

MUSIIKKITALON ISON KONSERTTISALIN AKUSTIIKKA

Tapio Lokki, Sakari Tervo, Jukka Pätynen ja Antti Kuusinen

Aalto-yliopisto, Mediatekniikan laitos
PL 15500, 00076 AALTO
etunimi.sukunimi@aalto.fi

Tiivistelmä

Musiikkitalo on ollut valmis kaksi vuotta ja sen pääsalin akustiikka on herättänyt runsaasti julkista keskustelua. Tässä artikkelissa kerromme tarkemmin salin akustiikasta pohjautuen omiin kuuntelukokemuksiimme, objektiivisiin mittauksiin kaiutinorkesterilla sekä lukuisiin keskusteluihin eri alojen ihmisten kanssa.

1 JOHDANTO

Helsinkiin odotettiin vuosikymmeniä uutta konserttisalia ja sen vihdoon valmistuttua piti akustiikan olla yksi maailman parhaista. Akustiikka on kuitenkin herättänyt musiikoissa ja yleisössä ristiriitaisia tunteita, toiset kehuvat akustiikkaa loistavaksi kun taas toiset ovat ihmetelleet, miksi musiikki kuulostaa salissa aika vaisulta. Yritämme tässä artikkelissa valottaa millainen Musiikkitalon salin akustiikka on, jotta ymmärtäisimme paremmin ihmisten erilaiset reaktiot. Objektiivisten mittausten analyysi eroaa perinteisten tunnuslukujen käytöstä, koska tutkimuksemme ovat osoittaneet että huoneakustiset tunnusluvut eivät kuvaa havaittua akustiikkaa tarpeeksi tarkasti. Lisäksi arvioimme akustiikkaa subjektiivisesti perustuen konserttisaliakustiikan harjaantuneeseen ymmärrykseemme, tuloksena tutkimustyöstä viimeisen viiden vuoden aikana¹.

2 KONSERTTISALIEN AKUSTIIKKA YLEISESTI

Klassisen musiikin konserttissa yleisö ei kuuntele akustiikkaa vaan musiikkia. Konserttiin tullaan kuuntelemaan esitystä, jonka halutaan koskettavan ja tuottavan elämyksiä. Salin akustiikka on kuitenkin erottamaton osa esitystä, koska se välittää musiikin kuuntelijoille, samalla muokaten orkesterin sointia. Pahimmillaan akustiikka voi latistaa hyvänkin esityksen, mutta parhaimmillaan akustiikka tempaa kuuntelijan osaksi kaikin puolin rikasta musiikillista elämystä. Hyvän konserttisaliakustiikan määrittäminen on vaikeaa, koska "hyvä" ja "huono" ovat vahvasti makuasioita.

Ihmisten aistit ovat huonoja mittaamaan absoluuttisia arvoja, kuten esim. äänen voimakkuutta tai äänen korkeutta. Sen sijaan aistimme ovat erittäin hyviä vertailemaan havaintojamme ja siksi tutkimusryhmämme on viime vuosina keskittynyt etsimään ihmisten havaitsemia eroja eri konserttisalien välillä ja selittämään eroja synnyttäviä tekijöitä.

¹<http://mediatech.aalto.fi/en/research/virtual-acoustics/>

Tutkimusta varten kehitettiin kaiutinorkesteri [1] ja tiläänen äänitys- ja toistomenetelmiä [2]. Näiden menetelmien avulla mahdollisimman aito, mutta kuitenkin kalibroitu, orkesterin soitto konserttisalissa voidaan siirtää laboratorioon, jossa äänityksiä pystytään vertailemaan erittäin tarkasti. Tutkimustemme menetelmät ja päätulokset on raportoitu laajoissa artikkeleissa [3, 4]. Seuraavassa listassa tiivistetään (monesta lähteestä kerättyinä) yleisimmät piirteet, joista konserttisalin akustiikka muodostuu:

Avoimuus: Musiikilla on tilaa hengittää, äänikuva ei ole ahdas ja pelkistetty.

Balanssi: Soitinryhmien välinen balanssi, kuuluuko kaikki soittimet.

Bassoisuus/lämpimyyys: Musiikki aistitaan "lämpimämpänä" jos siinä on paljon bassoa.

Dynamiikka: Miten hyvin sali välittää soitetun dynamiikan? Onko crescendoissa voimaa ja leveneekö äänikuva soittaessa kovempaa?

