

19-tons liksvävande temperatur

ANTON LINDSTRÖM



**KTH Datavetenskap
och kommunikation**

19-tons liksvävande temperatur

A N T O N L I N D S T R Ö M

DD143X, Examensarbete i datalogi om 15 högskolepoäng
vid Programmet för datateknik 300 högskolepoäng
Kungliga Tekniska Högskolan år 2012
Handledare på CSC var Anders Askenfelt
Examinator var Mårten Björkman

URL: [www.csc.kth.se/utbildning/kandidatexjobb/datateknik/2012/
lindstrom_anton_K12048.pdf](http://www.csc.kth.se/utbildning/kandidatexjobb/datateknik/2012/lindstrom_anton_K12048.pdf)

Kungliga tekniska högskolan
Skolan för datavetenskap och kommunikation

KTH CSC
100 44 Stockholm

URL: www.kth.se/csc

Abstract

This report describes the problem of constructing musical scales. Twelve-tone equal temperament has long been the standard in Western music. But why twelve tones? Quantitative studies have shown that 19, 34 and 53 tones are also useable.

The report also describes a study comparing tunings with 12 and 19 tones. Six subjects attended a test where they listened to chords and melodies from both of the tunings and then picked the tuning they preferred most.

A software synthesizer where also created to make the tunings available for comparison.

The study showed a strong correlation between preferred tuning and how the chords where played. It also showed that a majority of the subjects preferred nineteen tone tuned major chords but twelve tone tuned minor chords. However, a winner was not chosen since the result was equally distributed between the two tunings.

Sammanfattning

Denna rapport behandlar problemet med att konstruera musikaliska tonförråd. 12-tons liksvävande temperatur har under lång tid varit standard i västerländsk musik. Men varför just 12? Enligt kvantitativa studier lämpar sig även 19, 34 och 53 toner.

Rapporten behandlar en jämförelsestudie där stämningar med 12 och 19 toner jämfördes. I studien deltog sex försökspersoner som fick jämföra ackord och melodier från 12- och 19-tonstämning och välja de alternativ de föredrog.

För att studien skulle gå att genomföra skapades även en mjukvarusynt för att enkelt kunna jämföra de båda stämningarna.

Studien visade att resultatet påverkades starkt beroende på hur ackorden spelades upp och att majoriteten av försökspersonerna föredrog durackord från 19-tonstämningen och mollackord från 12-tonstämning. Dock kunde ingen vinnare utses eftersom resultatet för hela studien blev oavgjort.

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	4
2	Bakgrund.....	4
2.1	Musikaliska termer och begrepp.....	4
2.2	Harmonisk deltonserie, konsonans och dissonans.....	5
2.3	Ren stämning.....	5
2.4	Liksvävande temperatur	6
2.5	Chuck.....	8
3	Syfte och frågeställningar	8
3.1	Undersökning.....	8
3.2	Synten – ett verktyg för undersökningen	8
4	Metod.....	8
4.1	Undersökning.....	8
4.2	Synten	9
5	Resultat.....	11
5.1	Undersökning.....	11
5.2	Synten	13
6	Diskussion.....	14
7	Slutsats	15
8	Referenser	15
9	Bilagor.....	16
9.1	Källkod för synten.....	16
9.2	Arrangemang av melodi.....	19

1 Inledning

I västerländsk musik har man de senaste århundradena delat upp en oktav i 12 toner med jämt fördelade toner, s.k. 12-toners liksvävande temperatur. Men detta har inte alltid varit en självklarhet.

På senare tid har kvantitativa studier [1] [2] visat att en alternativ uppdelning med 19 jämt fördelade toner har bra och i vissa fall bättre egenskaper än 12. Men hur upplevs 19-toners liksvävande temperatur av personer som är uppväxta i en tradition med 12 toner? För att svara på detta behövs först ett instrument som är anpassat till 19-tonstämning. Med hjälp av programspråket Chuck kan en sådan konstrueras och sedan användas i en jämförelsestudie.

2 Bakgrund

2.1 Musikaliska termer och begrepp

TONNAMN

En durskala från tonen C innehåller tonerna C, D, E, F, G, A, B och C. På ett piano är detta de vita tangenterna. Om man höjer en ton ett halvt tonsteg (går en tangent åt höger) betecknar man detta genom att sätta ett korsförtecken efter tonnamnet, t.ex. om man höjer tonen C ett halvt tonsteg skriver C[#]. På samma sätt sätter man ett b-förtecken efter tonnamnet då man sänker tonen ett halvt tonsteg, t.ex. C^b.

INTERVALL

Ett intervall är avståndet mellan två toner. Intervallen som används i denna rapport är liten ters (C – E^b), stor ters (C – E), kvint (C – G), liten septima (C – B^b), stor septima (C – B) och oktav (C – C).

ACKORD

Alla samklanger som består av tre eller fler toner kallas för ackord [3]. I denna rapport används treklanger (tre toner) och fyrklanger (fyra toner), se tabell 1. Treklanger består vanligtvis av en grundton, en ters och en kvint. Ackordet C-dur består av tonerna grundtonen C, tersen E och kvinten G. Intervallet mellan grundtonen och tersen är i detta fall en stor ters och därför är ackordet ett durackord. Om tersen istället hade varit en liten ters (E^b) så hade det varit ett mollackord (C-moll). Dur- och mollackord är de vanligaste treklangerarna.

Tre olika fyrklanger används i rapporten. Om man utgår ifrån ett durackord och lägger till en stor septima kallar man det för ett maj7-ackord. Ett durackord och en liten septima ger ett dur7-ackord. Ett mollackord och en liten septima ger ett moll7-ackord.

