VOIMASOINNUN LAATU - DUURI VAI MOLLI?

Henri Penttinen (1), Esa Lilja (2), Niklas Lindroos (1)

(1) Teknillinen korkeakoulu, Signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitos
PL 3000, FI-02015 TKK
Etunimi.Sukunimi@tkk.fi - http://www.acoustics.hut.fi/

(2) Helsingin yliopisto, Taiteiden tutkimuksen laitos, Musiikkitiede
PL 35, FI-00014 Helsingin yliopisto
Esa.Lilja@helsinki.fi

1 JOHDANTO

Voimasointu on säröytetty sointu, joka koostuu kahdesta sävelluokasta – pohjasävelestä ja sen kvintistä (esim. sävelistä *a* ja *e*). Voimasointu on ollut olennainen osa pop- ja rockmusiikin sävelkieltä 1960-luvulta alkaen. Vuosikymmenten varrella voimasoinnun käyttö rockmusiikissa on asteittain lisääntynyt samalla kun kitarasärön määrä on kasvanut [1-3]. Voimasointu on olennainen sävellyksellinen elementti erityisesti heavy metal –musiikissa [1], ja viimeistään 1980-luvulta alkaen se on tullut yhä merkittävämmäksi osaksi kaikkea muutakin populaarimusiikkia.

Musiikintutkimuksessa on esitetty, jopa melko hiljattain, että kuultavissa olevien intermodulaatiokomponenttien tuottamiseen vaaditaan särön lisäksi suuri äänenpaine [1]. Lisäksi on väitetty, että särökitaran tuottamat intermodulaatiokomponentit eivät olisi akustisia vaan pikemminkin psykoakustisia [3]. Tuloksemme kuitenkin osoittavat, että suurta äänenpainetta ei tarvita, ja että särökomponentit ovat sekä kuultavissa että akustisesti mitattavissa.

Kitarasärö on epälineaarinen efekti, jolla tahallisesti aiheutetaan ylimääräistä säröä ja muutetaan äänenväriä. Tässä yhteydessä säröefektin tärkeimmät tulokset ovat sen tuottamat harmoniset- ja intermodulaatio-komponentit [4]. Lisäksi kitarasärö kompressoi signaalia, aiheuttaen pidemmät vaimenemisajat ja nostaa kohinalattiaa voimakkaan vahvistuksen johdosta.

Musiikillisissa yhteyksissä voimasointua käytetään sekä duuri- että mollisointujen asemesta. Esitämme kuitenkin, että soivana rakenteena voimasointu on laadultaan pikemminkin duuri kuin molli.

2 TEORIAA

Kun kitaralla soitetaan samanaikaisesti vähintään kahta säveltä, on kitarasärön oleellisin tulos signaalianalyysin kannalta sarja summa- ja erotustaajuuksia

$$f_{\mathrm{d}j} = \sum_{j,k,l,m,n=0}^{N} mf_{\mathrm{r}k} \pm mf_{\mathrm{h}l} \qquad (1)$$

jossa f on harmonisen taajuus, j, k, l, m ja n ovat indeksejä ja N on osasävelten määrä. Indeksi d viittaa säröharmonisiin ja indeksit r ja h viittaavat vastaavasti pohjasävelen ja korkeamman sävelen harmonisiin. Tämä yksinkertainen kaava ei vielä kerro kitarasärön musiikillisesta luonteesta.

Intervallin suhdeluku p/q kertoo pohjasävelen ja korkeamman äänen perustaajuuksien suhteen. Lisäksi p/q kertoo siitä, että matalamman äänen joka p:nnes harmoninen osuu päällekkäin korkeamman äänen joka q:nnen harmonisen kanssa.

Havaitsimme, että pienin positiivinen intermodulaatiokomponentti on säröstä aiheutuvan harmonisen sarjan perustaajuus. Kutsumme tätä taajuuskomponenttia säröfundamentiksi f_{d0}. Säröfundamentti voidaan ilmaista intervallin suhdeluvun avulla seuraavasti

