

ELOKUVATEATTERI MUOKKAA ELOKUVAN ÄÄNIMAISEMAA

Janne Riionheimo¹, Tapio Lokki²

¹ Aalto-yliopiston perustieteiden korkeakoulu Tietotekniikan laitos
PL 13100, 0076 Aalto
janne.riionheimo@aalto.fi

² Aalto-yliopisto, Akustiikan laboratorio, Signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitos
Otakaari 5, 02150 Espoo
tapio.lokki@aalto.fi

Tiivistelmä

Elokuviin ääniraita viimeistellään miksaamossa, josta se siirtyy elokuvan mukana teatteriin. Elokuvateatterin akustiikka ja äänentoistojärjestelmä voivat kuitenkin vääristää elokuvan äänimaiseman. Tässä artikkelissa kerromme tutkimuksestamme, jossa kolmekymmentä elokuva-alan ammattilaista arvioi kuuntelukokeissa, kuinka akustiikka ja äänentoistojärjestelmä muokkaavat elokuvista poimittuja ääninäytteitä. Eroja tutkittiin tallentamalla eri huoneiden akustiikka tilaimpulssivasteilla, joiden avulla huoneiden äänikentät rekonstruoidtiin jälkikäteen Aalto-yliopiston akustiikan laboratorion kaiuttoluokkaan kuunteluhuoneeseen. Siellä eri huoneiden sointia pystyi vertailemaan helposti ja erittäin tarkasti keskenään. Tulokset osoittivat muun muassa, että salit on selvästi helpompi erottaa toisistaan puheen kuin musiikin perusteella. Puheäänessä suurimmat erot salien välillä olivat kaiunnassa, musiikissa taas äänen värissä ja kirkkaudessa. Siirryttäessä miksaamosta elokuvateatteriin, elokuvan dialogi voi muuttua epäselvemmäksi ja musiikki tunkkaiseksi. Eroja oli myös äänen selkeydessä, äänikuvan leveydessä sekä havaitussa etäisyydessä. Ääniammatillaiset suosivat selkeän kuuloisia saleja, jotka eivät kuitenkaan olleet täysin kaiuttomia tai turhan kirkkaita. Jonkinlainen tilantunne ja ympäröivyyden saattaminen helpottaa miksaamista. Näyttäisi siltä, että varsinkin isojen elokuvateatterien pitäisi olla suosituksia kuivempia. Myös taajuusvasteiden kalibrointitavat kaipaisivat päivitystä.

1 JOHDANTO

Suomalaiset elokuvaäänen ammattilaiset ovat kertoneet, että elokuvan äänikuva muuttuu siirryttäessä miksaamoista elokuvateattereihin. Miksaajan, äänisuunnittelijan ja ohjaajan viimeistelevä ääniraita kuulostaa elokuvateatterissa erilaiselta kuin miksaamossa oli tarkoitus. Ongelmista on puhuttu myös kirjallisuudessa [1–3]. Kun ääniraita ei siirry sellaisenaan eri kuunteluympäristöjen välillä, miksaaminen on vaikeaa. Tutkimuksemme tarkoituksena oli ymmärtää ongelmaa paremmin ja hakea parannusehdotuksia. Tutkimuk-

