

19-tons liksvävande temperatur

En studie och implementation av en alternativ oktavuppdelning

Anton Lindström

Sandviksvägen 268
16570 Hässelby

+46768140316
antlinds@kth.se

DD143X

Examensarbete inom datalogi, grundnivå

Skolan för datavetenskap och kommunikation, KTH
Handledare: Anders Askenfelt

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? Theoretical studies have shown that 19, 34 and 53 tones are also useable.

The report 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 was also created to make the tunings available for comparison.

The study showed a strong correlation between preferred tuning and how the chords were 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 teoretiska studier lämpar sig även 19, 34 och 53 toner.

Rapporten behandlar en jämförelsestudie där stämningar med 12 och 19 toner jämförs. I studien deltog sex försökspersoner som fick lyssna till ackord och melodier från 12- och 19-tonstämning och välja den variant de föredrog.

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

Studien visar att resultatet starkt påverkas av hur ackorden spelades upp och att majoriteten av försökspersonerna föredrar durackord från 19-tonstämningen och mollockord från 12-tonstämning. Om man ser till alla undersökta moment kan ingen klar favorit utses.

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	4
1.1	Syfte och frågeställning	4
2	Bakomliggande teori	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	7
2.5	Chuck.....	8
3	Metodbeskrivning	8
4	Implementation av synten.....	10
5	Resultat.....	13
6	Diskussion	15
7	Slutsats	16
8	Referenser	16
9	Bilagor.....	17
9.1	Källkod för synten.....	17
9.2	Arrangemang av melodi.....	20

1 Inledning

Västerländsk musik har de senaste århundradena delat upp en oktav i 12 toner med jämt fördelade toner, så kallad 12-toners liksvävande temperatur. Men detta har inte alltid varit självklart. Genom historien har flera olika fördelningar använts.

På senare tid har teoretiska studier [1] [2] visat att en alternativ uppdelning med 19 jämnt 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 anpassat för 19-tonstämning. Med hjälp av programspråket Chuck kan en sådan implementeras för att sedan användas i en studie med lyssnartester.

1.1 Syfte och frågeställning

Studien syftar till att undersöka om personer vana vid 12-tonsstämning istället föredrar ackord och melodier från 19-tonstämningen.

2 Bakomliggande teori

För att ge en förståelse för ämnet utreds viktiga begrepp och teorier i följande kapitel.

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 en ton höjs ett halvt tonsteg, en tangent åt höger, betecknas detta genom att sätta ett korsförtecken efter tonnamnet. Höjs till exempel tonen C ett halvt tonsteg skrivs detta som C[#]. På samma sätt skrivs ett b-förtecken efter tonnamnet då tonen sänks ett halvt tonsteg, till exempel 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 en durtreklang. Om tersen istället hade varit en liten ters (E^b) så hade det varit en molltreklang (C-moll). Dur- och molltreklanger är de vanligaste treklangerna.

Tre olika fyrklanger används i rapporten. Om en stor septima läggs till en durtreklang erhålls fyrklängen maj⁷. En durtreklang och en liten septima ger ett dur⁷-ackord. En molltreklang 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 d beräknas genom ekvation (1). 100 cent motsvarar storleken av en halvton från 12-tonstämning medan 1200 cent motsvarar en oktav.

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

2.2 Harmonisk deltonserie, konsonans och dissonans

Toner från den mänskliga rösten och musikinstrument som alstrar toner med tydlig tonhöjd består av flera deltoner från den harmoniska deltonserien. Det innebär att om den delton med lägst frekvens, *grundtonen*, har frekvensen f så har den första övertonen, deltonen med näst lägst frekvens, frekvensen $2f$. Den andra övertonen har frekvensen $3f$, 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. Intervallet är konsonant om det har gemensamma övertoner.
2. Graden av konsonans är omvänt proportionell mot avståndet, i cent, mellan det lägsta gemensamma övertonsparet och grundtonernas geometriska medelvärde.

Konsonans uppfattas som behagligt och välljudande, medan 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 redan på 500-talet f.Kr. dessa intervall och hur skalor kunde bildas av dem. Långt senare visade Helmholtz att upplevelsen av konsonans och dissonans hos ljud starkt påverkas av hur dessa förhållanden används eller ej [1]. Tabell 2 visar hur de sex första deltonerna ur den harmoniska deltonserien förhåller sig mellan varandra.

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

Tabell 2: Tabellen visar de sex första deltonerna ur den harmoniska deltonserien. Kolumnen storlek i cent och namn avser intervallet mellan deltonen och deltonen innan.

