



Tervetuloa opiskelemaan musiikkiakustiikkaa!

Tämä sivusto sisältää tietoa musiikkiakustiikasta ja apuvälineitä erilaisten musiikkiakustisten perusilmiöiden havainnollistamiseen. Sivusto on alunperin tarkoitettu osaksi Sibelius-Akatemian musiikinteoria 1:n kurssimateriaalia ja sen sisällön on laatinut musiikinteorian lehtori Aarre Joutsenvirta.

Peruskäsitteitä

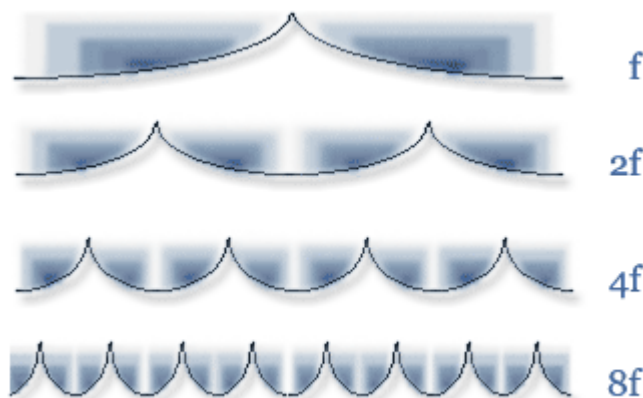
Musiikkiakustiikka sisältää paljon käsitteitä, jotka eivät ole muualta tuttuja: mittayksiköitä, kuten hertsi, sentti ja desibeli. Osaääneistö liittyy sointiväriin lisäksi tavallaan myös viritysjärjestelmiin, joten sekin on otettu peruskäsitteisiin mukaan.

Ääni ja sävel

Ääneksi tajutaan sellainen mekaaninen värähtely, jonka värähtelytiheys on (ihmiskorvan) kuuloalueella. Ilmassa (tai muussa väliaineessa) etenevä värähtely synnyttää paineenvaihteluita, jotka korva aistii äänenä silloin kun värähtely saa tärykalvon liikkumaan. Jos paineenvaihtelut ovat hyvin epäsäännöllisiä, syntyvä ääni voi olla **häly** tai esim. **kohinaa**. Jaksolliset paineenvaihtelut tuottavat sen sijaan havaittavia **sävelkorkeuksia**.

Ääniaallot etenevät ilmassa pitkäjäisinä ääniaaltoina n. 340 metriä sekunnissa. Nopeus riippuu mm. lämpötilasta. Ääni muodostaa edetessään tihentymiä ja harventumia. Äänen voimakkuus riippuu näiden välisistä paine-eroista.

Ylimpänä alapuolella olevassa kuviossa on vain yksi tihentyminen [f]. Se esittää yksittäistä värähdystä tietyn ajan kuluessa. Jos samassa ajassa tapahtuu kaksi tai useampia värähdyksiä, niitä voidaan kuvata sen alapuolella olevilla kuvioilla [f, 2f, 4f ja 8f].



Jos aikajakso on muutaman sekunnin mittainen, yksittäiset värähdykset voidaan kuulla esim. humahduksina, jotka toistuvat tasaisin väliajoin.

Kun äänipaineen vaihteluja on aikajaksoa kohti yli tietyn rajan (n. 16-20 sekunnissa), niiden erottaminen erillisinä alkaa vaikeutua. Vähitellen ne hahmottuvatkin **sävelkorkeutena**.

Sävelkorkeus nousee taajuuden kasvaessa, mutta ihmiskorva ei kykene aistimaan sitä enää kun taajuus on n. 10 000 kertaa sekunnissa. Ääni kuitenkin aistitaan ”vinkunana” tämänkin jälkeen, mutta kuulohavaintoon tarvitaan jo niin suuri äänipaine, että se koetaan epämiellyttävänä.

Kuuloalue, oktaavin käsite, diatonisuus

1) Ihmisen kuuloalueen rajat riippuvat sekä taajuudesta että intensiteetistä. Herkimmillään korva on alueella, jossa sekunnin sisällä on n. 2 000 - 4 000 värähdystä (eli 2 000 - 4 000 Hz). Ihminen pystyy aistimaan jopa 270 000 Hz:n taajuuden, jos se on tarpeeksi voimakas, mutta yleensä kuuloalueeksi määritellään kirjallisuudessa n. 20 Hz - 20 000 Hz.

2) Kuuloalueen sisältä voidaan ottaa tietty alue tarkasteltavaksi. Alueen 110 - 220 Hz ääripäiden ero on oktaavi ja nämä sävelet tunnustetaan jollakin tapaa samoiksi kulttuurista riippumatta. Taajuuksien lukuarvoilla on yksinkertainen lukusuhte, ylempi on kaksi kertaa niin suuri kuin alempi. Matemaattisella suhteella ja samuuden käsitteellä näyttäisi olevan selvä yhteys. Sävelten suhdetta ei voida selittää kuitenkaan pelkästään matemaattisesti, koska ihminen havaitsee lukusuhteen 2:1 kahden taajuuden välillä aavistuksen verran liian pienenä (lukusuhte n. 2,02:1 koetaan puhtaaksi oktaaviksi).

Länsimaissa **oktaavi** (oktaavi tarkoittaa paitsi sävelten välistä etäisyyttä myös sävelaluetta näiden välillä) on jaettu jo antiikin ajoista lähtien diatonisesti: oktaavin sisällä on seitsemän sävelpaikkaa, jotka eivät jakaudukaan tasaisesti vaan niin, että löytyy kahdenlaisia sävelaskelia: koko- ja puolisävelaskelia. Kokosävelaskel (esim. f - g) on kaksi kertaa niin laaja kuin puolisävelaskel (esim. h - c).

3) Keskiajan kirjainnuottikirjoituksessa käytettiin n. 900-luvulta alkaen samoja kirjaimia oktaavin päässä olevien sävelten merkitsemiseen. Myös sävelten nimet ovat peräisin tältä ajalta. Kirjainnotaatiossa toistettiin samat aakkosten alkupään kirjaimet oktaavi oktaavilta ensin suurina, sitten pieninä ja lopuksi käyttäen esim. kahta peräkkäistä samaa kirjainta. Oktaavin päässä toisistaan olivat siis **A, a** ja **aa**.

4) **Diatonisessa asteikossa** on oktaavin alueella 5 kokoaskelta ja 2 puoliaskelta. Diatonisuus on sekä nuottikirjoituksen, että monien soittimien (esim. piano) pohjana. Duuri- ja molliasteikon lisäksi myös kaikki kirkkosävellajit ovat diatonisia eli ne voidaan erottaa osana diatonista asteikkoa.

Olemme orientoituneet diatoniseen asteikkoon niin, että puoli- ja kokoaskeleilla ei **tunnu** olevan kokoeroa lauletaessa esim. duuriasteikkoa ylöspäin. Diatonisuudesta poikkeaminen (esim. useiden peräkkäisten kokosävelaskelten laulaminen) vaatiikin musiikillista harjaantumista.

5) Sävelpaikkojen määrittely suhteessa taajuuteen ei näy nuottikirjoituksessa eikä sävelnimissä. Sävelpaikat ovat kuitenkin pikemminkin pieniä alueita kuin tarkkoja pisteitä oktaavin sisällä. Koko- ja puolisävelaskeleet sekä niiden yhteen laskemisesta muodostuvat intervallit voivat olla tietyissä rajoissa eri kokoisia. Käsitteet ”puhdas” ja ”epävireinen” ovat siis hyvin suhteellisia. Oktaavi voidaan jakaa 12:een puolisävelaskeleeseen. Jos jokainen näistä puolisävelaskelista on yhtä suuri on kyseessä tasavireinen viritysjärjestelmä.

Hertsi, sentti ja desibeli

Mainittuja käsitteitä voidaan pitää jonkinlaisina perusmittayksikköinä musiikkiakustiikassa.

Hz (hertsi)

Hertsi (Hz) on värähtelytaajuuden mittayksikkö aaltoliikkeessä. Taajuus on 1 Hz kun tapahtuu yksi värähdys sekunnissa. Kun sekuntia kohden on 1 000 värähdystä, taajuus on 1 000 Hz eli 1 kHz.

Sävelten nimet lähtevät subkontraoktaavin C:stä (C_2). Sen taajuus on n. 16 Hz (värähdystä sekunnissa). Tätä taajuutta on lähes mahdotonta aistia sellaisenaan. Soittimissa (esim. urut) siihen liittyykin erinäinen määrä osaaääniksi, jotka mahdollistavat sävelkorkeuden aistimisen.

Kun taajuus on useita tuhansia hertsejä ääni voidaan kuulla, mutta sen sävelkorkeuden määrittely muuttuu hankalaksi. Yleensä sävelkorkeuksien määrittely loppuu "kuusiviivaiseen c:hen (c^6), jonka taajuus on 8 370 Hz. Tätä korkeammille sävelille on vaikea hahmottaa sävelkorkeutta.

Taajuuksia (frekvenssejä) voidaan aistia aina n. 20 kilohertsiin (20 kHz) saakka, kuten jo aiemmin tuli mainittua. Raja on kuitenkin hyvin summittainen ja riippuu monista tekijöistä, mm. äänen intensiteetistä. Jotkut nuoret henkilöt pystyvät aistimaan tätä korkeammatkin äänet muutenkin kuin paineen muutoksena korvan sisällä. Iän myötä kuuloaistimuksen yläraja kuitenkin väistämättä alenee ja monilla iäkkäillä henkilöillä on vaikeuksia kuulla jopa alle 10 kHz:n taajuuksia vaikka ne olisivat voimakkaitakin.

Kuuloalueen määrittely esim. arvoiksi 16 Hz - 20 kHz on siis hyvin keinotekoisia ja jonkinlainen keskiarvo, joka koskee vain nuorta väestöä.

Taajuuden f , aallonpituuden λ ja äänen nopeuden v välillä ovat yhtälöt:

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad \lambda = \frac{v}{f} \quad v = f\lambda$$

Jos siis äänen taajuus on esim. 440 Hz (eli sävel a^1) ja äänen nopeus n. 330 m/s, saadaan aallonpituudeksi 330/440 metriä eli 75 cm. Näin etäällä toisistaan ovat siis ääniaallon peräkkäiset tihentymät.

Äänen nopeus riippuu sekä väliaineesta (metalli, vesi, ilma) että lämpötilasta. Ilmassa äänen nopeus on 331,4 m/s kun lämpötila on 0°C, mutta lisääntyy 0,6 m/s jokaista astetta kohden kun lämpötila nousee. Huonelämpötilassa (22°C) äänen nopeus on n. 345 m/s.

