

Mikko Rauvola

# Esitystekniikan erityistarpeiden huomiointi ta- pahtumatilan suunnittelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Medianomi (AMK)

Esitys- ja teatteritekniikan tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

15.3.2020

Tekijä(t) Otsikko  Sivumäärä Aika	Mikko Rauvola Esitystekniikan erityistarpeiden huomiointi tapahtumatilan suunnittelussa 37 sivua 15.3.2020
Tutkinto	Medianomi (AMK)
Koulutusohjelma	Esitys- ja teatteritekniikan tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Esitys- ja teatteritekniikka
Ohjaaja(t)	Esitystekniikan lehtori Jyrki Sinisalo Tekninen johtaja Tomi Tirranen
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoitus on käsitellä esitystekniikan käytön asettamia erityisvaatimuksia esitystilan suunnittelulle. Rakenteiden, pintamateriaalien, sähköasennusten ja ilmanvaihdon suunnittelulla on suuri merkitys esitystilan käytettävyyden kannalta. Tapahtuma- tai esitystilana voidaan pitää muun muassa teattereita, konserttisaleja, viihdeareenoita, auditorioita ja jopa luokkahuoneita.</p> <p>Esitystekniikalla tarkoitetaan sähköisiä ja elektronisia laitteita, joita käytetään äänen vahvistamiseen, kohteiden valaisemiseen lavalla ja kuvien tai videomateriaalin muodostukseen, projisointiin ja heijastamiseen sähköisesti. Tämä kokonaisuus on muuttunut koko ajan tärkeämmäksi esitysteollisuudelle. Yleisö ja esiintyjät ovat tottuneet nauttimaan kehittyneen esitystekniikan laitteiden ja ammattimaisten teknikoiden mahdollistamista korkeatasoisista esityksistä.</p> <p>Sähköisesti paranneltujen esitysten historia on verrattain lyhyt, ja lisäksi teknologian kehitys etenee jatkuvasti harppauksittain. Esityskäytössä olevat rakennukset ovat melko usein vanhoja, ja niiden valmius esitystekniikan käyttämiseen on joko heikko tai ne on suunniteltu alun perin jotain aivan muuta tarkoitusta, kuten urheilua varten.</p> <p>Joskus jopa hyvin pienet päätökset saattavat olla ratkaisevia esitystekniikan toimivuuden kannalta. Tekniikan oikeanlainen toimivuus auttaa esiintyjä ja yleisöä tuottamaan ja nauttimaan esityksistä niin kuin on tarkoitettu. Esitystekniikan ammattilaisen konsultointi suunnitteluprosessin aikana on avain menestykseen – mitä aikaisemmin, sen parempi. Jokainen väärä valinta suunnitelmissa tai asennuksissa maksaa aikaa ja rahaa korjausrakentamisen tarpeena tai kasvaneina tuotantokustannuksina.</p> <p>Tässä tutkielmassa pohditaan ääni-, valo- ja kuvatekniikan menestyksekkään käytön asettamia erityisvaatimuksia esitystilan arkkitehtuurille sekä rakenne-, sähkö-, ilmastointi-, akustiikka-, ja sisustussuunnittelulle. Käsiteltävien asioiden huomioimisella ja mahdollisen konsultoinnin tarpeen ymmärtämisellä voi olla suuri merkitys rakennuttajalle hankkeen onnistuneen lopputuloksen ja budjetin hallinnan kannalta.</p>	
Avainsanat	Esitystekniikka, arkkitehtuuri, lvi-suunnittelu, sähkösuunnittelu, akustiikka, äänieristys

Author(s) Title Number of Pages Date	Mikko Rauvola Special Requirements of Performance Technology in Event Venue Design 37 pages March 14, 2020
Degree	Bachelor of Arts
Degree Programme	Performance and Theater Technology
Specialisation option	Performance and Theater Technology
Instructor(s)	Senior Lecturer Jyrki Sinisalo Technical Director Tomi Tirranen
<p>The purpose of this thesis is to discuss the special requirements the use of performance technology sets to venue designing. The planning of structures, surface materials, electrical installations and air conditioning plays a significant role in the usability of the event venue. For example, a theater, a concert hall, an entertainment arena, an auditorium or even a classroom can be considered an event or a performance venue.</p> <p>Performance technology means electrical and electronic devices that are being applied to amplify sound, light objects on stage, and to form, project and reflect pictures or video material electrically. All of this has become an increasingly important part of the performance industry. Audiences as well as performers are used to enjoying high-quality performances that are made possible by advanced technological equipment and professional technicians.</p> <p>The history of electrically improved performances is relatively young and yet the technology is constantly taking leaps in development. The premises used for event purposes are quite often old buildings that are originally either poorly prepared for the utilization of performance technology or just designed for other activities, like sports.</p> <p>Some decisions, even minor ones, might be really crucial for the functionality of performance technology. Correctly functioning technology helps performers and audience produce and enjoy performances as intended. Consulting a professional in performance technology during the design process is the key to success - the earlier the better. Every incorrect choice in blueprints or installations costs time and money as it may require reconstructions or lead to increased production costs.</p> <p>In this thesis, the special requirements that the successful use of sound, light and video equipment set to architecture and the planning of structures, electrics, ventilation, acoustics and interior design are deliberated. Taking the examined subjects into consideration and understanding the possible need for consultation can make a huge difference to the constructor in regard to the successful completion of the project and budget management.</p>	
Keywords	Performance technology, architecture, hvac-design, electrical design, acoustics, sound isolation

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Suunnitteluprosessin osapuolet	3
2.1	Käyttäjät	3
2.2	Rakennuttaja	3
2.3	Suunnittelijat	3
2.4	Valvojat ja viranomaiset	4
3	Suunnittelun lähtökohdat	5
3.1	Käyttötarkoituksen määrittäminen	5
3.2	Esitystekniikka	6
4	Esitystekniikan erityisedellytykset tilasuunnittelussa	7
4.1	Äänitekniikka	7
4.1.1	Kaiutinsijoittelu ja arkkitehtuuri	8
4.1.2	Akustiikka ja heijastukset	14
4.1.3	Akustiikka ja rakenteet	16
4.1.4	Ääni ja sähkö	18
4.2	Valaistus- ja videotekniikka	22
4.2.1	Valo ja arkkitehtuuri	22
4.2.2	Valo- ja kuvatekniikan sähkö	23
4.2.3	Visuaaliset erikoisefektit	25
4.3	Yleisesti esitystekniikka koskevat erityistarpeet	26
4.3.1	Ripustaminen ja rakenteet	26
4.3.2	Laitesijoittelu ja kaapelireitit	28
4.3.3	Esitystekniikan tilavaraukset yleisöalueella	30
4.3.4	Logistiikka ja kulkureitit	30
4.3.5	Radioliikenne	31
4.3.6	Esteettömyys	32
4.3.7	Audiovisuaaliset turvallisuusjärjestelmät	33
5	Lopuksi	35
	Lähteet	36

## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä tapahtumatilan suunnitteluprosessin osa-alueisiin ja erityispiirteisiin. Tavoitteena on etsiä ja löytää keskeisiä vaatimuksia ja odotuksia, joita esitystekninen tuotanto asettaa arkkitehtuurille, sisustukselle ja perinteisille taloteknisille ratkaisuille. Samalla pohditaan näiden suunnittelu-kokonaisuuksien kannalta esitystilojen yleisimpiä ongelmia ja pyritään löytämään ratkaisuja niihin.

Esitystekniikalla tarkoitetaan erilaisissa esityksissä käytettävään ääneen, valoon ja kuvaan liittyviä teknisiä laitteita ja niiden käyttäjiä. Onnistuneen tapahtumatuotannon tuloksena syntyy esityskokonaisuus, jossa sekä yleisö että tapahtuman tekijät tuntevat viihtyneensä toimivassa ja turvallisessa ympäristössä. Tässä kokonaisuudessa esitystekniikalla on oma merkittävä roolinsa. Tämä tutkielma rajataan käsittelemään esitysteknisten laitteiden asennukseen ja käyttöön liittyvien edellytysten huomioimista esitystilahankkeen suunnittelu- ja rakennusvaiheessa.

Oman erikoisosaamisalueeni puitteissa äänen ilmiöihin paneudutaan yksityiskohtien osalta hieman muita alueita seikkaperäisemmin. Ääni on myös useimmille ihmisille abstraktimpi käsite kuin vaikka valo ja sen ilmiöt, joten yksityiskohtaisempi tarkastelu lienee perusteltua. Rakennuttajalle, joka suunnittelee esitystilaa, olisi kokemukseni mukaan usein hyödyllistä avata hieman tavallista tarkemmin syitä äänitekniikkaan liittyvien vaatimusten tai toiveiden taustalla. Äänitekniikkaan ja akustiikkaan liittyvät toiveet saattavat toisinaan tuntua asiaan perehtymättömän maksajan näkökulmasta käsittämättömiltä tai yhdentekeviltä varsinkin, jos budjetista pyydetään samalla lohkaisemaan merkittävä siivu.

Esitystila voi olla esimerkiksi teatteri, konserttisali, viihdeareena tai näiden yhdistelmä. Esitystilahanke voi olla uudisrakennus tai peruskorjaus. (Akukon 2020.) Tämän Akukon Oy:n määritelmän lisäksi laittaisin saman nimikkeen alle myös erilaiset auditoriot sekä messu- ja näyttelytilat. Jopa luokkahuone voidaan mielestäni ajatella tietynlaiseksi esitystilaksi. Tämän tutkielman aihetta pohtiessa on kuitenkin mielekästä käsittää esitystila Akukonin määritelmän mukaisena tilana tai suurehkona auditoriona. Suuremmissa tiloissa esitystekniikan erityistarpeiden suunnittelun merkitys nousee paremmin esiin.

Akustiikkaa ja äänieristystä sekä muutamaa pienempää asiakokonaisuutta koskevaa kirjallisuutta lukuun ottamatta tämän erityisalan lähdekirjallisuus on hyvin vähäistä. Tästä johtuen pääasiallisina tiedonhankkimismenetelminäni oman työkokemukseni kautta hankkimani tiedon lisäksi ovat olleet asiantuntijahaastattelut. Olen haastatellut esitystekniikan suunnittelijaa, tapahtumatilasuunnittelijaa sekä esitystilahankkeen kanssa parhailaan tekemisissä olevaa rakennustarkastajaa.

Tarve tämän opinnäytetyön kirjoittamiselle on syntynyt turhautumisen tunteesta työskenneltyäni esitystekniikan parissa sadoissa erilaisissa esitystiloissa ympäri maailmaa. Suurin osa konsertti- ja seminaarituotantojen käytössä olevista tiloista on pahasti ajastaan jäljessä, tehty joko aivan muuta tarkoitusta varten tai vain yksinkertaisesti suunniteltu tuntematta esitystekniikan päivittäistä toimintaa riittävästi.

Suurin osa kohtaamistani suunnitteluvirheistä olisi voitu välttää ilman lisäkustannuksia – konsulttoimalla asiantuntijaa. Esitystekniikan konsultin palkkiot olisi ollut usein mahdollista säästää alentuneina tuotantokustannuksina, tilan pidentyneinä elinkaarina ja korjausrakentamisen tarpeen vähenemisenä. Toisaalta olen läheltä päässyt seuraamaan erittäin onnistuneita hankkeita, jotka viimeistään herättivät toiveikkuuden siitä, että tämän tyyppiselle ajattelulle on tarpeen lisäksi myös tilausta.

Tämän tutkielman puitteissa tutkin siis ääni-, valo- ja kuvatekniikan menestyksekkään käytön asettamia erityisvaatimuksia esitystilan arkkitehtuurille sekä rakenne-, sähkö-, ilmastointi-, akustiikka-, ja sisustussuunnittelulle. Esitystilojen erityispiirteisiin kuuluu myös suuret yleisömäärät, mutta siltä osin kuin näiden vaikutus ei ulotu esitystekniikan erityistarpeisiin, asian käsittely rajataan tämän työn ulkopuolelle.

## 2 Suunnitteluprosessin osapuolet

### 2.1 Käyttäjät

Esitysteknisen tilan käyttäjät jakautuvat karkeasti kahteen ryhmään: henkilökuntaan ja yleisöön. Henkilökunta jakautuu useaan erityisalaan, kuten esitystekniikka, talotekniikka, turvallisuus, ravintola, siivous ja hallinto. Opinnäytetyön aiheen mukaisesti tässä tutkielmassa käyttäjäryhmistä keskitytään lähinnä esitysteknisen henkilökunnan toimintaan liittyviin erityistarpeisiin.

Käyttäjien tai heidän edustajiensa tehtävä suunnitteluprosessin aikana on toimia yhteistyössä rakennuttajan kanssa ja auttaa osaltaan määrittämään tilan käyttötarkoitusta ja haluttua käyttötapaa. Yleisön edustajilla ei yleensä ole aktiivista roolia tilan rakennusvaiheessa, joskin esitystilän suunnittelijoiden tulee ottaa yleisöturvallisuus ja yleisötilan toimivuus huomioon yhtenä tärkeimmistä suunnittelun lähtökohdista. Esitysteknisen henkilökunnan osallistumisella käyttötarkoituksen määrittelystä ja suunnittelusta käytävään keskusteluun sen sijaan voi olla kohteesta riippuen suurikin merkitys suunnitteluvaiheessa tehtäviin ratkaisuihin.