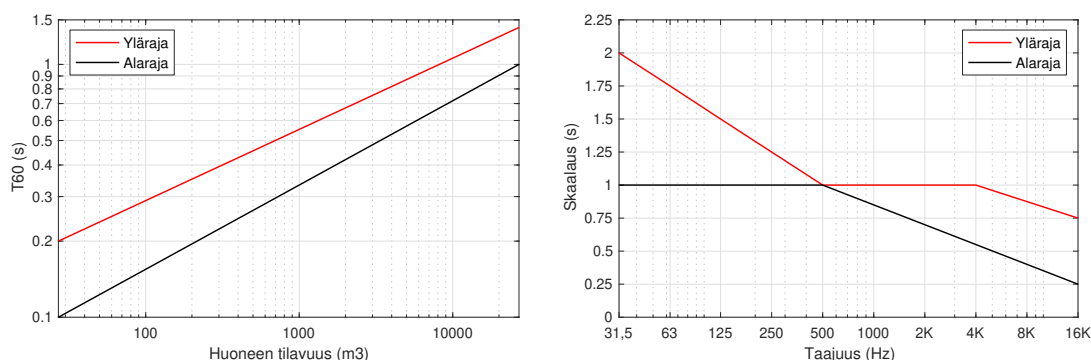


© 2021 Janne Riionheimo ja Tapio Lokki. Tämä on avoimesti julkaistu teos, joka noudattaa Creative Commons NIMEÄ 4.0 Kansainvälinen –lisenssiä (CC BY 4.0). Teosta saa kopioida, levittää, näyttää ja esittää julkisesti ja siitä saa luoda johdannais- ja teoksia, kunhan tekijän nimi ja lähde mainitaan asianmukaisesti.

sestamme on julkaistu kaksi artikkelia vuoden 2021 Journal of Audio Engineering Society -julkaisussa [4–5].

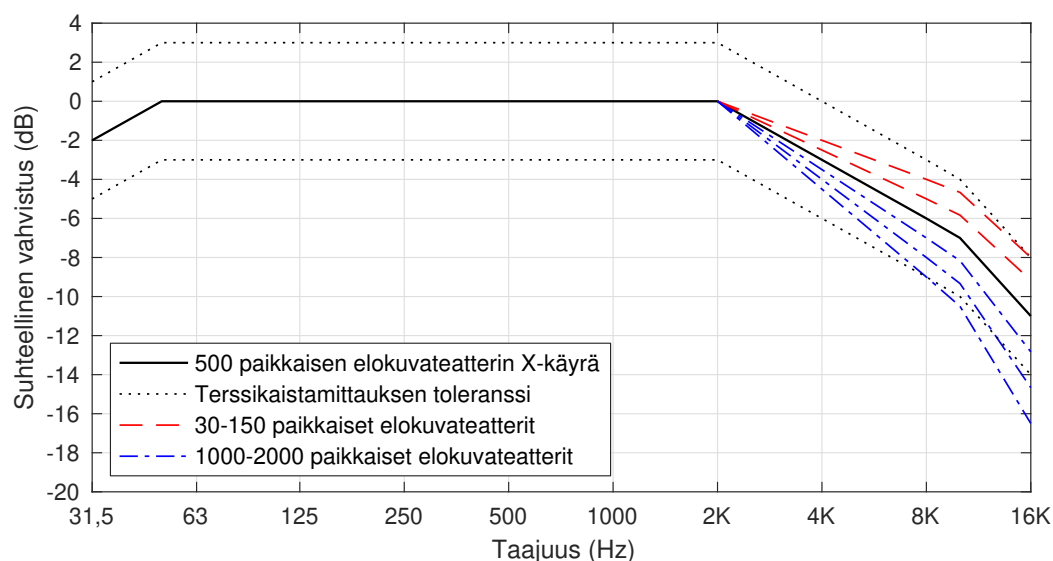
2 TAUSTA

Kuvan 1 mukaiset suositukset eri kokoisten elokuvateattereiden ja miksaamojen jälkikaiunta-ajalle on esitetty monissa suunnitteluohjeissa ja kirjallisissa lähteissä [6–10]. Suosituksen mukainen jälkikaiunta-aika pitenee kaksinkertaiseksi huoneen tilavuuden kymmenkertaistuessa. Tämä vastaa suurin piirtein tilannetta, missä huoneen pintojen absorptiokerroin säilyy samana sen tilavuuden kasvaessa.



Kuva 1. Vasemmalla suositus elokuvateatterien ja miksaamojen jälkikaiunta-ajalle 500 Hz:n taajuudella huoneen tilavuuden mukaan. Oikealla jälkikaiunta-ajan vaihteluväli eri taajuuksilla.