Yli 20 kHz:n taajuuksia kutsutaan **ultraääniksi** ja alle 16 Hz:n taajuuksia vastaavasti **infraääniksi**. Nimitys hertsi johtuu saksalaisesta fyysikosta **Rudolf Herzistä** (1857-94), joka ensimmäisenä kokeellisesti osoitti radioaaltojen leviämisen.

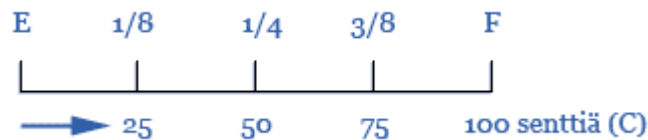
C (sentti, engl. cent < lat. centum = sata)

Yleisin mikrintervallien mittaamiseen käytetty yksikkö on nimeltään **sentti** (C, engl. cent, saks. Cent < lat. centum = sata). Se tarkoittaa tasavireisen puoliaskelen sadasosaa, eli oktaavi on 1 200 senttiä.

Tasavireinen kokoaskel voidaan ilmaista symbolilla 200 C ja tasavireinen kvintti on 700 C eli seitsemän puoliaskelta.

Yksikköä sentti käytetään sekä mikrointervallin koon ilmaisemiseen että minkä tahansa intervallin (sekunti, terssi jne.) suhdeluvun havainnollistamiseen. Eri viritysjärjestelmissä käytettyjen intervallien eroja voidaan vertailla senttiarvojen avulla, tasavireisyydessä ne ovat aina satalukuja.

Alla olevassa kuviossa on vertailtu tyypillisiä **mikrointervallien** murtolukuesityksiä ja vastaavia senttiarvoja sävelten e ja f välillä. Neljäsosasävelaskel on siis 50 C ja kahdeksasosasävelaskel 25 C.



Murtolukujen avulla on perinteisesti esitetty myös intervallien suhdelukuja. Murtolukujen käyttö on ollut luontevaa, koska mm. pythagoralainen ja puhdas viritys(järjestelmä) perustuvat niiden käyttöön. Niiden keskinäinen vertailu on kuitenkin usein hankalampaa kuin vastaavien desimaaliarvojen. On esimerkiksi hankala arvioida, että $16/9$ on arvoltaan suurempi kuin $7/4$ (desimaaleina $1,78 > 1,75$).

Intervallierotuksia kuvaavat murtoluvut voidaan esittää senttiarvoina seuraavan muuntokaavan avulla:

$$\text{Senttiarvo (C)} = \log \frac{a}{b} \cdot k$$

Symbolit a ja b ovat murtoluvun osia ja k on vakio $1200/10^{\log 2} = 3986,313715\dots$

Esim. luonnonpuhdas kvintti esitetään yleensä suhdelukuna $3/2$, jonka logaritmi on n. 0,176.

Tämä kerrottuna k:lla on n. 702. Toisin sanoen puhdas kvintti on tasavireistä kvinttiä noin kaksi senttiä laajempi intervalli. Esimerkiksi pienen a:n sävelkorkeus on 220 Hz. Yksiviivainen e on näin ollen n. 330 Hz ($= 3/2 \cdot 220$). Yksiviivainen a on 440 Hz ja kaksiviivainen e noin 660 Hz ($= 3/2 \cdot 440$). Sama intervalli kuuluu alueen ala- ja yläpäässä on hertsisuhteiltaan hyvin erilainen. Esim. oktaavi on sekä alue 40....80 Hz että alue 4000....8000 Hz. Sama intervalli voidaan ilmaista suhdelukuna kahdella eri tavalla; suurempi luvuista on aina "se korkeampi sävel". Kun esim. kvinttisuhte esitetään $3/2$:n sijasta $2/3$, niin senttiarvosta tulee negatiivinen ("kvintti alaspäin") (-702).

Senttiarvo voidaan muuttaa desimaaliarvoksi jakamalla se ensin vakio k:lla ja sijoittamalla saatu arvo luvun 10 eksponentiksi. Esim. $702 C/k = 0,176$ ja $10^{0,176} = 1,5$ eli $3/2$.

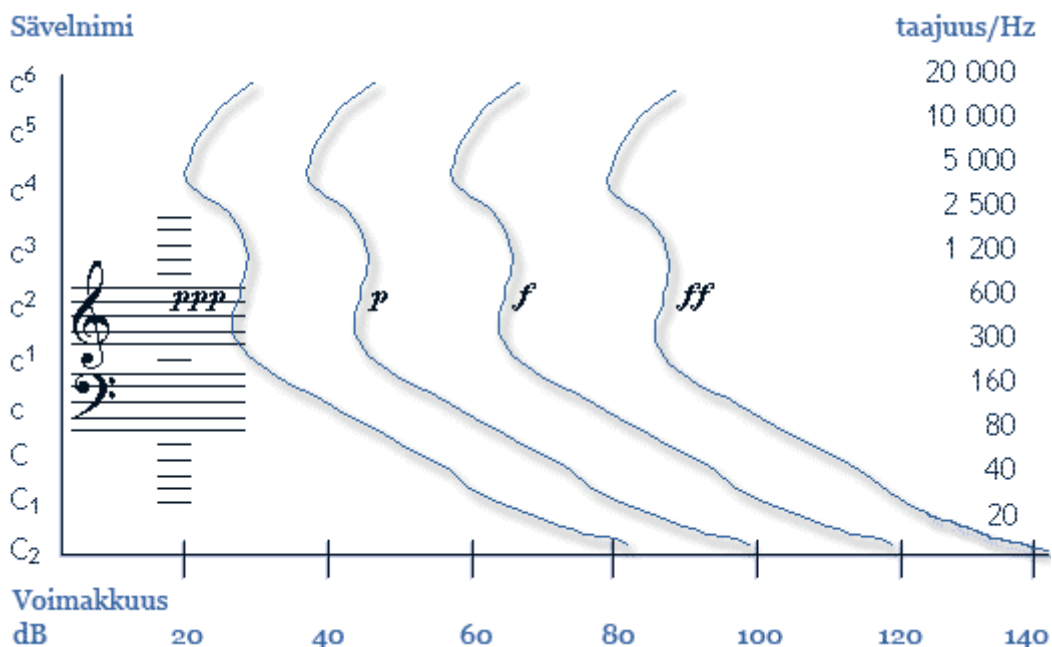
dB (desibeli)

Desibeli on äänenvoimakkuuden suhteellinen mittayksikkö. Hiljaisin normaalilla (keskimääräisellä) kuuloaistilla havaittava ääni on desibeleinä 0 dB (äänipainearvona $2 \cdot 10^{-5}$ Pascalia ja intensiteettiarvona ilmaistuna 10^{-12} W/m², jos taajuus on 1 000 Hz). Hyväkuuloinen kuulee jopa tätä heikompia ääniä (- 5dB). Kun äänen intensiteetti (pinta-alan läpi virtaava energia) kaksinkertaistuu, niin desibelit lisääntyvät 3:lla. Äänipaineen kaksinkertaistuessa intensiteetti nelinkertaistuu, jolloin lisäys on jo 6 dB. Satakertainen äänentehon vahvistus vastaa äänipainetaso kymmenkertaistumista, mutta desibeleissä mitattuna lisäys on vain 20 dB. Desibeliasteikko on siis logaritminen.

Aistittu äänen voimakkuus riippuu äänipainetasosta ja äänen korkeudesta. Tietyt taajuudet kuullaan herkemmin kuin toiset. Joskus koetusta äänenvoimakkuudesta käytetään termiä **kuuluvuus**. Alla olevassa kuviossa on esitetty vasemmalla kuuloalue nuottikuvana ja sävelniminä, oikealla taas hertseinä. Kaaviosta havaitaan, että korvan herkin alue sijoittuu suurin piirtein neliviivaisen oktaavin alueelle. Äänipainetasoa mitataan nykyisin ns. painotetulla desibeliasteikolla (esim. dBA), jossa otetaan huomioon se, että ihmiskorva ei ole mittalaite vaan kuulee eri tavoin eri sävelkorkeuksia.

Käsitteitä **foni** (phon) ja **soni** (sone) on käytetty mitattaessa **kuuloaistimuksen** voimakkuutta. Ensin mainitussa kuultua ääntä verrataan 1 000 Hz taajuuteen. Kun äänet tuntuvat yhtä voimakkailta ne saavat saman arvon, vaikka äänipainetasot eroaisivatkin huomattavasti toisistaan. Soniarvo määräytyy myös vertailun tuloksena: kun ääni kuulostaa toistettuna kaksi kertaa niin voimakkaalta kuin alunperin kuultu, se saa kaksinkertaisen soniarvon. Yksiköt ovat subjektiivisia ja vaikeasti mitattavia.

Kuvion 'piano'- ja 'forte'-käyrätkin ovat hyvin summittaisia. Niistä voidaan kuitenkin havaita, esim. että matala C₁ (32 Hz) aistitaan **ppp**:na vaikka saman desibelitasoinen (60 dB) c⁵ (n. 4 200 Hz) aistitankin fortena.



Osaääneistö

Äänet on perinteisesti jaettu **säveliksi** ja **hälyiksi** (lisäksi voidaan erottaa omaksi ryhmäkseen esim. **kohina**). Hälyllä ei ole selvästi havaittavaa **säveltasoa**. Monet perkussiiviset soittimet, esim. symbaalit, triangeli, kalvorummut ym. tuottavat hälyjä, ja kieli tarjoaa ehtymättömän joukon kuvailevia sanoja erilaisille hälyäänille (läjähdys, loiskaus, pirinä, narina jne.). Laulettaessa tekstiä monet konsonantit muodostavat hälyjä (s, h, t, p) kun taas vokaaleissa voidaan aistia sävelkorkeuksia.

Kaikki mahdolliset äänet koostuvat siniaallon muotoisista värähtelyistä eli osaääneksistä. Niin häly, kohina kuin soittimin tuotetut säveletkin koostuvat siis monista eri taajuuksista, jotka korva kuitenkin tajuaa kokonaisuutena. Pelkästään yhtä taajuutta (f) voidaan synnyttää vain teknisin apuvälinein. Akustisella soittimella tai laulaen tuotettu ääni koostuu perustaajuuden (joka sekkin on siis osaäännes) lisäksi **ylä-ääneksistä**, joista suurin osa on perustaajuuden

kokonaislukukerrannaisia (2f, 3f,4f, jne.). Näistä kerrannaisista syntyy **harmoninen osaaäneistö**. Nuottiesimerkissä on kuvattu harmonisen osaaäneistön ensimmäiset 16 jäsentä. Teoriassa osaaäneistö jatkuu loputtomiin aina pienenevin intervaleihin.