$$f_{d0}=f_{r0}/q, \tag{2}$$

jossa f_{r0} on pohjasävelen perustaajuus. Vaihtoehtoisesti

$$f_{d0}=f_{h0}/p, \tag{3}$$

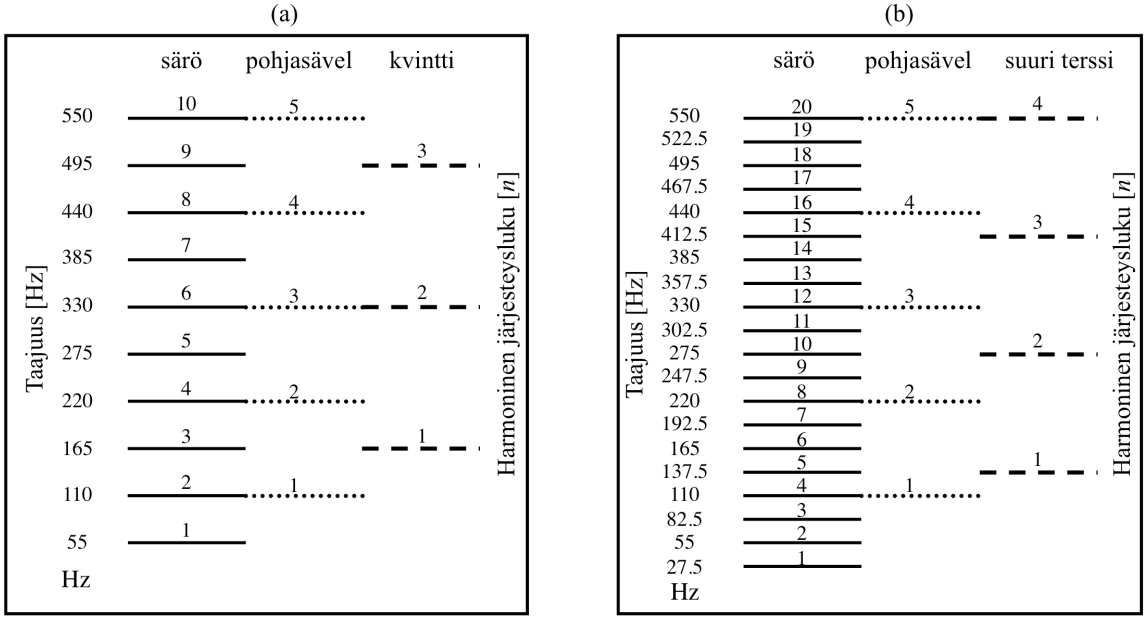
jossa f_{h0} on korkeamman sävelen perustaajuus. Säröfundamentti toimii siis perustaajuutena harmoniselle sarjalle joka voidaan johtaa Kaavasta 1. Taulukko 1 esittää säröfundamenttien taajuudet tavanomaisimmille intervalleille kun f_{r0} = 110 Hz (sävel A2). Viimeinen sarake esittää pohjasävelen f_{r0} säröfundamentin kerronnaisena. Taulukosta 1 nähdään kuinka voimasoinnun säröfundamentti on taajuudeltaan korkein; tämä tarkoittaa sitä, että voimasoinnussa on vähiten taajuuskomponentteja kaikista samanpohjaisista säröytetyistä intervalleista.

Taulukko 1 voidaan myös käsittää säröytettyjen intervallien konsonanssi/dissonanssijärjestyksenä. Mitä korkeampi säröfundamentti on taajuudeltaan sitä konsonoivampi säröytetty intervalli on. Tässä suhteessa puhumme musiikillisesta konsonanssista, joka kuvaa intervallin suhteellista miellyttävyyttä [5]. Tässä esitetty konsonanssijärjestys on ristiriidassa perinteisen musiikinteorian kanssa. Säröytettynä esimerkiksi pieni septimi on konsonoivampi kuin pieni terssi; perinteisen säröyttämättömiin intervalleihin perustuvan musiikinteorian mukaan järjestys olisi päinvastainen [6]. Konsonanssijärjestykset ja -käsitykset perusteluineen ovatkin jatkuvasti muuttuneet vuosien ja vuosisatojen varrella [5, 7-8]. Tässä esitetty konsonanssijärjestys ei ole mikään aikaisemmista. Mielenkiintoista on lisäksi se, että säröfundamentit ovat lähes yhtäpitäviä Hermann von Helmholtzin n. 150 vuotta sitten esittämien erotusäänesten kanssa [9].

