men man kan bara spela en ton i taget med den metoden.

För att vid ett givet tillfälle hålla reda på vilka tangenter som är nedtryckta, även om de är fler än en, krävs att man använder sig av en datastruktur som sköter detta. För att spela upp flera toner samtidigt behövs en tråd för varje frekvens som ska spelas. Varje tråd har en egen Unit Generator för att spela ljud. I prototypen används en vektor som lagrar upp till åtta frekvenser, där en frekvens på 0 Hz representerar tystnad. Tangenterna bestämmer frekvenserna som lagras. En huvudtråd i programmet lyssnar på tangentbordet, och vid varje tangentbords-event uppdaterar den vilka frekvenser som vektorn håller. Efter huvudtråden gör den uppdateringen, och innan den går tillbaka till att lyssna på tangentbordet, skickas en signal (i form av ett egendefinierat event) till alla uppspelningstrådar. Då läser dessa av sin frekvens från sitt tilldelade vektorelement och börjar (eller fortsätter) spela den.

Instrumentprototypen har implementerats så att det lätt går att växla mellan ett 19-tonsläge och ett 12-tonsläge. Båda utgår ifrån tonen A440 (alltså frekvensen 440 Hz, tonen A). Vi hanterar tangentbordsraden "ASDFGHJKLÖÄ" som en form av basrad som tilldelats de exakta frekvenserna för A, B, C, D, E, F, G, A, och så vidare i respektive skala (se tabell 3.2). På raden ovan finns alla höjda toner. Till exempel är tangenten W ett höjt A. Den översta raden utgör de sänkta tonerna. Till exempel är tangenten 3 ett sänkt B (B finns på tangenten S).

En funktion gjordes som i vardera skala tar emot en grundton och en avvikelse. Grundtonen är i form av ett heltal där 0 representerar ett A två oktaver lägre än A440, 1 representerar nästa ton, alltså B, och så vidare. A med frekvensen 220 Hz representeras alltså av 7 och A440 av 14. Avvikelsen är också i form av ett heltal, oftast -1, 0 eller 1, som innebär sänkning, ingen avvikelse respektive höjning. I 12-tonsskalan är denna avvikelse halva tonsteg och i 19-tonsskalan 19-tonssteg. Frekvenserna för de 7 grundtonerna i båda skalorna är fördefinierade och funktionen hanterar oktaver. I slutändan returnerar funktionen en frekvens.

Algorithm 1 Funktionen som användes för att beräkna frekvens på en not.

```
float table[7];
if (scale == 12)
    [ 110.00, 123.47, 130.81, 146.83, 164.81, 174.61, 196.00 ] @=> table;
else if (scale == 19)
    [ 110.00, 122.72, 132.01, 147.28, 164.31, 176.75, 197.19 ] @=> table;
fun float noteFreq(int note, int offset)
{
    note / 7 => int octave;
    note % 7 => int tone;
    return table[tone] * Math.pow(2, octave + offset/scale);
}
```

Kapitel 6

Undersökning

Utöver att skapa en instrumentprototyp ville vi även lyssna på hur 19-tonsskalan låter, och jämföra denna med 12-tonsskalan. Även andras åsikter är av intresse och ligger till grund för vår undersökning.

6.1 Metod

Arbetet med undersökningen gjordes i två faser. Först konstruerades ljudtester och sedan gjordes en enkät där olika personer fick lyssna på och bedöma ljudtesterna.

6.1.1 Teststycken genererade i Chuck

Främst ville vi testa det som ligger närmast kopplat till teorin, det vill säga intervall. De intervall som är av stort intresse rent teoretiskt är de intervall som påstås vara mest naturliga. Som tidigare nämndes i musikteorikapitlet 3.1 tycks dessa vara de intervall vars frekvensförhållande kan beskrivas med bråk av små heltal. Vi valde då att göra ljudtester på intervallen kvint, liten ters och stor ters. Anledningen till att vi valde just dessa är för att de tillhör de mest naturliga intervallen. Tre andra av de mest naturliga intervallen, kvart, stor sext och liten sext uteslöts då dessa kan ses som oktav minus kvint, liten ters respektive stor ters. Det innebär att dessa intervall i 12-tonsskalan respektive 19-tonsskalan har lika stor felmarginal från det rena intervallet (se tabell 3.3). Testfall gjordes både för 12-tonsskalans intervall, 19-tonsskalans intervall samt de rena intervallen.