Kaiuntaisuus: Kaiunnasta havaitaan sekä tilan kokoa että musiikin ympäröivyyttä.

Kirkkaus/briljanssi: Soinnin kirkkaus ja loistokkuus, etenkin jousisoittimilla.

Läheisyys: Havaittu äänilähteen läheisyys (tai etäisyys).

Selkeys/erottelevuus: Äänikuvan selkeys ja soittimien erotettavuus toisistaan.

Taajuusbalanssi: Mikään taajuus ei korostu liikaa, kaikki taajuudet on kuultavissa.

Tilantuntu: Havaittu äänilähteen leveys ja musiikin ympäröivyyys.

Äänen voimakkuus: Tärkein yksittäinen tekijä, kuinka voimakkaana ääni havaitaan.

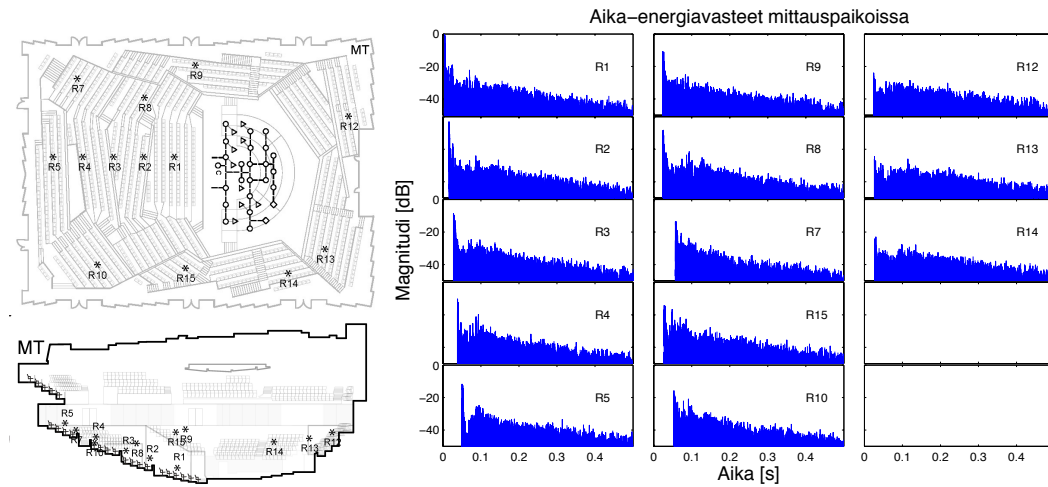
Jos koehenkilöiltä kysytään mitä on hyvä akustiikka niin mieltymyserot vaihtelevat suuresti, koska kuuntelijat painottavat yksilöllisesti yllä olevia ominaisuuksia.

