SUOMALAISTEN KONSERTTISALIEN VERTAILU AISTINVARAISIN MENETELMIN

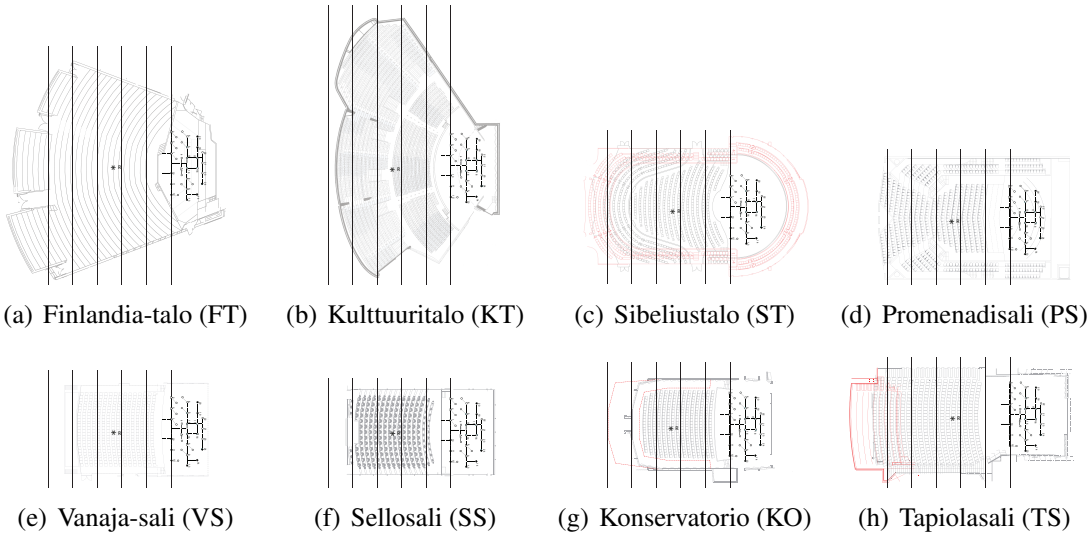
Tapio Lokki, Jukka Pätynen, Heikki Vertanen ja Sakari Tervo

Aalto-yliopiston perustieteiden korkeakoulu, Mediatekniikan laitos
PL 15400, 00076 AALTO
Tapio.Lokki@aalto.fi

1 JOHDANTO

Konserttisalien akustiikkaa on perinteisesti tutkittu kyselytutkimuksilla ja haastatteluilla konserttitilanteessa. Näin saadaan tietoa yhden orkesterin yhdestä konsertista yhdessä salissa, mutta eri salien vertaileminen keskenään on erittäin vaikeaa. Konsertti voidaan toki äänittää ja tehdä vertailevaa tutkimusta laboratorio-olosuhteissa. Näin voidaan hieman paremmin vertailla saleja – tosin orkesteri soittaa joka äänityskerralla eri tavalla. Ongelmana on ollut myös kysymysten laatiminen koehenkilöille. Subjektiivisten ominaisuuksien määrittely siten, että kaikki ymmärtävät ne samalla tavalla on lähes mahdotonta. Lisäksi koehenkilöiden mieltymyksiä mittaamalla on vaikea saada luotettavia ja objektiivisia tuloksia, koska "hyvä akustiikka"on todella vahvasti makuasia. Niinpä olemme soveltaneet tutkimuksissamme *vapaavalintainen profiili* (VP) -menetelmää, jota yleensä käytetään viini- ja elintarviketeollisuudessa – aloilla joissa makuerot ovat merkittäviä. Tässä menetelmässä koehenkilöt luovat ensin omakohtaiset kuvailevat ominaisuudet, joiden avulla he myöhemmin vertailevat ääninäytteitä keskenään. Näin voidaan arvioinnista poistaa koehenkilöiden mieltymykset. Menetelmällä saadaan kuvailevaa tietoa kokeessa mukana olevien konserttisalien havaituista eroista.