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. Med utgångspunkt från tonen C kunde 12 kvinter staplas uppåt vilket gav tonerna:

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

Om kvinterna istället staplades nedåt från samma ton gavs 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 gav oändligt många toner eftersom oktaven aldrig sluts. Av praktiska skäl önskades 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. Detta gav 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 G^b flyttas upp sju oktaver. Det innebär att frekvensen dubblas sju gånger.

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

I cent motsvarar detta 23,4 cent, vilket ungefär är av en fjärdedels halvton¹. Denna skillnad kallas för pytagoreiskt komma.

För att få slutning av oktaven, det vill säga ett begränsat tonförråd, behövde detta fel fördelas på något sätt. I pytagoreisk stämning placerades hela felet 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 och lösningar på detta problem, men det uppstår många nya liknande problem vid försök att dela upp oktaven på olika sätt. En lösning är att använda liksvävande temperatur [2].

2.4 Liksvävande temperatur

I liksvävande temperatur har det pytagoreiska kommat fördelats jämt över alla kvinter. Detta görs genom att dela upp oktaven i ett antal lika stora intervall [5]. Då beskrivs frekvensförhållandet för tonen n i en skala med k stycken toner per oktav 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. Transponering utan omstämning möjliggörs. Det innebär att tonerna i en komposition kan flyttas både upp och ned i tonförrådet utan att förhållandena mellan tonerna förändras. Detta är användbart för att till exempel anpassa en komposition efter ett specifikt instrument.
2. Om k väljs med omsorg finns goda approximationer för konsonanta intervall med i tonförrådet.

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

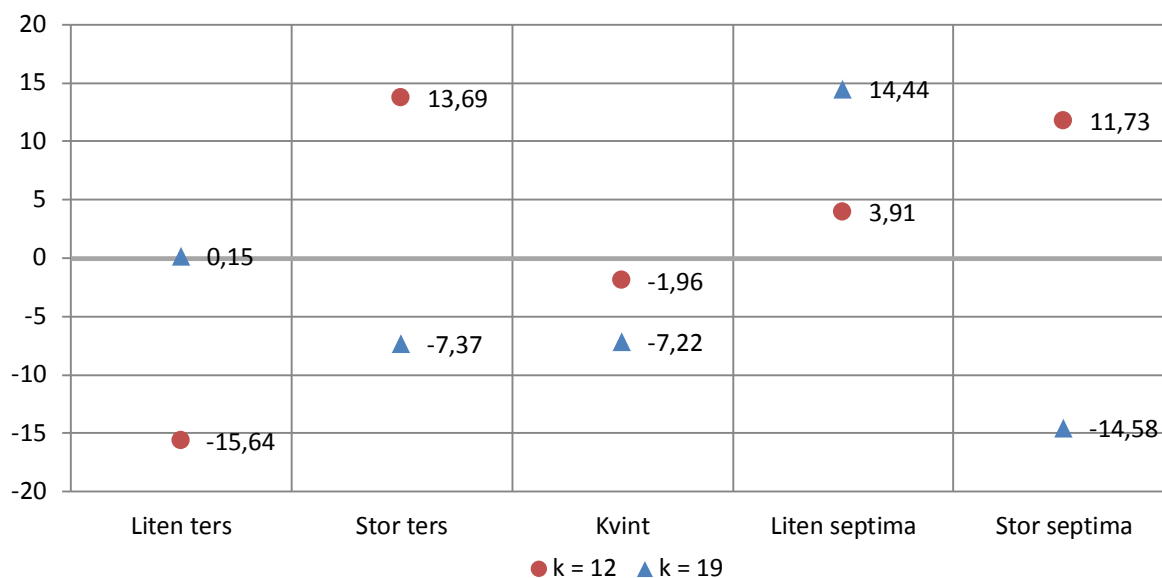
$$D(k, N) = 10 - 20 \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |k \cdot \log_2(R_i) - q_i| \quad (4)$$

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

Deras resultat visade bland annat att om bra approximationer för intervallen liten ters, stor ters och kvint eftersträvades så var lämpliga värden $k = 12$, $k = 19$, $k = 34$ och $k = 53$.

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 från ren stämning är satta till $16/9$ respektive $15/8$. Vi ser att vid $k = 19$ approximeras terserna bättre, som i närmare rena stämning, än vad de gör vid $k = 12$. Framförallt ligger den lilla tersen väldigt nära ren stämning. Däremot är approximationerna för kvint och liten septima bättre vid $k = 12$.

