

KONSERTTISALIAKUSTIIKAN YMPYRÄ

Tapio Lokki¹, Antti Kuusinen²

¹Aalto-yliopiston perustieteiden korkeakoulu, Tietotekniikan laitos
PL 13300, 00076 AALTO, tapio.lokki@aalto.fi

²A-insinöörit Suunnittelu Oy, Bertel Jungin aukio 9, 02600 Espoo
antti.kuusinen@ains.fi, avkuusin@gmail.com

Tiivistelmä

Konserttisalien akustiikkaa on tutkittu tieteellisesti yli 100 vuotta. Tuloksena on todella laaja joukko adjektiiveja ja attribuutteja ihmisten kuulohavainnoista ja havaittavista eroista salien välillä. Tässä artikkelissa kokoamme nuo kuvaukset yhteen ja esitämme ne viininmaistelijoille tutun ympyrän muodossa.

1 JOHDANTO

Kuuntelijat kuvailevat konserttisalien akustisia ominaisuuksia erittäin monivivahteisin termein. Tutkimusryhmämme on tehnyt neljä laajaa kuuntelukoea aistinvaraisin menetelmin [1, 2, 3] ja näiden tuloksena olemme keränneet 384 kuvailevaa attribuuttia, joista 171 ovat uniikkeja. Kaikki attribuutit on esitetty kuvassa 1, jossa sanan fonttikoko kertoo sen esiintymistiheyden.

Kuvailevien adjektiivien kerääminen ei ole sinällään uutta; saliakustiikan havaitsemista kuvaavien termien ja käsitteiden systemaattinen kokoaminen alkoi viimeistään Sabinen tutkimuksista [4] yli sata vuotta sitten.

Sabinen tutkimuksien mukaan äänen havaitseminen konserttisaleissa koostuu kolmesta päähavaintotekijästä: 1. Äänekkyys; 2. Äänien vääristymät: interferenssit ja resonanssit;



Kuva 1: Havaitut erot konserttisalien välillä Aalto-yliopistossa tehdyissä neljässä laajassa kuuntelukokeessa. Mitä suurempi fontti, sitä useammin sen on joku maininnut.

ja 3. Sekaantuminen: kaiuntaisuus, kaiut ja ylimääräiset äänet. Sabinen jälkeen monet tutkimusryhmät ovat tutkineet konserttisaliakustiikan havaittavia ominaisuuksia [5, 6, 7, 8, 9], mutta usein tutkimuksia ja niiden tuloksia on vaikea verrata suoraan keskenään, sillä vuosien kuluessa käytetyt äänitystavat, kuuntelukoemenetelmät ja koeasetelmat eroavat merkittävästi toisistaan.

Tässä artikkelissa kokoamme aiempien tutkimusten tulokset yhteen ja esitämme konserttisalien akustiikan havaittavat ominaisuudet monitasoisena aistiympyränä, jollaista on käytetty erityisesti viinien maistelun apuna [10], mutta myös monessa muussa yhteydessä, ml. äänen havaitseminen [11] ja äänentoistojärjestelmät [12]. Esittämämme sanasto ei luonnollisesti ole täydellinen, mutta olemme poimineet siihen mielestämme oleellimmat saliakustiikan kuvailemiseen käytetyt termit. Nämä termit koskevat nimenomaan salien katsomoissa olevia kuuntelijoita ja yleisöä. On syytä muistaa, että lavalla työskentelevät muusikot ja kapellimestarit käyttävät usein sellaisia termejä, jotka kuvaavat lavojen akustisia ominaisuuksia. Näin ollen lavakustiikkaa kuvaavia termejä, kuten yhteissoiton helppous, tai salin tuki soitolle, ei ole sisällytetty tähän esitykseen.