Kuva 1 esittää teoreettisesti sen, miten säröytetyn kvintin (so. voimasoinnun) ja suuren terssin harmonisten taajuudet sijoittuvat suhteessa toisiinsa. Jokainen osaäänes on esitetty poikkiviivalla, joka on numeroitu vastaamaan kunkin harmonisen järjestyslukua. Säröäänekset on esitetty vasemmalla, pohjasävelen komponentit keskellä ja ylemmän sävelen äänekset oikealla. Kuva 1 (a) esittää harmonisten suhteet voimasoinnussa. Säröfundamentti on f_{d0} = 55 Hz, kun soinnun pohjasävel ja kvintti ovat 110 Hz ja 165 Hz. Pohjasävelen ja kvintin kaikki osaäänekset osuvat teoriassa päällekkäin särösarjan harmonisten kanssa. Käytännössä kielen epäharmonisuus aiheuttaa kuitenkin sen, että näin ei tapahdu korkeammilla taajuuksilla. Vastaavasti Kuva 1 (b) esittää harmonisten suhteet suurelle terssille. Terssin tapauksessa säröäänesten määrä on suurempi kuin voimasoinnussa johtuen siitä, että säröfundamentti on matalammalla taajuudella (f_{d0} = 27,5 Hz).

Taulukko 1. Yleisimpien oktaavin sisällä olevien intervallien suhdeluvut, säröfundamentit ja pohjasävelet (säröfundamenttiensa kerrannaisina).

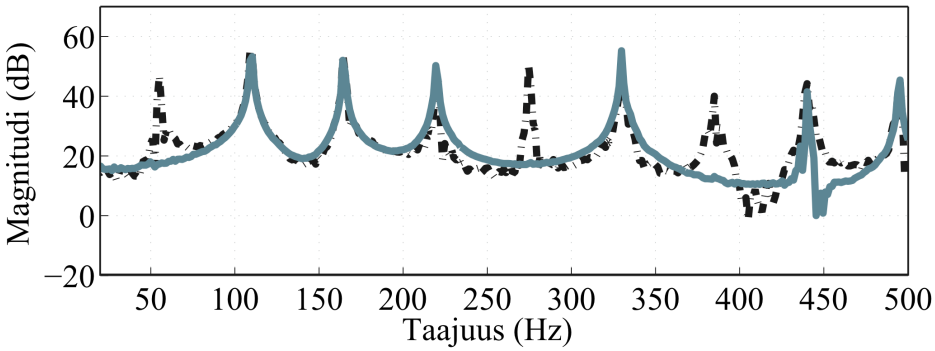
Intervalli	Suhdeluku [p/q]	f_{d0} [Hz]	nf_{d0} = 110 Hz [n]
Pieni 2	16/15	7,33…	15
Suuri 7	15/8	13,75	8
Suuri 2	9/8	13,75	8
Pieni 6	8/5	22	5
Tritonus	7/5	22	5
Pieni 3	6/5	22	5
Pieni 7	7/4	27,5	4
Suuri 3	5/4	27, 5	4
Suuri 6	5/3	36,66…	3
Puhdas 4	4/3	36,66…	3
Puhdas 5	3/2	55	2



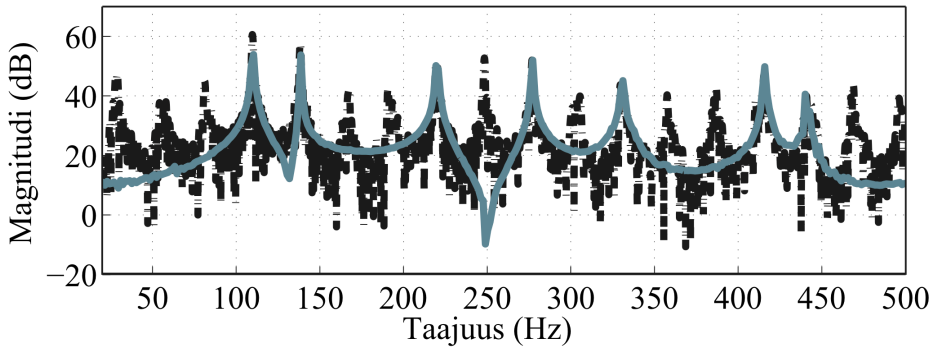
Kuva 1. Harmonisten sijoittuminen säröytetylle (a) kvintille ja (b) suurelle terssille. Särökomponenttien (yhtenäinen), perussävelen (pisteellinen) ja korkeamman äänen (katkoviiva) harmoniset taajuuden ja järjestysnumeron funktiona.