1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16.

0 0 +2 0 -14 +2 -31 0 +4 -14 -49 +2 +41 -31 -12 0

Muutamia huomioita Osaäneistöstä

Ensimmäinen osaaänes on aistittu sävelkorkeus. Kun soittimesta tuotetaan suuri C, korvan huomio keskittyy vain tähän alimpaan osaaänekseen, muut aistitaan niin paljon hiljaisempina, että havainto muista osaaäneksistä voi syntyä vain harjaantumisen kautta.

Toinen osaaänes on puhtaan oktaavin korkeampi kuin 1. osaaänes ja sen sävelkorkeus on hertsiarvona kaksinkertainen ensimmäiseen nähden. Toinen osaaänes voidaan yhtä aikaa erottaa sointiväriä esim. huilussa, jossa samalla otteella ns. ylipuhalluksen avulla soitetaan sekä ensimmäisen että toisen oktaavialan säveliä (esim. d1 ja d2).

Kolmas osaaänes on vain puhtaan kvintin päässä edellisestä, vaikka sävelten välinen erotus hertseinä pysyy samana. Kaikkien peräkkäisten osaaänesten sävelkorkeusero onkin hertsein mitattuna yhtä suuri. Korva siis aistii korkeuseroja logaritmisesti: 100 Hz ja 200 Hz aistitaan olevan yhtä kaukana toisistaan kuin esim. 1 000 Hz ja 2 000 Hz, molemmissa ero on oktaavi.

Osaäänekset 4., 5. ja 6. muodostavat ns. luonnonpuhtaan duurikolmisoinnun sävelkorkeudet. Duurikolmisoinnun yleisyyttä on perusteltu toisinaan tällä "fysikaalisella" ilmiöllä.

7. osaaänes on tasavireisyyteen verrattuna huomattavan matala, 8. osaaänes on kaksi oktaavia aistittua sävelkorkeutta ylempänä.

Osaäänessarjaa sävelkorkeuksiltaan vastaava **luonnonsävelsarja** pystytään tuottamaan monilla akustisilla soittimilla: kielisoittimilla käytetään nimitystä **flageoletit**, puhaltimien yhteydessä puhutaan taas **ylipuhalluksesta** (samalla otteella tuotetaan luonnosävelsarjaan kuuluvia säveliä). Luonnosävelsarja koostuu kuitenkin sävelistä, ei pelkistä ääneksistä.

Klarinettisoittimet ja muutkin puhaltimet, joissa on ns. lieriömäinen poraus, synnyttävät ylipuhalluksessa oktaavin ja kvintin. Jos poraus on kartiomainen tai puhaltimen molemmat päät avoimia (esim. huilu, oboe, saksofoni, vaskisoittimet), ylipuhallettaessa syntyy oktaavi ja sen jälkeen kaikki muutkin luonnonsävelet.

Klarinetille luonteenomainen sointiväri johtuu siitä, että parilliset osaaäänekset (4., 6., 8 jne.) ovat hyvin heikkoja. Varhaisissa syntetisaattoreissa ja sähköuruissa klarinettia muistuttava sointiväri luotiin synteettisesti pelkästään parittomien osaaänesten avulla.

Osaäänekset, joiden järjestysnumero on luvun 2 jokin potenssi (4, 8, 16, 32, jne.) ovat perusäänoksen oktaavikerrannaisia. Kaikki "kvintit" ovat $3 \cdot 2^n$ (3., 6., 12. jne.) ja "duuriterssit" muotoa $5 \cdot 2^n$ (5., 10., 20., jne.).

Osaäänessarja voi olla myös **epäharmoninen**; silloin saatetaan käyttää termiä partiaalit (engl. **partials**). Epäharmonisten osaäänesten väliset lukusuhteet ovat muita kuin kokonaislukuja. Käytännössä akustisistakin soittimista mitatut osaäänesten taajuudet poikkeavat, jonkin verran teoreettisesta kokonaislukusarjasta. Ero tuo sointiväriin elävyyttä ja "karheutta".

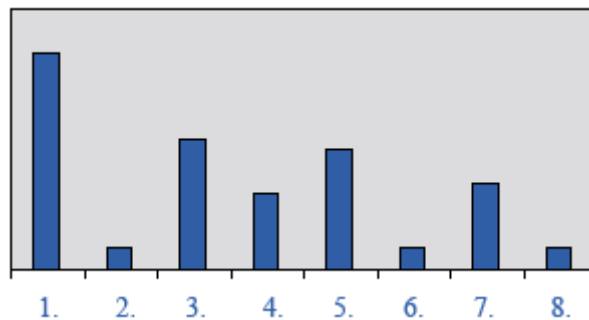
Äänen ominaisuuksista

Sivuille on koottu esimerkinomaisesti sekä soitinääniä (graafisesti ja akustisesti)että perusaaltomuotoja tuottava appletti. Jälkimmäisen avulla voi muuttaa myös hertsi- ja desibeliarvoja ja tutkia näin vaikkapa omaa kuulemistaan.

Harmoninen spektri ja formantit

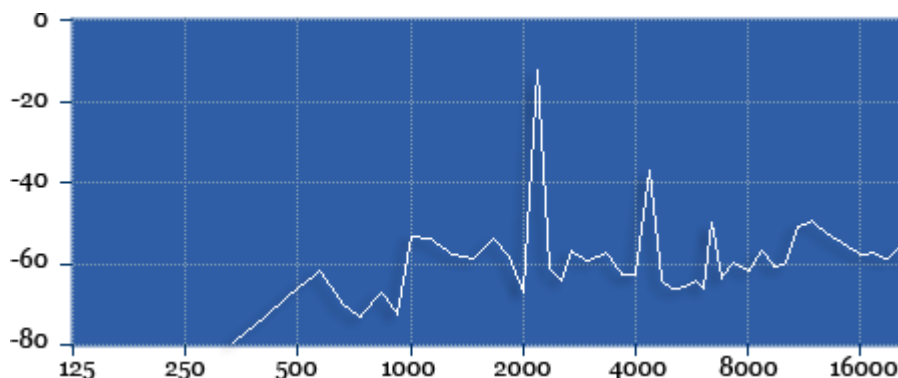
Aikaisemmin jo todettiin, että sävel koostuu useista ääneksistä eli se on ns. kompleksinen ääni. Osaäänesten voimakkuussuhteet vaihtelevat, perusäänes on yleensä voimakkain. Näitä voimakkuussuhteita kuvataan harmonisen spektrin avulla. Siinä kutakin osaäänestä vastaa esim. pylväsdiagrammi, jonka korkeus kuvaa sen suhteellista voimakkuutta verrattuna muihin osaääneksiin.

Klarinetin äänispekttriä voidaan havainnollistaa esim. seuraavalla kuviolla:

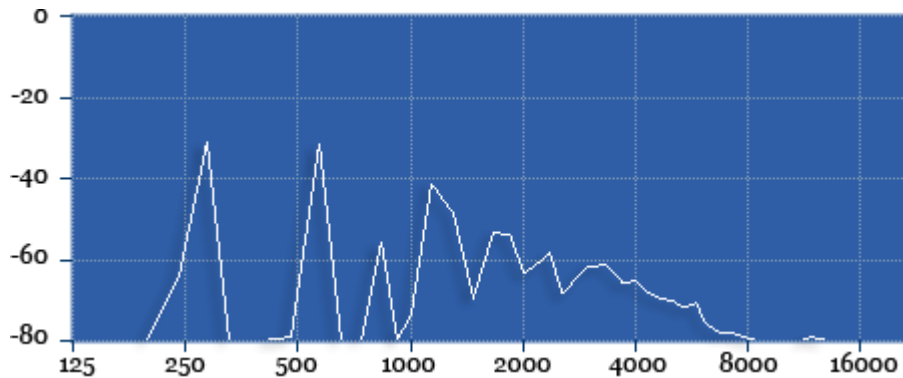


Perusäänes on selvästi voimakkain ja parittomat osaäänekset ovat voimakkaampia kuin parilliset. Spektriä ei pidä ajatella vakaana, sillä äänesten väliset voimakkuussuhteet vaihtelevat koko ajan ja samallakin soittimella voi olla hyvin erilaisia spektrejä riippuen sävelkorkeudesta, äänenvoimakkuudesta, soittimesta, soittajasta yms.

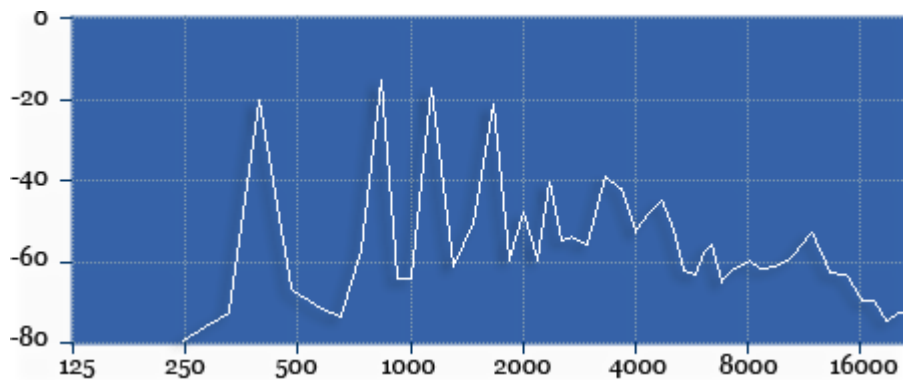
Alla olevat kuvat ovat poikkihuilun äänispektrejä. Niissä pylväiden sijasta on "huippuja" sisältävä käyrä, koska varsinkin spektrien yläpää sisältää muitakin kuin harmonisia osaääneksiä.