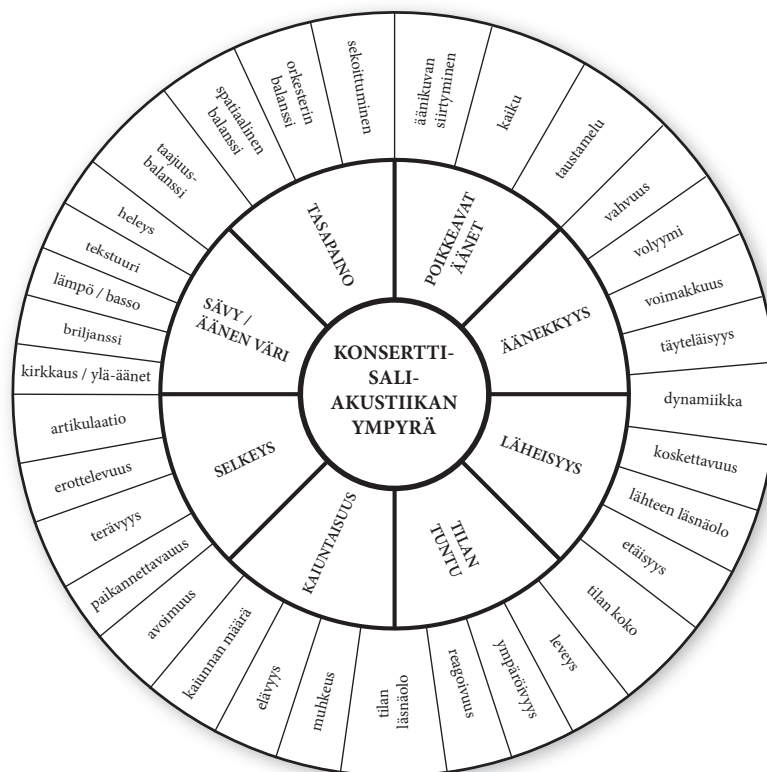
2 YMPYRÄN ATTRIBUUTIT

Kuvassa 2 on esitetty konserttisaliakustiikan ympyrä, joka siis esittää meidän näkemyksemme tärkeimmistä sanoista, joilla ihmiset keskustelevat konserttisaliakustiikasta. Sanat on järjestetty kahteen tasoon, sisempi ympyrä käsittää pääkategoriat, jotka ovat vakiintuneet akustikkojen käyttäminä termeinä. Ulommalla ympyrällä on kunkin päätermin erilaisia vivahteita, joita eri ihmiset käyttävät usein ilmaisemaan tarkemmin kuulohavaintojaan.

Äänekkyyks eli havaittu äänen voimakkuus on äänen perusominaisuus, johon ihmiset kiinnittävät huomiota kaikissa äänissä. Sabine ymmärsi jo aikoinaan, että konserttisalin pitää ”vahvistaa” ääntä riittävästi, muuten kuuntelijat jäävät helposti esityksestä ulkopuoliseksi. Äänekkyyttä kuvaillaan myös termeillä *volyymi*, *voimakkuus*, ja *täyteläisyys*. Musiikissa äänen voimakkuus vaihtelee jatkuvasti ja sen vuoksi myös *dynamiikka* on poimittu mukaan. Itse asiassa konserttisali voi vaikuttaa havaittuun dynamiikkaan, joko latistaen tai laajentaen orkesterin nyansseja [13].

Läheisyyden toi terminologiaan Beranek [5] ja hän kuvasi sitä ”tunteena olla lähellä soittajia, kuin kuuntelisi esitystä pienessä tilassa”. Läheisyys on myös osoittanut yhdeksi päätekijäksi, kun koehenkilöiltä kysyttiin heidän lempisalejaan [14]. Jos musiikki on *läsnä* ja kuuntelija kokee musiikin intiimiksi ja *koskettavaksi* niin ei ole yllättävää, että siitä pidetään. Havaittu *tilan koko* liittyy myös läheisyyteen, mutta vaikuttaa myös **tilantuntuun**, aivan kuten *leveys*, äänen *ympäröivyy*s ja *reagoivuu*s. Reagoivuu tarkoittaa sitä miten sali herää ja vastaa orkesterin soittoon, varsinkin suurissa crescendoissa ja fortissimoissa. **Läheisyys** ja **tilantuntu** voidaan assosoida myös *läsnäolon* tunteeseen erikseen esiintyjille että konserttisalille, aivan kuten Kahle [9] on ehdottanut.

Kaiuntaisuus on ehdottomasti tutkituin konserttisalin akustinen ominaisuus. Verrattuna muihin tiloihin konserttisalissa tulee olla runsaasti kaiuntaa, joka tukee musiikkia sitoen nuotit ja faasit yhteen. Lisäksi kaiunta tekee musiikista *muhkeampaa* ja *elävämpää*.



Kuva 2: Konserttisaliakustiikan aistiympyrä, joka kuvaa niitä eroja, joita kuulemme akustiikassa konserttisalein välillä.

Ihmiset puhuvat usein myös kaiun määrästä, vaikka oikea termi olisi *kaiunnen määrä*. Puhekieleen on eksynyt myös akustikkojen objektiivinen mitta, jälkikaiunta-aika.