### 2.2 Rakennuttaja

Rakennuttaja on luonnollinen tai juridinen henkilö, jonka lukuun rakennustyö tehdään ja joka viime kädessä vastaanottaa työn tuloksen (Rakennusurakan yleiset sopimusehdot YSE 1998). Rakennuttaja vastaa siis työn rahoituksesta, ja hankkeen muut osapuolet vastaavat rakennuttajalle oman sopimuksensa ehtojen täyttymisestä.

Esitysteknisen tilan rakennuttaja voi olla esimerkiksi esityksiä tuottava yhdistys, yhtiö tai julkisyhteisö, kuten teatteri, seminaaripalveluja tuottava yhtiö tai kaupunki. Rakennuttajan tehtävänä on määrittää tilan käyttötarkoitus.

### 2.3 Suunnittelijat

Suunnittelijat ovat rakennuttajan valitsemia asiantuntijoita ja ammattilaisia, jotka vastaavat rakennuttajan edellyttämien suunnitelmien valmistamisesta. Suunnittelijalla voidaan

tarkoittaa kokonaisia suunnittelutoimistoja, mutta myöhemmin suunnittelijoihin viitattaessa tarkoitetaan yksittäisiä henkilöitä.

Tapahtumakäyttöön tarkoitetun tilan rakentamiseksi voidaan tarvita erillisiä suunnitelmia esimerkiksi rakenteista, LVI-tekniikasta, sähköstä ja akustiikasta. Usein näistä suunnitelmista vastaavat eri tahot, mutta joissain tapauksissa yksi suunnittelija saattaa suunnitella useampia osa-alueita. Osa rakennustoista on luvanvaraisia, ja luvan myöntämisen edellytyksenä on viranomaisen hyväksymän suunnittelijan tekemät suunnitelmat (Maankäyttö- ja rakennuslaki MKRL 1999/132, 119 §, 120 §, 125 §, 126 §).

#### 2.4 Valvojat ja viranomaiset

Suomessa esitysteknisen tilan luvallinen rakentaminen ja käyttöönotto edellyttää erilaisien viranomaisten tarkistuksia ja suunnitelmien hyväksyntää (MKRL 1999/132, 120 §). Kuntien rakennusvalvontaviranomaiset huolehtivat yhdessä paikallisen pelastusviranomaisen kanssa rakentamista koskevien lupien käsittelystä ja rakennustyön aikaisesta valvonnasta (Grönholm, haastattelu 10.3.2020).

Alueellinen palotarkastaja tutkii rakennushankkeen suunnitelmat turvallisuusmääräysten näkökulmasta ja puoltaa rakennusluvan myöntämistä, jos suunnitelmat ovat pelastuslain sekä muiden määräysten mukaisia. Kokoontumistilojen, kuten esiintymistilojen tapauksessa pelastusviranomaisen rooli on verrattain suuri, koska tavallista suuremmat ihmismäärät ovat muun muassa esitystiloiissa hyvin tyypillisiä ja tähän liittyy turvallisuusriskejä. Esimerkiksi evakuointiin ja pelastusviranomaisten toimimisedellytyksiin liittyvät vaatimukset ovat yleisötilassa normaalia rakentamista tiukempia. (Grönholm, haastattelu 10.3.2020.)

Paikallinen rakennustarkastaja myöntää rakennusluvan, jos suunnitelma vastaa myös kaikilta muilta osin vaadittavia rakennusmääräyksiä. Viranomaiset valvovat hyväksytyjen suunnitelmien toteutusta myöhemmin rakennusprosessin aikana työmaakäynnein ja käyttöönottotarkastuksessa sekä tätä edeltävissä erikoistarkastuksissa, kuten palotarkastuksessa. (Grönholm, haastattelu 10.3.2020.) Esitystekniikan osalta suunnitelmissa on huomioitava äänievakuointijärjestelmien asianmukaisuus ja ilmanvaihdon riittävyys vastaamaan kohonnutta lämpökuormaa. Pyrotekniset luvat ovat täysin oma kokonaisuutensa, jota ei käsitellä tässä yhteydessä.



### 3 Suunnittelun lähtökohdat

#### 3.1 Käyttötarkoituksen määrittäminen

Väitän, että tämä maa on täynnä kulttuurirakennuksia, joita ei juuri koskaan käytetä siihen, mihin ne on suunniteltu (Auvinen 2020).

Janne Auvinen on esitystilojen suunnittelun pitkän linjan ammattilainen ja kärkinimiä alalla. Hän kirjoittaa Turun Sanomissa esitystilojen rakentamiseen liittyvästä ongelmasta erityisesti Suomessa. Kyseisessä kirjoituksessa käytetään kontekstina keskustelua Turun mahdollisesta uudesta konserttitalosta. Kirjoitus on lyhennelmä Turun Soitannollisen Seuran 230-vuotisjuhlassa 25.1.2020 pidetystä juhlaesitelmästä.

Auvinen peräänkuuluttaa kirjoituksessaan asiantuntijoiden kuulemisen tärkeyttä ja käyttötarkoituksen määrittämisen oleellisuutta ennen, kun aletaan käyttää yhteisiä varoja. Hän kirjoittaa erittäin osuvasti toden ja haaveiden välisestä kuilusta, joka aiheuttaa vääriä valintoja ja johtaa Auvisen mukaan loputtomaan korjaustarpeeseen ja lisäkustannuksiin.

Kaiken suunnittelun johtotähtenä tulee siis olla realistinen visio tilan tulevasta käytöstä. Tilan käyttötarkoituksen määrittämiseen osallistuu julkisissa hankkeissa laaja kirjo virkamiehiä, kuntapäittäjiä ja kuntalaisia, joilla kaikilla on tietynlainen kuvitelma syistä, tarpeista ja seurauksista. Valmiin kulttuuri- tai esitystilan tulisi palvella mahdollisimman hyvin todellista tarvetta, jotta yhteisten rahojen käyttö olisi tarkoituksenmukaista. Yksityisellä sektorilla pätee tietysti samat lainalaisuudet. Tarjonnan on vastattava kysyntää, jotta investointien hyötykäyttöaste olisi mahdollisimman korkea.

Kun tärkein vaihe eli käyttötarkoituksen määrittäminen on huolella tehty, voidaan seuraavilla työvaiheilla alkaa yhdessä tähdätä tähän valittuun maaliin. Jos myös suunnittelu ja toteutus ovat onnistuneita, hankkeen lopputuotteena syntyneessä esitystilassa voidaan tarjota yleisölle ja esiintyjille esityksen tavoitteita vastaava kokemus. Tämän kokemuksen esitysteknisinä elementteinä ovat tarkoituksenmukainen ja miellyttävä äänen kuuluvuus, hyvä näkymä esityksen eri elementteihin toivotunlaisessa valaistuksessa unohtamatta kuitenkaan toiminnallisesti järkevää ympäristöä.

### 3.2 Esitystekniikka

Esitystekniset välineet ovat olennainen osa tuotantoketjua, jonka avulla saadaan esiintyjän haluama audiovisuaalinen kokemus välitettyä katsojalle. Perusedellytys korkeatasoiselle esitykselle on laadukkaat laitteet, joita käyttävät asialleen vihkiytyneet ammattilaiset. Jotta laitteet ja ammattilaiset voisivat onnistua työssään erinomaisella tavalla, pitää luoda jo suunnitteluvaiheessa siihen suotuisat olosuhteet.

Sanomattakin lienee selvää, että esimerkiksi rock-konsertilla ja juhlapuheella tavoiteltavat audiovisuaaliset kokemukset poikkeavat yleensä toisistaan varsin paljon. Haluttu äänenpaine ja äänen taajuusvaste ovat täysin erilaisia, ja valaistuksella ja kuvaesityksillä haetaan hyvin paljon toisistaan poikkeavia asioita.

Puhetapahtumassa korkein prioriteetti on puheen selkeys ja informaation välittyminen äänen sekä video- ja kuvaesitysten kautta. Tämän lisäksi hyvänä tavoitteena voidaan pitää esiintyjän eleiden ja kehonkielen näkymistä yleisölle. Puheita pidettäessä toiveena on usein, että rakenteiden, akustiikan, ilmastoinnin ja esitystekniikan suunnittelussa on onnistuttu luomaan hiljainen ja rauhallinen ympäristö, jossa häiriöt ja hälyäänet on vältetty tai vaimennettu ja verrattain matalalla äänenvoimakkuudella saadaan viesti selkeästi perille niin, että yleisön edustajan on mahdollista viettää tilassa pitkiäkin aikoja väsymättä meteliin. Erilaisten video- ja kuvaesitysten on suotavaa näkyä kaikille katsomon penkeille kokonaisuudessaan ilman, että katsoja joutuu ponnistelemaan, siristelemään tai kurottelemaan nähdäkseen kunnolla.

Konsertissa taas halutaan tuntea voimakkaiden bassotaajuuksien välittämä energia kehossa ja musiikin toivotaan peittävän innokkaana idolilleen kannatusta huutavan fanilauoman ääni alleen ja luovan lyhyen mutta intensiivisen ääniaistikokemuksen. Usein viihtyisän pop- tai rock-konserttielämyksen edellytyksenä on permannolla seisova yleisö, jolloin adrenaliinihakuisen konsertin odotukset täyttyvät helpommin kuin auditoriotyyppisen katsomon penkissä istuen.

Yleisön sijoittelu esiintyjään nähden on lähtökohtana näkyvyyden suunnittelulle. Esityksen saattaminen lattialla seisovan yleisön näkyviin edellyttää korkeita lavoja ja lavasteita. Jotta konsertin visuaalinen kokemus vastaisi intensiteetiltään voimakasta äänikokemusta, erilaisia projisointipintoja ja valaisimia tarvitaan usein suuria määriä.

## 4 Esitystekniikan erityisedellytykset tilasuunnittelussa

### 4.1 Äänitekniikka

Ääni on väliaineen, yleensä ilman, värähtelyä, jonka aiheuttamaa kuuloaistimusta kutsutaan samalla termillä ääneksi. Ääni on etenevää aaltoliikettä, jolla on tietty nopeus väliaineessa. (Halme & Seppänen 2002, 14.) Aaltoliikettä voidaan mallintaa sähköisesti analogisilla ja digitaalisilla keinoilla, jolloin puhutaan äänisignaalista. Laite, jolla ilmassa etenevää aaltoliikettä voidaan muuttaa sähköiseen muotoon, on mikrofoni. Kaiuttimen avulla sähköinen signaali voidaan muuttaa taas kuultavissa oleviksi ääniaalloiksi ilmassa.

Äänellä välitetään informaatiota ja luodaan tunnelmia. Äänellä – kuten myös hiljaisuudella – on erityisen keskeinen tehtävä onnistuneen esityksen muodostuksessa. Esitykset tarvitsevat usein tuekseen äänitekniikkaa. Äänitekniikasta puhuttaessa tarkoitetaan kaiuttimia, vahvistimia, mikrofoneja ja äänenkäsittelylaitteita sekä kaikkien näiden käyttämiseen tarvittavia oheislaitteita, kuten ripustusrautoja, kiinnityskoukkuja, lukuisaa määrää erilaisia kaapeleita ja muita tarvikkeita.

Jos käyttötarkoitusta määritettäessä on päädytty siihen lopputulemaan, että tilassa tullaan esittämään sähköisesti vahvistettua ääntä, akustiikan ja rakenteiden suunnittelussa tämä on otettava yhdeksi tärkeäksi lähtökohdaksi. Ainahan ei suinkaan ole niin, että esitys edellyttäisi äänen sähköistä vahvistusta. Akustisen musiikin saleissa sähköinen äänentoiston käyttö saattaa rajoittua opastus- ja hätäkuulutuksiin. Tällöin akustiikan tulee pääsääntöisesti tukea esityksessä käytettävän äänen etenemistä tilassa ilman sähköistä vahvistusta. Tämä tarkoittaa äänen heijastusten hyväksikäyttöä äänen kuuluvuuden ja soinnin suunnittelussa.

Sähköisten äänijärjestelmien suunnittelussa ja käytössä äänen voimakkaat heijastukset taas aiheuttavat usein enemmän ongelmia kuin hyötyjä. Toisaalta erittäin voimakkaasti vaimennettu tila tuntuu luonnottomalta. Esitystilassa toteutettavien esitysten luonne saattaa luoda erilaisia edellytyksiä paitsi laitteistolle, myös akustisen suunnittelun lähtökohdille. Akustiikan keinoilla voidaan vaikuttaa äänen käyttäytymiseen tilassa ja erityyppisillä esityksillä on erilaisia toiveita akustisesta ympäristöstä. (Auvinen, haastattelu 6.3.2020.)