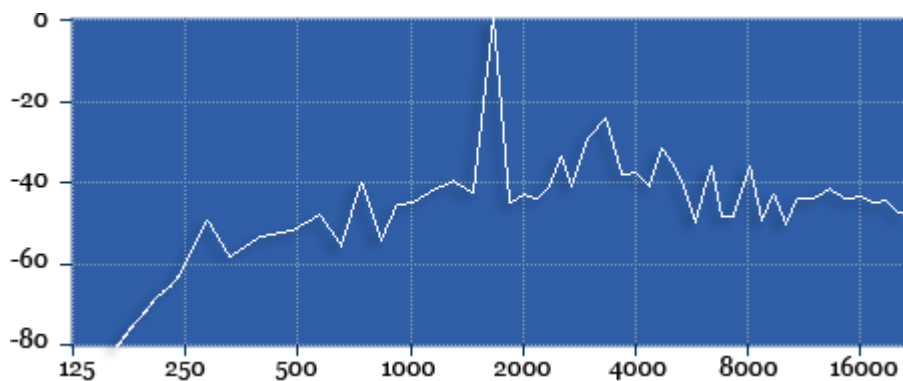
Ensimmäisessä kuviossa huilulla on soitettu yksiviivainen c-sävel; alin piikki on n. 260 Hz. Seuraava huippu käyrässä on c2:n kohdalla (520 Hz). Nämä ovat muita huippuja selvästi korkeammat.



Toisessa kuviossa huilun ääni on g1 ja erotettavissa on neljä huippua, joista keskimmäiset ovat korkeimpia. Tästä huolimatta alin osäänes hahmotetaan oikeana sävelkorkeutena.



Kolmannessa kuviossa huilu soittaa ylärekisterissä ja spektrissä erottuu vain yksi selkeä huippu. Neljännessä kuviossa huippuja on taas useita.



Kuvioista voidaan päätellä: a) soitinten spektrit voivat vaihdella huomattavasti sävelkorkeuden mukaan b) ihminen ei hahmota voimakkaimpia osääneiksi useinkaan sävelkorkeuksina vaan osana soittimen sointiväriä.

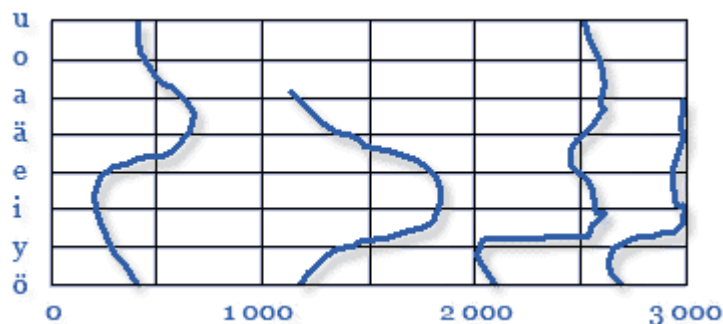
Oleellista sävellyksen tajumiselle ovat tässä peräkkäiset kokonaislukusuhteet osäänesten (taajuuksien) välillä. Toinen osäänes ei hahmotu perusäänksenä (sävelkorkeutena), koska seuraavan osäänksen tulisi olla siihen nähden kaksinkertainen.

Perustaajuus voidaan aistia, vaikka se jätettäisiin osaaäänistä pois. Sointi muuttuu tällöin ohuemmaksi. Esim. puhelimen kovaääninen ei tuota kovinkaan matalia taajuuksia. Siitä huolimatta voimme tunnistaa matalan miesäänen laulamia sävelkorkeuksia puhelimitse.

Alla oleva esimerkki havainnollistaa miten äänispektri ei ole stabiili vaan elää koko ajan. Usein osaaäänessarjan ylemmät osaaänekset vahvistuvat äänenvoimakkuuden kasvaessa.

Monilla kiinteillä kappaleilla on tietty ominaistaajuus, jolla ne värähtelevät herkemmin kuin muilla taajuuksilla. **Resonanssiksi** kutsutaan tätä "myötävärähtelyä", joka tapahtuu esim. monissa akustisissa soittimissa tietyillä sävelkorkeuksilla. Resonanssitaajuuksia voi olla soittimessa useitakin ja käytännössä taajuudet eivät ole yksittäisiä pisteitä vaan pikemminkin taajuusalueita. Ihmisäänen (joka sekin on instrumentti) yhteydessä näitä kutsutaan **formanteiksi**.

Formantti vastaa yhtä tai useampaa ääntöväylän resonanssia eli sellaista taajuutta, jonka mukaiset ääniaallot vahvistuvat jossakin ääntöväylän kohdassa. Formanttien sijainnin ja liikkeen on osoitettu vaikuttavan merkittäväällä tavalla puheäänneestä syntyvään havaintoon mm. vokaalien tunnistamiseen. Ääntöväylällä on periaatteessa aina monia (äärettömästi) resonansseja, mutta niistä vain muutama vaikuttaa selvästi esim. vokaalien laadun havaintoon. Formantit ovat perustaajuudesta riippumattomia.



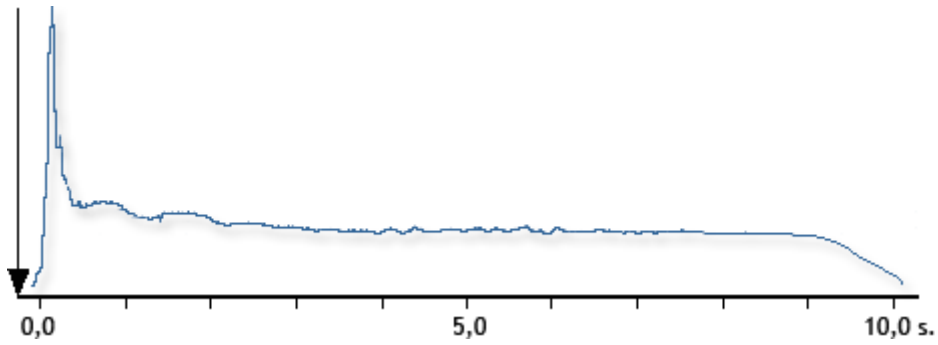
Kuviossa ovat vokaalien formanttialueet. Esim. a-vokaalilla ne ovat n. 600, 1 200, 2 600 ja 3 000 Hz.

Jos perustaajuus nousee formanttialueen yläpuolelle, vokaalin sävy muuttuu. Tämä on yksi syy siihen, miksi korkeista sopraanoaarioista on vaikea tunnistaa oikeita vokaalivärejä.

Verhokäyrä

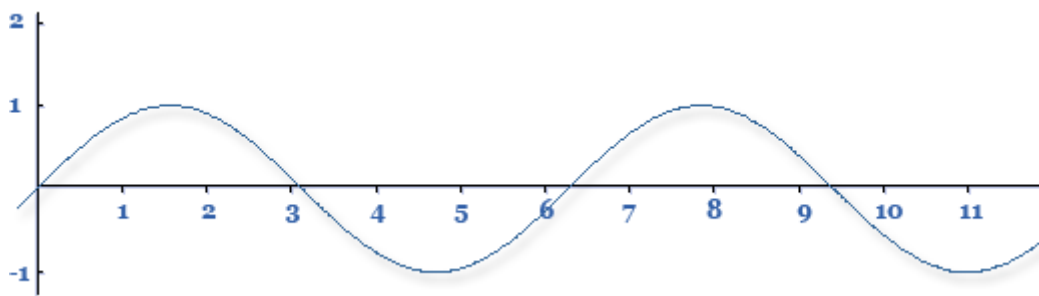
(= vaippakäyrä, peitekäyrä, äänivaippa, envelope, contour, etc.)

Kun sellon ja pianon sama yksittäinen sävel äänitetään ja poistetaan sitten kummastakin äänen alku ja loppu, niin huomataan niiden muistuttavan hyvin paljon toisiaan. Molemmissa on kyse samanlaisesta kielen värähtelystä, josta kuitenkin puuttuvat sointivärin kannalta jotain oleellista. **Aluke** on se erittäin lyhyt aika, joka kuluu ennenkuin ääni ehtii muodostaa oman spektrinsä. Soittimen tunnistus riippuu usein alukkeesta, säveltason tunnistus taas sointiosasta ja tilantuntu lopukkeesta. Yhdessä näitä ajallisesti peräkkäin olevia äänen osatekijöitä kutsutaan verhokäyräksi. Alukkeksen spektri on monilla soittimilla epäharmoninen (häly) ja amplitudiltaan voimakkaampi kuin verhokäyrän 'stationäärinen vaihe eli sointi. Lyhydestään (usein alle 0,1 sekuntia) huolimatta aluke vaikuttaa soittimen sointivärin tunnistamiseen oleellisesti. Esim. kitaran ääni ilman sille luonteenomaista aluketta saattaa kuulostaa esim. kellomaiselta.



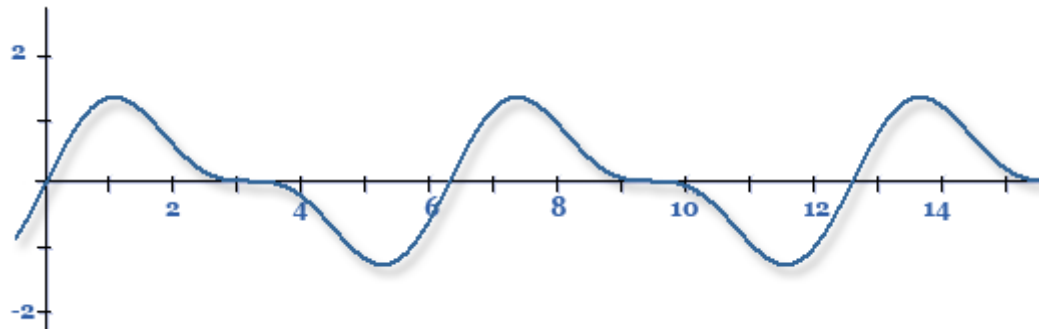
Siniaaltofunktioiden kuvaajia

$$y = \sin x$$



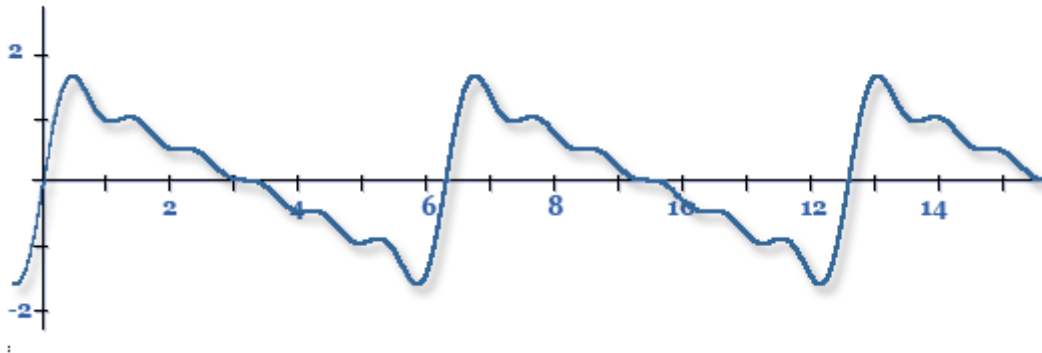
Aaltomuoto kuvaa perusäänestä (ääntä, joka sisältää vain yhtä taajuutta).