Namn	Toner			
C-dur	C	E	G	
C-moll	C	E ^b	G	
C ^{maj7}	C	E	G	B
C ⁷	C	E	G	B ^b
C-moll ⁷	C	E ^b	G	B ^b

Tabell 1: De typer av ackord och vilka toner de är uppbyggda av. Detta är alla ackordstyper som används i rapporten.

CENT

Vid jämförelse av grundtonsfrekvenser för två toner används ofta den logaritmiska enheten *cent*. Givet två toner med grundtonsfrekvenserna f_1 och f_2 kan skillnaden n beräknas genom ekvation (1). 100 cent motsvarar storleken av en halvton från 12-tonstämning och 1200 cent en oktav.

$$n = 1200 \cdot \log_2 \left(\frac{f_1}{f_2} \right) \quad (1)$$

2.2 Harmonisk deltonserie, konsonans och dissonans

Toner från den mänskliga rösten och från de flesta musikinstrument består av flera deltoner från den harmoniska deltonserien. Det innebär att om den delton med lägst frekvens (kallat grundton) har frekvensen f , så har den första övertonen (den delton med näst lägst frekvens) frekvensen $2f$, den andra övertonen $3f$, den tredje $4f$ och så vidare. Intensiteten och frekvensen för deltonerna bestämmer tonens klangfärg och karaktär [4].

Om två toner sjungs med grundtonsfrekvenserna f_1 och f_2 så att $f_1 < f_2 < 2f_1$. Gäller enligt [5] följande:

1. Tonerna är konsonanta ifall de har samma gemensamma övertoner.
2. Graden av konsonans är omvänt proportionell mot avståndet (mätt i cent) mellan den lägsta övertonen och grundtonerna.

Konsonans uppfattas av många som behagligt och välljudande, medans motsatsen dissonans uppfattas som missljudande. [6]

2.3 Ren stämning

Ren stämning kallas de stämningar där förhållandet mellan grundtonsfrekvenserna hos två toner kan skrivas som ett bråk mellan små heltal. Pythagoréerna undersökte dessa intervall och hur man kunde bilda skalor av dem redan på 500-talet f.Kr. Långt senare visade Helmholtz att upplevelsen av konsonans och dissonans hos ljud starkt påverkas av huruvida dessa förhållanden används eller ej [1]. Tabell 2 visar hur deltonerna i den harmoniska deltonserien förhåller sig med varandra.

	Delton	$\frac{f_n}{f_{n-1}}$	Storlek i cent	Namn
f_0	Grundton	-	0	Prim
f_1	1:a överton	2	1200	Oktav
f_2	2:a överton	3/2	~ 702	Kvint
f_3	3:e överton	4/3	~ 498	Kvart
f_4	4:e överton	5/4	~ 386	Stor ters
f_5	5:e överton	6/5	~ 316	Liten ters

Tabell 2: Deltonerna ur den harmoniska deltonserien.

Under lång tid ansågs intervallen kvint och oktav vara de mest konsonanta. Därför var en vanlig metod för att skapa skalor att stapla kvinter på varandra och sedan flytta ned dem så att de hade en lämplig tonhöjd inom samma oktav. Om man utgår från tonen C och staplar 12 kvinter uppåt får man tonerna:

C G D A E B F[#] C[#] G[#] D[#] A[#] E[#] B[#]

Om man istället staplar kvinterna nedåt från samma ton får man tonerna:

C F B^b E^b A^b D^b G^b C^b F^b B^{bb} E^{bb} A^{bb} D^{bb}

Denna metod ger oändligt många toner eftersom oktaven aldrig sluts. Av praktiska skäl ville man att tonförrådet skulle vara begränsat. En lösning för detta var att bestämma att den sjätte uppåtgående kvinten (F[#]) och den sjätte nedåtgående kvinten (G^b) var samma ton. [2] Sedan flyttades tonerna genom att dubbla alternativt halvera frekvensen så att alla låg i samma oktavintervall. Då fick man följande skala:

C D^b D E^b E F F[#] G A^b A B^b B C

Problemet är att F[#] och G^b inte är samma ton. Ekvation (2) visar frekvensförhållandet mellan tonerna. Eftersom tonerna ligger i olika oktaver behöver tonen A^b flyttas upp sju oktaver. Det innebär att frekvensen dubblas sju gånger.

$$\frac{F^{\#}}{G^b} = \frac{\left(\frac{3}{2}\right)^6}{\left(\frac{2}{3}\right)^6 \cdot 2^7} = \frac{3^{12}}{2^{19}} \approx 1.01364 \quad (2)$$

Omvandlat i cent bli detta 23,4 cent, vilket är ungefär av en fjärdedels halvton¹. Denna skillnad kallas för Pythagoreiskt komma.

För att få slutning av oktaven, d.v.s. ett begränsat tonförråd, behövde detta fel fördelas på något sätt. I Pythagoreisk stämning låter man hela felet ligga på ett ställe genom att ha 11 rena kvinter och till sist en låg kvint ($702 - 23,4 = 678,6$ cent). Det har funnits många olika idéer på att lösa det här problemet och det finns många andra problem likt det Pythagoreiska kommat som uppstår. En lösning är att använda liksvävande temperatur. [2]

2.4 Liksvävande temperatur

I liksvävande temperatur har man fördelat det Pythagoreiska kommat jämt över alla kvinter. Man gör detta genom att dela upp oktaverna i ett antal lika stora toner. [5] Detta innebär att frekvensförhållandet för en ton n i en skala med liksvävande temperatur med k stycken toner per oktav, kan beskrivas med ekvation (3) [7].

$$G_k(n) = 2^{\frac{n}{k}} \quad (3)$$

Det finns flera anledningar till varför liksvävande temperatur är praktiskt. I [5] nämns följande:

¹ En halvton enligt 12-tonsstämningen.