Elokuvateattereiden ja äänimiksaamojen elektroakustinen vaste kalibroidaan standardien SMPTE 202:2010 tai ISO 2969:2015 mukaisesti [11–12] ja äänenpaine suosituksen SMPTE 200:2012 tai ISO 22234:2005 mukaisesti [13–14]. *Kuvassa 2* esitetty standardin mukainen tavoite taajuusvasteelle eli ns. X-käyrä, jonka muoto riippuu teatterin koosta sen paikkamäärästä mukaisesti. Standardin tavoite on varmistaa, että elokuvien äänenväri toistuu samanlaisena erilaisissa huoneissa.



Kuva 2. 500 paikkaisen elokuvateatterin X-käyrä sekä sovitukset pienemmille ja suuremmille teattereille standardin SMPTE 202:2010 mukaisesti [11].

Taajuusvaste mitataan joko huoneen referenssipisteessä tai 4–6 mikrofoniasteessa referenssipisteen ympäristössä. Elokvateatterin referenssipiste sijaitsee teatterin keskilinjalla 2/3 etäisyydellä valkokankaan ja takaseinän välissä, kun taas miksaamojen referenssipiste on sama kuin miksauspiste. Perinteisesti taajuusvaste mitataan soittamalla vaaleanpunaista kohinaa jokaisesta kaiuttimesta kerrallaan ja säätämällä pallokuvioisilla mikrofoneilla mitattu vaste X-käyrän mukaiseksi terssikaistaisen taajuusanalysaattorin avulla. Huonekoon mukaan muuttuva X-käyrä perustuu ajatukseen, että suurien taajuuksien jälkikaiunta vaimenee isommissa huoneissa pieniä enemmän.

Standardin mukainen mittaus sisältää suoran äänen, heijastukset sekä jälkikaiunnan eikä se ota erikseen huomioon suoran äänen taajuusvastetta, varhaisen ja myöhäisen äänen suhdetta, äänen tulosuuntaa tai huoneen akustisia ominaisuuksia. Muun muassa näistä puutteista johtuen kritiikki X-käyrää ja sen mittaustapaa kohtaan on kasvanut [1,15–16]. Osa miksaajista onkin tottunut kompensoimaan X-käyrän muodon miksatessaan [15].

X-käyrän muodon ja kalibrointimetodin taustalla olevat psykoakustiset perustelut [11,17] eivät ole kaikilta osin tieteellisesti validoituja ja standardin taustalla olevat muutamat tapautkimukset [17] eivät kritiikin mukaan riitä perustelemaan standardia [16]. On esitetty, että korva aistii äänensävyen etenkin suoran äänen taajuusvasteen perusteella ja ihminen osaa ”kuulla kaiunnan läpi” [1,16]. Jos näin on, elektroakustinen vaste pitäisi kalibroida mittamaalla suoraa ääntä eikä koko impulssivastetta.

3 TUTKIMUSMETODI

Tutkimuksemme koostui kahdesta erillisestä osasta, joissa kummassakin toteutimme kuuntelukokeet. Tutkimuksen ensimmäisessä osassa loimme kuuntelukokeiden pohjalta listan attribuuteista, jotka kuvaavat merkityksellisimpiä äänellisiä eroja miksaamojen ja elokuvateattereiden välillä. Toisessa osassa koehenkilöt arvioivat miksaamoja ja elokuvateattereita käyttäen näitä attribuutteja. Lopuksi arviointeja verrattiin huonesimulaatioista tehtyihin akustisiin mittauksiin.

Testihuoneet

Valitsimme testihuoneiksi kolme erikoista elokuvateatteria ja kolme äänimiksaamoja, joiden koko ja akustiset parametrit on esitetty *taulukossa 1*.