3 MITTAUSTULOKSIA

Kuvat 2 ja 3 esittävät kuinka harmoniset käyttäytyvät oikeilla äänillä kuten Kaavat (1-3) ennustavat. Mittauksissa käytettiin digitaalisesti mallinnettua putkisäröefektiä [10] ja kaupallisesti olemassa olevia mallinnuksia [11]. Kuva 2 esittää magnitudivasteet säröytetystä ja säröyttämättömästä kvintti-intervallista matalilla taajuuksilla (0-500 Hz). Kuvasta näkyy myös kuinka voimasoinnulla on uusi perustaajuus, säröfundamentti. Eräällä tavalla A2 voimasointu (f_{r0} = 110 Hz) on oikeastaan nuotin A1 (f_{d0} = 55 Hz) harmoninen sarja. Kuva 3 esittää magnitudivasteet säröytetylle ja säröyttämättömälle suurelle terssille kun f_{r0} = 110 Hz ja f_{h0} = 137,5 Hz. Särökomponentteja on enemmän kuin voimasoinnun tapauksessa, koska säröfundamentti sijaitsee matalammalla taajuudella.



Kuva 2. Säröyttämättömän kvintin (harmaa) ja voimasoinnun (katkoviiva) magnitudivasteet. Näytteet ovat 1 sekunnin pituisia, NFFT = 2^15, f_s = 44,1 kHz, Hamming-ikkuna. Samat parametrit ovat käytössä Kuvassa 3.



Kuva 3. Säröyttämättömän suuren terssin (harmaa) ja säröytetyn suuren terssin (katkoviiva) magnitudivasteet.

4 KUUNTELUKOKEET

Voimasoinnun yhteydessä yksi särön tuottamista taajuuskomponenteista vastaa musiikillisessa ajattelussa suurta terssiä (särökomponentti nro. 5, ks. Kuva 1). Täten voisi olettaa, että musiikin kuulija tunnistaa soinnun laadun duuriksi muusta musiikillisesta ympäristöstä huolimatta.

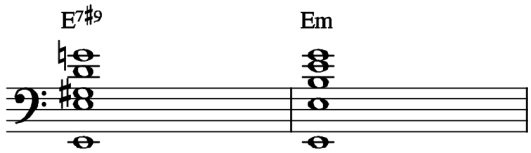
Kuulijan kokemusta selvittääksemme suoritimme kuuntelukokeen Helsingin yliopistolla, jossa koehenkilöinä toimi 25 musiikkitieteen opiskelijaa. Satunnaisessa järjestyksessä soitetut näytteet olivat kahdelle eri sävelluokalle (*a* ja *e*) ja oktaavialalle perustuvia voimasointuja, duurikolmisointuja ja mollikolmisointuja. Ääninäytteitä oli yhteensä 36. Koehenkilöiden tuli päättää, vaikuttaako sointu duuri- vai mollikolmisoinnulta.

Kokeen tulokset osoittavat, että voimasointu mielletään useimmiten vastaavan duurikolmisointua. Vaikka musiikillisen kontekstin vaikutusta ei voitu täysin eliminoida, suurin osa (64%) voimasoinnuista kuultiin duurisointuina (keskihajonnan ollessa 4,7%). Mollina voimasointua pidettiin 21%:n todennäköisyydellä (keskihajonnan ollessa 3,3%). Voimasoinnuitua ei merkitty kummaksikaan 16%:n todennäköisyydellä (keskihajonnan ollessa 1,3%). Kuuntelukokeiden tulokset tukevat mittaustuloksia: suurin osa koehenkilöistä ilmeisesti havaitsi voimasoinnussa olevan duuriterssiä vastaavan särökomponentin.

5 KESKUSTELU

Tässä tapauksessa sillä, käytetäänkö putki- vai transistorisäröä, ei ole merkitystä. Käytetyllä säröefektillä on voimakas vaikutus äänenväriin sen epälineaarisuuden määrän ja tyypin kautta, johon vaikuttavat myös systeemin taajuus- ja vaihevasteet. Käytetty särötyyppi vaikuttaa myös särökomponenttien yksittäisiin amplitudeihin ja esimerkiksi parillisten tai parittomien komponenttien voimakkuuteen. Tässä yhteydessä on kuitenkin keskitytty eroihin, jotka ilmenevät säröytettyjen ja säröyttämättömien intervallien harmonisessa rakenteessa silloin kun intermodulaatiosärö on voimakasta.