² I MIDI representeras tonerna F[#] och G^b av samma värde.

1. Transponering utan omstämning möjliggörs – Tonerna i en komposition kan flyttas både upp och ned i tonförrådet utan att förhållandena mellan tonerna förändras. Detta är användbart för att t.ex. anpassa en komposition efter ett specifikt instrument.
2. Om k väljs med omsorg så finns goda approximationer för konsonanta intervall med.

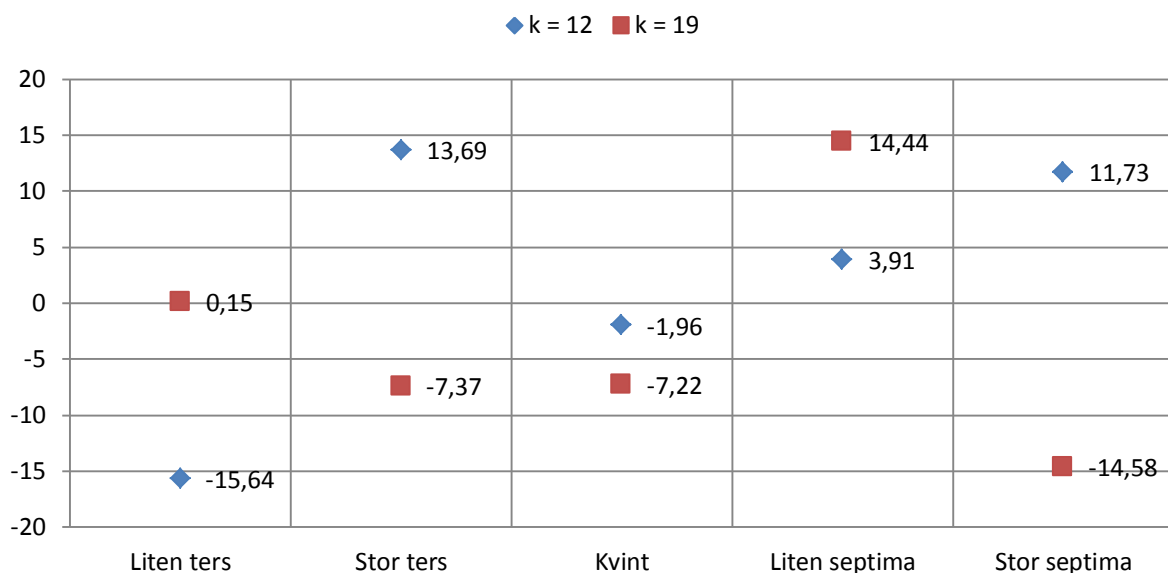
I västerländsk musik har liksvävande temperatur med $k = 12$, alltså 12-tonsvävande temperatur, använts de senaste århundradena. Krantz och Douthett har i [1] skapat en matematisk metod för att utvärdera olika värden för k . Detta görs genom att använda en "åtråvärdhetsfunktion" (4). I den är R_i ($i = 1..N$) de intervall som anses vara viktiga, och q_i (5) hur respektive intervall approximeras för givet k .

$$D(k, N) = 10 - 20 \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |k \cdot \log_2(R_i) - q_i| \quad (4)$$

$$q_i = \lfloor k \cdot \log_2(R_i) + 0.5 \rfloor \quad (5)$$

Deras resultat visar bl.a. att om man vill uppnå en bra approximation av intervallen liten ters, stor ters och kvint är lämpliga värden på k 12, 19, 34 och 53.

I denna rapport jämförs $k = 12$ och $k = 19$. Figur 1 visar hur stämningarna approximerar olika intervall från ren stämning. Intervallen liten septima och stor septima är satta till $16/9$ respektive $15/8$. Vi ser att vid $k = 19$ så approximeras terserna bättre (som i närmare den rena stämning) än vad de gör vid $k = 12$. Framförallt ligger den lilla tersen väldigt nära ren stämning. Dock är approximationerna för kvint och liten septima bättre vid $k = 12$.



Figur 1: Visar hur liksvävande temperatur för $k = 12$ och $k = 19$ approximerar olika intervall. Skalan på y-axeln är cent.

I rapporten kommer 12- och 19-tonstämning syfta på en stämning med liksvävande temperatur med $k = 12$ respektive $k = 19$.

2.5 Chuck

Chuck är ett relativt nytt programspråk för musikprogrammering utvecklat av Ge Wang och Perry R. Cook [8]. Chucks programmeringsmodell skiljer sig från andra språk på flera punkter. Det använder sig av s.k. *stark timing* vilket möjliggör för programmeraren att enkelt kontrollera när saker ska inträffa, något som utvecklarna menar är väldigt viktigt inom musikprogrammering. Språket har också stöd för parallellbearbetning med hjälp av s.k. *shreds*.

Chuck har ett antal inbyggda tongeneratorer för att framställa ljud och också inbyggt stöd för MIDI.

3 Syfte och frågeställningar

3.1 Undersökning

Undersökningens syfte var att se om personer vana vid 12-tonstämning föredrar ackord och melodier från 12- eller från 19-tonstämning.

3.2 Synten – ett verktyg för undersökningen

Syftet med synten var att använda den i undersökningen och därför ställdes följande krav på den:

19- och 12-tonstämning – Eftersom undersökningen skulle jämföra två olika stämningssystem behövde synten kunna växla mellan 12- och 19-tonstämning.