Sähköisessä äänentoistossa yleisölle ääntä vahvistavasta laitteistosta käytetään usein nimitystä PA-järjestelmä, jonka suomennoksiksi on ehdotettu esimerkiksi saliaäänijärjestelmä, konserttiäänijärjestelmä tai yleisötoistolaitteisto. Laajemmassa merkityksessä PA-järjestelmän käsitetään tarkoittavan esimerkiksi julkisten tilojen, tavaratalojen yms. kuulutus- ja taustamusiikkilaitteita. (Blomberg & Lepoluoto 2005, 191.) Erinomaisen PA-järjestelmän toteuttaminen edellyttää useita merkittäviä äänilaitesuunnittelua tukevia ratkaisuja muussa suunnittelussa.

PA-järjestelmien lisäksi yleisesti esitystilakäytössä on muunlaisiakin äänijärjestelmiä, kuten monitorointilaitteistot, soittimet ja soitinvahvistimet, yhteydenpitolaitteistot (Blomberg & Lepoluoto 2005, 200) sekä erilaiset tiedotus- ja hätäkuulutusjärjestelmät. Toimivassa toteutuksessa edellytetään kaikkien suunnittelutahojen huomioivan myös näiden luomat erityistarpeet esimerkiksi akustiikan, sähkökaapeloinnin ja signaalikaapelireittien suunnittelun osalta.

#### 4.1.1 Kaiutinsijoittelu ja arkkitehtuuri

Kaiutinsijoittelun lähtökohtana voidaan pitää alalla käytettyä nyrkkisääntöä, jonka mukaan kuullakseen kaiuttimen kunnolla kuulijan pitää myös nähdä sen niin sanottu pehmeä puoli. Toisin sanottuna jokaiselta katsomopaikalta pitää olla näköyhteys kaiuttimen etupuoleen – olkoonkin niin, että visuaalisella suunnittelulla olisi onnistuttu häivyttämään kaiutin pois näkyvistä ja esitystä esteettisesti häiritsemästä. Ääniaallot etenevät ilmassa hyvin samankaltaisesti kuin ihmisen näköhavainnon luovat valonsäteet. Valonsäteen katkaiseva este pysäyttää hyvin todennäköisesti myös ääniaallon tai ainakin osia äänen taajuuksista. Kaiuttimen suuntakuvio määrittää sen, minkä sektorin sisällä kaiuttimen etupuolella kuulijan on oltava kuullakseen kaiken kaiuttimesta lähtevän ääni-informaation.

Tilan muoto vaikuttaa paljon toteutuksen lopputulokseen. Arkkitehtuurilla on oma itseisarvonsa, mutta puhtaasti äänitekniikan kannalta asiaa ajateltuna yksinkertainen on kaudista. Mitä monimutkaisempi ja kulmikkaampi tilan muoto on, sitä enemmän tilaan joudutaan tuomaan kaiuttimia täyttämään katvealueita. Mitä suurempi määrä kaiuttimia tarvitaan jokaisen yleisöpaikan kattamiseen, sitä raskaampaa prosessointia ja suunnittelua järjestelmä vaatii, sitä enemmän kompromisseja joudutaan tekemään ja sitä kauemmas täydellisestä lopputuloksesta ajaudutaan.

Eri kaiutinvalmistajien suunnitteluohjelmissa pystytään parhaimmillaan optimoimaan tilaan tuotavien kaiuttimien sijainti tilaan ja toisiinsa nähden hyvin tarkasti. Tarkoilla ohjelmissa pystytään virtuaalisesti mallintamaan erilaisia tiloja ja kaiutinasetteluja ja vertaamaan erilaisten asetusten vaikutusta äänenpaineen jakautumiseen tilassa (kuviot 1 ja 2). Mallinnusten käyttäminen tilan suunnitteluvaiheessa voisi parhaimmillaan antaa konkreettisia työkaluja ja ratkaisuehdotuksia arkkitehdille tai rakennesuunnittelijalle.

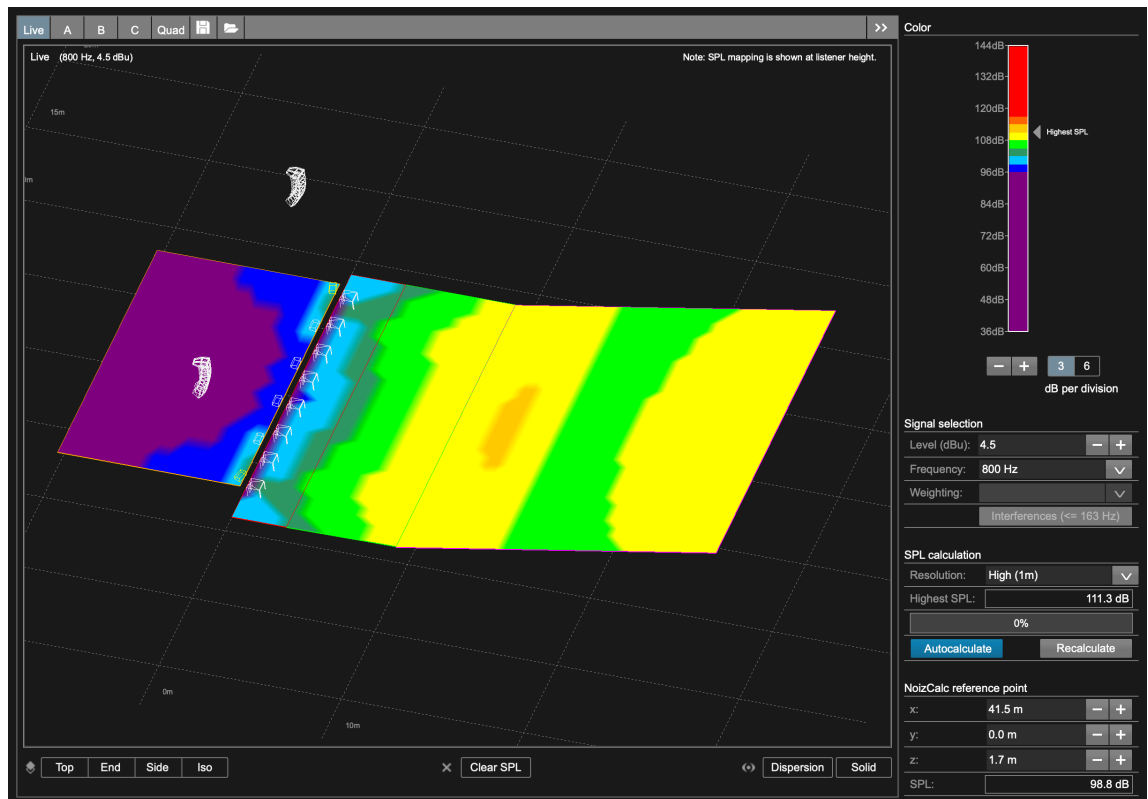
Isossa tilassa pääkaiuttimia voidaan ajatella kaiutinsuunnittelun kannalta äänilähteenä. Pääkaiuttimien katveita, kuten kulman takana tai parven alla olevia paikkoja täyttämään lisätyt niin kutsutut viivekaiuttimet ja ”fillit” pitää mittaamalla ja prosessoimalla sovittaa mahdollisimman tarkasti soimaan yhdessä pääkaiuttimien kanssa. Tämä tarkoittaa lisäkaiuttimen signaalin taajuuskorjaamista ja viivästämillä millisekunnin murto-osien tarkkuudella niin, että pääkaiuttimen ja lisäkaiuttimen kaikki ääniaallot saapuvat kuulijan korvaan saman vaiheisina ja äänenväritään alkuperäisen kaltaisena.

Kun kuulijan etäisysero pääkaiuttimeen ja lisäkaiuttimeen muuttuu, syntyy äänen etenemisnopeudesta laskettava kahden äänilähteen välinen aikaero, joka voidaan käsittää myös ääniaallon vaihe-erona. Vaihe-ero aiheuttaa kampsuodatuksiksi kutsuttuja muutoksia taajuusvasteessa. Tämä tarkoittaa korostumia ja vaimentumia kuultavissa äänitaajuuksissa (kuviot 3 ja 4). Suuremmilla etäisyseroilla voidaan kuulla myös selkeästi äänien eriaikaisuus, joka tekee äänestä hyvin epäselvää ja esimerkiksi puheesta hankalasti ymmärrettävää.

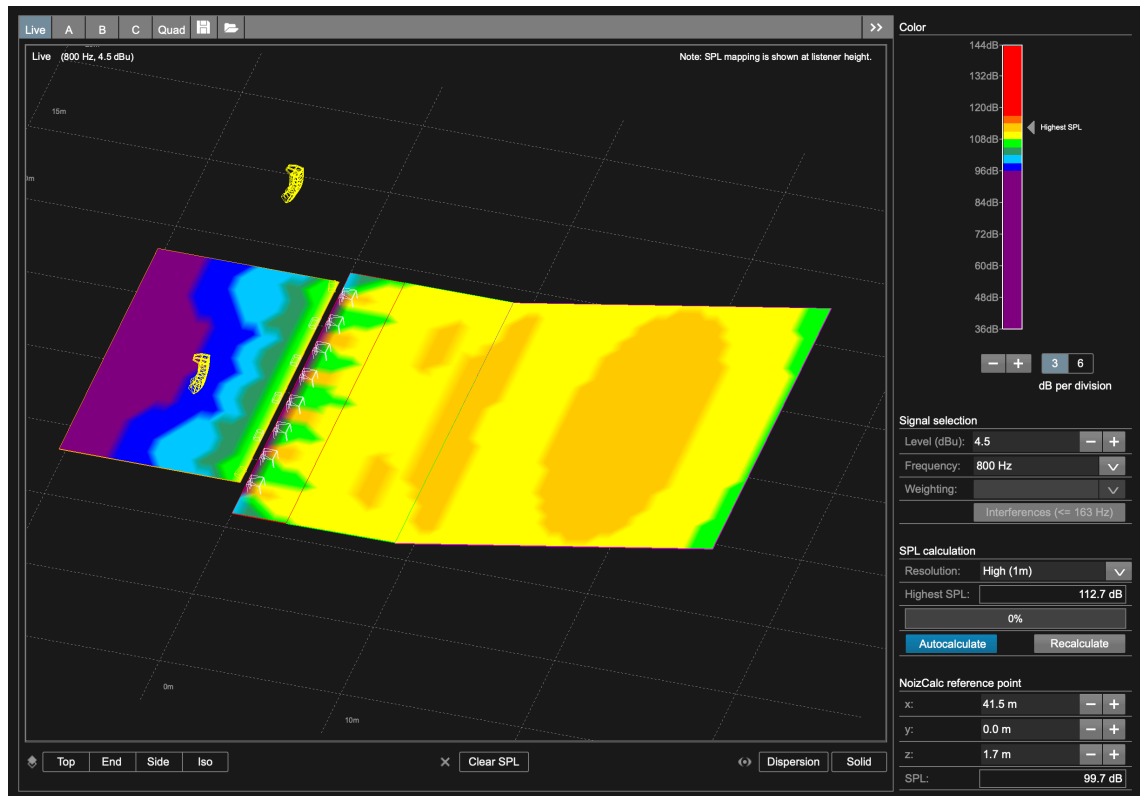
Vaiheen sovitus laadukkailla mittajärjestelmillä ja taitavan mittausinsinöörin toimesta on melko helposti toteutettavissa täydellisesti yhdelle tilassa ajatellulle kuvitteelliselle suoralle, joka kulkee pääkaiuttimen ja viivekaiuttimen keskipisteiden kautta, mutta ei koskaan samanaikaisesti kahta useampaan tason pisteeseen tämän suoran ulkopuolella. Kun kuulijan paikka muuttuu hiukankin sivuun akselilta, pääkaiuttimen ja viivekaiuttimen välisen etäisyyden erotus kuulijan korvasta muuttuu.

Taitava äänijärjestelmäsuunnittelija pystyy kaiutinvalinnoilla, tarkalla suunnittelulla, mittaamisella ja prosessoinnilla luomaan vaikeisiinkin tiloihin hyvin tasaiselta vaikuttavia äänentoistojärjestelmiä. Valitsemalla suuntaavimmat kaiuttimet, mittaamalla vaihevasteen oikeaksi hyvin valittuihin pisteisiin sekä leikkaamalla summautuvia taajuuksia saadaan luotua illuusio pääkaiuttimesta tulevasta tasaisesta äänestä, joka kattaa jokaisen yleisöpenkin pienen kulmankin takana.

Edellä käsitellyistä syistä kyseessä on kuitenkin aina kompromissi. Arkkitehtonisilla valinnoilla voidaan helpottaa äänijärjestelmäsunnittelua vähentämällä kompromissien tarvetta ja näin parantaa esitystilän äänentoiston lopputulosta. Yksinkertaisemman muotoiseen tilaan on helpompaa ja edullisempaa suunnitella toimiva laadukas äänentoisto. Samalla kun äänijärjestelmäsunnittelijan työ helpottuu, lisäkaiuttimien ja prosessoinnin tarve vähenee.