Förutom dessa intervall ville vi jämföra de två vanligaste skalorna, durskalan och den rena mollskalan, samt de två vanligaste ackorden, durackordet och mollackordet. Även skalan med alla deltoner i respektive skala gjordes.

Dessutom gjorde vi ett musikstycke med melodi och ackompanjement. Stycket blev cirka 40 sekunder långt och är antagligen det mest intressanta av våra ljudtester då detta gav ett påtagligt exempel på hur musik i 19-tonsskalan kan låta.

Ljudtesterna gjordes i Chuck. Metoden för att spela upp tonerna anpassade till de två skalorna är densamma som i instrumentprototypen. På så sätt räckte det

med att definiera noterna en gång som enkelt kan översättas mellan 12- och 19-tonsskalan. I de fall där de rena intervallen spelades utgick vi från grundfrekvensen 440 Hz och multiplicerade gång på gång frekvensen med det för intervallet korrekta frekvensförhållandet. Till exempel multiplicerades frekvenserna med $3/2$ för kvinterna. Slutligen sparades ljudtesterna till ljudfiler av formatet .wav för att enkelt kunna spelas upp på andra datorer.

6.1.2 Genomförande av undersökningen

När alla ljudfiler var genererade utformade vi ett frågeformulär. Tanken var att låta några testpersoner lyssna på ljudfilerna och fråga vad de tyckte lät mest konsonant. I testfallen för intervall jämfördes 12-tonsskalan samt 19-tonsskalan med de rena intervallen. I dessa fall frågades testpersonerna hur konsonanta tonskalorna lät gentemot de rena intervallen samt hurvida de lät lika eller annorlunda. I de andra testfallen ställdes 12-tonsskalan direkt mot 19-tonsskalan, och testpersonerna fick då svara på vilken de tyckte lät mest konsonant. Vad som syftades med konsonant förklarades för alla testpersoner så att även de utan bakgrund inom musiken förstod sig på begreppet.

Undersökningen gjordes på 10 personer varav hälften var studerande på Kungliga Musikhögskolan i Stockholm.

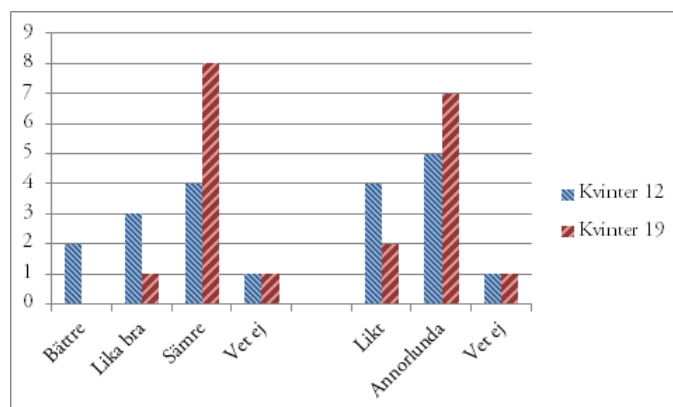
Kapitel 7

Resultat

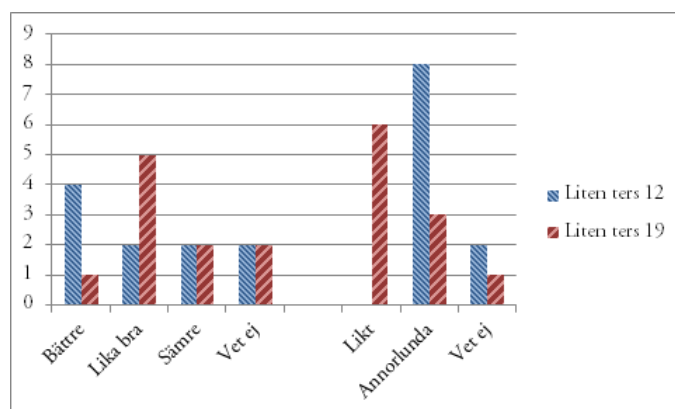
7.1 Analys av undersökningen

I testfallet med kvinter (se figur 7.1) ser man att en tydlig majoritet anser att 19-tonsskalans kvinter låter sämre än de rena kvinterna. 12-tonsskalans kvinter ser ut att stå sig väl mot de rena kvinterna. Detta stämmer väl överens med tabell 3.3, där man kan utläsa att 19-tonsskalan avviker med cirka 7 cent jämfört med 12-tonsskalans cirka 2 cent.