Kaiuntaisuus on usein **selkeyden** vastakohta, varsinkin puheelle. Konserttisali on kuitenkin rakennettu ensisijaisesti musiikkia varten ja salissa voi hyvin olla riittävästi kaiuntaa, mutta silti musiikki kuullaan vielä selkeänä. Selkeyttä kuvaavat termit liittyvät lähinnä soittajiin ja soittimien ääniin, esim. *artikulaatio*, *terävyys*, *paikannettavuus* ja *eroteltavuus*. *Avoimuus* kuvaa kuinka ilmalta musiikki kuulostaa, mitä voidaan kuvata myös ilmaisulla “musiikilla on tilaa hengittää” ja “äänikuva ei ole ahdas”. Jotta konserttisali kuulostaa *avoimelta* niin salissa pitää olla sopivassa suhteessa selkeyttä, kaiuntaa ja tilan tuntua. Selkeyden ja kaiuntaisuuden balanssi on myös tärkeä, jotta sali ei mene “tukkoon” suuren orkesterin fortissimoissa.

Sävy tai äänen väri on ehdottomasti vähiten tutkittu konserttisalien akustinen ominaisuus. Tämä on yllättävää, koska tutkimustemme mukaan äänen sävy on yksi päätekijöistä, jotka erottelevat saleja toisistaan [3]. Huomattavaa on myös, että esim. tilanäänentoistossa 70% järjestelmien laadusta selittyy sillä kuinka hyvin monikanavajärjestelmä pystyy toistamaan neutraalin äänen värin kun taas vain 30% laadusta tulee tiläänestä [15]. Äänen sävy tai väri on kuitenkin vaikeasti määriteltävä monitahoinen ominaisuus, minkä vuoksi konserttisalien äänen väristä ja sävystä on vähän tutkimuksia. Salien akustiikan tuomia sävyeroja kun on mahdoton vertailla tarkasti vain paikan päällä kuuntelemalla. Laboratoriotutkimuksissa käytettävät tiläänentoistoteknologiat ovat vasta hiljattain mahdollistaneet kuunteluolosuhteet, joissa myös akustiikan tuomia eroja äänen sävyssä on mahdollista tutkia tarkemmin. Havaittu äänen sävy voi liittyä pieniin taajuuksiin, eli mataliin ääniin ja musiikissa kuultavaan *lämpöön*. Toisaalta *kirkkaus*, *briljanssi* ja *heleys* kuvaavat usein puupuhaltimien ja viulujen säihkyvyyttä tai vaskisoittimien jylhää sointia. Beranek [5] kuvaa näitä vaikeasti tulkittavalla sanalla *tekstuuri*, kun taas Kahle [9] käyttää teknisempää sanaa *taajuusbalanssi*. Sabinen termi interferenssi [4] viittaa huonemoodeihin, eli korostumiin bassotaajuuksilla, sekä harmonisten yläsävelsarjojen suhteellisiin voimakkuuksiin. Myöhemmin esim. Beranek käytti sanaa *briljanssi* kuvaamaan yläsävelsarjojen rikkautta.

Tasapaino voi liittyä lähes kaikkiin esitettyihin termeihin. Poimimme kuitenkin kolme yleisintä ympyrämme, nimittäin *taajuusbalanssin*, *spatiaalisen balanssin* ja *orkesterin balanssin* [16]. Spatiaalinen balanssi liittyy kaiun ympärikytyteen ja tasapainosuuteen oikea-vasen akselilla. Orkesterin balanssi kuvaa eri soitinryhmien keskenäistä tasapainoa, jolloin ihannetilanteessa kaikki kuuluvat, mikään soitinryhmä ei peitä toista sekä orkesterin ja musiikin eri kerrokset tulevat esille akustiikan tukemina. Orkesterin balanssiin liittyy myös *sekoittuminen*, joka kuvaa sitä kuinka sopivasti orkesterin soittimet sekoittuvat keskenään, jotta kuuntelijat voivat kuulla harmonisia kokonaisuuksia [6].

Viimeinen pääkategoria on **poikkeavat äänet**, toisin sanoen musiikin kuuntelua häiritsevät konserttisalin äänelliset ominaisuudet. Näitä ovat *äänikuvan siirtyminen*, jolloin ääni ei kuulosta tulevan soittajien suunnasta vaan joku soitin kuuluu ensisijaisesti esim. tulevan salin katosta. Luonnollisesti *kaiut* eli voimakkaat yksittäiset heijastukset värittävät ääntä ja liian korkea *taustamelutaso* on erittäin häiritsevää pianissimojen ja taukojen aikana. Taustameluksi voidaan laskea myös yleisön tuottama melu, mm. yskähdykset, käsiohjelmien rapinat sekä penkeistä tulevat narinat.

3 POHDINTOJA

Esittämämme ympyrä on vain yksi mahdollinen järjestys konserttisalien akustiikkaa kuvaaville termeille ja aistihavainnoille. Tulkintamme taustalla on kuitenkin monta kuuntelukoetta [1, 2, 3] ja vajaan kymmenen vuoden työ konserttisaliakustiikan parissa. Näin ollen uskomme ympyrämme olevan kattava, mutta toki tiedostamme, että jotain termejä saattaa puuttua ja joku muu voisi järjestellä termit toisin.