3 MITATTUJEN IMPULSSIVASTEIDEN ANALYYSI

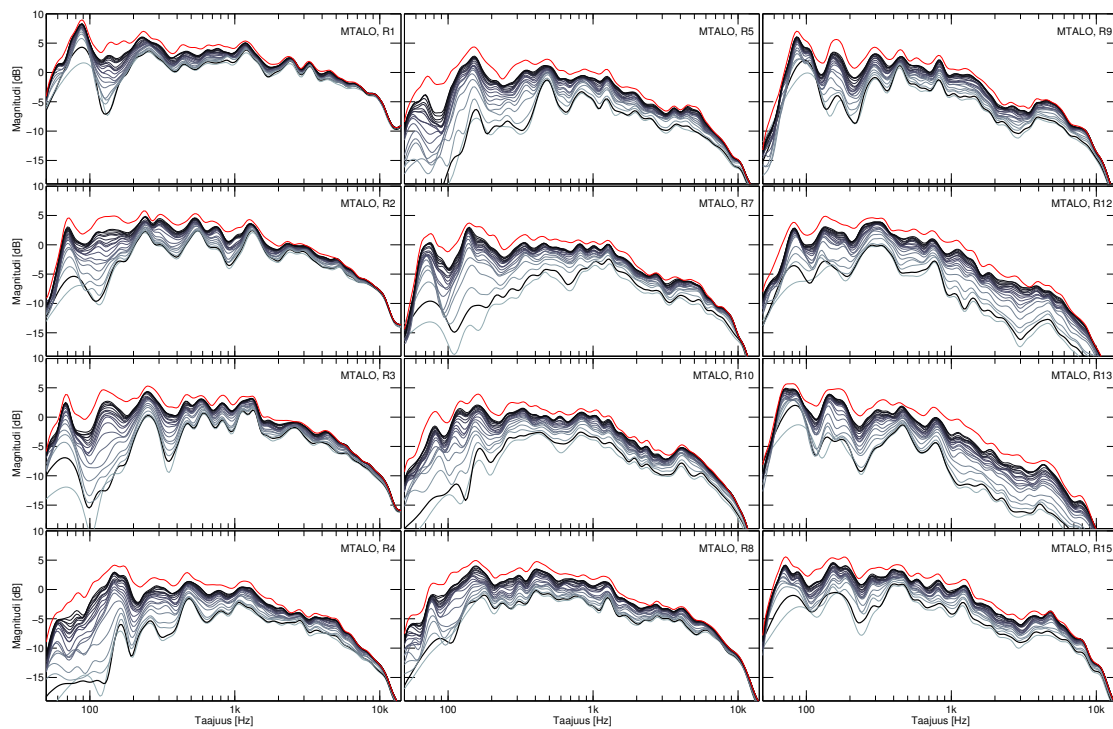
Teimme Musiikkitalossa akustiset impulssivastemittaukset joulukuussa 2011. Äänilähteenä oli kaiutinorkesteri, jonka jokaisesta kanavasta mitattiin vasteet 13 kuuntelupisteeseen (kuva 1). Parvilta ei valitettavasti saatu mittauksia sähköisten häiriöiden vuoksi. Mitatut tilaimpulssivasteet on esitetty kuvissa 1-3 ja analyysit perustuvat kehittämämme suunta-aika-analyysimenetelmään [2], joka mahdollistaa äänienergian kumuloitumisen visualisoinnin niin taajuuden kuin suunnan funktiona [5, 6].

Musiikkitalossa suora ääni dominoi äänikuvaa todella vahvasti. Lähellä lavaa mittauspisteissä R1, R2, R8 ja R9 kaikki varhaiset heijastukset ovat yli 20 dB suoraa ääntä vaimeampia (Kuva 1). Kauempana ei myöskään ole nähtävissä vahvoja varhaisia heijastuksia, lukuunottamatta heijastusta lavan lattiasta. Kuvan 2 taajuusvasteet ovat kaikkien lähteiden keskiarvoja. Varhaisten heijastusten puute näkyy kuvassa 2 erittäin vähäisenä äänienergian kumuloitumisena suoran äänen jälkeen. Taajuusvasteet näyttävät myös, että jälkikaiunnan taso on alhainen, koska 200ms jälkeen äänienergia lisääntyy vain muutaman dB:n alle 1 kHz taajuuksilla. Yli 1 kHz taajuuksilla jälkikaiunta on lähes olematonta, paitsi orkesterin takana johtuen todella alhaisesta suoran äänen tasosta. Luonnollisesti mittauskaiuttimien (Genelec 1029A) suuntaavuus vaikuttaa lavan takana, mutta toisaalta orkesterisoittimetkin säteilevät enemmän ääntä eteenpäin. Basson taso on hyvä lähellä lavaa, mutta kauempana (R4, R5, R8, R10) matalat taajuudet ovat lopullisissa taajuusvasteissa vaimentuneet.

Kuvan 3 tila-aika-analyysit vahvistavat, että varhaisia heijastuksia, varsinkaan sivulta ei ole. Sen sijaan ääni heijastuu "sointilatvuksesta" ja katosta voimakkaasti. Lähellä lavaa