Huone	A (m ²)	V (m ³)	H (m)	Paikkoja	D (m)	Ääni	T _{30,mid} (s)	C _{50,mid} (dB)
Miksaamo 1	19	40	2,4	...	1,6	5.1	0,14	26,9
Miksaamo 2	37	110	3	...	4,5	7.1	0,14	24,3
Miksaamo 3	120	400	3,4	...	7,0	7.1	0,26	15,1
Elokvateatteri 1	110	750	6	50	7,0	7.1	0,28	17,7
Elokvateatteri 1	250	1400	7,5	257	11,0	7.1	0,26	19,4
Elokvateatteri 1	825	7000	12,5	635	20,0	7.1	0,71	6,8

Taulukko 1 Kuuntelukokeissa käytettyjen huoneiden pinta-ala (A), tilavuus (V), korkeus valkokankaalla (H), mittausetäisyys keskikaiuttimesta (D), paikkojen lukumäärä, äänijärjestelmä sekä jälkikaiunta-aika T_{30,mid} ja selkeys C_{50,mid} keskitaajuuksilla (500–1000 Hz oktaavikaistat).

Huonesimulaatiot

Mittasimme tilaimpulssivasteet testihuoneiden referenssipisteessä äänijärjestelmän jokaisella kaiutinkanavalla käyttäen kolmesta pallomikrofoniparista koostuvaa GRAS-mikrofonianturia. Tämän jälkeen laskimme tilaimpulssivasteista äänen suuntainformaation SDM (Spatial Decomposition Method) -menetelmän avulla [18]. Käyttämällä suuntainformaatiota ja yhden mikrofonin monoauraalista impulssivastetta rekonstruoinimme testihuoneiden äänikentän Aalto-yliopiston akustiikanlaboratorion kaiuttomaan kuunteluhuoneeseen, jossa 45 kaiunta ja subwoofer oli aseteltu pallo-asetelmaan kuuntelijan ympärille. Lopuksi poimimme elokuvien ääniraidoilta ääninäytteitä, jotka auralisoimme kuunteluhuoneeseen. Metodien avulla ääninäytteet kuulostivat kuunteluhuoneessa lähes samanlaisilta kuin testihuoneissa soitettuna, jolloin huoneiden äänikenttiä voitiin vertailla helposti keskenään.

Ääninäytteet

Poimimme ääninäytteet joko ulkomaisten elokuvien Blu-ray-levyiltä tai kotimaisten elokuvien loppumiksausista. Ääninäytteiksi valikoitui 8–20 sekunnin mittaisia pätkiä, jotka sisälsivät kaiutonta ja kaikuisaa dialogia, hidasta orkesterimusiikkia, nopeaa ja efektiivistä elokuvamusiikkia sekä atmosfääriääniä.

Kuuntelukokeet

Kuuntelukokeisiin osallistui 17 elokuvaäänen ammattilaista sekä 14 äänenkuunteluun tottunutta tutkijaa tai opiskelijaa. Tutkimuksen ensimmäisessä osassa 17 ääniammattilaisista arvioivat testihuoneita kahdella erilaisella kuuntelukoemenetelmällä: vapaasti kuuntelemalla sekä parivertailuna. Samalla he kirjoittivat ylös merkityksellisimmät erot huoneiden välillä. Vertailu tehtiin jokaisella ääninäytteellä erikseen.

Vapaan kuuntelun 825 kuvailua ja parivertailun 1145 yhden-kahden sanan arviointia lyhennettiin perusmuotoisiksi ja luokiteltiin erilaisiin kategorioihin joko seuraamalla ITU-R BS.2399-0 standardin luokittelua [19] tai muodostamalla sanojen pohjalta uusia kategorioita. Vapaan kuuntelun pohjalta kokosimme taulukon, joka sisältää arvion jokaisen huoneen ja ääninäytteen yhdistelmästä. Parivertailun lopputuotoksena syntyi lista merkityksellisimmistä eroista miksaamojen ja elokuvateattereiden välillä.