Tämä artikkeli raportoi tiivistetysti VP-kuuntelukoeprosessin [1, 2, 3] ja tulosten ti-



(a) Finlandia-talo (FT) (b) Kulttuuritalo (KT) (c) Sibeliustalo (ST) (d) Promenadisali (PS)

(e) Vanaja-sali (VS) (f) Sellosali (SS) (g) Konservatorio (KO) (h) Tapiolasali (TS)

Kuva 1: Mitattujen salien pohjapiirustukset samassa mittakaavassa (pystyviivojen väli on 5 m). R on äänityspiste 12 m päässä lähimmästä kaiutinorkesterin kaiuttimesta.

lastollisen analyysin. Kokeen tuloksena syntyy suuri joukko kuvailevia termejä, joiden avulla voidaan selittää konserttisalien aistittuja akustisia eroja kyseisissä mittauspisteessä. Tutkimus on osa suurempaa kokonaisuutta, jossa virtuaaliakustiikan tutkimusryhmämme pyrkii nostamaan konserttisaliakustiikan ymmärrystä entistä korkeammalle tasolle.

2 KONSERTTISALIT JA MUSIIKKINÄYTTEET

Aistinvarainen arviointi (esim. VP-menetelmä) vaatii, että koehenkilöt pystyvät vertailemaan kaikkia näytteitä kokeen aikana samanaikaisesti. Konserttisaliakustiikan tapauksessa tämä tarkoittaa sitä, että koehenkilön pitää pystyä vaihtamaan kuunneltua salia silmänräpäyksessä. Jotta salien keskinäinen vertailu on mahdollista ja luotettavaa, orkesterin on soitettava jokaisessa salissa täsmälleen samalla tavalla. Siksi tutkimukseen valittujen 8 konserttisalin (kuvassa 1) akustiikka tallennettiin 33 kalibroidun aktiivikaiuttimen avulla [4]. Kustakin kaiuttimesta mitattiin 3-D intensiteettimikrofonilla (3 intensiteettiparia) tilaimpulssivaste kuuntelupisteeseen, joka sijaitsi 12 metrin päässä orkesterista. Useimmissa saleissa tämä paikka oli rivillä 7, 8 tai 9. Yksi kaiutin lavalla vastasi muutaman soittajan ryhmää. Mitatuista vasteista laskettiin tilaimpulssivasteiden renderöinti -menetelmällä [5, 6] 14 kaiuttimen monikanavatoistoa varten yhteensä 672 impulssivastetta. Nämä impulssivasteet konvoluoitiin aiemmin äänitetyn kaiuttoman sinfonisen musiikin (n. 10 sek. näytteitä: Mozart, Beethoven ja Bruckner) [7] kanssa, jolloin lopputuloksena saadaan sama sinfoniaorkesteri soittamaan täsmälleen samalla tavalla ja tasolla jokaisessa salissa. Näin ollen kuuntelukokeessa koehenkilöt pystyivät kuuntelemaan aidon kuuloista äänitystä yhdeksässä eri salissa ja vaihtamaan salia musiikin jatkuessa katkeamattomana. Yhdeksäs sali (VA) oli keinotekoinen, jossa suora ääni oli otettu Lahden mittauksista, varhaiset heijastukset olivat simuloituja ja jälkikaiunta 100 ms jälkeen Konservatorion salista.