$$y = \sin x + (1/2) \sin 2x$$



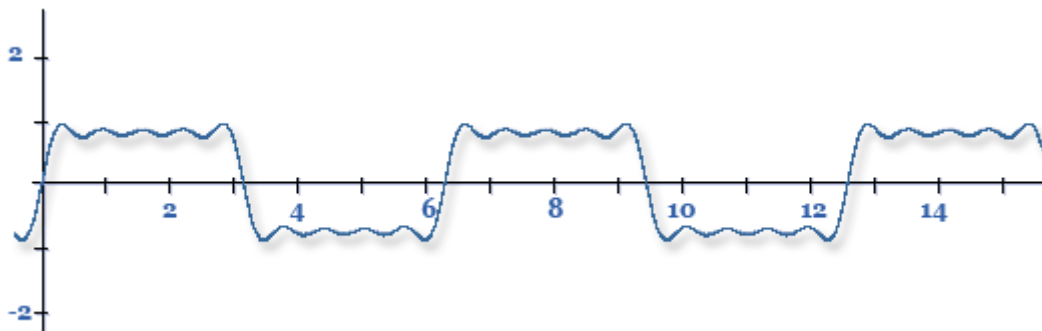
Aaltomuoto on perusääneksen ja toisen harmonisen osääneksen (oktaavi) summakäyrä.

$$y = \sin x + (1/2) \sin 2x + (1/3) \sin 3x + (1/4) \sin 4x + (1/5) \sin 5x + (1/6) \sin 6x$$



Aaltomuoto on kuuden ensimmäisen harmonisen osääneksen summakäyrä. Se muistuttaa jo hiukan saha-aaltomuotoa, joka syntyy kun perusääneksen lisäksi aaltomuodossa ovat kaikki sen kerrannaiset, kukin 6 dB hiljaisempina kuin edellinen.

$$y = \sin x + (1/3) \sin 3x + (1/5) \sin 5x + (1/7) \sin 7x + (1/9) \sin 9x$$



Aaltomuoto on viiden ensimmäisen parittoman osääneksen summakäyrä. Se muistuttaa neliö- eli kantiaaltoa, joka sisältää kaikki parittomat osäänekset. Siinäkin osäänekset hiljenevät järjestysluvun kasvaessa.

Säveltasot hertsiarvoina

Taulukossa ovat sarakeittain eri oktaavialat ja riveittäin sävelten hertsiluvut kussakin oktaavissa. Ensimmäinen sarake vasemmalla on kuuloalueen ulkopuolella oleva (kuvitteellinen) 'infraoktaavi', jonka taajuudet aistitaan kuuloaistin sijasta tuntoaistin avulla. Tämä "C₃" on n. 8 Hz eli kahdeksan iskua sekunnissa, mikä vastaa rytmisesti kuudestoistaosia silloin kun neljäsosaiskun tempo on n. 123 bpm (iskua minuutissa). Vastaavasti oikeanpuolisin 'ultraoktaavi' laajenee myös kuuloalueen ulkopuolelle.

Toisesta sarakeesta lähtien alkaa varsinainen kuuloalue. Yksiviivaisen oktaavialan taajuudet on ilmaistu tarkemmin. Yksiviivainen a on virallisesti 440 Hz, vaikka käytännössä on siirrytty 442 - 443, jopa 446 hertsiiin. Hertsiluvun voi laskea itsekin kaavalla:

$$i = 10^{(c \cdot \log^2/1299)}$$

missä i on suhdeluku, jolla alkuperäinen hertsiarvo tulee kertoa ja c on intervallin senttiarvo.

Jos esim. halutaan tietää yksiviivaisen h:n taajuus hertseinä silloin kun a on 443 Hz, niin kaava muuttuu muotoon: $44 \cdot 10^{(200 \cdot \log_2/1200)}$

(a:n ja h:n ero on 200 senttiä) ja tulokseksi saadaan 497,25 Hz.

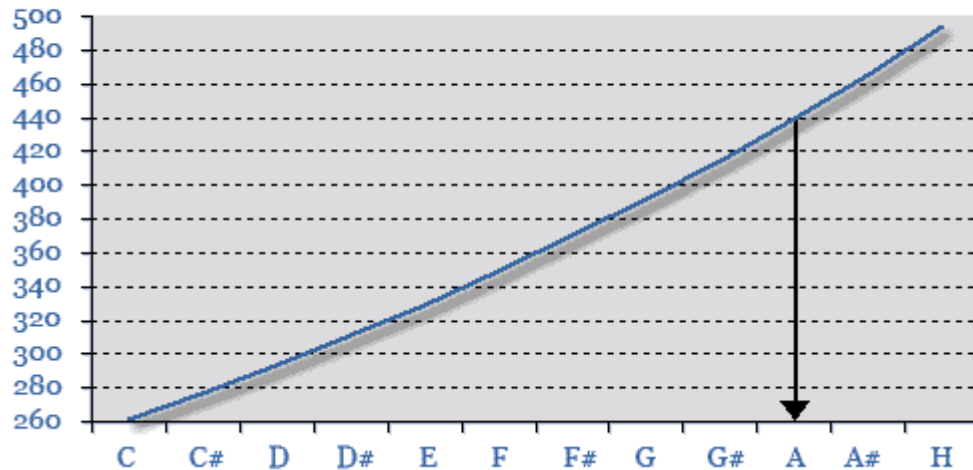
Yksiviivaisen c:n arvoksi saadaan samalla kaavalla (c = -900) 263,4 Hz.

Seuraavan taulukon alimmalla rivillä on esitetty amerikkalainen merkintätapa oktaavialoille. Se on yleisesti käytössä mm. MIDI-teknologiassa (esim. G3 on g ja E5 on e²).

| | | subkontra | kont
ra | suuri | pieni | yksiviivainen
oktaaviala | 2-
viiv. | 3-
viiv. | 4-
viiv. | 5-
viiv. | 6-
viiv. | 7-
viiv. |
|-----------|------------|-----------|------------|------------|-------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| C | 8,18 | 16,35 | 32,7
0 | 65,40 | 130,80 | 261,6255653
0 | 523 | 104
7 | 209
3 | 418
6 | 8372 | 16744 |
| C# | 8,66 | 17,32 | 34,6
5 | 69,30 | 138,60 | 277,1926309
8 | 554 | 110
9 | 221
7 | 443
5 | 8870 | 17740 |
| D | 9,18 | 18,35 | 36,7
1 | 73,40 | 146,80 | 293,6647679
2 | 587 | 117
5 | 234
9 | 469
9 | 9397 | 18795 |
| D# | 9,72 | 19,45 | 38,8
9 | 77,80 | 155,60 | 311,1269837
2 | 622 | 124
5 | 248
9 | 497
8 | 9956 | 19912 |
| E | 10,30 | 30,60 | 41,2
0 | 82,40 | 1664,8
0 | 329,6275569
1 | 659 | 131
9 | 263
7 | 527
4 | 1054
8 | 21096 |
| F | 10,91 | 21,83 | 43,6
5 | 87,30 | 174,60 | 349,2282314
3 | 698 | 139
7 | 279
4 | 558
8 | 1117
5 | 22351 |
| F# | 11,56 | 23,12 | 46,2
5 | 92,50 | 185,00 | 369,9944227
1 | 740 | 148
0 | 296
0 | 592
0 | 1184
0 | 23680 |
| G | 12,25 | 24,50 | 49,0
0 | 98,00 | 196,00 | 391,9954359
8 | 784 | 156
8 | 313
6 | 627
2 | 1254
4 | 25088 |
| G# | 12,25 | 25,96 | 51,9
1 | 103,8
0 | 207,70 | 415,3046975
8 | 831 | 166
1 | 332
2 | 664
5 | 1329
0 | 26580 |
| A | 13,75 | 27,50 | 55,0
0 | 110,0
0 | 200,00 | 440,0000000
0 | 880 | 176
0 | 320 | 704
0 | 1408
0 | 28160 |
| A# | 14,57 | 29,14 | 58,2
7 | 116,5
0 | 233,10 | 466,1637615
2 | 932 | 186
5 | 372
9 | 745
9 | 1491
7 | 29834 |
| H | 15,43 | 30,87 | 61,7
4 | 123,5
0 | 246,90 | 493,8833012
6 | 998 | 197
6 | 395
1 | 790
2 | 1580
4 | 31609 |
| | C-1 | C0 | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 |

Alla olevan taulukon avulla voidaan tarkastella taajuusarvojen ja sävelkorkeuksien summittaisia suhteita. Kuvaaja esittää taajuudet vain yksiviivaisen oktaavin alueella. Kaaviosta voidaan lukea esimerkiksi, että sävelkorkeus, jonka taajuus on 320 Hz on yksiviivaisen dis:n ja e:n välissä. Vastaavasti taajuudet 160, 80, 40 ja 20 Hz ovat samojen sävelnimien välissä alemmissa oktaavialoissa.

Sävelten Hz-arvot



Doppler-ilmiö

Doppler-ilmiöllä tarkoitetaan äänen taajuudessa havaittavaa muutosta, joka johtuu havaittajan ja äänilähteen liikkeestä toistensa suhteen. Kun ne lähestyvät toisiaan äänen sävelkorkeus nousee, koska aallot ikäänkuin tihenevät. Etäännyttäessä sävelkorkeus taas laskee aaltoliikkeen harventuessa.