¹ En halvton enligt 12-tonsstämningen.



Figur 1: Figuren visar hur liksvävande temperatur för $k = 12$ och $k = 19$ approximerar olika intervall. Y-axeln visar avståndet i cent mellan det rena och det approximerade intervallet.

Hädanefter kommer 12- och 19-tonstämning att 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 så kallad *stark timing* vilket möjliggör för programmeraren att enkelt kontrollera när händelser ska inträffa, något som utvecklarna menar är väldigt viktigt inom musikprogrammering. Språket har stöd för parallellbearbetning med hjälp av så kallade *shreds*. Chuck har också ett antal inbyggda tongeneratorer för att framställa ljud och även inbyggt stöd för MIDI.

3 Metodbeskrivning

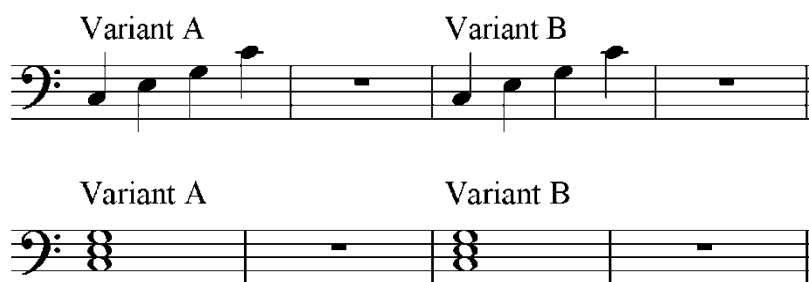
I studien deltog totalt sex försökspersoner. Samtliga var musikaliskt aktiva i flera år inom till exempel musikstudier, körsång och ensemblespel.

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 från den ena stämningen, sedan följde en paus, sedan spelades samma ackord upp ifrån den andra stämningen och till sist en paus. Sedan fick försökspersonen ange vilken ackordvariant hon/han föredrog. Möjlighet till omlyssning 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 samtidigt: grundton, ters och kvint.

Ett ackord, A-dur, spelades både i brutet och simultant läge vid olika tillfällen för att se om det skulle påverka utfallet. De durackord som jämfördes var i brutet läge C-dur, A-dur och B-dur, och i simultant läge A^b-dur, A-dur och E^b-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, B^b-moll och A^b-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-moll⁷ och F-moll⁷.

I sista delen jämfördes de fyra första takterna av ett arrangemang på låten *Ekornn 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/han föredrog.

Låtvalet motiveras med att melodin var relativt enkel men innehåller intressanta intervall. Harmoniken är 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.

För att kunna genomföra studien behövs ett instrument med stöd för både 12- och 19-tonstämning. En mjukvarusynt med följande krav implementeras:

19- och 12-tonstämning – eftersom undersökningen ska jämföra två olika stämningssystem behöver synten kunna växla mellan 12- och 19-tonstämning.

Polyfoni – i undersökningen ska ett enklare arrangemang spelas upp med som mest 5 toner samtidigt. Därför behövs synten kunna spela upp minst 5 toner simultant.

MIDI-gränssnitt – synten behöver kontrolleras på något sätt. Att använda MIDI-protokollet till detta är en självklarhet eftersom det finns många färdiga program som går att använda som styrprogram.

4 Implementation av synten

Synten implementerades i programspråket Chuck eftersom det var enkelt att hantera MIDI samt att språket innehåller färdiga tongeneratorer. Tongeneratorn som användes var *SineOsc* som genererar en sinusvåg. Detta var lämpligt eftersom sinusvågor ej har några övertoner utan endast består av en ton. Koden till synten finns som en bilaga till denna rapport.