Polyfoni – I undersökningen skulle ett enklare arrangemang spelas upp med som mest 5 toner samtidigt. Därför behövde synten kunna spela upp minst 5 toner simultant.

MIDI-gränssnitt – Synten behövde kontrolleras på något sätt. Att använda MIDI-protokollet till detta var en självklarhet eftersom det fanns många andra program som gick att använda som styrprogram för synten.

4 Metod

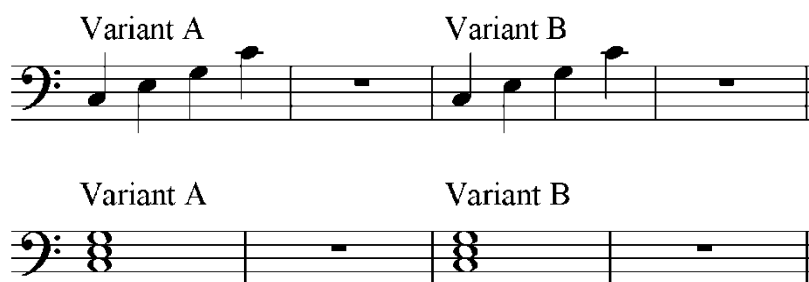
4.1 Undersökning

Försökspersoner: Totalt var sex personer med i undersökningen. Samtliga försökspersoner var musikaliskt aktiva genom t.ex. musikstudier, körsång och ensemblespel och har varit det i flera år.

Utrustning: Testen skapades och spelades upp med MIDI-sequencern Rosegarden som genom MIDI kontrollerade synten. Rosegarden och synten kördes på en Lenovo Thinkpad X61s med Linux. Ljudet från synten spelades upp i ett par Sennheiser hörlurar av modellen HD595.

Undersökningen bestod av fyra delar: molltreklanger, durtreklanger, fyrklanger och en melodidel.

I den första delen fick försökspersonen lyssna på olika durackord. Först spelades ett ackord upp i från den ena stämningen, sedan följde en paus, sedan samma ackord fast ifrån den andra stämningen och till sist en paus. Sedan fick försökspersonen välja vilken ackordvariant hon föredrog. Möjlighet till omlýsning gavs ej. Sex stycken durackord jämfördes. De tre första jämfördes i brutet läge, det vill säga att varje ackordston spelades en i taget. Tonerna varade då 1,2 sekunder vardera och pauserna 4,8 sekunder. De tre andra jämfördes i simultant läge, det vill säga att alla ackordstoner spelades samtidigt. Då spelades ackorden i 4,8 sekunder och följdes av en lika lång paus. I figur 2 visas hur de båda lägena spelades i notskrift.



Figur 2: Den övre notationen visar hur de brutna ackorden spelades: grundton, ters, kvint och oktav. Den undre notationen visar hur ackorden spelades simultant: grundton, ters och kvint.

Ett ackord (A-dur) fanns med både som brutet och simultant för att se om det skulle ge någon skillnad på resultatet. De durackord som jämfördes var i brutet läge C-dur, A-dur och B-dur, och i simultant läge Ab-dur, A-dur och Eb-dur. Vilken av stämningarna som spelades först varierade.

Den andra delen gick till på samma sätt som den första fast med mollackord. Även här jämfördes sex ackord. Brutna: A-moll, G-moll och C-moll. Simultana: E-moll, Bb-moll och Ab-moll.

I den tredje delen jämfördes fyrklanger. Alla ackord spelades i simultant läge. I övrigt gick testet till som de två tidigare. Ackorden som spelades var D^{maj7} , C^{maj7} , $F^{#7}$, $G-moll^7$ och $F-moll^7$.

I sista delen jämfördes de fyra första takterna av ett arrangemang på låten *Ekorrn satt i granen* av Alice Tegnér. Arrangemanget finns som en bilaga till denna rapport och bestod av melodi, ackord och en basstämma. Först spelades varianten med 12-tonstämning och sedan efter två taktens paus följde varianten med 19-tonstämning. Försökspersonen erbjöds att lyssna på versionerna flera gånger och slutligen ange vilken version som hon föredrog.

Låtvalet motiverades med att melodin var relativt enkel men innehåller intressanta intervall. Harmoniken var också lämplig eftersom den innehåller de grundläggande ackordsfunktionerna men också en *mellandominant*, vilket betyder ett ackord som innehåller en ton som inte finns med i den durskala som låten annars är uppbyggd av.

4.2 Synten

Undersökningen kunde underlättas ifall samma MIDI-data kunde användas till både 12- och 19-tonstämning. Detta hade ej varit ett problem om MIDI-protokollet hade tagit hänsyn till om en ton är sänkt eller höjd². Lösningen blev att 12 toner från 19-tonstämningen valdes ut för att skapa en översättningstabell. I pianotermer kan man se detta som att välja ut toner från 19-tonstämningen till ett piano med 12 tangenter.