Äänilähteenä voi toimia esim. auto sen kulkiessa moottoritiellä. Auton ohittaessa sen aikaansaaman äänen sävelkorkeus laskee. Auton vauhdin voi päätellä intervallista alla olevan taulukon mukaan. Jos ohitustilanteessa kuultava laskeva intervalli on suuri terssi, niin auto ajaa ylinopeutta (yli 120 km/h).

| suhdeluku | kulkuneuvon nopeus | erotus oktaavin 1200-osina eli sentteinä | intervalli |
|------------------|--------------------------------------|---|--------------------|
| s | $(1-2)*1220/(s+1)$ | $3986*\log s$ | |
| 0,71 | 207 | 593 | tritonus |
| 0,72 | 199 | 569 | |
| 0,73 | 190 | 545 | |
| 0,74 | 182 | 521 | |
| 0,75 | 174 | 498 | kvartti |
| 0,76 | 166 | 485 | |
| 0,77 | 159 | 452 | |
| 0,78 | 151 | 430 | |
| 0,79 | 143 | 408 | suuri terssi |
| 0.80 | 136 | 386 | luonn. duuriterssi |
| 0.81 | 128 | 365 | |
| 0.82 | 121 | 344 | |
| 0.83 | 113 | 323 | |
| 0.84 | 106 | 302 | pieni terssi |
| 0.85 | 99 | 281 | |
| 0.86 | 92 | 261 | |
| 0.87 | 85 | 241 | |
| 0.88 | 78 | 221 | |
| 0.89 | 71 | 202 | suuri sekunti |

Kaava Doppler-ilmion laskemiseksi:

$$f' = \frac{v}{v - v_s} f_s \quad f' = \frac{v}{v + v_s} f_s$$

kohteen lähestyessä

kohteen
etääntyessä

Esimerkiksi auton äänitorvi on 440 Hz. Mikä on taajuus

a) auton lähestyessä 90 km/h eli 25 m/s) → 475 Hz

b) auton etääntyessä 90 km/h → 410 Hz

$$v = 343$$

$$v_s = 25$$

$$f_s = 440$$

Auton ohittaessa kyseisten hertsilukujen erotus on se, mitä korva kuulee. Tässä tapauksessa erotus on kokoaskeleen ja pienen terssin välillä (255 senttiä).

Edellä olevan taulukon avulla saadaan suoraan suhdeluku $410/475 = 0,863... \rightarrow n. 250 - 260 C$

Myös lämpötila vaikuttaa hiukan äänenkorkeuden muutokseen doppler-ilmiossä:

| | 0° C | 13° C | 20° C |
|---|------|-------|-------|
| äänen nopeus km/h | 1191 | 1220 | 1235 |
| ajoneuvon nopeus, jotta inetrvalli pysyisi samana | 96,6 | 98,9 | 100,1 |

Viritysjärjestelmistä

Osio esittelee keskeisimmät periaatteet (laskentakaavat), joiden mukaan länsimaisessa musiikissa on määritelty (kromaattisen) asteikon sävelten keskinäiset suhteet. Mukana on myös sovelma, jonka avulla voi kuunnella viritysjärjestelmien keskinäisiä eroja.

Pythagoralainen viritys

Diatoninen asteikko voidaan muodostaa puhtaiden kvinttien avulla esim. seuraavasti (kts. alla oleva nuottiesimerkki):

Tahti 1: sävel c on lähtökohta. Puolinuotein ilmaistaan kulloinkin viritettävä asteikon sävel.

Tahti 2: c – g' eli puhdas kvintti ylöspäin, värähdyslukujen suhde sävelten välillä on 3 (g') : 2 (c).

Tahdit 3 - 6: kvintti g' – d'' ylöspäin ja siitä oktaavi alaspäin, jotta sävelet saadaan samaan oktaavialaan. Suhdeluvuissa osoittaja siis kolminkertaistuu ja nimittäjä kaksinkertaistuu paitsi silloin kun tehdään oktaavi siirto (ilman sitä suhdeluku olisi siis 9:4).

Tahti 7: sävel f saadaan kvinttiliikkeellä alaspäin. Suhdeluku tulee siitä, että F-osaäänessarjassa f on neljäs ja c kolmas äänes.

1 2 3 4 5 6 7

Suhdeluku: 3/2 9/8 27/16 81/64 243/128 4/3

Senttiä: 702 204 906 408 1110 498

Saadaan seitsemän (diatonisen asteikon) säveltä (c, g, f, d, a, e ja h), jotka muodostavat pythagoralaisesti viritetyn duuriasteikon. Verrattaessa asteikkoa tasavireiseen asteikkoon huomataan, että ero kasvaa jokaisen kvintin kohdalla kaksi senttiä ja jos kvinttien avulla viritettäisiin koko kroma (12 peräkkäistä kvinttiä) se kasvaisi n. 1/8-sävelaskeleeseen (n. 24 C), mikä häiritsee jo musiikillisesti kehittymätöntäkin korvaa. Tätä eroa kutsutaan pythagoralaiseksi kromaksi ja se oli eräs keskeisiä syitä keskiajalla pohtia erilaisia muita viritystapoja eli temperointeja.

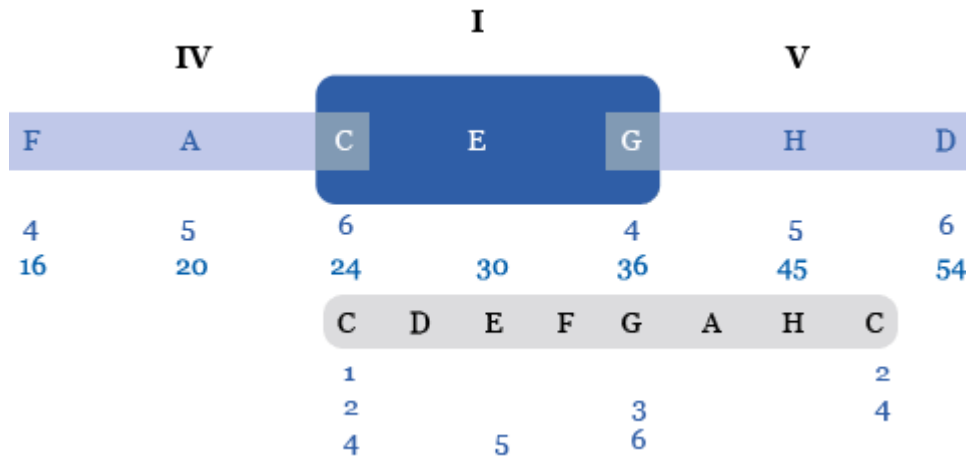
Puhdas viritys

Diatoninen asteikko voidaan muodostaa myös osasävelsarjan sävelistä. Puhdas kvintti on toisen ja kolmannen osaaänneksen välillä (suhdeluku 2:3 tai 3:2 riippuen siitä kumpi äänne on ensin), puhdas kvartti taas kolmannen ja neljännen välillä (suhdeluku 4:3). Näiden avulla saatavat duuriasteikon neljäs ja viides sävel (fa ja so, kts. kuvio) ovat samoja kuin pythagoralaيسessa asteikossa. Asteikon kolmas sävel eli duuriterssi sen sijaan poikkeaa huomattavasti pythagoralaisesta virityksestä. Pythagoralaisen teressin suhdeluku on $(3/2)^4$ eli 81/64 (n. 1,2656...) kun puhdas terssi on 5:4 (1,25).

On monta tapaa ilmaista erilaisten viritysjärjestelmien keskinäisiä suhteita. Seuraavassa kaaviossa käytetään suhdelukujen sijasta kokonaislukuja. Sävelnimet c, d, e jne. on korvattu relatiivisilla säveltapailunimillä, koska sekä puhdas että pythagoralainen viritys ovat sävellajisidonnaisia. Oktaavisuhde on kaikissa sama: ala-do on 24 ja ylä-do 48. Yksinkertaisiin lukusuhteisiin perustuvassa puhtaassa temperoinnissa on pelkkiä kokonaislukuja. Pythagoralaيسessa virityksessä desimaaleja tulee sitä mukaa kun kvinttisarjaa (FA-DO-SO-RE...) edetään (edellinen on aina suhteessa 2/3 tai 4/3 seuraavaan). Alimmalla rivillä on vertailun vuoksi tasavireisen temperoinnin likiarvot.

| | DO | RE | MI | FA | SO | LA | TI | DO |
|-----------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|---------|----|
| Puhdas | 24 | 27 | 30 | 32 | 36 | 40 | 45 | 48 |
| Pythag. | 24 | 27 | 30,375 | 32 | 36 | 40,5 | 45,5625 | 48 |
| Tasavir. | 24 | 26,939 | 30,238 | 32,036 | 35,959 | 40,363 | 45,306 | 48 |

Puhtaan virituksen periaate voidaan näyttää myös kaaviona, jossa ovat kaikki ns. perusfunktiot (I, IV ja V aste kolmisointuina). Sointujen sävelille voidaan antaa numeeriset arvot, jotka muodostavat keskenään yksinkertaisia lukusuhteita:

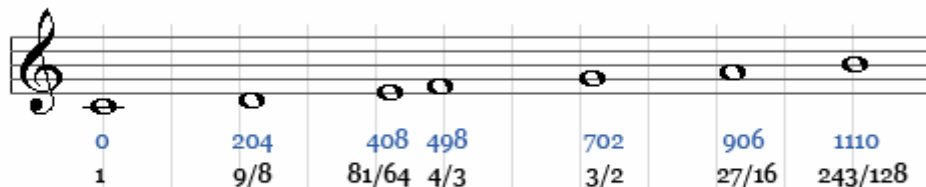


Kaavio on mukaelma Donkinin 'keinotekoisesta asteikosta' ('artificial scale') vuodelta 1870. Duurikolmisoinnun sävelillä on keskenään lukusuhteet 4:5:6, jotka saadaan suoraan osäänessarjasta.

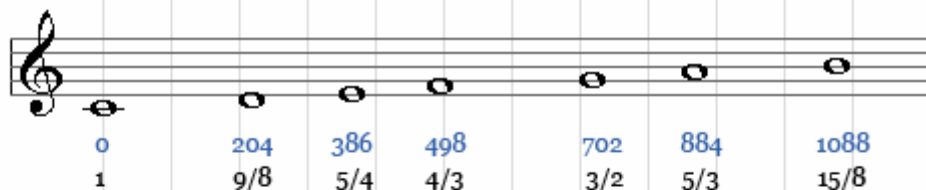
Pitkän lukusarjan peräkkäisillä sävelillä on aina yksinkertaiset lukusuhteet, mutta esim. 'A' (20) ja 'D' (54) eivät enää sellaista sisälläkään. Siirtämällä A 'samaa oktaaviaan' D:n kanssa (eli kertomalla luku neljällä) saadaan kvinttisuhteeksi 54:80. Ero puhtaaseen kvinttiin on **syntoninen komma** (suhdeluku 81:80 eli n. 21,5 C), koska $54:81 = 2:3$ (molemmat luvut jaollisia 27:llä).

Nuottiesimerkissä em. asteikkojen viritystasojen erot näkyvät siten, että sävel on sitä 'korkeampi', mitä enemmän se on oikealla. Esim. asteikon kolmas sävel on mainituissa asteikoissa sävelkorkeudeltaan hyvin erilainen. Alimmalla viivastolla on 'tasavälinen' tasavireinen asteikko.