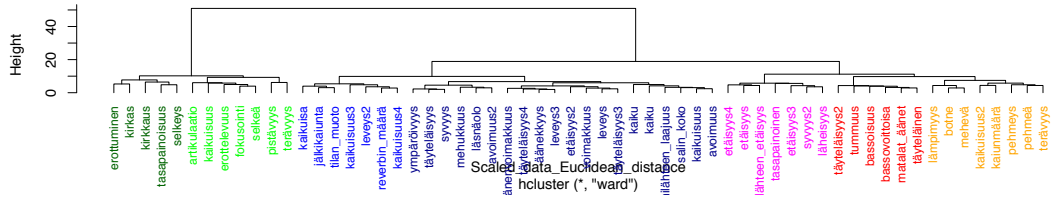
3 KOEHENKILÖT JA KUUNTELUKOKEEN TOTEUTUS

Kokeeseen osallistui 23 koehenkilöä (ikä 19-75 vuotta), joilla kaikilla on aktiivinen suhde musiikkiin (soittajana, laulajana tai musiikin kuuntelijana). Jokainen heistä suoritti seuraavan kuuntelukoeprosessin kolmessa kahden tunnin jaksossa:

1. Ensimmäisellä kuuntelukerralla koehenkilölle tehtiin audiometrinen kuulokoe. Sitten koehenkilö suoritti ns. ABX-erottelukokeen, jolla testattiin hänen kykyään erotella näytteitä toisistaan luotettavasti. Lisäksi koehenkilö kirjoitti muistiin havaitsemiaan eroavaisuuksia musiikkinäytteiden välillä. Lopuksi koehenkilö kuunteli kaikkia 9 konserttisalia rinnakkain ja verbalisoi neljä selkeimmin selkeimmin saleja erottelevaa aistittavaa ominaisuutta, joiden mukaan hän pystyi laittamaan ääninäytteitä järjestykseen.

2. Toisella kerralla koehenkilö kuunteli ääninäytteitä rinnakkain pitäen mielessä edellisellä kerralla luodut ominaisuudet ja tarkensi näiden määritelmät. Harjoittelun jälkeen hän suoritti varsinaisen kuuntelukokeen omilla määritellyillä ominaisuuksillaan. Toisin sanoen jokainen koehenkilö arvioi salien keskinäisen järjestyksen jatkuvalla asteikolla käyttäen omia kuvailevia määreitään ääninäytteiden arvioinnissa.

3. Viimeisellä kuuntelukerralla koehenkilö toisti kuuntelukokeen, jossa oli 3 musiikkinäytettä x 4 ominaisuutta. Varsinaisen VP-kokeen jälkeen koehenkilö järjesti vielä näytteet oman mieltymyksensä mukaiseen keskinäiseen järjestykseen



Kuva 2: Ominaisuuksien Euklidiseen etäisyyteen perustuva hierarkkinen ryhmittely.

4 VAPAAVALINTAINEN PROFIILI -KOKEEN TULOKSET

Tulosten luotettavuuden kannalta on tärkeää, että koehenkilöt pystyivät kuulemaan eroja näytteiden välillä erityisesti valittujen ominaisuuksien suhteen ja järjestemään näytteet omilla määreillään toistettavasti. Me tutkimme koehenkilöiden luotettavuutta ja datan kelpoisuutta kolmella tavalla: 1) koehenkilöllä ei saa olla merkittävää kuulonalenemaa millään taajuuskaistalla, 2) erottelukykykokeessa koehenkilön on saatava riittävä määrä oikeita vastauksia, 3) jokainen lopulliseen analyysiin kelpuutettu ominaisuus on sellainen, jonka mukaan koehenkilö on pystynyt arvioimaan näytteet samalla tavalla kahdella arviointikerralla.

Kuten Taulukko 1 kertoo, yhdellä koehenkilöllä (3) oli kuulonalenema ja kahdella koehenkilöllä (4 ja 6) virheiden osuus erottelukykykokeessa oli yli 25%. Lisäksi koehenkilöt (9, 14 ja 22) pystyivät toistamaan korkeintaan yhden määreen kohdalla arvionsa ja siksi heidän arviointeja ei sisällytetä analyysiin. Toistokyky testattiin laskemalla kullekin määreelle ensimmäisen ja toisen kuuntelukokeen tulosmatriisien välinen monimuuttujakorrelaatio (RV-kerroin) ja sen p-arvo [3]. Kaikkiaan 92 ominaisuudesta/määreestä 67 oli tilastollisesti merkitsevällä tarkkuudella ($p < 0.05$) toistettuja ja näistä 60 oli hyväksyttyjen 17 koehenkilön käyttämiä.