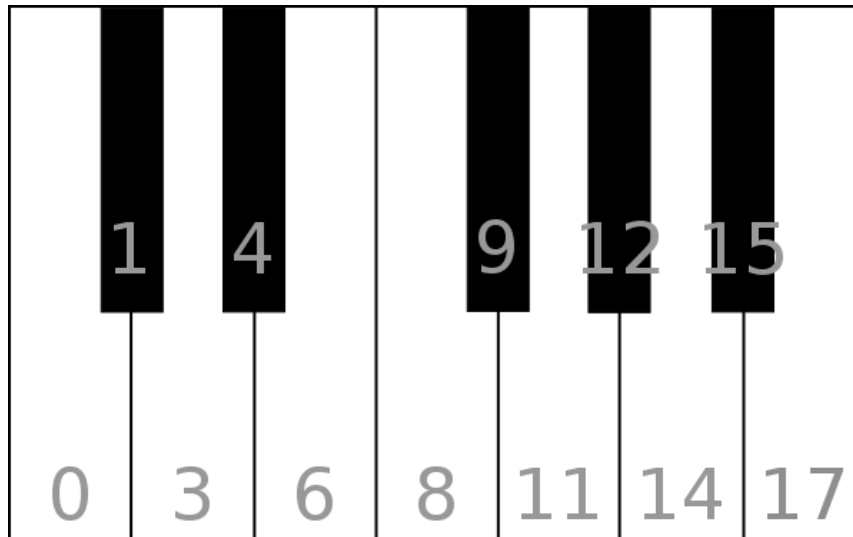
Ett naturligt val var att låta en vanlig durskala ligga till grund för översättningen. I C-dur betyder detta alla vita tangenter. De toner som låg frekvensmässigt närmast 12-tonstämningens durskala valdes.

De återstående fem tonerna (de svarta tangenterna om man utgår ifrån C-dur) hade på samma sätt kunnat väljas genom att plocka de toner som frekvensmässigt låg närmast. Men eftersom den sista delen i undersökningen innehöll en låt där en mellandominant förekom valdes de fem sista tonerna ut som om de skulle vara tersen i ett durackord. Den svarta tangenten C# valdes genom att utgå från

² I MIDI representeras tonerna $F^{\#}$ och G^b av samma värde.

tonen A och sedan välja tonen en stor ters upp. Ekvation (6) visar hur C# beräknades. De övriga 4 tangenterna beräknades på samma sätt. I vissa fall behöver resultatet divideras med 2 för att hamna i rätt oktav. Figur 3 visar de slutgiltiga tonerna.

$$2^{\frac{14}{19}} \cdot 2^{\frac{6}{19}} \cdot \frac{1}{2} = 2^{\frac{1}{19}} \Rightarrow C^{\#} = 1 \quad (6)$$



Figur 3: Figuren visar översättningstabellen som tangenterna på ett piano. Siffrorna på de 12 tangenterna visar vilka toner från 19-tonstämning som valdes ut.

I 12-tonstämning utgår man ofta ifrån att tonen A ska vara stämd till 440 Hz. En möjlighet var att göra på samma sätt och sätta A i 19-tonstämningen till 440 Hz. Detta innebär dock att om man ville jämföra ackordet C-dur från 12- och 19-tonstämning så skulle ackorden få olika grundton. Skillnaden visas i ekvation (7).

$$\frac{440 \text{ Hz} \cdot 2^{\frac{4}{12}}}{440 \text{ Hz} \cdot 2^{\frac{6}{19}}} \approx \frac{554,37 \text{ Hz}}{547,66 \text{ Hz}} \quad (7)$$

Denna skillnad översatt i cent är drygt 21 cent. Eftersom undersökningen syftar till att jämföra själva klangerna så ansågs det viktigt att ha samma grundton för båda. Detta löstes genom att ha en parameter som kontrollerade syntens *referenston*.