Pythagoralainen



Puhdas



Tasavireinen



Keskisävelviritys

Keskisäveltemperoinnilla pyritään välttämään pythagoralaisen tai puhtaan virityksen aiheuttamia ongelmia. Keskisävelvirityksiä on itse asiassa useita erilaisia, mutta yhdistävänä tekijänä on kvinttien supistaminen, jotta joistain 'tavallisimmista tersseistä' tulisi puhtaita.

Nimitys Mean-Tone Temperament (=keskisävelviritys), johtuu siitä, että jokainen kokosävelaskel on samankokoinen (192 C) ja itse asiassa 'heikon' (182 C eli 10/9) ja 'vahvan' (204 C eli 9/8) kokosävelaskelen keskiarvo (engl. mean). Näin syntyy myös puhtaita duuriteressejä.

Kaksi puhdasta kvinttiä muodostaa suuren kokosävelaskelen: $702 + 702 = 204 (+1200)$. Kun kokosävelaskel supistetaan syntonisen komman puolikkaalla (keskiarvon saamiseksi), on jokaista kvinttiä supistettava tällöin komman neljäsosalla. Tästä nimitys 'one-quarter comma meantone tuning'. Ensimmäisen tällaisen keskisävelvirityksen teki tiettävästi Pietro Aron v.1523.

Keskisävelvirityksessä saadaan yhdeksän (B, F, C, G, D, A ja g, d, a) melko hyvin soivaa sävellajia, mutta temperoinnin tuloksena kvintit supistuvat 696,6 sentin suuruisiksi. Vajaakvintin epäpuhtaus häiritsee ainoastaan silloin kun se on avonaisena intervallina. Viimeisen temperoitavan kvintin erotus tasavireiseen on kuitenkin peräti 38 C ($11 \cdot 3,4C$). Tämä ylisuuri susikvintti (738 C) sijoitetaan yleensä sävelten 'es' ja 'gis' (enharmonisesti kvintti) välille.

Gottfried Silbermann (1683-1753) supisti kvinttejä tiettävästi vain komman kuudesosalla, jolloin tersseistä ei tullut enää aivan puhtaita, mutta toisaalta susikvintti supistui jonkun verran ja muutkin kvintit olivat hiukan puhtaampia.

Silbermannin viritystä ja muitakin keskisävelvirityksiä on käytettiin joissakin uruissa vielä 1800-luvulle asti ja toisaalta nykyään on alettu virittää kosketinsoittimia jonkin keskisävelvirityksen mukaan. Keskisävelviritys on esimerkki ns. säännöllisestä temperoinnista, eli jokaista kvinttiä supistetaan yhtä paljon.

Epäsäännöllisissä temperoinneissa joitain kvinttejä supistetaan, toisia taas ei. Temperoinnissa, joka tunnetaan nimellä Werckmeister III (virityksen keksijä **Andreas Werckmeister** eli vuosina 1645-1706) on puhtaita kvinttejä huomattava määrä, mutta pythagoralaisia terssejä vain neljä (fis-ais, des-f, e-gis ja as-c), muut ovat vähintään tasavireisiä. J.-P. Rameaun nimiin on pantu viritys, jossa suuret terssit c-e, f-a, g-h ja b-d ovat luonnonpuhtaita, silti temperoinnista löytyy myös puhtaita kvinttejä sävelistä h, fis ja cis.

Temperointien yhteydessä on syytä mainita vielä ns. **enharmoninen komma**, joka muodostuu kolmesta päällekkäisestä duuriterseistä, esim. as-c-e-gis. Jos jokainen terssi olisi luonnonpuhdas (386 C), niin "oktaavi" as-gis olisi vajaa n. 41 senttiä (viidesosasävelaskelen!) vajaa. Toisin sanoen mainittua terssipinoa ei voida luoda niin, että kaikki olisivat puhtaita. "Duuriterseiden tasaaminen" onkin ollut keskeinen ongelma yrityksissä luoda käyttökelpoisia temperointeja. Paljon käytetyssä Vallottin virityksessä on 5 parempaa, kaksi yhtäsuurta ja 5 huonompaa terssiä kuin tasavireisessä.

Tasavireisyys

Tasavireisyydessä on jokaista luonnonpuhdasta kvinttiä (702 C) supistettu pythagoralaisen komman kahdestoistaosalla (n. 2 senttiä). Eroa puhtaaseen kvinttiin on todella vaikea havaita. Duuriterseetit eivät ole läheskään luonnonpuhtaita (386 C), mutta kuitenkin n. 4 C suppeampia kuin pythagoralaiset (404 C). Pianon soinnissa on tasavireisiin tersseihin parissa vuosisadassa jo totuttu. Muutenkin näyttää olevan niin, että ns. puhtaat intervallit (oktaavi, kvintti ja kvartti) sietävät vähemmän poikkeamista luonnonpuhtaasta soinnista kuin terssit, sekunnit, sekstit ja septimit

Tasavireiset intervallit ovat aina täysiä satalukuja, mikä saattaa antaa vaikutelman, että juuri ne olisivat "puhtaita". Näin ei kuitenkaan ole puhdasta oktaavia (1200 C) lukuunottamatta. Pianossa on lisäksi huomattava, että oktaavitkin ovat puhtaita ainoastaan aivan keskialueella. Alaspäin mentäessä viritystaso laskee (suhteessa normaaliin tasavireisyyteen) koko ajan enemmän ja enemmän. Vastaavasti ylöspäin mentäessä viritystaso nousee. Niinpä A_2 saattaa olla -40 C ja $c^5 + 20$ C verrattuna pianon keskialueella olevaan viritystasoon.

Pythagoralaisen vurityksen kohdalla mainittiin jo diatoninen asteikko, joka on länsimaissa viimeistään keskiajalta lähtien muodostanut musiikillisen perustan. Soittimilla (joitain lyömäsoittimia lukuunottamatta) saadaan aikaan harmoninen spektri. Osaäänessarjasta saadaan suoraan hyvinkin monta asteikon säveltä: Jos 1. osaäännes ajatellaan duuriasteikon 1. asteena (C-duurissa siis sävel c), niin 9. osaäännes vastaa toista astetta (d), 5. ja 10. osaäännes kolmatta astetta (e) ja 3. ja 6. osaäännes 5. astetta (g). Seitsemäs aste (h) on vasta 15. osaäännes, mutta 4. ja 6. aste eivät löydy osaäännessarjasta pitkään aikaan. On kuitenkin mahdollista ajatella, että diatoninen asteikko on muodostunut vähitellen kun osaäännessarjan pohjalta muodostettuun asteikkoon on lisätty väliin säveliä. Käsite akustinen asteikko juontuu tavallaan tästä. C-akustisessa asteikossa ovat sävelet c, d, e, fis, g, a ja b, koska 7. ja 11. osaäännes vastaavat lähinnä sävelkorkeuksia b ja fis.

Joissakin kulttuureissa (mm. Mongolian Tuva-heimo) harrastettavassa äänneslaulussa ("kurkkulaulu") poimitaan suun, nielun ja nenäonteloiden muodostamaan kajettiin matalasta sävelestä sen luonnonsäveliä, esim. seitsemänneistä 12.seen. Tällä tavoin saadaan aikaan asteikko, jossa intervallit pienenevät ylöspäin mennessä koko ajan, mutta ovat kuitenkin n. kokosävelaskelen luokkaa.

Intervallisuhdelukujen yhteenlaskusta

Luonnonpuhtaat intervallit ovat yksinkertaisia suhdelukuja. Tiedämme, että oktaavi voidaan jakaa puhtaaseen kvinttiin ja kvarttiin, mutta kuinka ilmaista tämä sama suhdelukujen avulla (eihän $2/3 + 3/4$ ole suinkaan $1/2$)?

Laskutoimitus onnistuu, kun suhdeluvut yhteenlaskun sijasta kerrotaan keskenään:
 $2/3 \cdot 3/4$ (kolmoset supistuvat pois) = $2/4 = 1/2$.

Kvintti jakaantuu luonnonpuhtaiksi tersseihin, suureen ja pieneen:
 $4/5 \cdot 5/6 = 2/3$

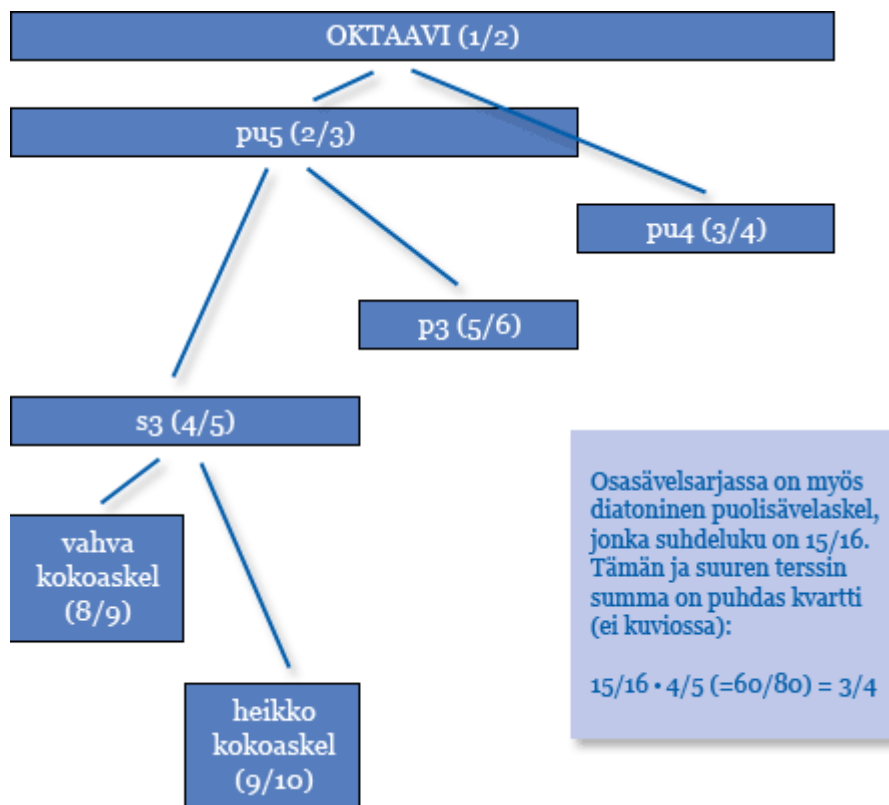
Luonnollinen suuri terssi jakaantuu taas vahvaan ja heikkoon kokosävelaskeleeseen:
 $9/8 \cdot 10/9 = 4/5$

Vahva kokosävelaskel on luonnonpuhtaassa asteikossa esim. do:n ja re:n välillä, heikko kokosävelaskel taas re:n ja mi:n välillä. Tämän seikan huomioon ottaminen eli puhdas intonaatio on mahdollista esim. kuorolaulussa. Tasavireisissä soittimissa kokoaskelet on temperoitu yleensä samansuuruisiksi.