Koehenkilöiden tuottamat määritteet/ominaisuudet ovat sinällään jo erittäin mielenkiintoista tietoa, koska ne kertovat havaituista eroista ääninäytteiden välillä. Koska eri ihmiset käyttävät saman havainnon kuvaamiseen erilaisia termejä, on hyödyllistä tutkia mitkä ovat ne ominaisuudet, joiden mukaan ääninäytteet on järjestetty samaan järjestykseen. Tämä tehdään tutkimalla yksittäisten ominaisuuksien tulosvektoreiden Euklidista etäisyyttä. Kuvassa 2 on agglomeratiivisella hierarkisella ryhmittelyllä saatu tulos, jossa ominaisuudet, joiden mukaan näytteet on järjestetty samankaltaiseen järjestykseen ovat puumaisen rakenteen samassa haarassa. Taulukkoon 2 on kerätty kaikki ominaisuudet tämän ryhmittelyn mukaisessa järjestyksessä. Taulukon ensimmäisessä sarakkeessa on tulkinta ominaisuusryhmästä, eli kirjoittajien valistunut arvaus ominaisuuksien yhteisestä merkityksestä.

Taulukko 1: Tulokset koehenkilöiden kuulokokeesta, erottelukyvystä ja käytettyjen ominaisuuksien luotettavuudesta.

Koehenkilö	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Kuulo	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ABX virheet	1	0	3	9	1	10	3	0	3	3	1	3	3	2	1	0	4	6	2	2	0	6	0
Määre Ok	4	4	1	1	4	3	3	4	0	4	4	3	3	1	4	4	2	2	3	4	4	1	4
Hyväksytty	K	K	E	E	K	E	K	K	E	K	K	K	K	E	K	K	K	K	K	K	K	E	K