Tutkimuksen seuraavassa osassa koehenkilöt arvioivat kutakin huonetta ja kahta ääninäytettä (kuiva dialogi ja hidas musiikki) tutkimuksen ensimmäisen vaiheen sanaston avulla.

4 TULOKSET

Merkityksellisimmät erot

Parivertailun perustella koottu lista merkityksellisimmistä eroista miksaamojen ja elokuvateattereiden äänikenttien välillä eri ääninäytteillä on esitetty *taulukossa 2*.

Attribuutti	Hidas musiikki	Nopea musiikki	Kuiva dialogi	Ambiensi	Kaikki
Tilan tuntu	9 %	20 %	53 %	28 %	27 %
Kirkkaus	30 %	13 %	4 %	9 %	14 %
Taajuusvaste	15 %	11 %	7 %	11 %	11 %
Leveys	10 %	10 %	8 %	8 %	9 %
Selkeys	7 %	9 %	8 %	6 %	7 %
Etäisyys	2 %	4 %	5 %	6 %	4 %

Keskialue	4 %	4 %	3 %	4 %	4 %
Surroundien taso	4 %	4 %	0 %	5 %	4 %
Lokalisaatio	2 %	3 %	3 %	5 %	3 %
Basso	1 %	6 %	2 %	1 %	3 %
Yläkeskialue	2 %	3 %	2 %	3 %	3 %
Ympäriövyys	2 %	2 %	0 %	5 %	2 %
Laatikkomaisuus	2 %	1 %	0 %	1 %	1 %
Honotus	3 %	0 %	1 %	1 %	1 %
Artikulaatio	0 %	3 %	0 %	0 %	1 %
Läsnäolo	0 %	0 %	2 %	1 %	1 %
Muhkeus	1 %	1 %	0 %	1 %	1 %
Vaiheisuus	0 %	1 %	0 %	1 %	1 %

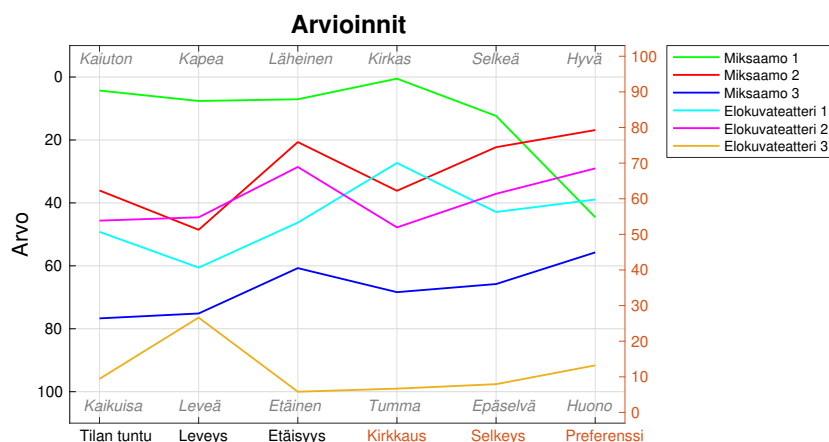
Taulukko 2 Merkityksellimmät erot miksaamojen ja elokuvateattereiden välillä.

Taulukosta nähdään, että erot riippuvat voimakkaasti ääninäytteestä. Hitaalla musiikilla taajuusvaste ja varsinkin äänen kirkkaus ovat merkityksellisimpiä. Musiikin muuttuessa nopeammaksi tilan tunnun vaikutus kasvaa ja taajuusvasteen merkitys pienenee. Kuunneltaessa kuivaa dialogia merkityksellisin ero huoneiden välillä on tilan tuntu ja kaikuisuus. Vapaan kuuntelun perusteella (ei esitetty tässä artikkelissa) huomasimme myös, että tilan tunnun merkitys pienenee kaikuisaa dialogia kuunneltaessa.