Kaikki luonnonpuhtaiksi nimetyt intervallit löytyvät osaäännessarjasta. Jakosuhde saadaan suoraan järjestysnumeroista; esim. viidennen ja kahdeksannen osaäänneksen intervalliero on pieni seksti ja suhdeluku $5/8$.

Pythagoralaisessa vuritysjärjestelmässä kaikki kokoaskelet ovat vahvoja - kaksi peräkkäistä kvinttiä miinus oktaavi on vahva kokoaskel: $2/3 \cdot 2/3 \cdot 2 = 8/9$.

Muutamien puhtaiden intervallien kokoeroja voidaan hahmottaa seuraavan kuvion avulla:



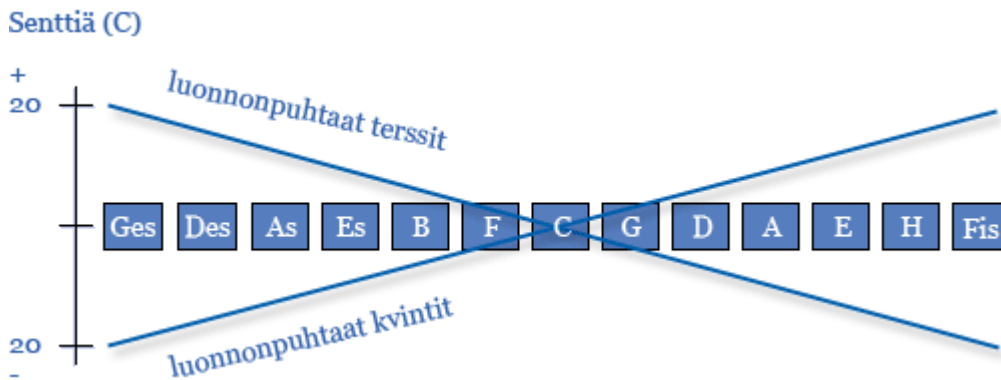
Virityskoordinaatisto

Kuviossa on sävelnimet esitetty tasavireisesti temperoidussa kvinttijärjestyksessä niin, että kukin sävel on kuvattu omalla "nollatasollaan", ei verrattuna esim. asteikon ensimmäiseen säveleen kuten yleensä tehdään.

Jos halutaan luonnonpuhtaita kvinttejä, tulee peräkkäisten kvinttien erotus olla aina n. 2 C, esim. jos sävel c = 0, niin g = +2, d = +4 jne. Tästä seuraa, että puhtaiden kvinttien tuottama ketju saa väkisinkin sävelet ges ja gis n. 24 sentin päähän toisistaan (pythagoralainen komma). Alhaalta vasemmalta nouseva viiva kuvaa tällaista viritystä eli "sävelaatikot" tulevat viivan osoittamaan linjaan pythagoralaisessa viritysjärjestelmässä.

Jos halutaan taas luonnonpuhtaita duuritersejä, on esim. sävelen e oltava n. 14 senttiä alempana kuin sävel c. Jotta luonnonpuhtaat terssit toteutuisivat kaikkien sävelten välillä on ne asetettava vasemmalta ylhäältä alkavan viivan osoittamaan linjaan. Tässä tapauksessa sävelten ges ja fis ero olisi vielä suurempi (n. 41 C eli n. viidesosasävelaskel). Tällöin myös "molliterssit" olisivat huomattavan kapeita verrattuna puhtaisiin (269 C kun "luonnollinen pieni terssi" on 316 C, suhdeluku 5:6). Ja jokainen kvinttikin olisi n. 5 C liian suppea.

Koordinaatistolla voidaan osoittaa, että tasavireisyys on eräänlainen kompromissi: mikään intervalli ei ole "luonnonmukainen", mutta ei myöskään häiritsevän paljon poikkea siitä. Monet temperointitavat (joita edelleenkin kehitellään) tuovat intervalleihin "elävyyttä tasapäistämisen sijaan".



Sanasto

Aluke

Värähtelyn synnyttämiseksi tarvittava alkuimpulssi

Amplitudi

Paineenvaihtelun laajuus, amplitudin muutokset aistitaan voimakkuuden muutoksina

Diatoninen asteikko

Kattoasteikko, johon kuuluvat mm. duuri, molli ja kirkkosävellajit. Puolisävelaskelten välissä on vuorotellen kaksi ja kolme kokosävelaskelta

Ensimmäinen (1.) osaaänes

Sävelen alin osavärähtely, jonka mukaan sävelkorkeus yleensä määräytyy.

Epäharmoninen spektri (epäharmoninen osaaännessarja)

Osaäännekset eivät ole kokonaislukusuhteessa keskenään, ääni havaitaan yleensä hälynä (kellomainen, suhiseva, jne.)

Flageoletti

'huiluääni'; ohut, huilumainen ääni, joka syntyy kun kielisoittimen kieltä kosketetaan kevyesti esim. kielen puolivälissä

Foni

Äänekkyystason mittayksikkö. Testiäänen kanssa yhtä äänekkäältä kuulostava 1000 Hz:n tasoallon äänipainetaso.

Formantit

Resonanssit eli taajuudet, jonka mukaiset ääniaallot vahvistuvat jossakin ääntöväylän kohdassa. Formantit nähdään "harjanteina" tai "huippuina" puhesignaalin osasta lasketussa spektrissä

Fundamental tone

Sävelen alin osavärähtely, jonka mukaan sävelkorkeus yleensä määräytyy

Harmonic, overtone

Harmonisen spektrin osaaänes

Harmoninen spektri (harmoninen osaaäneistö)

Osaäännekset ovat kokonaislukusuhteessa keskenään, syntyvä ääni havaitaan sävelenä

Häly

Nimitys, jota käytetään äänestä, jolla ei ole havaittavaa sävelkorkeutta

Infraääni

Kuuloalueen alapuolinen eli alle 16 Hz:n taajuus

Luonnonsävelet, luonnonsävelsarja

Soittimella aikaansaadut sävelet, jotka sävelkorkeudeltaan noudattavat harmonista osaaännessarjaa.

Kohina

Kohinalla tarkoitetaan ääntä, joka sisältää useita sattumanvaraisia taajuuksia. Valkoinen kohina sisältää kaikkia taajuuksia yhtä paljon (valkoinen värihän sisältää kaikkia värejä). Jokaista oktaavia kohden voimakkuus lisääntyy 3 dB. Vaaleanpunaisessa kohinassa äänen

voimakkuus on jokaisella oktaavilla yhtä suuri. Punaisessa kohinassa alimmat taajuudet ovat voimakkaimpia.

Mikrointervallit

Puolisävelaskelta (100 C) pienempi intervalli. Esim. 1/4-sävelaskel on 50 C.

Natural harmonics

Soittimella aikaansaadut sävelet, jotka sävelkorkeudeltaan noudattavat harmonista osäänessarjaa.

Osaäänes, "osasävel", "yläsävel"

Sävelen osavärähtelyistä käytettyjä nimityksiä

Oktaavi

Oktaavi on intervalli, joka vastaa taajuuden kaksinkertaistumista. Oktaavin päässä toisistaan olevia säveliä kutsutaan samalla nimellä. Yksiviivaisen a:n taajuus on 440 Hz, kaksiviivaisen a:n taas 880 Hz.

Osaäänessarja, ("osasävelsarja")

Osaäänesten yhteisnimitys

Partials ("partiaalit")

Usein nimenomaan epäharmonisen spektrin osääneksistä käytetty nimitys

Resonanssi

Myötävärähtely. Värähtelykykyinen systeemi on resonanssissa, kun siihen vaikuttaa ulkopuolinen voima, jonka vaihtelun taajuus on sama tai lähes sama kuin järjestelmän ominaisvärähtely.

Sentti

Oktaavin 1200-osa, lyhennetään C. Tasavireisyydessä kokosävelaskel on 200 C, kvintti 700 C.

Siniääni, äänes

Aaltoliikkeen yksinkertaisin muoto, jota voidaan kuvata sinifunktiolla; sisältää vain yhtä taajuutta

Soni

Äänekkyyden eräs mittayksikkö. 1 soni vastaa 1000 Hz:n siniäänen koettua voimakkuutta äänipainetasolla 40 dB. Jokaista 10 dB:n lisäystä kohden sonimäärä kaksinkertaistuu.

Syntoninen komma

Mikrointervalli (21,5 C), joka on esim. pythagoralaisen ja luonnonpuhtaan terssin välillä. Myös vahvan ja heikon kokosävelaskelen erotus on syntoninen komma.

Sävel

Kompleksinen ääni, joka syntyy useista ääneksistä (osavärähtelyistä)

Sävelkorkeus

Kuuloaistimuksen välittämä tulkinta (kompleksisesta) äänestä. Lähes aina sävelkorkeus on sama kuin äänen perustaajuus huolimatta siitä kuinka paljon ylä-ääneksiä ääni sisältää.

Ultraääni

Kuuloalueen yläpuolinen eli yli 20 000 Hz:n taajuus. Monet eläimet (koirat, lepakot) kykenevät kuulemaan ultraääniä.

Ylä-äänokset

Perustaajuutta korkeammat äänokset, joiden määrä vaikuttaa oleellisesti sointiväriin

Äänes

Vain yhtä taajuutta sisältävä ääni eli ns. siniääni. Myös osaäänes on äänes. Nimitystä osaäänes käytetään havainnollistamaan sitä, että itse ääni koostuu monista ääneksistä.

Äänispektri

Graafinen kuvaaja, jolla osoitetaan osaäänesten keskinäiset voimakkuussuhteet

Filename: akustiikan_perusteet.doc
Directory: K:\Arkisto\Akustiikan perusteet\Akustiikka_zeptoon
Template: Y:\Teemat\Pohjat\Normal.dot
Title:
Subject:
Author: Outi Parkkila
Keywords:
Comments:
Creation Date: 18.10.2007 11:05:00
Change Number: 7
Last Saved On: 20.11.2007 14:06:00
Last Saved By: Outi Parkkila
Total Editing Time: 265 Minutes
Last Printed On: 20.11.2007 14:06:00
As of Last Complete Printing
Number of Pages: 22
Number of Words: 5 334 (approx.)
Number of Characters: 37 661 (approx.)