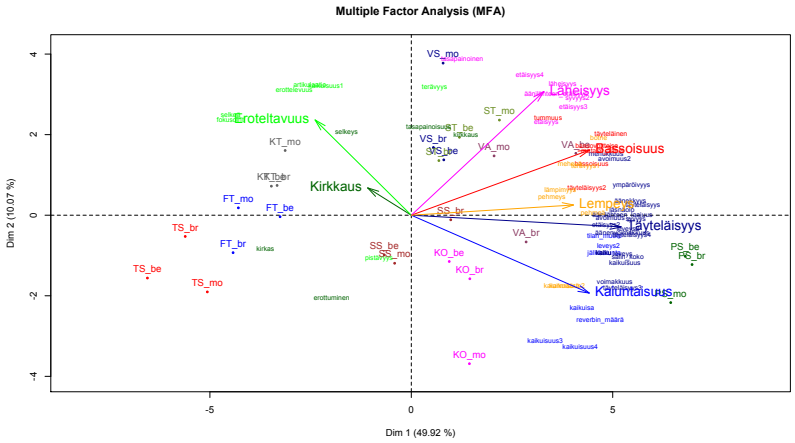
Konserttisalien järjestystä eri ominaisuuksien mukaan voidaan tutkia monimuuttaja-analyysillä, esimerkiksi MFA:lla (Multiple Factor Analysis). MFA perustuu pääkomponenttianalyysiin ja useamman välivaiheen kautta saadaan ääninäytteet ja ääninäytteiden välisen suurimman varianssin suunta kunkin ominaisuuden mukaan yhteisessä faktoriavaruudessa. Kuvassa 3 on esitetty data kahden pääkomponentin tasossa. Yhdessä nämä komponentit selittävät 60.0 % koko datan varianssista. Jokainen sali arvioitiin kaikilla kolmella musiikkinäytteellä, joten jokaisesta salista on kolme pistettä kartalla. Tästä nähdään, että erot näytteiden välillä ei juurikaan johdu musiikista. Lisäksi kartalla on yksittäiset ominaisuudet sekä hierarkisen ryhmittelyn mukaan muodostettujen ominaisuusryhmien keskiarvosuunta. Ensimmäisen pääkomponentin positiivinen suunta muodostuu Täyteläisyys-määreistä, eli se on ominaisuus, jonka perusteella salit erottuvat parhaiten toisistaan. Lisäksi ensimmäisen akselin suuntaan ovat vahvasti myös Kaiuntaisuus sekä Bassoisuus. Eroteltavuus on lähes vastaikkaiseen suuntaan kuin Kaiuntaisuus, joka oli oletettavissa. Toisin sanoen vasemmalla olevissa saleissa musiikki kuulostaa hiljaiselta, ohuelta ja kapealta (kts. Taulukon 2 ääripäät ja ominaisuuksien määritelmät) ja oikealla olevissa saleissa musiikki ympäröi kuuntelijan, on lämmin ja täyteläinen sekä leveä. Vastaavasti voidaan ottaa suunta Läheisyys, joka on oikealle yläviistoon. Siellä olevissa saleissa orkesteri tuntuu olevan lähellä kuulijaa, kun taas vasemmalla alaviistossa olevissa saleissa orkesteri kuulostaa etäiseltä ja tuntuu olevan kaukana. On erityisen mielenkiintoista, että Etäisyys/Läheisyys tuottaa selviä eroja salien välille, kun muistetaan, että kaikki salit oli äänitetty täsmälleen 12 metrin päästä orkesterista. Konserttisalin akustiikka vaikuttaa siis merkittävästi orkesterin havaittuun läheisyyteen. Kuuntelukokeen tulosten perusteella voidaan luoda myös nk. aistiprofiileja kullekin konserttisalille. Tällaiset profiilit löytyvät kuvasta 4. Profiileja voidaan tulkita siten, että mitä suurempi arvo kullakin ominaisuudella on sitä enemmän kyseistä ominaisuutta salissa on. Nämä profiilit on luotu kokeen 9 salista. Jos kokeessa olisi ollut mukana muita saleja, profiilit muuttuisivat vastaavasti.

“Vapaavalintainen profiili” -menetelmässä pyritään pääsemään eroon koehenkilöiden mieltymyksistä, koska koehenkilöt järjestävät musiikkinäytteitä ominaisuuksien määräämään järjestykseen. Toisaalta on mielenkiintoista tietää, mistä konserttisaleista koehenkilöt pitivät ja mistä eivät. Niinpä aivan kokeen lopuksi kukin koehenkilö järjesti salit oman mieltymyksensä mukaiseen järjestykseen kullakin musiikkinäytteellä. Luotettavien 17 koehenkilöiden mieltymyksissä oli suuri hajonta (kuva 5), eli akustiikka on todellakin makuasia. Tarkemman tarkastelun perusteella havaittiin, että koehenkilöt jakautuivat kahteen ryhmään mieltymystensä perusteella. Tämä todennettiin K-means -ryhmittelyanalyysillä, jonka tulos on myös kuvassa 5. Ryhmässä G1 on 10 koehenkilöä ja ryhmässä G2 7 koehenkilöä. Kun tätä tulosta verrataan VP-kokeen tulokseen voidaan todeta, että ryhmä G2 pitää kaiuntaisista ja täyteläisen soinnin tuottavista konserttisaleista, mutta he eivät niinkään välitä siitä, kuulostaako musiikki läheiseltä ja selvältä. Sen sijaan ryhmä G1 haluaa kuunnella musiikkia salissa, jossa orkesteri kuulostaa olevan lähellä, äänikuva on selkeä ja erotteleva. Kaikki koehenkilöt pitivät vähiten saleista, joissa musiikki kuulostaa etäiseltä, ohuelta eikä jälkikaiunta ympäröi kuuntelijaa.