Tämän lisäksi huoneiden välillä on eroja myös äänikuvan leveydessä, selkeydessä sekä aistitussa äänen etäisyydessä. Huoneet siis kuulostavat hyvin erilaisilta eri ääninäytteillä. Osa koehenkilöistä ei uskonut kuuntelevan samaa huonetta vaihtaessaan hitaasta musiikista kuivaan dialogiin.

Huoneiden arvioinnit

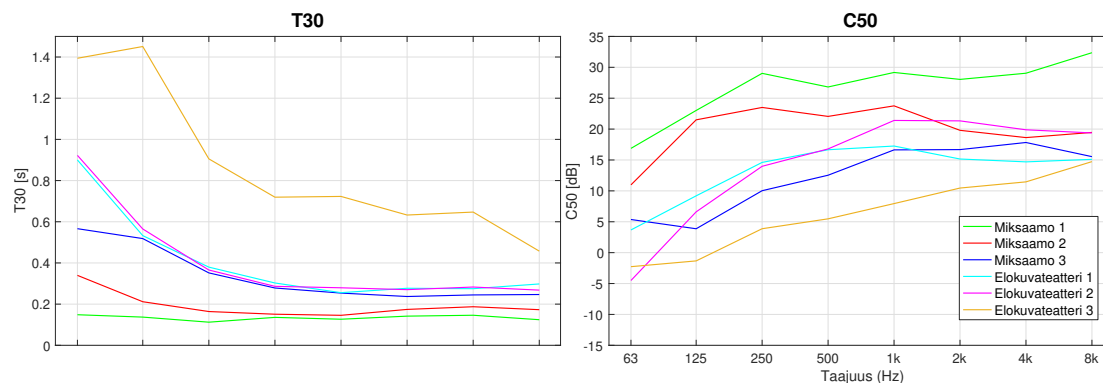
Tutkimuksen toisessa osassa koehenkilöt arvioivat testihuoneita viiden merkityksellisimmän *taulukossa 2* listattujen äänen eroja kuvaavan attribuutin avulla. Koehenkilöt asettivat jokaiselle attribuutille sekä preferenssille arvon väliltä 0–100. Arviointi tehtiin käyttöliittymässä näkyvällä liukusäätimellä. Kunkin attribuutin kohdalla koehenkilöt asettivat jollekin huoneelle arvoksi nolla ja jollekin sata. Esimerkiksi tilan tuntua arviotaessa koehenkilö antoi kaiuntaisimpana pitämälleen huoneelle arvon sata ja kuivimmalle huoneelle arvon nolla. Preferenssin arviointi tehtiin viimeisenä. Koehenkilöiden aistinvaraisten arviointien keskiarvot kuudesta testihuoneesta on esitetty *kuvaassa 3*.



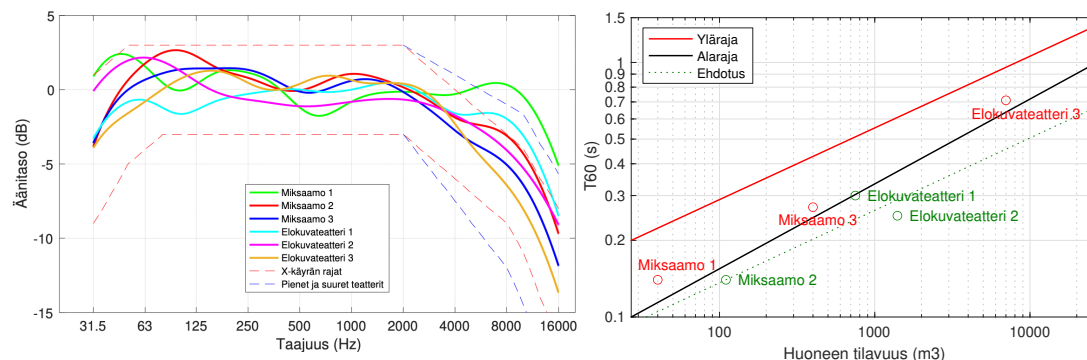
Kuva 3 Koehenkilöiden tekemien aistinvaraisten arviointien sekä preferenssien keskiarvot kuudesta testihuoneesta. Arvioinnit tehtiin käyttämällä skaalaa 0...100 kullekin attribuutille.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kuvassa 4 on esitetty huonesimulaatioista mitattu jälkikaiunta T_{30} ja selkeys C_{50} . Kuvassa 5 on esitetty huoneiden taajuusvasteet, X-käyrä toleransseineen sekä huoneiden jälkikaiunta-aika suhteessa kuvan 1 mukaiseen jälkikaiunta-aikasuositukseen.