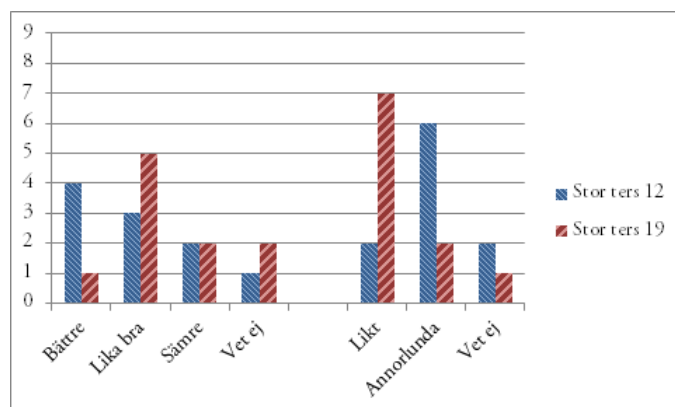
När det gäller liten ters (se figur 7.2) anser mer än hälften att 19-tonsskalan låter minst lika bra som en ren liten ters och att de två låter likadant. Det stämmer också bra överens med tabell 3.3 då avvikelsen endast är på 0,15 cent, troligtvis mindre än vad en människa klarar av att höra skillnad på. Dock ansåg hela fyra personer att 12-tonsskalans lilla ters låt bättre än den rena, trots att den avviker med hela 15,64 cent, samtidigt som de klart hörde skillnad. Detta beror troligtvis på en vana vid att höra 12-tonsmusik, men också för att man i 12-tonsskalan exakt når en oktav efter fyra små terser. Denna oktav var antagligen det som fick testpersonerna att



Figur 7.1. Resultatet för undersökningen på intervallet kvint.



Figur 7.2. Resultatet för undersökningen på intervallet liten ters.



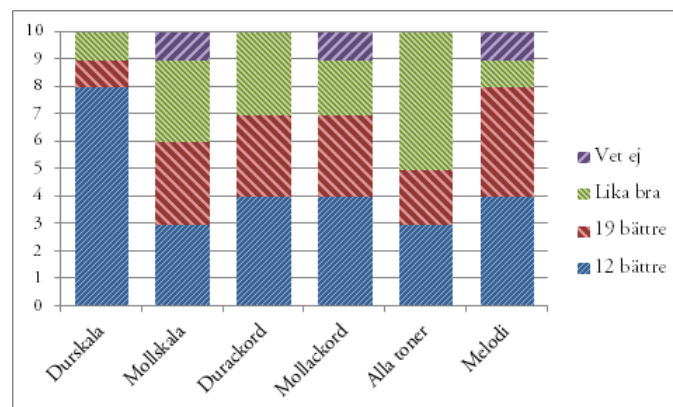
Figur 7.3. Resultatet för undersökningen på intervallet stor ters.

anse att det lät annorlunda, och möjligtvis också tycka att det lät bättre.

Resultaten kring stor ters (se figur 7.3) var nästan identiska med de för liten ters. Stor ters har i 12-tonsskalan samma egenskap som liten ters där den når en exakt oktav efter några steg, i det här fallet tre.

Durskalan anses av majoriteten låta bäst i 12-tonsskalan. Detta kan tänkas bero på att kvarten och kvinten är bättre i 12-tonsskalan och att dessa intervall i durskalan är de mest konsonanta. En annan möjlig faktor kan vara att man är van vid den vanliga durskalan i 12-tonsskalan.

Ren mollskala fick ett resultat med spridda åsikter. Att det gick bättre för 19-tonsskalan i det här testet kan bero på att den lilla tersen som ingår i denna skala är väldigt nära en ren liten ters, medan den i 12-tonsskalan nästan är 16 cent ifrån. De lilla terserna gör en tydligare skillnad än de stora terserna (som infinner sig i durskalan). Förvisso är situationen omvänd för sexten, men det är möjligt att tersen vägs tyngre i sammanhanget.



Figur 7.4. Resultatet för de olika fallen där 12-tonsskalan jämfördes direkt med 19-tonsskalan.