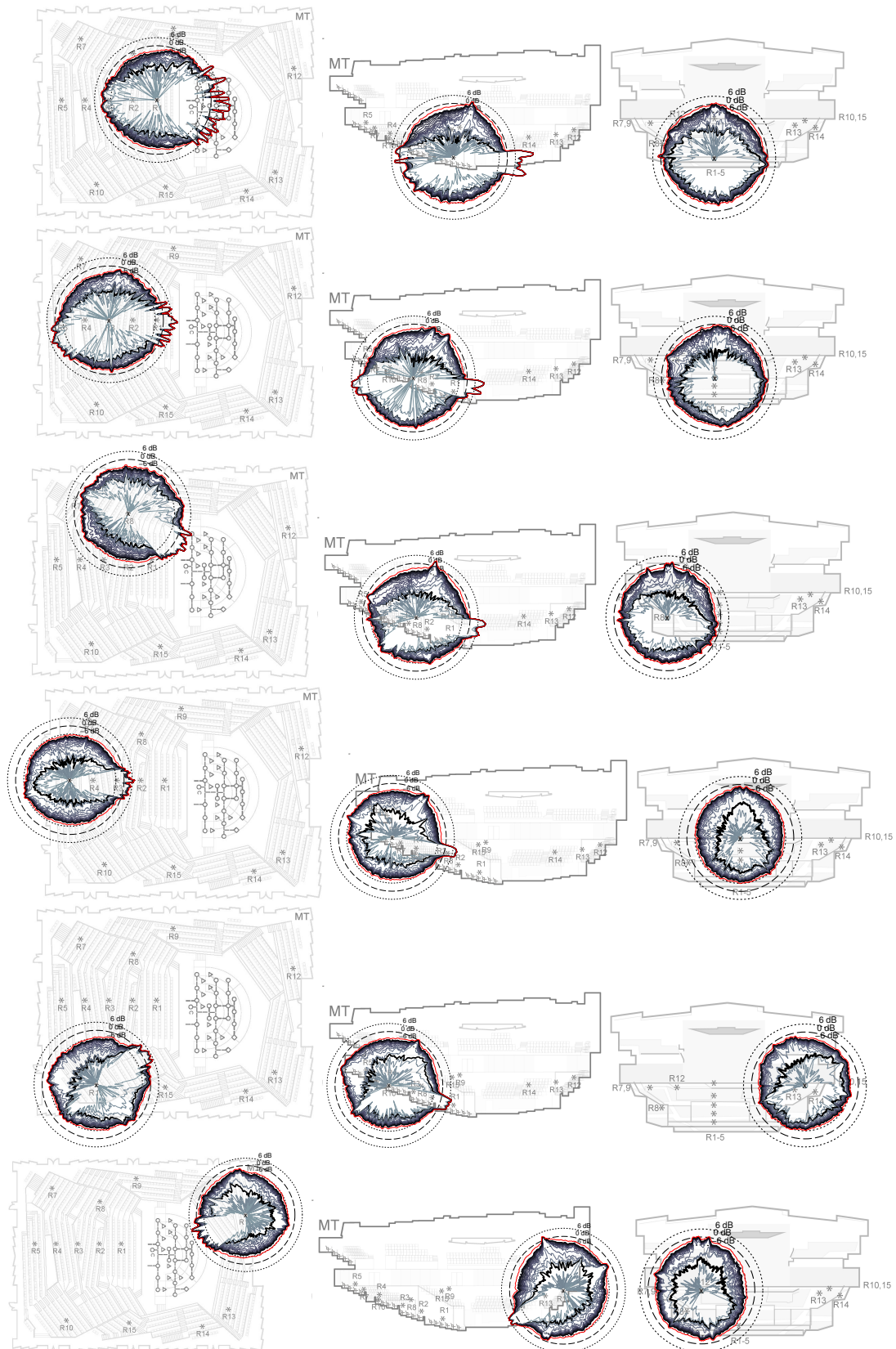


Kuva 1: Impulssivasteiden mittauspisteet ja aika-energia vasteet yhdestä kaiuttimesta.



Kuva 2: Äänienergian kumuloituminen taajuuden funktiona 12 mittauspisteessä kaikkien lähdepisteiden keskiarvona. Taajuusvasteet on laskettu ikkunoimalla impulssivasteita 0-T, jossa $T = 20, 30$ (musta), $40 \dots, 200$ ja 2000 (punainen) ms.

(R1) ylhäältä heijastuva ääni saavuttaa mittauspisteen 50-60 ms suoran äänen jälkeen ja kauempana lavasta (R3, R8) sekä 30-50 ms että 60-70 ms suoran äänen jälkeen. Kaukana lavasta (R5, R10) kattoheijastus saapuu 30-50 ms suoran äänen jälkeen. Impulssimaisilla äänillä, kuten rumpun iskuilla tai flyygelin staccato-äänillä nämä heijastukset voidaan hyvinkin kuulla häiritsevinä kaikuina. Mittauspiste R3 on penkki, joka on seinän edessä ja seinän antama vahva heijastus nähdään hyvin kuvissa. Lisäksi kuvista (R5,



Kuva 3: Laajakaistaisen äänienergian kumuloituminen eri suunnista 6 mittauspisteessä.