Kuva 4 Huonesimulaatioista mitattu jälkikaiunta-aika T_{30} ja selkeys C_{50} .



Kuva 5 Vasemmalla huonesimulaatioista mitattu taajuusvaste, X-käyrän toleranssit sekä tarkennukset pienille ja suurille teattereille. Oikealla testihuoneiden jälkikaiunta-aika keskitäajuuksilla suhteessa suositukseen. Kuvassa on esitetty myös ehdotus jälkikaiunta-aikasuositukseksi.

Taulukon 2 ja tutkimusjulkaisuissa esitettyjen tarkempien arviointien avulla sekä vertaamalla kuvan 3 aistinvaraisia arviointeja huonesimulaatioista tehtyihin akustisiin mittauksiin kuvissa 4 ja 5 voidaan vetää seuraavat johtopäätökset:

- Huoneet kuulostavat erilaisilta kuunneltaessa musiikkia ja puhetta
 - Huoneet on helpompi erottaa toisistaan puheella
- Kuunneltaessa puhetta, merkittävin ero huoneiden välillä on tilan tuntu ja kaikuisuus
 - Pitkä jälkikaiunta voi tehdä dialogin epäselväksi
 - Ero huoneiden välillä pienenee dialogin muuttuessa kaikuisammaksi
 - Huoneen jälkikaiunta aistitaan osana hidasta musiikkia, jolloin huoneet on vaikeampi erottaa toisistaan
 - Nopea musiikki muuttuu kaikuisessa huoneessa epäselvämmäksi
- Kuunneltaessa musiikkia, merkittävin ero huoneiden välillä on äänensävyssä, erityisesti kirkkaudessa

- Arvioitu kirkkaus ja mitatun taajuusvasteen taso yli 4 kHz:llä täsmäävät yhteen
- Emme löytäneet tutkimuksessa tukea huonekoon mukaan muuttuvalle X-käyrälle
- Arvioitu etäisyys, selkeys ja kaikuisuus täsmäävät yhteen mitatun selkeyden C50 kanssa
- Koehenkilöt suosivat selkeitä ja kuivahkoja huoneita kaikuisien ja etäisten kustannuksella. Kirkkaimman ja kuivimman huoneen kohdalla mielipiteet jakaantuivat
 - Koehenkilöt suosivat suositeltua lyhyempää jälkikaiuntaa
 - Elokuvateatterien lyhyempi jälkikaiunta parantaisi translaatiota miksaamosta teatteriin
 - Tutkimuksen perusteella ehdotamme kuvan 5 mukaista suositusta jälkikaiunta-ajalle eri kokoisissa teattereissa
- Miksaamojen ja elokuvateattereiden huoneakustiikka ja äänijärjestelmä vaikuttaa eri äänimateriaaliin eri tavoin. Lisäksi se vaihtelee huoneesta toiseen. Koska miksaaja ei tiedä minkälaisissa ympäristöissä elokuvaa tullaan katsomaan, on miksaaminen ongelmallista
 - Elokuvateatterin akustinen simulointi miksausvaiheessa voisi helpottaa miksaamista ja parantaa äänikuvan siirtymistä eri kuunteluympäristöjen välillä.