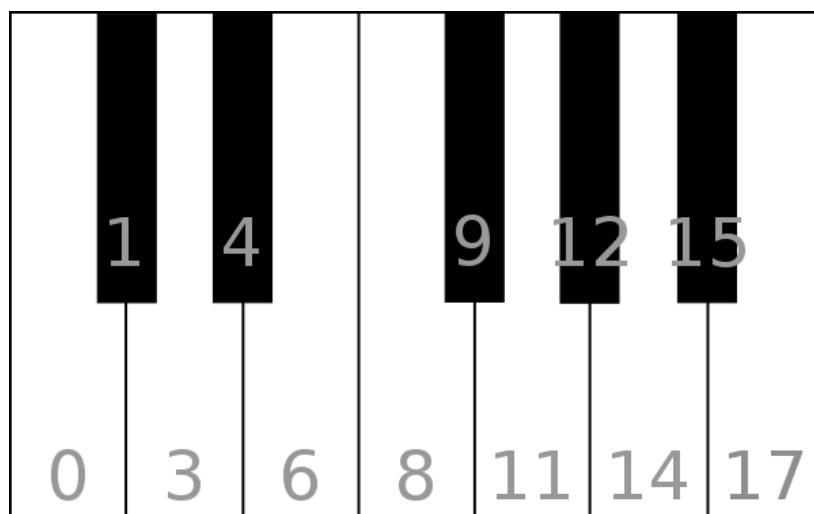
För att underlätta genomförandet av studien skulle samma MIDI-data användas till både 12- och 19-tonstämning. Tyvärr tar inte MIDI-protokollet hänsyn till huruvida en ton är höjd eller sänkt, utan representerar till exempel tonerna F^\sharp och G^b med samma värde. Detta löstes genom att 12 toner från 19-tonstämningen valdes ut till en översättningstabell. I pianotermer innebär detta att 12 toner från 19-tonstämningen valdes ut till ett piano med 12 tangenter.

Ett naturligt val var att låta en vanlig durskala ligga till grund för översättningstabellen. De toner som låg frekvensmässigt närmast 12-tonstämningens durskala valdes. I pianotermer innebar detta alla vita tangenter och tonen C som skalans första ton.

De återstående fem tonerna, de svarta tangenterna med C som utgångspunkt, hade på samma sätt kunnat väljas genom att plocka de toner som frekvensmässigt låg närmast. Men eftersom den sista delen i undersökningen skulle innehålla ett arrangemang där en mellandominant förekom, valdes de fem sista tonerna som om de skulle vara tersen i ett durackord. Den svarta tangenten C^\sharp valdes genom att utgå från tonen A och sedan välja tonen en stor ters upp. Ekvationerna (6) och (7) visar hur tonerna C^\sharp och D^\sharp beräknades. De övriga tre tangenterna beräknades på motsvarande sätt. I vissa fall behöver resultatet divideras med 2 för att hamna i rätt oktav. Figur 3 visar den slutgiltiga översättningstabellen och tabell 3 visar översättningstabellen samt differensen mellan varje intervall i 12-tonstämning, 19-tonstämning och ren stämning.

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

$$2^{\frac{17}{19}} \cdot 2^{\frac{6}{19}} \cdot \frac{1}{2} = 2^{\frac{4}{19}} \Rightarrow D^\sharp = 4 \quad (7)$$



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 stäms ofta tonen A till 440 Hz som en referenston. En möjlighet var att göra på samma sätt och stämma tonen A i 19-tonstämningen till 440 Hz. Detta innebar dock att vid jämförelse av ackordet C-dur mellan 12- och 19-tonstämning får ackorden olika grundton. Skillnaden visas i ekvation (8).

$$\frac{440 \text{ Hz} \cdot 2^{\frac{3}{12}}}{440 \text{ Hz} \cdot 2^{\frac{5}{19}}} \approx \frac{523,25 \text{ Hz}}{528,05 \text{ Hz}} \quad (8)$$

Denna skillnad motsvarar drygt 16 cent. Eftersom undersökningen skulle jämföra själva klangerna så ansågs det viktigt att ha samma grundton för de båda. Detta löstes genom att ha en parameter som kontrollerade syntens *referenston*.

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[#] och så vidare. 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.

Pseudokod:

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.

	n₁₂	Intervall 12-ton	n₁₉	Intervall 19-ton	Δ 12 - 19	Δ 12 - ren	Δ 19 - ren
C	0	0	0	0	0	0	0
C[#]	1	100	1	63,16	36,84	-11,73	-48,57
			2	126,32			
D	2	200	3	189,47	10,53	-3,91	-14,44
D[#]	3	300	4	252,63	47,37	-15,64	-63,01
			5	315,79			
E	4	400	6	378,95	21,05	13,69	-7,37
			7	442,11			
F	5	500	8	505,26	-5,26	1,96	7,22
F[#]	6	600	9	568,42	31,58	9,78	-21,80
			10	631,58			
G	7	700	11	694,74	5,26	-1,96	-7,22
G[#]	8	800	12	757,89	42,11	-13,69	-55,79
			13	821,05			
A	9	900	14	884,21	15,79	15,64	-0,15
A[#]	10	1000	15	947,37	52,63	3,91	-48,72
			16	1010,53			
B	11	1100	17	1073,68	26,32	11,73	-14,58
			18	1136,84			
C	12	1200	19	1200	0	0	0