Dur- och mollackorden fick liknande resultat där fyra personer föredrog 12-tonsakorden, tre personer föredrog 19-tonsakorden och resten ansåg att de var likvärdiga eller visste inte. Med tanke på att ackorden är uppbyggda med en grundton, ters och kvint så är resultaten rimliga. I båda fallen har 12-tonsskalan övertaget i kvinten, medan 19-tonsskalan har en bättre ters. Mollackordet har en liten ters där 19-tonsskalans fördel är ganska stor. I durackordet är tersen stor och inte lika avsevärt mycket bättre i 19-tonsskalan jämfört med 12-tonsskalan.

Melodin ansåg de flesta lät bättre i en av de två tonskalorna, endast en person tyckte den lät lika bra i båda skalorna och en visste inte. Det var lika många som ansåg att melodin lät bättre i 12-tonsskalan som tyckte tvärtom. Med tanke på västvärldens vana vid 12-tonsskalan anser vi att det är ett ganska imponerande resultat. Detta kanske tyder på att folk inte skulle ha några direkta bekymmer med att övergå från att lyssna på 12-tonsmusik till 19-tonsmusik. Uppspelning av alla deltoner i respektive tonskala tyckte de flesta lät lika rent.

Kapitel 8

Slutsats

8.1 Reflektion över 19-tonsskalan

Av undersökningen att döma kan man rimligtvis påstå att 19-tonsskalan låter mer eller mindre lika bra som 12-tonsskalan. Då 19-tonsstegen är mindre än 12-tonsstegen kan generellt sett 19-tonsskalan oftare komma nära ett godtyckligt intervall än 12-tonsskalan kan. Men bland de allra mest betydande intervallen i musik mäter sig 12-tonsskalan jämnbra med 19-tonsskalan.

När dessa skalor i praktiken tycks vara jämbördiga så skulle en eventuell omstandardisering till 19-tonsskalan knappast vara värt det med tanke på hur omständligt det skulle vara att genomföra detta. Man skulle behöva tillverka nya 19-tonsvarianter av de flesta instrumenten. Instrumentalister skulle behöva lära sig att spela på dessa nya modeller. Vissa instrument, exempelvis gitarr, skulle antagligen bli för svårspelta om designen inte vore välgenomtänkt. Notsystemet skulle inte behöva gå igenom stora förändringar, men direktöversättning av noter skulle ofta leda till att vissa toner hamnar ett 19-tonssteg fel. Detta eftersom höjda och sänkta toner i 12-tonsskalan kan vara ekvivalenta, som $C\#$ och Db , medan de skiljer sig i 19-tonsskalans notation.

8.2 Hur väl fungerade ChuckK för våra ändamål?

ChuckK gjorde det väldigt enkelt att hantera ljud med programmering. Det gick relativt lätt att sätta sig in i språket och dokumentationen som fanns tillgänglig var tydlig. Det fanns också en gedigen samling exempelkod att tillgå. Dock fanns det inget stabilt utvecklargränssnitt, och vi fick erfara en del krascher och program som inte ville stängas ner. Att köra ChuckK genom terminalfönster var en mer stabil upplevelse.

Vår instrumentprototyp lider av att det ibland kan uppstå svaga och väldigt ljusa pipljud. Detta fel har vi inte hittat källan till, men vi misstänker att felet är på vår sida.

Kapitel 9

Ordlista

Dissonant - Motsatsen till konsonant.

Harmoniskt - Se konsonant.

Harmoni - Ljudet som uppstår när två eller fler toner som spelas samtidigt.

Intervall - Ett relativt förhållande mellan två toners frekvens.

Konsonant - Innebär att något är välljudande. Motsatsen till konsonant heter dissonant.

Oktavering - En oktavering är en transponering med en hel oktav uppåt eller neråt.

Transponering - Innebär att man flyttar alla toner i ett musikstycke uppåt eller neråt i tonhöjd.

Litteraturförteckning

- [1] Musical Acoustics An Introduction, Wadsworth Publishing Company, Donald E. Hall, 1980
- [2] The Chuck Manual 1.2.1.3, Ge Wang and Perry Cook, 2007
- [3] Journal. Acoustical Society of America, vol. 63, s. 456-468, Burns, E. M., and Ward, W. D., 1978
- [4] Journal of Music Theory, vol. 17, s. 274, Don Hall, 1973
- [5] American Journal of Physics, vol. 42, s. 543, 1974