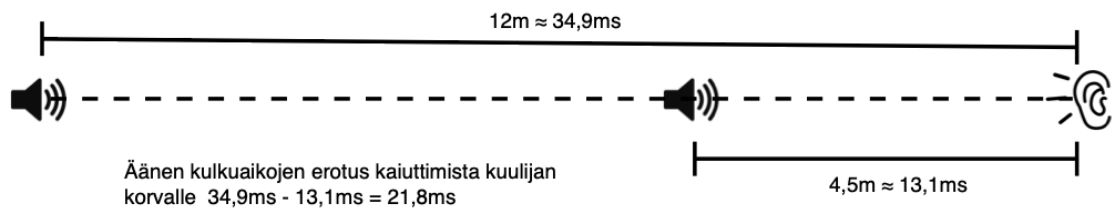


Kuvio 1. Kaiutinvalmistajan suunnitteluohjelma. Kuvassa vasemman laidan neliö kuvaa esiintymislavaa ja oikealla on permannosta ja nousevasta katsomosta koostuva yleisöalue. Värit kuvaavat saavutettavissa olevaa äänenpainetta.

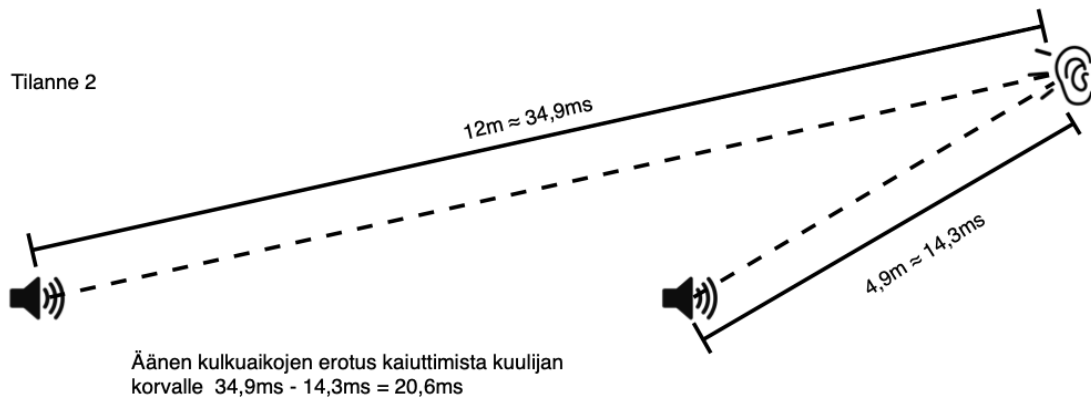


Kuvio 2. Kaiutinvalmistajan suunnitteluohjelma. Lisäkaiuttimilla ja kaiutinasettelulla on parannettu äänenpaineen jakautumista yleisöalueelle kuvan 1b tilanteeseen verrattuna. Kuvassa vasemman laidan neliö kuvaa esiintymislavaa ja oikealla on permannosta ja nousuvasta katsomosta koostuva yleisöalue. Värit kuvaavat saavutettavissa olevaa äänenpainetta.

Tilanne 1



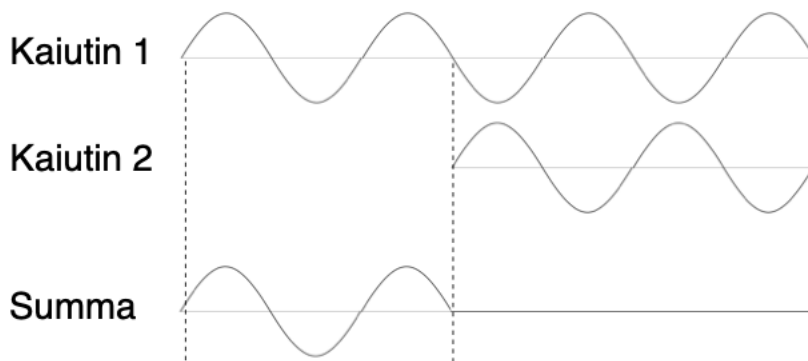
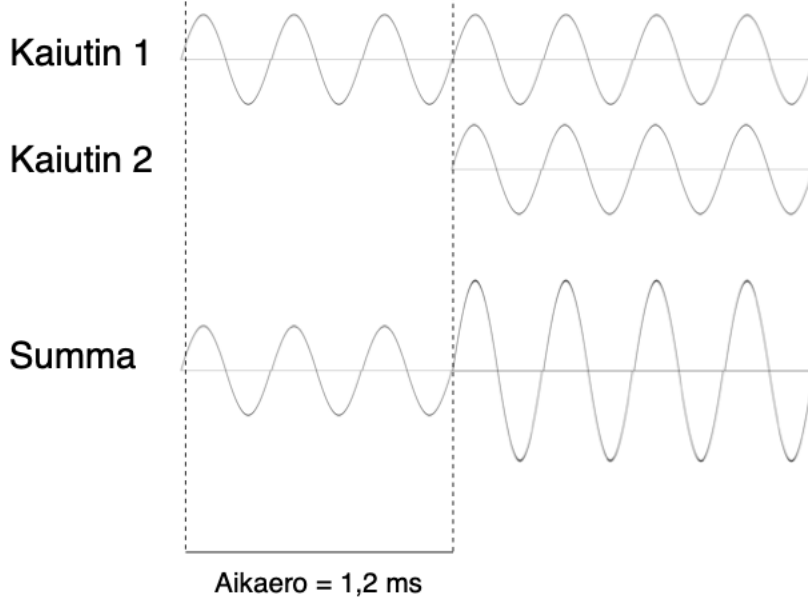
Tilanne 2



Kahden tilanteen ero tuottaa 1,2ms aikaeron äänilähteiden välille kuulijan korvaan nähden. Tämä tarkoittaa n. 430 Hz taajuuden täydellistä kumoutumista, koska etäisyyksien erotus on puolet ko. taajuuden aallonpituudesta ja 860 Hz taajuuden täydellistä vahvistusta, koska etäisyyksien erotus on kokonainen aallonpituus ja äänet summautuvat käytännössä samanvaiheisina (Kuva 2b).

Kuvio 3. Kuulijan sijainti suhteessa kuulemiinsa kaiuttimiin ja sen vaikutus vaihe-eroon.



**430 Hz****860 Hz**

Kuvio 4. Äänen aikaeron vaikutus taajuuksien summautumiseen kuvan 2a selityksessä kuvatulla tavalla.

#### 4.1.2 Akustiikka ja heijastukset

Kaiutinsuunnittelulla ja kaiutinjärjestelmäsuunnittelulla tavoitellaan esitystilaan kontrolloitua, vaihekoherenttia ja tarkasti suunnattua ääntä. Käytännössä mikään ääni esitystilassa ei ole kuitenkaan täysin saavuta edellä mainittuja tavoitteita. Tähän vaikuttavat paitsi fysiikan lait, jotka pätevät myös kaiutinsuunnittelussa, myös äänen akustiset heijastukset.

Heijastukset kimpoilevat tilassa eri suuntiin. Sopivasti heijastuvat äänet luovat luonnollisuudentuntua ja liian voimakkaina heijastuessaan taas tuottavat alkuperäisen ääniaallon kanssa samaan suuntaan kulkiessaan vaihevirheitä, korostuksia ja vaimentumia, joiden täydellinen hallinta on liki mahdotonta.

Onnistuneen akustisen suunnittelun tuloksena on esitystilan käyttötarkoitusta tukeva ääniympäristö. Äänen käyttäytymiseen vaikutetaan sopivilla pintamateriaaleilla ja akustisilla elementeillä, jotka joko vaimentavat ääntä tehokkaasti tai auttavat äänen kantautumista tilassa (Akukon 2020). Akustiselta suunnittelultaan onnistuneessa tilassa on yhdistelty sopivasti vaimentavia ja heijastavia materiaaleja, jotta kokonaisuus on hallittu ja luonnollisen kuuloinen.

Tila-akustiikassa yleisesti käytettäviä termejä ovat muun muassa jälkikaiunta-aika ja huonevaimennus. Nämä ovat termejä, joilla määritetään tärkeimpiä esitystilan akustiikkaan liittyviä ilmiöitä. Molemmat liittyvät heijastumiseen, vaimentumiseen ja näiden suhteeseen.

Pehmeillä pintamateriaaleilla voidaan vaimentaa äänen heijastumista. Vaimennuksella vältellään edellä kuvailtuja liiallisen heijastuvan äänen aiheuttamia ongelmia ja tavoitellaan suhteessa enemmän kaiuttimesta suoraan tulevaa selkeää ja kontrolloitua ääntä. Vaimennuksen suunnittelussa on tärkeää pyrkiä mahdollisimman tasaiseen vasteeseen koko kuultavalla taajuuskaistalla ja välttää aiheuttamasta korostuksia tai liiallisia vaimentumia heikentämään äänentoistolla tavoiteltavaa lopputulosta.

Heijastusten vaimentamisella voidaan myös estää epätoivottujen äänien leviämistä esitystilassa. Tällaisia ääniä voivat olla esimerkiksi ilmastointilaitteista tuleva humina, kovalla lattialla kävelevien ihmisten askeläänet tai esitysteknisten laitteiden mekaaniset

äänet, kuten liikkuvien valojen liikkeestä tai tuulettimien pyörimisestä aiheutuva melu. Pelkkien pintamateriaalivalintojen lisäksi tällaista melua voidaan rajoittaa myös rakentamalla katteita, jotka voivat olla kiinteitä rakenteita tai muunneltavia verhoratkaisuja. Nämä voivat samalla oikein suunniteltuina toimia myös visuaalista ilmettä parantavina näköesteinä, jotka estävät esimerkiksi esitystekniikan laitteita tai laitteiden kanssa työskentelevää henkilökuntaa näkymästä yleisöön.

Kovilla pintamateriaaleilla saadaan aikaan heijastuksia, joiden suunta riippuu pinnan kulmasta saapuvaan ääneen nähden. Heijastuksen voimakkuus riippuu taas pintamateriaalin lisäksi materiaalin paksuudesta ja massasta. Osa pintaan osuvasta äänestä heijastuu, osa absorboituu rakenteeseen ja jatkaa matkaa rakenteessa ja läpäisee rakenteen jatkaakseen etenemistä viereisessä tilassa. (Halme & Seppänen 2002, 24.)

Tilan akustiikan hallinnassa on käytössä myös muunneltavia ratkaisuja. Yleisimpinä lievenvät erilaiset vaimentavat verhot, joilla kaikuvaan akustisen musiikin saliin voidaan tehdä sähköiselle äänentoistolle sopiva vaimennus. Yhtenä mahdollisuutena on siirrettävät, heijastavat seinät ja kattoelementit sekä uusimpana innovaationa joidenkin kaiutinvalmistajien luomat sähköiset keinoakustiikkaratkaisut.

Jos tila on tarkoitettu vahvasti äänentoistoon nojaavaan esitystoimintaan, kuten pop- tai rock-konserttien esittämiseen, vaimennus on yleensä verrattain voimakasta tai ainakin toivottavaa. Vaimennetussa tilassa ääniteknisellä suunnittelulla voidaan tukea artistin visiota mahdollisimman tarkasti teknisiä laitteita hyväksikäyttäen ilman, että tilan oma kaiku määrittää liikaa äänimaailmaa.

Sähköisen äänentoiston saleissa, esimerkiksi viihdekonsertteihin tai seminaarikäyttöön tarkoitetuissa esitystiloissa, pyritään akustiikalla yleensä saavuttamaan luonnollisen kuuloisen ympäristö, näköaistia vastaava kuulokokemus. Tämä luo yleisölle tunteen äänen ympäröivyydestä tilassa sotkematta kuitenkaan äänikuvaa. Liian vaimennetussa tilassa äänilähde voidaan kokea pistemäisenä ja etäisenä ja varsinkin musiikki- ja teatteriesityksissä saattaa yleisöltä jäädä puuttumaan elävän esityksen tunne. (Auvinen, haastattelu 6.3.2020.)

Tyypillinen ja yksinkertaisesti selitettävissä oleva ongelma kevyen musiikin konserttisaleissa on tilan liian suuret kovat ja heijastavat pinnat. Yleisötilan suuntaisista seinistä ja katosta heijastuu ja sekoittuu suoraan kaiutinaäneen ääretön määrä erivaiheisia heijasteääniä. Suuri määrä erityisesti keski- ja korkeataajuisia ääniä erivaiheisina

sekoittavat kuulijan ääniaistimusta niin, että kirkkaan ja tarkan soinnin sijaan kuulija kuulee ylärekisterin epämääräisenä, suhisevana ja usein myös ylikorostuneena, eli kireänkuuloisena.

Takaseinäheijastus konserttitilassa taas palauttaa äänen yleisöön viiveellä, joka ääneltä kestää kulkea peräseinälle ja sieltä takaisin kuulijan korvaan. Tämä kuuluu yleisölle erityisesti transienttiäänien, kuten rummun iskun kahdentumisena niin, että suoraa kaiutinääntä seuraa lyhyen ajan päästä toinen, vaimeampi heijastusääni.