VIITTEET

- [1] P. Newell, K. Holland, J. Newell, and B. Neskov, "New Proposals for the Calibration of Sound in Cinema Rooms," presented at the *130th Convention of the Audio Engineering Society* (2011 May), convention paper 8383.
- [2] L. A. Gedemer, *A New Method for Measuring and Calibrating Cinema Audio Systems for Optimal Sound Quality*, Ph.D. thesis, University of Salford (2017).
- [3] SMPTE, "B-Chain Frequency and Temporal Response Analysis of Theatres and Dubbing Stages," *TC- 25CSS* (2014).
- [4] J. Riionheimo and T. Lokki, "Movie Sound, Part 1: Perceptual Differences of Six Listening Environments," *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 69, no. 1/2, pp. 54–67 (2021 Jan./Feb.), <https://doi.org/10.17743/jaes.2020.0066>
- [5] J. Riionheimo and T. Lokki, "Movie Sound, Part 2: Preference and Attribute Ratings of Six Listening Environments," *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 69, no. 1/2, pp. 68–69 (2021 Jan./Feb.), <https://doi.org/10.17743/jaes.2020.0065>
- [6] Dolby Laboratories, Inc., "Technical Guidelines for Dolby Stereo Theatres" (1994).
- [7] JBL Professional, "Cinema Sound System Manual" (2003).
- [8] Theatre Operations, a division of Lucasfilm Ltd., "THX Sound System Program, Instruction Manual, Architect's and Engineer's Edition," (1987).

- [9] Meyer Sound Laboratories, Inc., “Acoustic Guidelines for Cinemas” (2010).
- [10] Dolby Production Services, “Studio Approval Requirements For Mixing All Dolby Theatrical Formats, (Issue 18)” Dolby Laboratories, Inc. (2015).
- [11] SMPTE, “B-Chain Frequency and Temporal Response Analysis of Theatres and Dubbing Stages,” *TC- 25CSS* (2014).
- [12] ISO, “Cinematography – B-Chain Electro-acoustic Response of Motion-Picture Control Rooms and Indoor Theatres – Specifications and Measurements,” International Standard 2969:2015 (2015).
- [13] SMPTE, “Relative and Absolute Sound Pressure Levels for Motion-Picture Multichannel Sound Systems — Applicable for Analog Photographic Film Audio, Digital Photographic Film Audio and D-Cinema,” *Recommended Practice 200:2012* (2012).
- [14] ISO, “Cinematography – Relative and Absolute Sound Pressure Levels for Motion-Picture Multi-channel Sound Systems – Measurement Methods and Levels Applicable to Analog Photographic Film Audio, Digital Photographic Film Audio and D-Cinema Audio,” *International Standard 22234:2005* (2005).
- [15] L. A. Gedemer, “Evaluation of the SMPTE X-Curve Based on a Survey of Re-Recording Mixers,” presented at the *135th Convention of the Audio Engineering Society* (2013 Oct.), convention paper 8996.
- [16] F. Toole, “The Measurement and Calibration of Sound Reproducing Systems,” *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 63, no. 7/8, pp. 512–541 (2015 Jul./Aug.), <https://doi.org/10.17743/jaes.2015.0064>.
- [17] I. Allen, “The X-Curve: Its Origins and History: Electro-acoustic Characteristics in the Cinema and the Mix-Room, the Large Room and the Small,” *SMPTE Motion Imaging J.*, vol. 115, no. 7–8, pp. 264–275 (2006 Jul./ Aug.).
- [18] J. Pätynen, S. Tervo, and T. Lokki, ”Tila-aika-analyysi konserttisaleista visualisoinnin avulla,” presented at *Akustiikkapäivät 2013*, Turku, Finland, May 22-23 2013.
- [19] ITU, “Methods for Selecting and Describing Attributes and Terms in the Preparation of Subjective Tests,” *Report BS.2399-0* (2017).