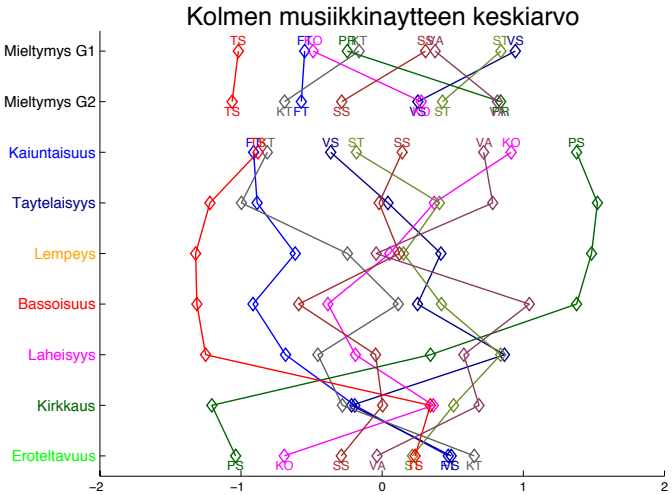
Kiitokset: Tätä tutkimusta on rahoittanut Suomen Akatemia, projektit [218238 ja 140786] sekä Euroopan tutkimusneuvosto, ERC grant agreement no. [203636].

Taulukko 2: 60 luotettavasti toistettua ominaisuutta määritelmineen.