R8, R10, ja R12) nähdään, kuinka permannon ja parven valissä oleva lasiseinäkerros heijastaa ääntä, aiheuttaen epäsymmetrisen äänienergian jakauman.

4 MILTÄ MUSIIKKITALON KONSERTTISALI KUULOSTAA?

Objektiivisten mittausten analyysi osoitti, että akustiikka on erilainen eri puolilla salia. Kaikissa paikoissa äänikenttää dominoivat suora ääni sekä katosta tuleva heijastus. Varhaiset poikittaiset heijastukset ja ympäröivä jälkikaiunta puuttuvat lähes tyystin ja sali vaimentaa korkeita taajuuksia epätavallisen voimakkaasti. Seuraavassa kerromme oman subjektiivisen näkemyksemme miten olemme havainneet luvussa 2 esitetyt akustiset piirteet sekä kerromme mistä havaintomme mahdollisesti johtuvat.

Äänikuva on **selkeä** ja soittimet **erottuvat** toisistaan hyvin, varsinkin orkesterin soittaessa hiljaa. Orkesterin soittaessa fortessa selkeys kärsii. Selkeys johtunee vahvasta suorasta äänestä, varhaisten heijastusten puutteesta sekä alhaisesta jälkikaiunnan tasosta. Erittäin selkeä äänikuva on myös pelkistetty ja joidenkin mielestä ahdas. Ääni ei ole samalla tavalla **avoin**, kuin klassisissa kenkälaatikon muotoisissa saleissa, joissa on vahvat varhaiset poikittaiset heijastukset ja runsaasti ympäröivää kaiuntaa [5].

Soitinryhmien välinen **balanssi** on hyvin erilainen eri puolilla salia. Joillekin paikoille kaikki soittimet kuuluvat hyvin, mutta joissain paikoissa taas joku soitinryhmä saattaa hukkaa lähes kuulumattomiin. Solistien kuuluvuus orkesterin taakse on luonnollisesti heikompi, koska välissä oleva orkesteri peittää vastakkaiseen suuntaan ääntä säteilevän solistin. Balanssiin vaikuttaa varmasti myös varhaisten heijastusten puute, jolloin soittimen asennolla on suuri vaikutus. Saleissa, joissa on enemmän varhaisia heijastuksia sivuseinistä ja parvien alapinnoista, äänikuva muodostuu suoran äänen lisäksi näistä varhaisista heijastuksista. Näin ollen jokaisesta soittimesta kuullaan myös sivulle ja yläviistoon säteilevää ääntä heijastusten kautta, jolloin soittimien keskinäiset äänitasoerot tasoittuvat ja siten myös balanssiongelmat pienenevät.

Monin paikoin **bassoa** on riittävästi, mutta kauempana lavasta bassot jäävät vaimeiksi ja ääni ei ole niin **lämmiin**. Tämä on nähtävissä myös mittaustuloksista kuvassa 2. Parvella, mistä meillä ei ole mittausdataa, bassoa on kokemuksemme mukaan riittävästi.

Ensimmäiset konserttiarvostelut ylistivät Musiikkitalon akustiikkaa, koska "Musiikkitalossa kaikki kuuluu". Näin tosiaan on kun orkesteri soittaa pianissimossa tai kun hiljaisissa kohdissa joku katsoja yskäisee. Erittäin alhainen taustamelutaso ja pianissimoiden kuuluminen aiheuttavat harhan, että sali vahvistaa ääntä runsaasti, mutta näin ei todellisuudessa ole. Fortissimossa ääntä on yllättävän vähän, varsinkin hieman kauempana lavasta. Sali siis kompressoii **dynamiikkaa**, joka tuntuu aluksi oudolta ajatukselta, koska äänen eteneminen ja heijastuminen seinistä on lineaarista. Dynamiikan kompressio johtuu kuitenkin erittäin voimakkaasta korkeiden taajuuksien (musiikkitermein yläsävelien) vaimentumisesta, mikä taas johtuu salin muodosta ja materiaaleista. Pianissimossa nämä yläsävelet eivät herää (varsinkaan puhaltimilla) ja pianissimot kuuluvat Musiikkitalossa jopa liian hyvin. Sen sijaan fortissimossa soittimien spektrit sisältävät paljon yläsäveliä, joita sali ei vahvista juuri lainkaan. Orkesterin soittamat suuret dynaamiset erot eivät tästä syystä välity katsomoon ja fortissimot ovat ponnottomia. Korkeiden taa-

juuksien voimakas vaimeneminen vie myös viulujen ja vaskien äänistä **kirkkautta ja briljanssia**.