Sanomattakin on selvää, että mainitun kaltaiset heijasteet eivät ole esiintyjän tai yleisön kannalta toivottavia. Akustiikkasuunnittelulla pystytään ennakoimaan tämän kaltaiset ongelmat. Usein kulttuuritiloja tehdään olemassa olevien seinien sisälle, jolloin arkkitehtien ratkaisujen määrä on rajallinen. Tällöin akustiikkaan voidaan vaikuttaa esimerkiksi pintamateriaalien valinnoilla. Kovia pintoja voidaan päällystää pehmeillä materiaaleilla, kuten eristevillalla tai paksuilla, roikkuvilla kankailla.

Sisustussuunnittelussa materiaalien valinnalla ja sijoittelulla pystytään merkittävästi vaikuttamaan tilan akustisiin ominaisuuksiin edellä kuvattuja periaatteita noudattaen. Esimerkiksi laajojen, kovien lattiapintojen aiheuttamia epätoivottuja heijastuksia voidaan vaimentaa sijoittamalla pehmeillä materiaaleilla päällystettyjä istuimia tai muita kalustukseen tai sisustukseen kuuluvia elementtejä sopiviin paikkoihin.

Sopivasti akustoituu tilaan suunniteltavalla laadukkaalla äänijärjestelmällä voidaan määrittää hyvin tarkasti äänenpaineen jakautuminen taajuuksittain eri osiin yleisöaluetta ja päästä todella lähelle tasaista ja miellyttävää kuulokuvaa jokaiselle yleisön istuimelle. Ennen kaikkea lopputuloksen tulee olla käyttötarkoitukseen sopiva. Akustinen suunnittelu onkin aina erikoisammattilaisten työtä, ja se tulee tehdä yhteistyössä arkkitehtien ja muiden rakenteisiin ja pintamateriaaleihin vaikuttavien suunnittelijoiden kanssa.

#### 4.1.3 Akustiikka ja rakenteet

Äänitekniikan käytöllä pyritään saavuttamaan riittävä äänenpaine, jotta viestin tai taiteellisen tulkinnan sisältö välittyisi katsojalle taustamelun yli. Tietyissä tilanteissa siedetään kovempaa taustamelua kuin toisissa. Esitystilan äänitekniisen toteutuksen kannalta esitystilan rakenteiden akustiikassa on kyse lähinnä taustamelun hallinnasta. Jonkin verran asian tiimoilta palataan myös heijastuksiin, jotka liittyvät rakenteiden osalta tilan sointiin.

Rakennus- ja huoneakustiikka on kokonaisuus, joka kattaa myös rakenteet (Akukon 2020). Tavanomaisen esitystilan rakenteiden akustisessa suunnittelussa on kyse sekä eri tilojen välisestä äänen eristyksestä että niin kutsuttujen huonemoodien hallinnasta.

Esitystilojen ja muiden tilojen välillä kulkevan äänen vaimennukseen tarvitaan äänen eristystä rakenteiden avulla. Hiljaisissa tiloissa esitystä mahdollisesti häiritseviä, ulkopuolisia ääniä ovat esimerkiksi liikennemelu, viereisistä esitystiloilta kantautuva ääni, talotekniikan tai esitystekniikan laitteista aiheutuva melu tai muista esitystilan ympäristössä toimivista tiloista kantautuva melu.

Rakenteiden ääneneristävyttä voidaan parantaa tekemällä rakenteista ilmatiiviitä ja lisäämällä rakenteiden massaa (Halme & Seppänen 2002, 27). Paksut betoniseinät ja välipohjat toimivat tehokkaina äänieristeinä, kun ne ovat yhtenäisiä ja tiiviitä. Seinien ja välipohjien läpi kulkevat ilmanvaihtokanavat ja johtotiet kuljettavat tehokkaasti ääntä rakenteiden läpi ja niiden äänieristykseen tulee kiinnittää huomiota lvi-suunnitelmissa. Äänieristykseen voi hoitaa ilmanvaihtokanavien ja johtoteiden reitityksellä ja tarkoitukseen suunnitelluilla äänenvaimentimilla (Ilomäki, haastattelu 7.3.2018).

Ääneneristystä voi parantaa lisäämällä rakenteisiin useampia massakerroksia, joiden välissä on tiheydeltään erilaisia kerroksia. Tällaisia voivat olla esimerkiksi kipsilevykerrokset, joiden välissä on eristevillaa (Halme & Seppänen 2002, 27). Äärimmäisempi ja kalliimpi tapa luoda tehokas äänieristys tilojen välille on kelluttaa huone. Tämä tapa on käytössä yleensä vain äänitysstudioissa ja äänilaboratorioissa pääasiassa hintansa vuoksi. Tämä menetelmä toimii yksinkertaistettuna niin, että huoneen sisään rakennetaan toinen huone joustavien elementtien varaan, jolloin joustava materiaali absorboi rakenteissa kulkevan äänen, eikä ääni pääse kulkemaan kelluvaan huoneeseen tai sieltä pois.

Rakennesuunnittelun ja toimivan akustiikan yhteensovittamisessa tulee vastaan myös seisovat aallot eli niin sanotut huonemoodit, joita muodostuu, kun kahden samansuuntaisen rakenteen välissä edestakaisin heijastuvat aallot vahvistavat toisiaan. Seisovia aaltoja muodostuu juuri esimerkiksi raskasrakenteisten samansuuntaisten seinien väliin. Seisovan aallon taajuus määräytyy seinien välisestä etäisyydestä niin, että seinien etäisyys on joko sama kuin soivan äänen aallonpituus, äänen aallonpituuden puolikas tai sen monikerta. Seisovia aaltoja voidaan välttää suunnittelemalla massiiviset pintarakenteet mahdollisuuksien mukaan erisuuntaisiksi keskenään.

Ilmanvaihdon suunnittelussa pitää ottaa huomioon ilmanvaihtokanavien kautta välittyvä melu, jota voi välttää vaimentimilla ja kanavien reitityksillä. Myös ilmanvaihdon itsessään aiheuttama melu saattaa koitua ongelmaksi hiljaisissa tiloissa. Ilmastoinnin melu syntyy joko laitteiden tai ilmavirran aiheuttamana äänenä (Halme & Seppänen 2002, 41). Tällöin ilmanvaihdon kapasiteettia mitoittaessa on otettava huomioon ilmanvaihtokanavien poikkipinta-alan ja muodon vaikutus aiheutuneeseen meluun (Halme & Seppänen 2002, 28; Ilomäki, haastattelu 7.3.2018). Saman ilmamäärän läpikulku aiheuttaa kapeammassa putkessa huomattavasti suurempaa melua kuin leveämmässä kanavassa johtuen tarvittavan ilmavirran nopeuserosta.

Äänieristyksen riittävä määrä riippuu esitystilan käyttötarkoituksesta ja käytettävien teknisten laitteiden laadusta ja määrästä. Suuri määrä esitysteknisiä laitteita aiheuttaa myös itsessään melua sekä kasvattaa lämpökuormaa, joka kasvattaa ilmastoinnin tarvetta. Ilmastoinnin kapasiteetin kasvatus aiheuttaa itsessään melua ja heikentää rakenteiden äänieristystä. Kyse on suuren ja herkästi kustannuksia aiheuttavan kokonaisuuden hallinnasta suunnitteluvaiheessa.

#### 4.1.4 Ääni ja sähkö

Äänikaapelointia suunnitellessa on oleellista ymmärtää erilaisia signaalityyppejä ja osata valita kuhunkin sopiva kaapelityyppi. Analogista ja digitaalista ääntä kuljetetaan monenlaisissa erilaisissa johtimissa signaalityypistä riippuen. Digitaalinen ääni on dataa, joka käyttää erilaisia valmistajista riippuvia standardeja. Analoginen johtimessa kulkeva äänisignaali on ilmassa kulkevan äänen aiheuttamaa paineenvaihtelua vastaavaa vaihtosähköä (Blomberg & Lepoluoto 2005, 9).

Kaiutintasoista signaalia kuljetetaan parikaapelissa tai moniparisessa, erikseen kyseiseen käyttöön suunnitellussa kaapelissa, jonka johtimien paksuus määräytyy kaiutin- ja vahvistintyyppistä sekä tarvittavista tehoista. Sähkösuunnitelmissa yleisesti nähtävät yleiskuulutusjärjestelmiin tarkoitetut kaiutinkaapeloinnit eivät yleensä sovellu muuhun kaiutinkäyttöön. Linja- eli muuntajasyötöllisissä kaapeleissa käytetään esitystekniikan käyttöön usein liian ohuita johtimia, jotka toimivat kuitenkin kuulutusjärjestelmien korkealle siirtojännitteelle sovitetussa kaiutinkaapelointiverkoissa kyseisten järjestelmien alhaisen siirtohäviön vuoksi.

Esitystekniikan käytössä olevat korkeatasoiset järjestelmät käyttävät matalan impedanssin tehovahvistinlähtöjä, joilla ajetaan vahvistettua signaalia koreaimpedanssiseen kuormaan eli kaiuttimeen. Tyypillisesti tämän tyyppisen järjestelmän kaiutinkaapelointiin pitää varata pari- tai moninapakaapelit tarvittavasta tehosta riippuen 1,5–4,0 neliömillimetrin johtimilla. Usein esitystekniikassa käytetään niin kutsuttuja aktiivikaiuttimia, jossa tehovahvistin on rakennettu kaiuttimen sisään ja erillistä kaiutinsignaalkaapelointia ei tarvita. Tällöin kaiutinsignaali kuljetetaan linjatasoisen signaalin siirtämiseen tarkoitettua kaapelia pitkin.

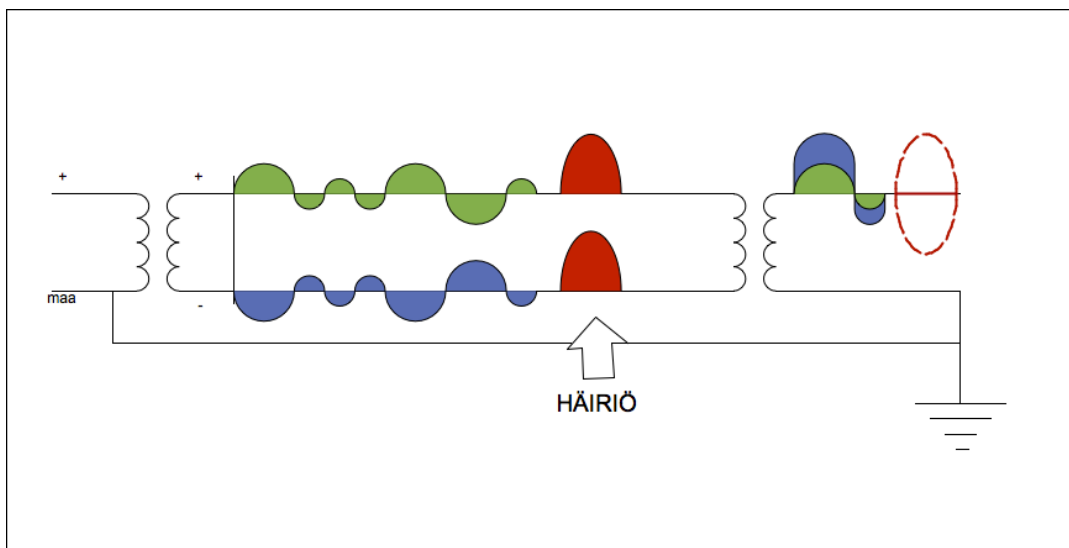
Digitaalista ääntä kuljetetaan erilaisissa datakaapeleissa, kuten koaksiaalikaapeleissa tai S/FTP-suojatuissa parikaapeleissa. Näiden päissä käytetään järjestelmistä riippuvia liittimiä, tyypillisesti koaksiaalikaapelille BNC-liitintä ja cat-kaapelille standardissa ISO-8877 määritellyjä RJ45-yhteensopivia liittimiä. Myös perinteistä mikrofonihoitoa muistuttavia datakaapeleita on äänijärjestelmien käytössä, mutta näitä ei tule sekoittaa toisiinsa. Digitaalisten järjestelmien kaapelointisuunnittelussa on kaapelityypin lisäksi muistettava huomioida kaapeleiden oikeat impedanssit. Samasta kaapelityypistä saattaa olla yhdessä järjestelmässä käytössä erilaisia impedanssiversioita, kuten MAD1-ääniverkon 75 ohmin ja langattomien mikrofoni antennien 50 ohmin koaksiaalikaapeleita.

Voimakasjännitteinen kaiutinsignaali ei ole oikein kytkettynä kovinkaan herkkää häiriöille, joten häiriöiden välttämisen osalta on mielekää keskittyä matalajännitteisempiin signaalityyppeihin. Mikrofonilta lähtevä analoginen signaali on hyvin heikkoa, matalajännitteistä vaihtosähköä, jota vahvistetaan etuvahvistimilla. Etuvahvistimen jälkeen laitteiden välillä kulkeva analoginen äänisignaali on jo hieman korkeampijännitteisempää vaihtosähköä. Varsinkin heikkotasoinen mikrofonisignaali on erittäin herkkää sähkömagneettisille häiriöille.