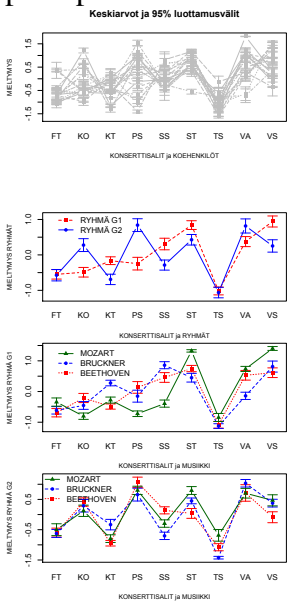
Ryhmä	Xnn	Ominaisuus	Vähän	Paljon	Määritelmä
Kirkkaus	X40	äänilähteiden erottuminen	tukkoisin soundi	erottelevin soundi	Kuinka erottelevasti yksittäiset soittimet erottuvat musiikista.
	X68	kirkas	vähän diskanttia	liikaa diskanttia	Ylä-äänet kuuluvat voimakkaammin.
	X20	kirkkaus	leikattu ylätaajuus	korostettu ylätaajuus	Yleiskokemus suurien taajuuksien puutteesta (leikattu) tai korostuneisuudesta
	X71	selkeys	sekavuus	selkeys	Äänet erottuvat selkeästi toisistaan ja ovat tasapainossa.
	X47	tasapainoisuus	vääriä korostuksia	luonnollinen suhde ja paikka	Kuinka luonnollisesti eri ryhmät soivat toisiinsa nähden
Eroteltavuus	X09	pistävyys	pistävä	pehmeä	Onko musiikki epämiellyttävän läpitunkevaa
Selkeys	X74	terävyys	terävä	pehmeä	Äänen laatuun liittyvä attribuutti, äänten "iskevyys".
Artikulaatio	X87	erottelevuus	sotkuinen	selkeä	Eri äänten kuuluvuus ja tasapaino.
	X32	kaikuisuus	puuroinen	kirkas	Kuinka pitkään äänet soivat.
	X50	artikulaatio	puuroutuva	erottuva	Miten selvästi eri äänen erottuvat toisistaan
	X91	selkeä	epäselvä	selkeä	Artikulaation selkeys, onko soundi artikulaation "suora"vai epäselvä.
	X04	fokusointi	epämääräinen	fokusoitunut	Kuinka tarkasti/terävästi yksittäinen soitin paikallistuu.
Kaiuntaisuus	X63	kaikuisa	kuiva	kaikuisa	Kaikuisa tarkoittaa yksinkertaisesti musiikkia, jossa on paljon kaikua.
	X18	jälkikaiunta	kuiva	kaiuntainen	Yleiskokemus äänitteen sisältämästä kaiun määrästä
	X53	tilan muoto	auditorio	kirkko	Kaiunnan ja soinnin laatu ja määrä
	X49	leveys	kapea, putkimainen	leveä, kapun edessä	Kuinka avara tilantuntu on
	X90	kaikuisuus	kuiva	kaikuisa	Onko kaiku dominoivaa vai kuulostaako musiikki kuivalta, ilman kaikua.
	X38	reverbin määrä	kuiva	paljon tilaa	Suoran signaalin ja heijasteiden välinen suhde.
	X79	kaikuisuus	vähän kaikua	paljon kaikua	Joissain näytteissä enemmän kaikua.
Täyteläisyys	X02	ympäröivyys	etualalle painottunut	ympäröivä	Kuinka ääni ympäröi kuuntelijan.
Voimakkuus	X07	täyteläisyys	köyhä	rikas	Kuuluuko kaikki soittimet/äänet hyvin?
Leveys	X48	mehukkuus	kalsea	lämmin	Kuinka lämmin/kylmä fiilis
Lämpimyys	X52	syvyys	ohut, kapea	täyteläinen	Sointimaton paksuus ja soinnin koko
	X59	läsnäolo	poissaoleva	kokonaisvaltainen	Musiikin tilallinen vaikutus yleisöön esityshetkellä.
	X92	avoimuus	kireä	avoin	Kuuluuko "soundissa"laaja-alaisuutta vai jääkö musiikki soimaan pieneen, "kireään"äänialaan.
	X80	täyteläisyys	ohut	täyteläinen	Musiikki tuntuu täyttävän kaiken tilan ja on lämmin.
	X81	äänenvoimakkuus	hiljainen	kova	Välillä musiikki tuntuu tulevan kovempaa.
	X21	äänekkyys	hiljainen	äänekäs	Yleiskokemus äänitteen äänenvoimakkuudesta
	X78	leveys	kapea	leveä	Ääni tulee sivuilta kun ääni on leveä.
	X06	etäisyys	etäinen	läheinen	Äänilähteen etäisyys.
	X76	voimakkuus	heikko	voimakas	Kuinka kovääninen näyte on.
	X39	stereokuvan leveys	monoisin	levein stereokuva	Kuinka leveältä/kapealta alueelta musiikki kuuluu.
	X75	täyteläisyys	vähän sävyjä	täyteläinen	Erilaisten sävyjen määrä, tilantuntu.
	X70	kaiku	sammuva	kaikuisuus	Ääni jää soimaan.
	X34	kaiku	kaiuton	kaikuisa	Miten paljon ääni soi tilassa
	X33	äänilähteen laajuus	suppea	erotteleva	Kuinka suurelle alueelle orkesteri on levittynyt.
	X30	salin koko	putkimainen, pitkä, kapea	leveä	Kuinka isossa salissa (ja minkä muotoisessa) kuvittelen istuvani.
	X08	kaikuisuus	kaiuton	kaikuisa	Kaiunmäärä.
	X60	äänenvärin avoimuus	suodatettu	avoin	Se, kuinka vapaasti ääni lähtee äänilähteestä.
Etäisyys	X86	syvyys	kapea	syvä	Laaja äänispektri, tilantuntu, 3-ulotteisuus.
	X35	etäisyys	etäinen	läheinen	Kuinka kaukaa musiikki tuntuu kuuluvan
	X88	läheisyys	etäinen	läsnäoleva	Tunne siitä, kuuluuko musiikki luonnollisena läheltä vai jostain etäisestä lähteestä, mahdollisesti vääristyen.
	X64	tasapainoinen	epätasapainoinen	tasapainoinen	Tasapainoisella tarkoitan musiikkia, jossa kaikki instrumentit/stemmat ovat tasapainossa.
	X69	etäisyys	kaukana	lähellä	Jotkut tuntuvat olevan lähellä tai kaukana pohjassa.
	X03	etäisyys	etäinen	läheinen	Kuinka etäällä soittajat tuntuvat olevan.
	X31	äänilähteen etäisyys	kaukana	lähellä	Missä kohdassa salia tunnen istuvani.
Bassoisuus	X29	täyteläisyys	ohut	leveä	Onko äänikuva täyteläinen (musikaalinen) vai pistääkö joku liikaa esiin.
	X19	tummuus	leikattu alataajuus	korostettu alatajuus	Yleiskokemus pienten taajuuksien puutteesta (leikattu) tai korostuneisuudesta
	X41	bassoisuus	basso köyhä	basso rikas	Kuinka hyvin matalat taajuudet toistuvat.
	X62	bassovoittoisa	vähän bassoa	bassovoittoisa	Bassovoittoisa kuvaa musiikkia, jossa paljon bassolinjaa.
	X65	täyteläinen	karkea	täyteläinen	Täyteläinen sointi on yhdistelmä kirkkautta, selkeyttä, pehmeyttä ja karkeuttakin, kaikkea sopivassa suhteessa.
	X36	matalat äänet	bassoton	bassollinen	Kuinka hyvin matalat äänet kuuluvat
Lempeys	X05	lämpimyys	viileä	lämmin	Kuinka lämpimältä äänensävy tuntuu.
Lämpimyys	X28	botne	vähän alapäätä	paljon alapäätä	Jyrääkö alakerta, onko selkeä vai jääkö vajaaksi/puuroutuuko.
	X66	mehevä	vähän bassoja	paljon bassoja	Bassojen määrää ja syvä tila.
	X67	kaiunmäärä	kuiva	kaikuisa	Tilan vaikutus.
	X27	kaikuisuus	kuiva	märkä	Tilantuntu musiikissa / solistin suhde bändiin.
	X93	pehmeä	kova	pehmeä	Onko sointi pehmeä (miten soittimet soivat yhdessä) vai kuuluuko jokin esim. kovempaa.
	X37	pehmeys	raaka	pehmeä	Kuinka yksittäiset äänet tunkevat läpi musiikista
	X89	terävyys	terävä	pyöreä	Äänten syttyminen ja päättyminen, äänten luonnollisuus erityisesti korkeissa ja matalissa äänissä.