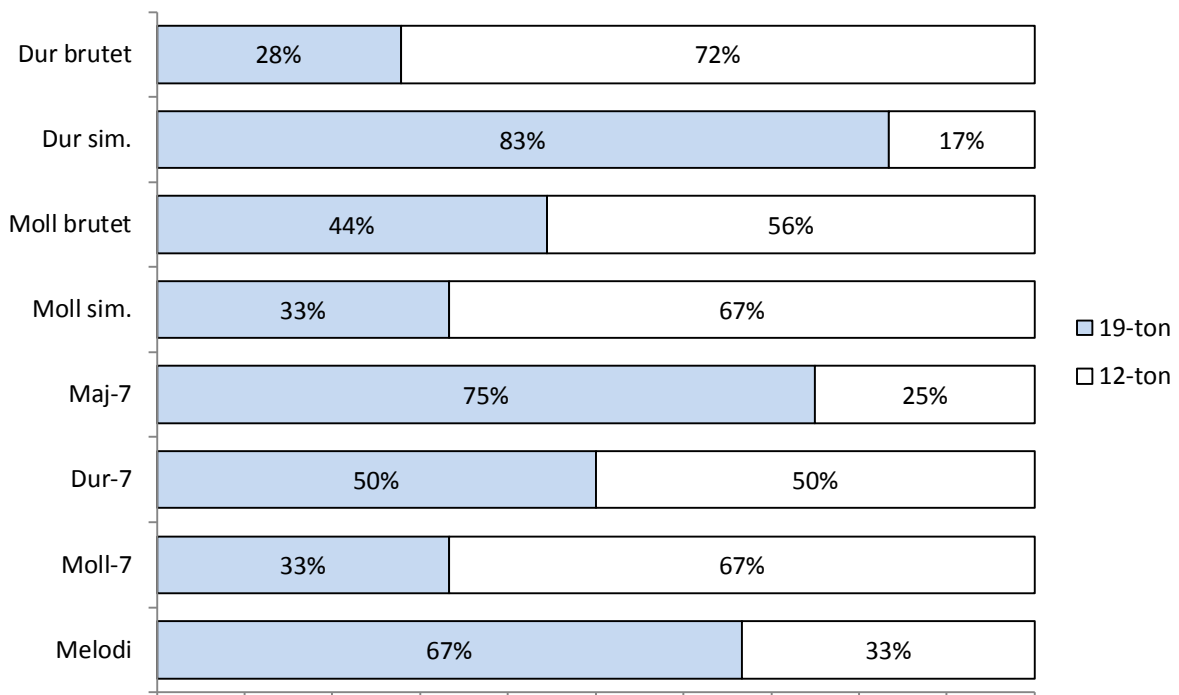
5 Resultat

5.1 Undersökning

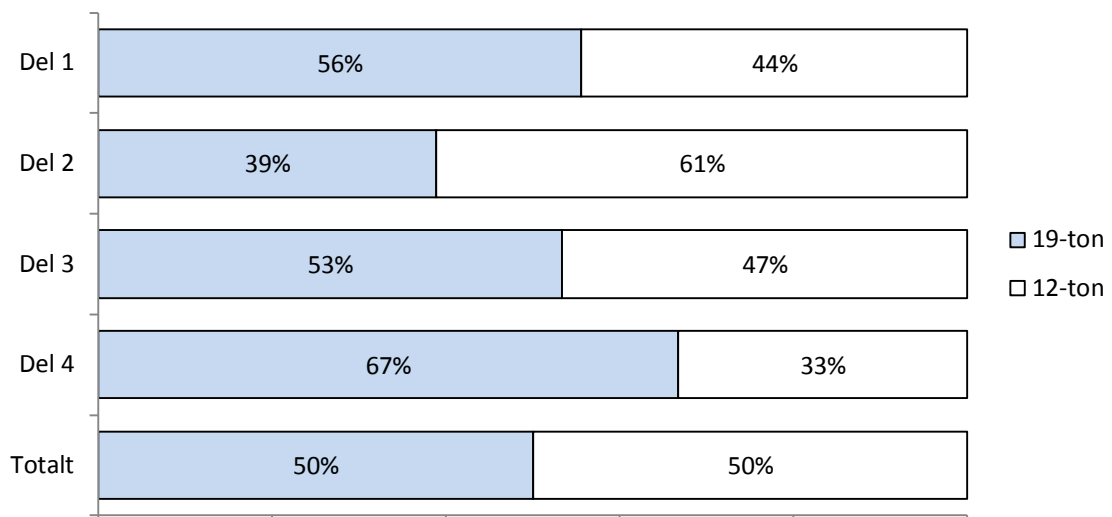
Tabell 3 visar vad varje försöksperson (p1 – p6) föredrog vid varje del i testet. Talet 12 representerar att försökspersonen föredrog 12-tonsvarianten och 19 representerar att försökspersonen föredrog 19-tonsvarianten. I figur 4 visas en sammanställning av svaren grupperat efter de olika ackordtyperna och efter hur ackorden spelades. Figur 5 visar en sammanställning grupperat efter de olika delarna samt en total summering för hela testet.

	Del	p1	p2	p3	p4	p5	p6
Dur brutet	1.1	19	12	19	12	12	12
	1.2*	12	12	19	19	12	12
	1.3	19	12	12	12	12	12
Dur sim.	1.4	19	19	19	19	19	19
	1.5*	19	19	19	19	19	12
	1.6	19	12	19	19	19	12
Moll brutet	2.1	12	19	19	12	19	12
	2.2	12	19	12	12	12	19
	2.3	12	19	19	19	12	12
Moll sim.	2.4	12	19	12	19	12	12
	2.5	19	19	12	12	12	12
	2.6	12	12	12	12	19	19
Maj7	3.1	12	19	19	19	19	12
	3.2	19	19	19	19	19	12
Dur7	3.3	19	12	19	12	19	12
Moll7	3.4	12	12	12	12	19	19
	3.5	12	12	12	12	19	19
Mel.	4	19	19	19	12	19	12
		50%	56%	61%	44%	61%	28%

Tabell 3: Försökspersonernas svar. Stjärnorna påminner om att delarna jämförde samma ackord A-dur.



Figur 4: Sammanställning av försökspersonernas svar grupperat efter olika ackordstyper.



Figur 5: Sammanställning av försökspersonernas svar grupperat efter de olika delarna.

5.2 Synten

Synten fick 13 olika lägen. Läge 0 till 11 bestämde vilken ton från 12-tonstämning som skulle användas som referenston för 19-tonstämningen. Läge 0 var C, läge 1 var C[#] osv. Läge 12 innebar att synten skulle använda 12-tonstämning. Läget kontrollerades med hjälp av MIDI.

Den viktigaste komponenten i synten var den funktion som beräknade vilken frekvens som motsvarades av MIDI-talet (tonhöjden som ett tal mellan 0 och 127) som kom som indata. Den beskrivs i noggrannhet i pseudokod nedan. Synten implementerades i programspråket Chuck och källkoden till den finns som en bilaga till denna rapport.

Psuedokod:

frekvens(m, r):

Om $0 \leq r \leq 11$:

$x \leftarrow m - r$
 $n \leftarrow \text{map}[x \bmod 12]$
 $\omega \leftarrow x \div 12$

$G \leftarrow 2^{\omega + \frac{n}{19}}$

$f_r \leftarrow 440 \cdot 2^{\frac{r-69}{12}}$

$f \leftarrow f_r \cdot G$

Annars:

$f \leftarrow 440 \cdot 2^{\frac{t-69}{19}}$

Retunera f

Kommentar:

Där m är MIDI-talet (0 – 127) och r är referenstonen (0 – 12).

Använd 19-tonstämning:

Subtrahera referenstonen så att x kan användas för att välja ton från 19-tonskalan med hjälp av översättningstabellen (figur 3) samt beräkna vilken oktav ω tonen ska befinna sig i. (\div = heltalsdivision)

Beräkna frekvensförhållandet för tonen från 19-tonstämningen.