Sähkömagneettisen häiriön lähteitä esitystilaympäristössä ovat muun muassa korkeavirtaiset sähkökaapelit, sähkömoottorit, himmentimet, himmennyslinjat ja virtalähteet. Häiriöt kuuluvat äänilaitteissa pirinänä, poksahduksina ja muina asiaankuulumattomina ääninä. Häiriöt saattavat joko indusoida johtimeen sähkövirran aiheuttaman magneettikentän muutoksen voimasta tai syntyä sähköverkon häiriöiden, kuten jännitevaihtelun seurauksena.

Mikrofoni- ja linjatasoisten äänisignaalien siirtämiseen ammattikäyttöön tarkoitetuissa laitteissa käytetään niin sanottua balansoitua kytkentää. Symmetrinen eli balansoitu kytkentä tarkoittaa sitä, että signaalista muodostetaan polariteetiltään kaksi toisiinsa

nähdessä vastakkaisista signaaleista, jotka kuljetetaan johtimessa rinnakkain vastaanottavaan laitteeseen, jossa polariteetti käännetään molemmissa signaaleissa samaksi. Tällöin siirtolinjoihin mahdollisesti syntyneet häiriösignaalit muuttuvat polariteetiltaan vastakkaisvaiheisiksi ja kumoavat toisensa polariteetin kääntyessä (kuvio 5). (Blomberg & Lepoluoto 2005, 118-119.)



Kuvio 5. Havaintoesitys balansoidusta signaalista

Laitteissa ja äänilähteissä, joissa ei ole valmiina balansoitua signaalia syöttävää virtapiiriä, kuten esimerkiksi ammattikäyttöön tarkoitetuissa mikrofoneissa, balansointi tehdään samaa periaatetta käyttävissä erillisissä laitteissa, joissa balansoimaton signaali jaetaan erisuuntaisten käämien avulla kahdeksi polariteetiltaan vastakkaisvaiheiseksi signaaliksi. Näitä laitteita kutsutaan ammattilaisten kielessä DI-bokseiksi.

Balansoitu signaali kuljetetaan suojatussa kaapelissa, jossa punotun metallivaipan tai folion sisällä kulkee johdinpari, jonka kumpikin johdin on kumi- tai muovieristetty ja johtimen poikkipinta-ala on kokoluokkaa 0,07–0,22 neliömillimetriä. Johtimien ympärille kääritty, maapotentiaaliin kytketty punottu vaippa tai folio muodostaa Faradayn häkin, joka suojaa johdinparia tehokkaasti häiriöiltä.

Balansoinnin lisäksi signaalijohtimia tulee suojata sähkömagneettisilta häiriöiltä myös muilla tavoilla, joita on kuvattu muun muassa pienjännitesähköasennuksia koskevassa standardissa SFS 6000 osassa 4-44: ”Suojausmenetelmät. Suojaus jännitehäiriöiltä ja



sähkömagneettisilta häiriöiltä.” Oikeanlaisten kaapeleiden valinta ja edellä mainitun standardin ohjeiden noudattaminen on ehdottoman tärkeää häiriösuojauksen kannalta.

Standardi edellyttää kaapelireittien suunnittelussa sijoittamaan tietoverkko- ja pienjännitekaapelit muista sähköjohdoista erilliseen metalliseen kouruun, jonka suojausta entisestään parantaa metallinen kansi. Standardissa annetaan ohjeita myös muun muassa häiriölähteiden ohittamiseen, voimakkaapeleiden risteämiseen, signaalin ja suojauksen maadoitukseen.

Sähkö- ja äänikaapelointisuunnittelussa kannattaa pyrkiä valitsemaan kaapelointireitit niin, että vältetään voimakkaimpia häiriölähteitä, kuten verhojen ja valkokankaiden sähkömoottoreita, hissejä, isoja led-seiniä ja himmenninkeskuksia.

Toinen merkittävä sähköperäinen häiriötyyppi äänijärjestelmässä syntyy maapotentiaalirengasmaisessa kytketymisessä. Tästä käytetään nimitystä maalenkki. Maalenkki saattaa aiheuttaa signaalitiessä tasavirtoja, jotka yleensä kuuluvat voimakkaana tasaisena surinan kaltaisena häiriöäänenä äänijärjestelmässä.

Maalenkki syntyy, kun laite yhdistyy sähköverkon tai signaalikaapelireitin kautta maapotentiaaliin kahta eri reittiä, jotka poikkeavat toisistaan. Tällainen tilanne voi syntyä esimerkiksi silloin, kun kaksi aktiivikaiutinta on kytketty kutakin kaiutinta lähimpänä olevaan seinäpistorasiaan ja molemmat kaiuttimet on yhdistetty signaalikaapeleilla miksauspöytäan tai muihin äänenkäsittelylaitteisiin, jotka on kytketty vastaavasti laitteita lähinnä olevaan seinäpistorasiaan. Seinäpistorasiat on yhdistetty sähkökeskuksen kautta yhteiseen maahan, joten laitteet ovat kolmen sähkökaapelilinjan päässä mahdollisesti kaukana yhteisestä galvaanisesta maadoituspisteestä. Pitkien sähkövetojen päässä mahdolliset maapotentiaalierot pääsevät joissain tapauksissa tasaantumaan helpommin signaalikaapelin maadoitusjohdinta kuin sähköverkon maadoitusta pitkin ja tällöin äänen signaalitiehen syntyy häiriön aiheuttava tasavirta.

Maalenkkejä voi välttää yksinkertaisesti suunnittelemalla av-laitteiden sähkövedot niin, että pistorasioilla on mahdollisimman lähellä laitteita yhteinen maapiste, josta sähkövedot on tehty tähtimäisellä kytkennällä välttäen pitkiä ketjutuksia. Maalenkkejä äänen signaaliketjuun voi helposti syntyä myös muiden kuin varsinaisten äänilaitteiden kautta. Tyypillisiä tapauksia voivat olla esimerkiksi kattoon kiinnitetyt videotykit, joiden käytössä olevat pistorasiat on huonolla esitystilan sähkösuunnittelulla päädytty kytkemään eri sähkövedon päähän kuin lattian tasolla olevat muut esitystekniikan pistorasiat. Tietokoneen

tai muun kuva- ja äänilähteen kautta kuva- ja äänisignaalkaapelit yhdistävät videotykin ja äänilaitteet toisiinsa ja näin myös kahteen eri maapotentiaaliin.

Kaikki galvaanisesti toisiinsa kytketyt esitystekniikan laitteet tulee siis kytkeä yhteiseen sähköverkon maapotentiaaliin. Kuitenkin on myös vältettävä tiettyjen laitteiden kytkemistä samaan sähköverkkoon äänilaitteiden kanssa. Tällaisia ovat esimerkiksi himmentimet ja osa led-laitteista, jotka tuottavat sähköverkkoon häiriöitä, jotka saattavat kytkeytyä äänen signaaliketjuun kuultavaksi häiriöksi. Jos signaalin kytkeminen tällaisten laitteiden välille on tarpeellista, esitystekniikan kaapelointisuunnitelmassa tulee käyttää erotusmuuntajia galvaanisen erotuksen aikaansaamiseksi ja tasavirtojen estämiseksi.

## 4.2 Valaistus- ja videotekniikka

Valoilla ohjataan yleisön huomiota, muokataan tunnelmia, häivytetään ja korostetaan objekteja ja luodaan tilasta toimivaa ympäristöä. Valoilla voidaan myös välittää informaatiota kuva- ja videoesitysten muodossa – kuvat ja videot ovat aina suoraa tai heijastunutta valoa. Valo- ja videotekniikka eri muodoissaan luo yhdessä äänitekniikan kanssa esityksessä tarvittavan kokonaisuuden.

Lähes poikkeuksetta esityksissä käytetään jonkinlaista valaistusta. Joskus esityksen valaistus voi olla arkkitehtuurin keinoin hallittua luonnonvaloa, mutta hyvin usein päädytään käyttämään erilaisia sähkövaloja esityksen tukena tai osana. Usein pimeydellä on oma tärkeä osansa onnistuneessa valosuunnittelussa aivan samoin kuin hiljaisuudella äänisuunnittelussa.

### 4.2.1 Valo ja arkkitehtuuri

Tummat pinnat toimivat valoille, kuten pehmeät pinnat äänelle - vaimentavat heijastumista. Vaaleat pinnat heijastavat valoa ja taittavat heijastuvan valon värisävyjä pigmenttinsä mukaan. Kiiltävät pinnat heijastelevat värisävystä riippumatta siihen osuvia valonsäteitä. Valojen hallinta tummassa, mattapintaisessa salissa onkin helpointa, mutta täysin musta tila ei arkkitehdin tai yleisön mielestä ole välttämättä kiinnostava tai viihtyisä.

Hyvä esitystila on usein jonkinlainen kompromissi, joka on käyttötarkoitus mielessä pitäen suunniteltu viihtyisäksi ja valaistuksellisesti toimivaksi kokonaisuudeksi. Tämä tarkoittaa usein edellä mainittujen ominaisuuksien yhdistelyä sopivassa suhteessa. Sopivat

vaaleammat pinnat sopivissa paikoissa antavat tilalle luonnollista tuntua. Riittävällä määrällä mustaa ja mattaa valaistus taas tuntuu hallitulta ja kiinnittää yleisön huomion oikeisiin asioihin. Kiiltävät suuret pinnat, kuten lattiat ja lavan pinnat, joista valo heijastuu voimakkaasti, saattavat luoda esitystilasta hyvin levottoman, jolloin katsojan keskittyminen häiriintyy helposti (Auvinen, haastattelu 6.3.2020).

Esitystilan näyttämöaukkoa voidaan rajata erilaisilla katteilla, kuten kiinteillä seinillä tai muunneltavilla verhoilla. Kateratkaisuilla pyritään hävittämään yleisön näkyvistä epätoivottuja asioita, kuten esitystekniikan laitteita tai näyttämön sivutiloja. Valaisimia ja projektoreja, joilla valaistetaan kohteita, halutaan harvoin näkyviin. Valaisevista laitteista siroaa kuitenkin aina jonkin verran hajavaloa, joka saattaa näkyä pimennetyssä tilassa kiusallisen hyvin yleisölle. Katteilla saadaan tehokkaasti estettyä suora näköhavainto yleisöstä valoa säteilevään laitteeseen ja näkyviin jää vain esitystä palveleva osa laitteen toiminnasta – valokiila tai projisoitu kuva.

Katteilla voidaan vaikuttaa myös tilan akustiikkaan, kuten ääntä käsittelevissä luvuissa jo todettiin, mutta valon kannalta asia nousee esiin erityisesti suuritehoisten liikkuvien valojen ja projektoreiden aiheuttaman melun vuoksi. Laitteiden merkittävän suuri lämpökuorma vaatii tehokkaan ilmastoinnin lisäksi tehokasta laitekohtaista jäähdytystä, joka tyyppillisesti toteutetaan tuulettimilla, joiden melutaso saattaa helposti ylittää hiljaisemmissa esityksissä siedettävän tason. Katteilla voidaan vaikuttaa meluäänien etenemiseen ja heijastuksiin vaimentavasti. Tällaisten katteiden tarpeesta ja määrästä päätettäessä on oltava tiedossa alustavat suunnitelmat tilassa käytettävistä laitteista. Teholtaan vastaavat konventionaaliset valaisimet eivät välttämättä pidä minkäänlaista merkittävää ääntä esitystilassa, koska näiden himmentimet voidaan sijoittaa erillisiin laitehuoneisiin.

Suuret ikkunat luovat avaraa tunnelmaa ja päästävät ulkoa tulevaa valoa tilaan, mutta saattavat samalla olla haitaksi esityksen valaistuksen toimivuudelle. Liiallinen hallitsematon valo heikentää projisointipintojen kontrastia ja vähentää valaistuksella toteutettavissa olevien taiteellisten ja toiminnallisten vaihtoehtojen määrää. Liikuteltavilla verhoilla tila saadaan pimennettyä tarvittaessa. Jos tila tulee normaalikäytössä olemaan aina pimennettynä, on toki järkevää pohtia jo suunnitteluvaiheessa suurten ikkunoiden ja kalliiden teknisten pimennysratkaisujen yhdistelmän järkevyyttä.

#### 4.2.2 Valo- ja kuvatekniikan sähkö

Esitystekniikan laitteiden sähkökuormat saattavat esityksen aikana olla valtavia. Sähkökuorman laskeminen ja mitoitus on erittäin olennainen osa esitystilän sähkösuunnittelua. Viihdekonserttitilan tarve saattaa olla sadoissa ampeereissa.

Tyypillisiä valolaitteiden sähkökeskuksia syötetään kolmivaiheisilla 125 ampeerin tai 250 ampeerin nousuilla muutaman tuhannen ihmisen tapahtumatilassa. Kokoustiloissa tarve voi olla huomattavasti pienempi, mutta sähkösuunnittelijan on hyvä tiedostaa, että melko pienelläkin toteutuksella esitystekniikka tarvitsee yksinään kolmivaiheisen 16 ampeerisen voimavirtasyötön. Kaapeloinnin kannalta tämä taas merkitsee paksujen sähkönsyöttökaapeleiden tarvetta, mikä vaikuttaa rakennesuunnitteluun esimerkiksi suurempien, rakennetta mahdollisesti heikentävien läpivientien tarpeena (Auvinen, haastattelu 6.3.2020).