Kuva 3: MFA:n tulos, jossa esitettynä ääninäytteet ja perkeptuaaliset suunnat.



Kuva 4: Konserttisalien aistiprofiilit.



Kuva 5: Mieltymyskoetulokset.

VIITTEET

[1] LORHO G, *Perceived Quality Evaluation: An Application to Sound Reproduction over Headphones*, Ph.D. thesis, Aalto University School of Science and Technology, 2010.

[2] KUUSINEN A, VERTANEN H, & LOKKI T, Assessor selection and behavior in individual vocabulary profiling of concert hall acoustics, in *AES 38th Int. Conf.*, pages 181–190, Piteå, Sweden, 2010.

[3] LOKKI T, PÄTYNEN J, & ZACHAROV N, Concert hall acoustics assessment with sensory evaluation – tools and practices, in *Proc. 8th IOA Conf. on Auditorium Acoustics*, May 20-22 2011.

[4] PÄTYNEN J, TERVO S, & LOKKI T, A loudspeaker orchestra for concert hall studies, in *IOA Auditorium Acoustics*, pages 45–52, Oslo, Norway, October 3-5 2008.

[5] MERIMAA J & PULKKI V, Spatial impulse response rendering I: Analysis and synthesis, *Journal of the Audio Engineering Society*, **53**(2005) 12, 1115–1127.

[6] PULKKI V & MERIMAA J, Spatial impulse response rendering II: Reproduction of diffuse sound and listening tests, *Journal of the Audio Engineering Society*, **54**(2006) 1, 3–20.

[7] PÄTYNEN J, PULKKI V, & LOKKI T, Anechoic recording system for symphony orchestra, *Acta Acustica united with Acustica*, **94**(2008) 6, 856–865.