Äänentoistolle on olemassa vastaava ympyrä [12], joka on tehty keskustelemalla kokeneiden kuuntelijoiden kesken paneelikeskusteluissa. Meidän attribuuttien keräysmenetelmä eroaa tästä, koska me keräsimme attribuutteja kultakin koehenkilöltä erikseen. Siitä huolimatta näissä ympyröissä on hyvin paljon samoja termejä, joskin konserttisaliakus-

tiikan termeistä puuttuvat mm. sähköisten järjestelmien virheitä kuvaavat termit (esim. vaihevirheet tai särö).

4 YHTEENVETO

Tässä artikkelissa esitetty ympyrä on tehty strukturoimaan aistihavaintoihin liittyviä termejä konserttisalien akustiikasta. Toivomme, että se helpottaa keskusteluja salien akustiikasta ja auttaa ihmisiä tunnistamaan sen laajan kirjon äänellisiä ominaisuuksia mitä akustiikkaan liittyy. Termien avulla kuuntelijat voivat toivottavasti myös paremmin ymmärtää, mistä heidän makumieltymyksensä johtuvat ja mitkä ovat ne asiat havaintojemme taustalla, joista omat suosikkimme juontavat juurensa.

Kiitokset: Tätä tutkimusta on rahoittanut Suomen Akatemian projekti [296390].

VIITTEET

- [1] T. Lokki, J. Pätynen, A. Kuusinen, H. Vertanen, and S. Tervo. Concert hall acoustics assessment with individually elicited attributes. *Journal of the Acoustical Society of America*, 130(2):835–849, August 2011.
- [2] T. Lokki, J. Pätynen, A. Kuusinen, and S. Tervo. Disentangling preference ratings of concert hall acoustics using subjective sensory profiles. *Journal of the Acoustical Society of America*, 132(5):3148–3161, November 2012.
- [3] T. Lokki, J. Pätynen, A. Kuusinen, and S. Tervo. Concert hall acoustics: Repertoire, listening position and individual taste of the listeners influence the qualitative attributes and preferences. *Journal of the Acoustical Society of America*, 140(1):551–562, July 2016.
- [4] W. Sabine. Reverberation. In *Collected papers on acoustics*, pages 1–42. Harvard University Press, 1923.
- [5] L. Beranek. *Music, Acoustics and Architecture*. John, Wiley & Sons (New York), 1962.
- [6] R.J. Hawkes and H. Douglas. Subjective acoustics experience in concert auditoria. *Acustica*, 24:235–250, 1971.
- [7] M.R. Schroeder, D. Gottlob, and KF Siebrasse. Comparative study of european concert halls: Correlation of subjective preference with geometric and acoustic parameters. *J. Acoust. Soc. Am.*, 56(1195), 1974.
- [8] M. Barron. Subjective study of British symphony concert halls. *Acta Acustica united with Acustica*, 44:1–14, 1988.
- [9] E. Kahle. *Validation d'un modèle objectif de la perception de la qualité acoustique dans un ensemble de salles de concerts et d'opéras (Validation of an objective model for characterizing the acoustic quality of a set of concerts hall and opera houses)*. PhD thesis, Université du Maine, Le Mans, 1995. 248 pages.
- [10] A. Noble, R. Arnold, B. Masuda, S. Pecore, J. Schmidt, and P. Stern. Progress towards a standardized system of wine aroma terminology. *American Journal of Enology and Viticulture*, 35:107–109, 1984.

- [11] T. Letowski. Sound quality assessment: concepts and criteria. In *the 87th Audio Engineering Society (AES) Convention*, New York, NY, USA, 1989.
- [12] T. Pedersen and N. Zacharov. The development of a sound wheel for reproduced sound. In *Proceedings of the 138th AES Convention*, Warsaw, Poland, May 7-10 2015.
- [13] J. Pätynen and T. Lokki. Perception of music dynamics in concert halls. *Journal of the Acoustical Society of America*, 140(5):3787–3798, November 2016.
- [14] T. Lokki. Tasting music like wine: Sensory evaluation of concert halls. *Physics Today*, 67(1):27–32, January 2014. URL <http://dx.doi.org/10.1063/PT.3.2242>.
- [15] F. Rumsey, S. Zielinski, R. Kassier, and S. Bech. On the relative importance of spatial and timbral fidelities in judgments of degraded multichannel audio quality. *Journal of the Acoustical Society of America*, 118(2):968–976, 2005.
- [16] J. J. Dammerud. *Stage acoustics for symphony orchestras in concert halls*. PhD thesis, University of Bath, UK, 2009.