Kitarasärön käyttö on ilmiselvästi vaikuttanut musiikillisiin ratkaisuihin ja erityisesti voimasoinnun käytön yleistymiseen. Esimerkiksi The Who –yhtyeen Pete Townshend – yksi ensimmäisistä voimasointuun erikoistuneista kitaristeista – on sanonut käyttävänsä voimasointuja, koska soinnun terssi on kuultavissa särössä [12].



Kuva 4. Soinnut E7#9 ja Em.

Musiikissa voimasointua käytetään usein yhteyksissä, joissa melodiassa on pieni terssi. Tämä näyttäisi toimivan linkkinä bluesiin, jossa usein käytetään duurityyppistä sointua melodian molliterssin kanssa. Esimerkkeinä tämän kaltaisesta ratkaisusta voidaan mainita Robert Johnsonin ”Kind Hearted Woman Blues”, Jimi Hendrixin ”Purple Haze”, The Beatlesin ”The Night Before” ja Black Sabbathin ”Paranoid”. Lisäksi Black Sabbathin ”Supernaut” toimii esimerkkinä siitä, miten särö vaikeuttaa soinnun kuulonvaraista tunnistamista. On hyvin vaikea tietää, kumpi Kuvan 4 soinnuista on varsinaisesti soitettu, koska sointujen sisältämät intervallit tuottavat samoja särökomponentteja [13].

Yhteenvetona todettakoon, että laskennallinen teoria, mittaustulokset ja kuuntelukoe näyttävät tukevan väitettämme siitä, että voimasoinnun laatu on pikemminkin duuri kuin molli.

KIITOKSET

Emil Aaltosen säätiö on tukenut Esa Liljan tutkimusta ja Suomen Akatemia on tukenut Henri Penttisen tutkimusta (Project Nro. 119532 and Project Nro. 128689).

VIITTEET

1. WALSER R, *Running with the Devil – Power, Gender and Madness in Heavy Metal Music*. University Press of New England, Hanover, 1993.
2. BERGER H M, *Metal, Rock, and Jazz – Perception and the phenomenology of musical experience.* Univ. Press of New England, Hanover, 1999, s. 58-59.
3. BERGER H M & FALES C, “Heaviness” in the Perception of Heavy Metal Guitar Timbres: The Match of Perceptual and Acoustic Features over Time. in *Wired for Sound – Engineering and Technologies in Sonic Cultures*, GREENE P D & PORCELLO T, Toim. Wesleyan Univ. Press, Middletown, 2005.

4. BLOCH A, Measurement of nonlinear distortion. *J Audio Eng Soc,* **1**(1953), 62-67.

5. PALISCA C V & MOORE B C J, Consonance. *Grove Music Online*, Haettu 15 Huhtikuuta 2009, `http://www.oxfordmusicon-line.com:80subscriber/article/grove/music/06316.`

6. ALDWELL E & SCHACHTER E, *Harmony and Voice Leading*. Harcourt Brace Jovanovich College Publishers, Forth Worth, Toinen painos, 1989.

7. FULLER S, Organum – discantus – contrapunctus in the Middle Ages. in *The Cambridge History of Western Music Theory*, T. Christensen, Toim., Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2002, s. 477-502.

8. NOLAN C, Music theory and mathematics. in *The Cambridge History of Western Music Theory*, T. Christensen, Ed., (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2002), s. 272-304.

9. HELMOHLTZ H, *On the Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music*. (Dover, New York, ed. 2, 1956), p. 154.

10. KARJALAINEN M, MÄKI-PATOLA T, KANERVA A & HUOVILAINEN A, Virtual Air Guitar, *J Audio Eng Soc*, **54**(2006) 964-980.

11. ADOBE SYSTEMS INC, Adobe Audition: Guitar Suite – DSP effects and tools", Adobe Systems Incorporated, Haettu 15 Huhtikuuta 2009, `http://www.adobe.com/products/audition/.`

12. RESNICOFF M, Flailing your way to god – The Pete Townhsed Interview part II. *Guitar Player,* October 1989.

13. LILJA E, *Characteristics of Heavy Metal Chord Structures – Their Acoustic and Modal Construction, and Relation to Modal and Tonal Context*. Lisensiaattityö, Sähköinen julkaisu, Helsingin yliopisto, 2005, `http://www.ethesis.helsinki.fi/julkaisut/hum/taite/lt/lilja/,` s. 10-21.