Kaiuntaisuus on Musiikkitalossa heikkoa ja sali ei mielestämme soi. Jälkikaiunta siinänsä on riittävän pitkä, mutta sen taso on niin alhainen, että jatkuvan musiikin aikana kaiuntaa ei kuule. Salissa on tilavuutta yli 10m³/istumapaikka, mutta jälkikaiunta ei pääse kehittymään, koska ääniaallot törmäävät lähes poikkeuksetta yleisöön, joka absorboi ääntä voimakkaasti. Näin ollen myös **tilantuntu** ja läsnäolo jäävät vaisuiksi, koska kaiunta ei ympäröi kuuntelijaa (kuvan 3 punaiset käyrät jäävät soikeiksi). Lisäksi fortes-
sa **äänen voimakkuus** on hiljaisempi kuin olettaisi kompressoidun dynamiikan takia. Ymmärryksemme mukaan tästä (ja korkeiden taajuuksien vaimenemisesta) kärsii myös äänikuvan **läheisyys**, vaikkakin näköaisti kompensoi läheisyyden tunnetta monessa paikassa. Lopputuloksena on, että yleisö ei koe olevansa osana musiikkiesitystä vaan he tuntevat seuraavansa musiikkiesitystä ulkopuolisena.

5 ONKO MUSIIKKITALON AKUSTIIKKA HYVÄ VAI HUONO?

Monessa tutkimuksessa on löydetty kaksi ääripäätä kuuntelijoiden mieltymyksille. Toisten mielestä akustiikka on loistava, kun äänikuva on erotteleva, jossa kaikki musiikin pienimmätkin yksityiskohdat ja vivahteet kuuluvat selkeästi, vaikka jälkikaiuntaa ja ympäröivää ääntä ei ole kovin paljon. Nämä ihmiset varmasti kokevat Musiikkitalon akustiikan hyvänä. Sen sijaan monet haluavat kuulla kirkkaan ja läheisen äänen, laajan dynamiikan ja ympäröivän jälkikaiunnan, vaikka jokaisen soittimen ääntä ei välttämättä erottaisikaan yksitellen. Nämä kuuntelijat luultavasti pettyvät konserttikäyntiinsä Musiikkitalossa. Näin ollen jokaisen on itse päätettävä saako Musiikkitalossa soitettua musiikista haluamansa elämyksen ja kuinka suuri osuus akustiikalla on konsertista nauttimiseen.

Kiitokset: Tätä tutkimusta on rahoittanut Suomen Akatemia, projekti [257099] sekä Euroopan tutkimusneuvosto, ERC grant agreement no. [203636].

VIITTEET

- [1] PÄTYNEN J, *A Virtual Symphony Orchestra for Studies on Concert Hall Acoustics*, Ph.D. thesis, Aalto University School of Science, 2011.
- [2] TERVO S, PÄTYNEN J, KUUSINEN A, & LOKKI T, Spatial decomposition method for room impulse responses, *Journal of the Audio Engineering Society*, **61**(2013) 1/2, 16–27.
- [3] LOKKI T, PÄTYNEN J, KUUSINEN A, VERTANEN H, & TERVO S, Concert hall acoustics assessment with individually elicited attributes, *Journal of the Acoustical Society of America*, **130**(2011) 2, 835–849.
- [4] LOKKI T, PÄTYNEN J, KUUSINEN A, & TERVO S, Disentangling preference ratings of concert hall acoustics using subjective sensory profiles, *Journal of the Acoustical Society of America*, **132**(2012) 5, 3148–3161.
- [5] PÄTYNEN J, TERVO S, & LOKKI T, Tila-aika-analyysi konserttisaleista visualisoinnin avulla, in *Akustiikkapäivät 2013*, Turku, Finland, May 22–23 2013.
- [6] PÄTYNEN J, TERVO S, & LOKKI T, Analysis of concert hall acoustics via visualizations of time-frequency and spatiotemporal responses, *Journal of the Acoustical Society of America*, **133**(2013) 2, 842–857.