Voimansyötön lisäksi valaistuksessa ja kuvatekniikassa käytetään laajaa valikoimaa erikoiskaapeleita, joita pitää usein sisällyttää kiinteiden kaapelointien suunnitelmiin. Osittain voidaan käyttää saman tyyppisiä datakaapeleita kuin äänisähkölle, mutta valon ja kuvan kaapelointi on aina kuitenkin syytä erottaa omaksi kokonaisuudekseen. Valo- ja kuvatekniikalla on tyypillisesti käytössä S/FTP-suojattuja parikaapeleita.

Parikaapelin rinnalla kuvatekniikan käytössä on yleisesti myös koaksiaalikaapeli, jota käytetään esimerkiksi SDI-videosignaalin siirtämiseen. Laitekohtaisesti määriteltävien koaksiaalikaapeleiden impedanssivaatimusten ja parikaapelien laatuvaatimusten kohdalla kannattaa olla tarkkana, sillä hajonta on laajaa ja vaatimukset muuttuvat jatkuvasti tekniikan kehityksen mukana.

Perinteisin valon ohjaukseen käytettyä dataa, DMX:ää, kuljetetaan mikrofoni- ja valokaapelin näköisillä kaapeleilla, joiden liittiminä toimivat 3- tai 5-pinniset XLR-liittimet. Näiden kaapeleiden käyttö kiinteissä talon sisäisissä kaapeloinneissa on vähenemään päin erilaisten cat-kaapeleita hyödyntävien verkkojen yleistyessä. Kaikkien valon datakaapelointien suunnittelussa ja toteutuksessa tulee myös noudattaa standardissa SFS 6000-4-44 määriteltyjä ohjeita pienjännitesähköasennuksen suojauksesta.

Sen sijaan himmennyslinjoja saatetaan edelleen asentaa konventionaalisille valaisimille. Himmennyslinjat eivät kaapelointivaatimuksiltaan poikkea vastaavan tehoisista sähkön voimansyöttölinjoista, mutta ne on syytä erottaa selvästi näistä erilleen, sillä laitevaurioiden riski on suuri virheellisessä kytkennässä. Himmennyslinjojen kiinteissä asennuksissa voidaan käyttää myös tilapäisasennuksissa yleisessä käytössä olevia

moninapaisia kaapeleita, jotka liitetään laitteisiin tai jakokeskuksiin esimerkiksi moninapaisilla socapex-liittimillä.

Kaapelointireittien suunnittelussa tulee myös erottaa suurivirtaiset virransyötöt heikkovirtaisista tietoverkko- ja signaalikaapeloinneista SFS 6000, 4-44 standardin mukaisesti, jotta vältetään muuhun esitystekniikkaan, talotekniikan mittausinstrumentteihin ja tietoverkkojen kaapelointeihin muodostuvat häiriöt.

Galvaanisesti sähköverkkoon johtuvien häiriöiden välttämiseksi esitystekniikan sähkönsyöttö tulee aina pyrkiä erottamaan omaksi häiriöttömäksi jakelukseen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa jakeluverkkoa. Valo- ja kuvatekniikassa käytettävät himmentimet ja led-laitteet ovat voimakkaita häiriölähteitä, jonka vuoksi myös valon ja suurien led-näyttöjen virransyöttö on syytä mahdollisuuksien mukaan erottaa omaksi jakelukseen.

Himmentimet, voimakkaat virtakaapelit ja led-laitteet aiheuttavat häiriöitä sekä galvaanisesti johtumalla että myös sähkömagneettisesti säteilemällä. Tämän vuoksi kyseisten laitteiden asennus ja kaapelointi tulee suunnitella niin, että häiriölähteet erotetaan fyysisesti riittävän kauas herkistä laitteista ja signaalikaapeleista sekä koteloidaan asianmukaisesti sähkömagneettista säteilyä absorboivilla materiaaleilla.

#### 4.2.3 Visuaaliset erikoisefektit

Valaistuksen tukena ja visuaalisena elementtinä esimerkiksi teattereissa ja konserteissa käytetään usein savua tai pyrotekniikkaa. Tämä pitää huomioida muussa esitystilan suunnittelussa. Savuilmaisimet ja lämpöön reagoivat automaattiset palohälyttimet tulee olla poiskytkettävissä. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi kellokytkimellä, johon saadaan asetettua tietty enimmäisaika, jonka ilmaisimet ovat pois päältä ja kytkeytyvät sen jälkeen automaattisesti takaisin päälle.

Savun käyttö edellyttää huomiointia myös ilmanvaihdon suunnittelussa. Savun käyttöalueella ilman liikkeen tulee olla hallittavissa esitystekniikan puhaltimilla, eikä tilassa tulisi olla muita voimakkaita ilmavirtauksia. Esimerkiksi poistoilmaputken pää esiintymislavan lähellä imee lavalta savun ja puhaltaa sen pois esitystilasta. Tuloilman venttiili esiintymislavalla taas työntää helposti savun lavalta esimerkiksi yleisöalueelle. Myös ilmanvaihdon aiheuttama poikittainen ilmavirta lavalla saa savun jakautumaan epätasaisesti lavan eri osiin ilman, että se on tarkoituksenmukaista.

Ilmanvaihto tulisi suunnitella niin, että esiintymislavan läheisyydessä ei olisi varsinkaan automaattisesti päälle ja pois kytkeytyvää paikallista voimakasta virtausta. Optimaalinen tilanne savun käytön kannalta olisi, jos eri ilmanvaihtoventtiilien ja -puhaltimien tehoa voisi säätää manuaalisesti yksittäin. Ilmanvaihtoventtiilien tulee myös olla riittävän suuria halkaisijaltaan, jotta ilmanvaihdon vaatimat virtausnopeudet eivät kasva liian suuriksi ja aiheuta voimakkaasti savua liikuttavia paikallisia virtauksia venttiilien ulkopuolelle.

Pyrotekniikan käyttö on tyypillistä esimerkiksi suurissa konserteissa, ja se luo aivan omanlaisiaan edellytyksiä tilalle. Jos tilassa on tarkoitus mahdollistaa pyrotekniikan käyttö, herkästi palavia materiaaleja ei tule sijoittaa esityslavan lähistöllä sijaitseviin rakenteisiin tai sisustuselementteihin. Pyrotekniikan käyttö on erityisluvanvaraista toimintaa, joka vaatii paloviranomaisilta erillisiä käyttölupia ja lupaharkinta on yleensä tapauskohtaista.

#### 4.3 Yleisesti esitystekniikka koskevat erityistarpeet

Tässä luvussa käsitellään kaikille esitystekniikan osa-alueille tyypillisiä tavallisesta tilankäytöstä poikkeavia tarpeita. Valo- ja videotekniikkaan liittyvät erityistarpeet ovat monelta osin samoja kuin äänitekniikalla. Suurin osa esitystekniikan arkipäivän erikoistarpeista liittyykin ripustamiseen, logistiikkaan ja kaapelointeihin. Näiden lisäksi radiotajuuksien käyttö sekä äänitekniikassa että myös yleisessä esitystekniikan viestinnässä ja kauko-ohjaimissa luo omanlaisiaan edellytyksiä suunnittelulle.

##### 4.3.1 Ripustaminen ja rakenteet

Valaistuksen onnistumisen kannalta on erittäin tärkeää, että valo osuu valaistavaan kohteeseen tiettyssä kulmassa, jolloin valaisimen sijoittelulla on ensisijaisen suuri merkitys. Tästä syystä valoja on yleensä tarpeellista ripustaa esitystilan rakenteisiin. Valaisintelineet ja ripustettavat tukielementit voivat olla massiivisia, jolloin ne vaativat rakenteilta suuria kantavuuksia. Osa valaisimista saattaa myös olla liikkuvia, jolloin lujuuslaskennassa on huomioitava kuorman dynaamisuus.

Video- ja kuvaesitysten kannalta kuvapinnan sijoittelulla ja koolla on luonnollisesti hyvin suuri merkitys, jotta jokainen yleisön edustaja voi vaivatta nähdä esitettävän sisällön. Näkyvyyden edellytyksenä on usein kuvapinnan sijoittaminen verrattain korkealle tai

ainakin lattiatasoa ylempäs. Tarvittavat suuret pinnat painavat kuvatekniikan valinnasta riippuen merkittäviäkin määriä.

Äänentoistojärjestelmien onnistunut suunnittelu ja asennus vaatii hyvin usein kaiutinklusterien ripustamista rakenteisiin. Tällä tavoitellaan sekä yhtäläisempää etäisyyttä etumaisen ja takimaisen rivin yleisön edustajaan, että myös akustisesti esteettömämpää kulkureittiä helposti vaimeneville korkeille äänille. Suurten järjestelmien kaiutinklusterit voivat painaa satoja tai tuhansia kiloja, mikä tietysti asettaa rakenteille aivan erityisiä vaatimuksia. Myös pienimmissä kohteissa on syytä huomioida tietynlaisten laitteiden suuri paino. Esimerkiksi aktiivikaiuttimet, joissa vahvistinyksikkö on rakennettu kaiuttimen sisään, voivat painaa yksittäiskappaleinakin useita kymmeniä kiloja.

Ripustaminen tapahtuu aina siihen erityisesti tarkoitetuilla välineillä, mutta ripustusvälineille, kuten moottorinostimille, vaijereille ja ripustusliinoille, pitää olla erikseen rakennesuunnittelussa osoitettu kohta tai kohdat, jonne kuorman voi turvallisesti ripustaa. Rakennesuunnittelussa tulee ottaa huomioon esitystekniikan käytössä ripustettavat, toisinaan huomattavan suuret painot sekä mahdolliset dynaamiset kuormat ja suorittaa asianmukaiset lujuuslaskelmat. Lujuuslaskelmat on myös syytä dokumentoida esitystilän henkilökunnan käyttöön esimerkiksi väliaikaisten ripustusten suunnittelemista varten.

Sopivia suureita väliaikaisasennusten suunnittelua varten on hallien kattorakenteisiin ripustettaessa kg/m, kun kyse on yksimittaisesta palkista. Tämä kertoo, kuinka paljon kuormaa rakenteeseen voi ripustaa metriä kohden. Myös lisämääryityksiä voidaan mainita, kuten esimerkiksi yksittäisen pistekuorman suurin sallittu määrä tai koko palkkiin tai koko kattoon kohdistuvan yhteenlasketun kuorman korkein sallittu määrä. Jos ripustamista varten on asennettu erillisiä koukkuja tai muita ripustuspisteitä, dokumentissa tulee yksinkertaisesti mainita pisteen suurin sallittu kuormitus.

Jotta suunniteltavien ripustuspainojen ja -paikkojen kanssa osuttaisiin oikeaan, on syytä konsultoida esitystekniikan suunnittelijoita ja esitystilän loppukäyttäjiä. Usein esitystilassa on tarve ripustaa paitsi suuria painoja, myös ripustaa erittäin tarkasti määriteltyihin paikkoihin, jotka voivat tilaisuudesta riippuen muuttua merkittävästikin. On siis tärkeää tietää suunnitteluvaiheessa, kuinka paljon ja missä kaikkialla rakenteita pitää voida kuormittaa.

### 4.3.2 Laitesijoittelu ja kaapelireiitit

Laitesijoittelu on tärkeää toimivan esitysympäristön suunnittelussa. Edellä on jo käyty läpi kaiuttimien, valaisimien ja kuvalaitteiden sijoittelun lähtökohtia laitteen varsinaisen toiminnan kannalta, mutta laitesijoittelulla on roolinsa myös käytettävyyden ja huollettavuuden näkökulmasta. Laitteiden sujuvan käytön edellytyksenä on vaivattomuus – hankalasti käytettävät toiminnot jäävät helposti käyttämättä ja tuloksena on pahimmillaan kalliilla hankittu ominaisuus, jota kukaan ei käytä.

Kiinteiden laitteiden käytön kannalta on tärkeää, että käyttäjällä ja huoltohenkilökunnalla on esteetön pääsy tarvittavien laitteiden luo. Tämä saattaa edellyttää huoltosiltojen ja muiden vastaavien kulkureittien suunnittelua esitystekniikan laitteiden ympäristöön, lavan yläpuolelle ja muualle laitetiloihin. Yleisön viihtyvyyden ja esityksen häiriöttömyyden kannalta tulee myös ottaa huomioon laittilojen sijainti sekä kulkureiitit laitetiloihin niin, että henkilökunta pääsee liikkumaan huomaamatta myös esityksen aikana.

Erillisten laittilojen tarve saattaa syntyä esimerkiksi äänieristyksen tarpeesta. Jokin mekaaninen melu, kuten tuulettimien hurina saattaa aiheuttaa esitykselle sellaista häiriötä, että laittilan tulisi olla erillinen ja äänieristetty, kuten jo akustiikkaa ja rakenteita käsittelevässä osassa todettiin.