Beräkna referenstonsfrekvensen. 69 subtraheras eftersom det är MIDI-talet för frekvensen 440 Hz.

Beräkna den slutgiltiga frekvensen genom att multiplicera referenstonsfrekvensen med frekvensförhållandet.

Använd 12-tonstämning:

69 subtraheras eftersom det är MIDI-talet för frekvensen 440 Hz.

Returnerar beräknad frekvens.

6 Diskussion

Innan undersökningen fanns två olika hypoteser. Den första var att försökspersonerna skulle föredra 12-tonstämning eftersom det är den stämningen som alla försökspersonerna var vana att höra och använda. Den andra hypotesen var att 19-tonstämningen skulle föredras eftersom dess terser ligger närmare rena terser som enligt teorier om konsonans och dissonans [5] ska uppfattas som mer konsonanta. Undersökningen gav några intressanta resultat.

I den första delen såg man att beroende på om ett durackord spelas brutet eller simultant påverkar resultatet starkt. När ackorden spelades simultant så föredrogs 19-tonstämningen 83 % av fallen. När ackorden spelades i brutet läge var det bara 28 %. När ackordet A-dur spelades brutet (del 1.2) var det 33 % som föredrog 19-tonstämning och när det spelades simultant (i del 1.5) var det 83 %.

I fallet med maj7 (del 3.1–3.2) som också spelades simultant, var det en stor majoritet (75 %) som föredrog 19-tonstämning. För ackordet dur7 (del 3.3) var det hälften som föredrog 19-tonstämning.

I delarna med ackorden moll (del 2) och moll-7 (del 3.4–3.5) föredrog 12-tonstämning i båda fallen, oavsett om ackorden spelades simultant eller i brutet läge.

I den sista delen med melodin föredrogs 19-tonstämning av 67 %.

Den stora skillnaden mellan om durackord spelas brutet eller simultant är helt klart intressant. En anledning till detta skulle kunna vara att man lättare hör att svängningarna för 19-tonstämningen går långsammare än för 12-tonstämning när ackordet spelas simultant och därför uppfattar det som mer "rätt".

Det förklarar dock inte varför det var få som föredrog 19-tonsvarianten av durackord i brutet läge (t.o.m. samma durackord i ett fall). En av försökspersonerna kommenterade att syntens ljud (en enkel sinuston) kändes ovant att lyssna på och att de tonerna hon förväntade sig efter att ha hört grundtonen inte alltid stämde med någon av varianterna. En annan teori kan vara att man lyssnar på brutna ackord mer som en melodi och då lyssnar på ett annat sätt.

Att mollackorden inte skilde sig på samma sätt som durackorden är en annan iakttagelse. Eftersom den lilla tersen i 19-tonstämningen nästan exakt överensstämmer med en ren liten ters förväntades resultatet att likna det i durackord-fallet. Nämligen att ackordet från 19-tonstämningen skulle uppfattas som renare, åtminstone när det spelades simultant. Men tvärtom så var det färre som föredrog 19-tonsvarianten när de spelades simultant (del 2.4–2.6, 3.4–3.5).

I melodidelen var det igen fler som föredrog 19-tonsvarianten. Detta kan bero på att den enbart innehåller durackord, men det kan också bero på frågeställningen "Vilken variant föredrar du?". En av försökspersonerna kommenterade att hon föredrog 19-tonsvarianten för att det lät mer *intressant* än 12-tonsvarianten. Det kan alltså varit så att fler föredrog 19-tonsvarianten var för att den lät mer exotisk och spännande.

Eftersom antalet försökspersoner i studien är lågt (6) är resultaten inte särskilt tillförlitliga. För att få ett mer statistiskt säkerställt resultat hade studien kunnat göras på ett större antal försökspersoner samt innehållit fler återkommande moment. Fler melodijämförelser, med flera sorters ackord hade även varit intressant. Detta ligger dessvärre utanför omfattningen av denna rapport.

7 Slutsats

Resultatet av undersökningen visar på att:

1. Sättet som durackord spelas upp (brutet läge eller simultant) påverkar tydligt om en individ föredrar 12- eller 19-tonstämning.
2. När ackord spelas simultant så föredrar majoriteten 19-tonstämning vid durackord (dur, maj7, dur7) och 12-tonstämning vid mollackord (moll, moll7).
3. Det finns ingen tydlig vinnare mellan 12- och 19-tonstämning om man ser till samtliga undersökta moment.

8 Referenser

- [1] R. J. Krantz och J. Douthett, "A measure of the reasonableness of equal-tempered musical scales," *Acoustical Society of America*, 1994.
- [2] D. E. Hall, "Quantitative Evaluation of Musical Scale Tunings," *AJP*, vol. 42, 1973.
- [3] F. H. Törnblom, *Bonniers musiklexikon*, Stockholm: Bonnier, 1988.
- [4] "Delton," *Nationalencyklopedin*, <http://www.ne.se/delton>. [Använd 10-04-2012].
- [5] G. S. M. Yunik, "Tempered Music Scales for Sound Synthesis," *Computer Music Journal*, vol. 4, nr 4, pp. 60-65.
- [6] *Nationalencyklopedin*, "Konsonans," <http://www.ne.se/lang/konsonans>. [Använd 12-04-2012].
- [7] G. C. Hartmann, "A numerical exercise in musical scales," *American Journal of Physics*, vol. 55, nr 3, pp. 223-226, 1987.
- [8] G. Wang och P. R. Cook, "Chuck: A Programming Language for On-the-fly, Real-time Audio Synthesis and Multimedia," i *Proceedings of ACM Multimedia*, 2004.
- [9] S. Bucht och H. Erkki, "Perceived consonance of harmonic intervals in 19-tone equal temperament," i *Proceedings of the Conference on Interdisciplinary Musicology*, 2004.