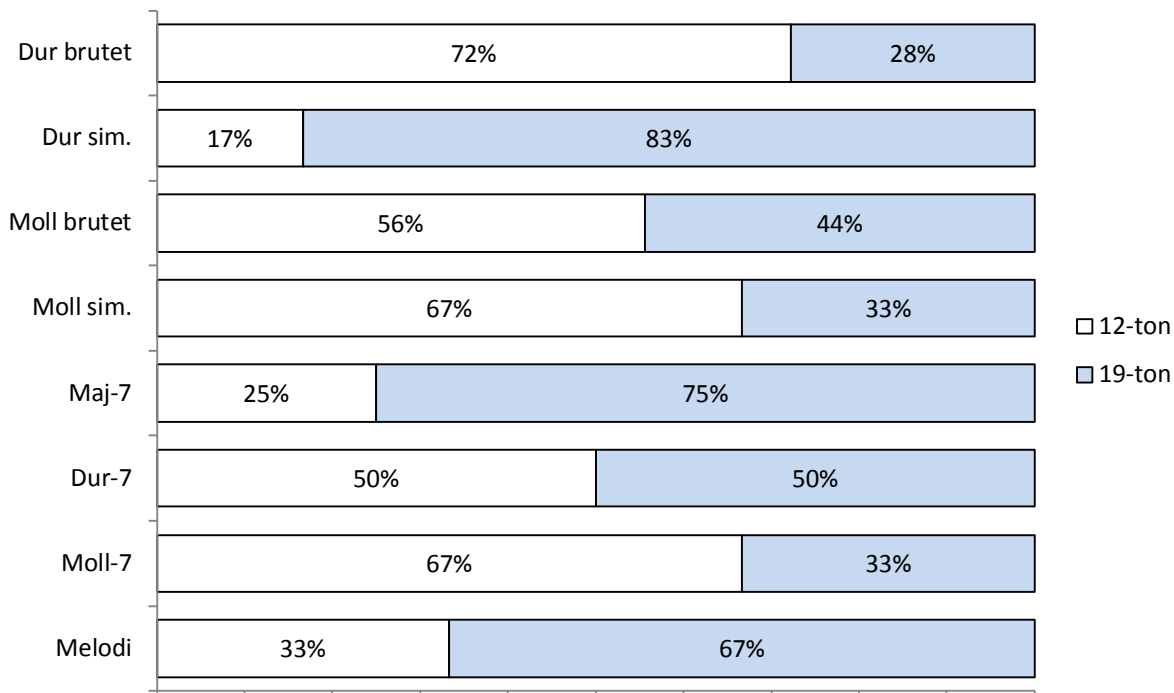
Tabell 3: Tabellen visar översättningstabellen med intervallen i cent. De rader med grå text är de intervall som ej valdes ut. De tre sista kolumnerna visar differensen mellan intervallen från 12-tonstämning, 19-tonstämning och ren stämning. Även här används enheten cent.

5 Resultat

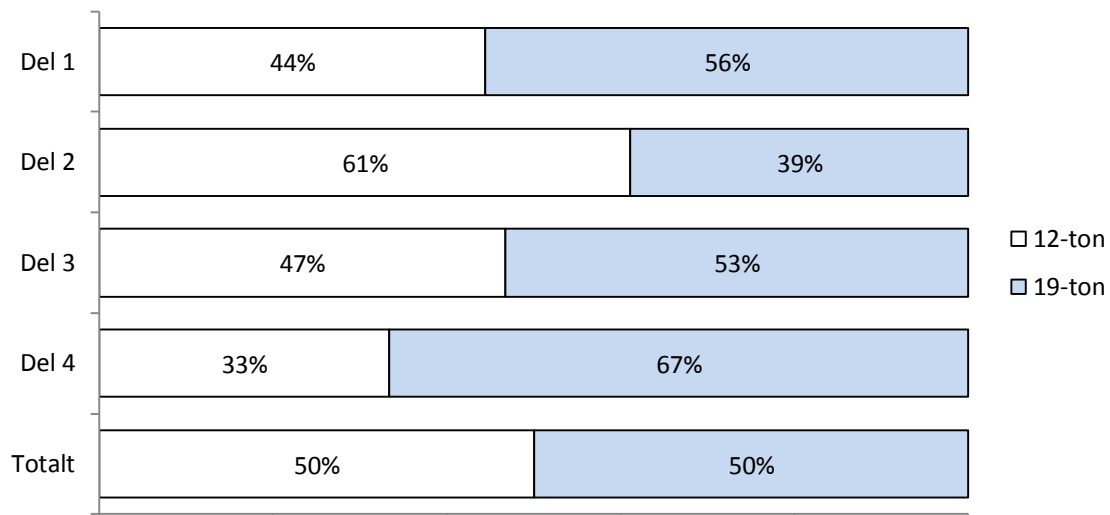
Tabell 4 visar vad varje försöksperson (p1 – p6) föredrog vid varje del i testet. Talet 12 representerar att försökspersonen föredrog 12-tonsvarianten och 19 representerar att försökspersonen föredrog 19-tonsvarianten. I figur 4 visas en sammanställning av svaren grupperat efter de olika ackordtyperna 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 4: 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.

6 Diskussion

Innan undersökningen fanns två 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 de terserna 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 märks att beroende på om ett durackord spelas brutet eller simultant starkt påverkar resultatet. När ackorden spelades simultant så föredrogs 19-tonstämningen i 83 procent av fallen. När ackorden spelades i brutet läge var det bara 28 procent. När ackordet A-dur spelades i brutet läge (del 1.2) var det 33 procent som föredrog 19-tonsvarianten. När samma ackord spelades i simultant läge (del 1.5) var det 83 procent. I momentet med maj⁷ (del 3.1–3.2) som alltid spelades i simultant läge, var det en stor majoritet, 75 procent, som föredrog 19-tonstämning. För ackordet dur⁷ (del 3.3) var det hälften som föredrog 19-tonstämning. I delarna med ackorden moll (del 2.1–2.6) och moll⁷ (del 3.4–3.5) föredrogs 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 procent.

Den stora skillnaden mellan om durackord spelas brutet eller simultant är helt klart intressant. En anledning till detta skulle kunna vara att det tydligt hörs att svävningarna är långsammare för 19-tonstämning än för 12-tonstämning då ackorden spelas i simultant läge. Långsammare svävningar kan uppfattas som mer ”korrekt” och kan bidra till att en majoritet föredrog 19-tonstämning.

Det förklarar dock inte varför det var få som föredrog 19-tonsvarianten av durackord i brutet läge, till och med samma durackord i ett fall. En av försökspersonerna kommenterade att syntens ljud (sinustoner) 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 förklaring kan vara att en person lyssnar på brutna ackord mer som en melodi än en klang och använder då gehöret 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, det vill säga att ackordet från 19-tonstämningen skulle uppfattas som renare, åtminstone när det spelades i simultant läge. Men tvärtom så var det då färre som föredrog 19-tonsvarianten (del 2.4–2.6, 3.4–3.5).

I melodidelen var det återigen 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, sex stycken, 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 studien visar att sättet som durackord spelas upp, brutet läge eller simultant, starkt påverkar hur en individ föredrar 12- eller 19-tonstämning. När ackord spelas simultant så föredrar majoriteten 19-tonstämning vid durackord (dur, maj⁷, dur⁷), medan 12-tonstämning föredras vid mollackord (moll, moll⁷). Om hänsyn tas till samtliga undersökta moment finns ingen tydlig favorit av 12- och 19-tonstämning.

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 Muscal Scale Tunings," *American Journal of Physics*, vol. 42, 1973.
- [3] F. H. Törnblom, *Bonniers musiklexikon*, Stockholm: Bonnier, 1988.
- [4] "Delton," Nationalencyklopedin, [Online]. Available: <http://www.ne.se/delton>. [Använd 10 04 2012].
- [5] M. Yunik och G. W. Swift, "Tempered Music Scales for Sound Synthesis," *Computer Music Journal*, vol. 4, nr 4, pp. 60-65.
- [6] Nationalencyklopedin, "Konsonans," [Online]. Available: <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 (C4, D4, E4) followed by a quarter note (F4), a quarter note (G4), a quarter note (A4), a quarter note (B4), a quarter note (C5), a quarter note (B4), a quarter note (A4), a quarter note (G4), a quarter note (F4), a quarter note (E4), a quarter note (D4), a quarter note (C4), a quarter note (B3), a quarter note (A3), a quarter note (G3), and a quarter note (F3). The chords are C, F, C, D, G, D, G. The bass line consists of quarter notes: C3, D3, E3, F3, G3, A3, B3, C4, D4, E4, F4, G4, A4, B4, C5, B4, A4, G4, F4, E4, D4, C4, B3, A3, G3, F3, E3, D3, C3.

Melodi

Ackord

Bas