9 Bilagor

9.1 Källkod för synten

```
1 //
2 // Ljudinställningar
3 //
4 0.3    => float outputGain;
5
6 10::ms => dur attackTime;
7 5::ms  => dur decayTime;
8 0.5    => float sustainRate;
9 20::ms => dur releaseTime;
10
11 20     => int numberOfVoices;
12 0      => int ref;
13
14 // Tonmappning
15 [0,1,3,4,6,8,9,11,12,14,15,17] @=> int map[];
16
17 ["C","C#","D","D#","E","F","F#","G","G#","A","A#","B"] @=> string names[];
18
19 // MIDI-kommandon
20 144 => int NOTE_ON;
21 128 => int NOTE_OFF;
22 192 => int PROGRAM_CHANGE;
23
24 // Output patch
25 Gain output => dac;
26 outputGain => output.gain;
27
28 // Events
29 class NoteEvent extends Event {
30     int note;
31     float velocity;
32 }
33
34
35 NoteEvent noteOnEvent;
36 Event @ noteOffEvents[128];
37
38 //
39 // Hantering av MIDI-indata
40 //
41 fun void midiHandler() {
42     MidiIn midi_input;
43
44     if (!midi_input.open(0)) {
45         me.exit();
46     } else {
47         <<<
48             "Opened MIDI device",
49             midi_input.num(),
50             "(", midi_input.name(), ")"
51         >>>;
52     }
53
54     MidiMsg midi_msg;
55
56
57     while (true) {
58         midi_input => now;
59
60         while (midi_input.recv(midi_msg)) {
61             midi_msg.data1 => int action;
```

```

62         midi_msg.data2 => int note;
63         midi_msg.data3 => int velocity;
64
65         if (action == PROGRAM_CHANGE) {
66             note => ref;
67
68             if (key < 12) {
69                 <<< "Using 19TET with reference tone ", names[ref] >>>;
70             } else {
71                 <<< "Using 12TET" >>>;
72             }
73
74         } else if (action == NOTE_ON) {
75
76             note => noteOnEvent.note;
77             velocity / 128.0 => noteOnEvent.velocity;
78             noteOnEvent.signal();
79             me.yield();
80
81         } else if (action == NOTE_OFF) {
82
83             if (noteOffEvents[note] != null) {
84                 noteOffEvents[note].broadcast();
85             }
86         }
87     }
88 }
89 }
90
91 //
92 // Beräknar frekvensen för en ton
93 //
94 fun float freq(int note) {
95     if (ref >= 12) {
96         return Std.mtof(note);
97     } else {
98         note - ref => note;
99         note / 12 => int octave;
100        map[note % 12] => int n;
101
102        return Std.mtof(ref) * Math.pow(2, octave + n/19.0);
103    }
104 }
105
106 //
107 // Hanterar en röst
108 //
109 //
110 fun void voice() {
111     SinOsc voc => ADSR e;
112
113     Event noteOffEvent;
114     int note;
115
116     while (true) {
117         // Vänta på att ett noteOnEvent ska komma:
118         noteOnEvent => now;
119         noteOnEvent.note => note;
120         noteOnEvent.velocity => voc.gain;
121
122         // Uppdatera inställningarna för filtret
123         e.set(attackTime,decayTime,sustainRate,releaseTime);
124
125         // Beräkna frekvensen för tonen:
126         freq(note) => voc.freq;
127

```

```

128 // Koppla till output
129 e => output;
130
131 e.keyOn();
132
133 if (noteOffEvents[note] == null) {
134     noteOffEvent @=> noteOffEvents[note];
135     noteOffEvent => now;
136     null @=> noteOffEvents[note];
137 } else {
138     noteOffEvents[note] => now;
139 }
140
141 e.keyOff();
142
143 // Vänta till att tonen har ringt klart
144 releaseTime => now;
145
146 // Koppla bort ifrån output
147 e =< output;
148 }
149 }
150
151
152 // Skapar sproks för polyfoni
153 for (0 => int i; i < numberOfVoices; i++) {
154     spork ~ voice();
155 }
156
157 // Kör igång MIDI-hantering
158 midiHandler();
159

```

9.2 Arrangemang av melodi

Ekorn satt i granen

Alice Tegnér
Arr: Anton Lindström

The musical score is written in 4/4 time. It consists of three staves: Melodi (treble clef), Ackord (bass clef), and Bas (bass clef). The melody starts with a triplet of eighth notes (G4, A4, B4) followed by a quarter note (C5), then a quarter note (B4), a quarter note (A4), and a quarter note (G4). The next measure contains a quarter note (F4), a quarter note (E4), a quarter note (D4), and a quarter note (C4). The third measure has a quarter note (B3), a quarter note (A3), a quarter note (G3), and a quarter note (F3). The fourth measure contains a quarter note (E3), a quarter note (D3), a quarter note (C3), and a quarter note (B2). The fifth measure has a quarter note (A2), a quarter note (G2), a quarter note (F2), and a quarter note (E2). The sixth measure contains a quarter note (D2), a quarter note (C2), a quarter note (B1), and a quarter note (A1). The seventh measure has a quarter note (G1), a quarter note (F1), a quarter note (E1), and a quarter note (D1). The eighth measure contains a quarter note (C1), a quarter note (B0), a quarter note (A0), and a quarter note (G0). The chord progression in the Ackord staff is C, F, C, D, G, D, G. The bass line in the Bas staff follows the same sequence of notes as the melody, starting on G4 and descending to G0.