Kaikissa esitys- ja laittilojen ilmanvaihtosuunnitelmissa tulisi huomioida laitteiden kokonaislämmöntuotto ja mitoittaa ilmanvaihtojärjestelmät sen mukaisesti. Esitystekniset laitteet, erityisesti valaisimet, näytöt, vahvistimet ja himmentimet, tuottavat merkittävän määrän lämpöä. Hallitsematon lämmöntuotto aiheuttaa vaaran turvallisuudelle ja laitteiden toimintavarmuudelle sekä saattaa aiheuttaa ongelmia laitteiden käyttäjälle tai esiintyjälle.

Lämpökuorman arvioinnissa käytetään laitevalmistajien tarkkoja arvoja tai alustavan esitysteknisen suunnitelman mukaisia arviolukemia. Ääni- ja kuvalaitteissa jatkuvat lämpökuormat liikkuvat laitetypistä riippuen 100–1000 W kokoluokassa laitetta kohti. Valojen lämpökuorma voi nousta perinteisillä hehkulamputilla jopa 3000 W tehoihin, joskin valoikeilan mukana kulkeutuu suuri osa lämpökuormasta lavalle ja tämä jakaa kuormaa tilaan tasaisemmin. Led-laitteilla valojen lämmöntuotto pyörii samassa kokoluokassa ääni- ja videotekniikan laitteiden kanssa. On myös syytä huomioida, että esitystekniikan laitteiden lämmöntuotto voi olla hyvinkin hetkellistä, jolloin täysi lämpökuorma saattaa toteutua esityksen aikana vain joitain minutteja.



Laitetilojen kaapelireitit tulee suunnitella niin, että kaapeleiden huolto ja vaihtaminen on vähintään mahdollista, mutta mieluummin jopa helppoa ja nopeaa. Kaapelireittejä tai laitteita ei saa sijoittaa paikkoihin, joihin käyttöhenkilökunnalla ei ole pääsyä, kuten vaikka hissikuiluihin tai kiinteiden rakenteiden alle. Erityisesti optisten ja muiden erikoiskaapeleiden kaapelointireiteissä pitää ottaa huomioon myös mahdolliset normaalia suuremmat sallitut taivutussäteet.

Väliaikaisasennuksia varten on hyvä suunnitella omia kaapelointireittejä ja kouruja, joiden käyttö on mahdollisimman vaivatonta. Tilapäiskaapelointireitti tulee suunnitella helpokäyttöiseksi, jotta nopean aikataulun tuotantojen on mahdollista järkevästi käyttää kaapelireittiä ilman kohtuutonta työmäärää tai kalliita erikoislaitteita, kuten henkilönostimia.

Kaapelireittien käyttöä haittaamaan tai estämään ei saa suunnitella kiinteiden rakenteiden lisäksi myöskään mitään muuta toimintaa tai tilapäisasennusta, kuten esimerkiksi kalustovarastoaluetta tai liikuteltavista baaritiskeistä tai vastaavista kalusteista rakentuvaa ravintolatoiminta-aluetta. Helppokäyttöisyys on tärkeää, jotta saadaan suunnitelmanmukaiset reitit tehokkaaseen käyttöön, eikä yllättäville, joskus vaaratilanteitakin aiheuttaville, ”oikoreiteille” tai muille ”virityksille” ole tarvetta.

Myös lattialle asetettava, seinän viertä pitkin tehtävä tilapäiskaapelointi on mahdollinen, joskin tällöin kulkureitit, logistiikkaväylät ja hätäpoistumistiet on huomioitava kaapelireitin suunnittelussa. Tilapäiskaapeloinnin reitillä pyritään välttämään kyseisten reittien risteämistä. Jos risteys pitää tehdä, se on tehtävä joko ylityksellä, kaapelikourulla tai muulla kaapelin ja ohikulkijoiden riittävällä suojaamisella.

Usein kiinteän kaapeloinnin rinnalla tai sijasta käytetään tarvekohtaista tilapäiskaapelointia, joten tilapäiskaapelointireittejä on järkevää suunnitella valmiiksi, vaikka kiinteä kaapelointi olisikin olemassa. Tilapäiskaapelointireittinä voi toimia esimerkiksi päältä peitettävä, lattiaan upotettu kaapelikouru tai kaapelihylly.

Kourujen ja kaapelireittien suunnittelulla pyritään suojaamaan kaapeleita ja ohikulkijoita vahingoilta sekä luomaan siisti ympäristö esitystoiminnalle. Kaapelireittejä tilasta toiseen suunniteltaessa on huomioitava myös tarvittava äänieristys tilojen välillä ja kierrätettävä kaapelit tarvittaessa pidempää reittiä tarvittavien ääntä eristävien mutkien kautta.

### 4.3.3 Esitystekniikan tilavaraukset yleisöalueella

Yleisöalueen ja varsinkin kiinteiden katsomoiden suunnittelijan tulisi konsultoida esitystekniikan suunnittelijoita esitystekniikan tilavaraustarpeesta yleisöalueella. Yleisin yleisöalueella tarvittava esitystekniikan tilavaraus on jonkinlainen tarkkaamotila valojen ja äänen ohjaamista varten. Tarkkaamotila voi olla umpinainen, äänieritetty tila lasin takana yleisöalueen perällä tai vaihtoehtoisesti avotarkkaamo, joka on sijoitettu joko yleisön keskelle tai yleisöalueen laidalle, usein salin perälle tai keskiosaan. Avotarkkaamot on erotettu yleisöalueesta aidoilla, kaiteilla tai matalahkoilla seinäkkeillä. Tarkkaamoja voi olla samassa tilassa myös useampia ja ne voivat olla keskenään erityyppisiä.

Tarkkaamossa työskentelevä teknikko tarkkailee esitystä yleisön näkökulmasta ja säättää ääntä, valoa ja muita esitystekniikan elementtejä yleisölle mahdollisimman optimaaliseksi. Esimerkiksi äänen väriä ja voimakkuutta tai valojen intensiteettiä ja suuntausta on hankala arvioida sopivaksi muualta kuin yleisön joukosta esitystä seuraamalla.

Muita mahdollisesti yleisön keskelle tehtäviä esitystekniikan tilavarauksia ovat esimerkiksi kameroille, seurantaheittimille ja näitä käyttäville teknikoille tarvittavat alueet. Nämä alueet voidaan verrattain pienestä tilantarpeesta johtuen ottaa tilapäisesti käyttöön yleisöalueen tiloista rajaamalla tarvittava alue kulunohjausnauhalla tai muuten merkittävällä se esitystekniikan käyttöön. Kuitenkin, jos tarve on toistuvaa ja tarpeiltaan ja laitesijoittelultaan aina samanlaista, on suositeltavaa rakentaa tätä käyttöä varten erillinen kiinteä tilavaraus.

Tarkkaamot sekä kamera- ja seurantaheittinpisteet tarvitsevat esitystekniikan kaapelointeja, jotka on joko määritettävä ennalta tarkasti käyttötarpeen mukaan tai tehtävä helpokäyttöinen kaapelointireitti tilapäiskaapelointeja varten.

### 4.3.4 Logistiikka ja kulkureitit

Esitystilän käyttötarkoituksesta riippuen esitystekniikan logistiikan tarve voi vaihdella hyvin paljon. Esimerkiksi teattereissa, konserttisaleissa tai keikkabaareissa pelkkä päivittäinen esitystekniikkaan liittyvä tavaraliikenne talon ulkopuolelta saattaa olla hyvinkin mittavaa. Tilan käytettävyyden kannalta on tärkeää, että liikenne sujuu ja tilaa on riittävästi. Hyvä käytettävyys johtaa tilan käytön tehokkuuteen, joka tarkoittaa suoraan kustannussäästöjä tilan käyttäjälle (Auvinen, haastattelu 6.3.2020).

Tavarankuljetusreitit lastauslaiturilta esitystilaan ja laitetiloihin tulisi suunnitella mahdollisimman esteettömiksi. Tämä tarkoittaa sitä, että vältetään kaikin keinoin portaita, kynnyksiä sekä kapeita oviaukkoja ja käytäviä. Suurin osa esitystekniikan laitteista on aina pakattu pyörille: pyörillä kulkeviin laatikoihin ja telineisiin tai pakattu trukkilavalle. Portaat ja kynnykset pysäyttävät liikkeen ja vaativat useimmiten useamman henkilön tai jopa trukin nostamaan laatikkoa, soitinta tai muuta objektia. Henkilökuljetukseen tarkoitetut hissit ovat lähes poikkeuksetta samanlaisia pullonkauloja.

Esitystekniikan logistiikka talon ulkopuolelta vaatii usein myös suurta kuljetuskalustoa. Jos esitysaika harjoituksineen on lyhyt, kuten yhden tai kahden päivän mittainen, on hyvä ottaa huomioon myös ympäristön suunnittelussa se, että kuljetuskalustolle saattaa usein olla pysäköinnin tarve alueella. Esimerkiksi konserttituotannoissa tämä on hyvin yleistä. Osa kuljetuskalustosta saattaa myös olla sellaista, että se tarvitsee pysäköintialueelle sähköä koko läsnäoloajakseen. Henkilökuljetukseen tarkoitetut kiertuebussit, kylmäkonit, ulkotuotantoautot ja monet muut kulkuneuvot tarvitsevat sähköä lämmitykseen, jäähdytykseen tai muita toimintoja varten.

Suunnittelussa ja kulkureittien mitoituksessa on järkevää jälleen miettiä esitystilan käyttötarkoitusta ja sitä, minkälaisia objekteja tilaan on tarkoitus liikuttaa, ja tehdä päätökset sen pohjalta. Teatterilavasteiden siirtely vaatii suurempia vapaita tiloja kuin vaikkapa puhujankorokkeen rullaaminen lavalle, ja satojen kilojen painoiset kaiutinniput kuljetustelineissään vaativat lattiamateriaaleilta suurempaa kestävyyttä kuin pelkkä yleisön ja henkilökunnan jalankululiikenne.

#### 4.3.5 Radioliikenne

Esitystekniikan käytössä on monenlaisia radiolaitteita. Näihin lukeutuvat langattomat mikrofonit, radiopuhelimet, langattomat datalinkit, kauko-ohjaimet ja niin edelleen. Radiolaitteet ovat usein herkkiä ulkopuolisille häiriöille ja toisaalta radiosignaali vaimenee taajuuskaistasta riippuen melko helposti tietynlaisia esteitä kohdatessaan. Rakennesuunnittelussa voidaan ottaa huomioon erilaisten materiaalien ja rakenteiden radioaaltoja absorboivat ominaisuudet ja edesauttaa esitystekniikan radioliikenteen suunnittelua ja käyttöä.

Monet langattoman esitystekniikan käytössä olevista radiotaajuuskaistoista kilpailevat nykyään ilmatilasta muun muassa TV-lähetysten kanssa. TV-asemien lähetysoimakkuudet ovat niin suuria, että käytännössä esitystekniikan radiotaajuussuunnittelussa on huomioitava paikalliset lähetystaajuusikkunat ja käytettävä muita taajuuksia. Muita radiohäiriön lähteitä voivat olla hyvin pitkälti samanlaiset häiriölähteet, kuin sähkömagneettista induktiota käsittelevässä luvussa lueteltiin: sähkömoottorit, muuntajat, suurivirtaiset virransyöttökaapelit, esitystekniikan omat laitteet, kuten heikosti suojatut led-laitteet tai voimakkaat virtalähteet.

Häiriölähteiltä voi suojautua sijoittamalla radiotaajuuksia absorboivia rakennemateriaaleja häiriölähteiden ja käytettävän radiotekniikan väliin. Tällaisia rakenteita ovat tyypillisesti esimerkiksi teräs- ja teräsbetonirakenteet. Toisaalta epäsovivissa paikoissa saman tyyppiset rakenteet voivat merkittävästi haitata radiolaitteiden käyttöä.

Erillisillä antennilla voidaan parantaa langattomien laitteiden, kuten mikrofoniin, toimintatasädettä. Antenneja voidaan sijoittaa esimerkiksi erillisten laitetilojen ulkopuolelle, jolloin kaapelointisuunnitelmissa tulisi huomioida oikeanlaisten antennikaapelien riittävä määrä ja sijoittelu.

#### 4.3.6 Esteettömyys

Tietyt esteettömyyttä koskevat vaatimukset koskevat myös esitystekniikkaa ja luovat erityisedellytyksiä esitystilan suunnittelulle. Valtioneuvoston asetus rakennusten esteettömyydestä 241/2017 edellyttää suurelta osalta esitystiloja kuulovammaisille tarkoitettua äänensiirtojärjestelmää. Kyseisen asetuksen 12 § mukaan ”jos katsomossa, auditoriossa, juhla-, kokous- tai ravintolasalissa, opetustilassa tai muussa vastaavassa kokoontumistilassa tai yleisön palvelutilassa on äänentoistojärjestelmä, siinä on oltava induktiosilmukka tai muu vastaava äänensiirtojärjestelmä”.

Induktiosilmukka on käyttäjän ja tilanhaltijan kannalta helpoin ja vaivattomin tapa toteuttaa vaadittu järjestelmä ja standardissa SFS-EN 60118-4 määritellään järjestelmältä vaadittavat ominaisuudet. Muita mahdollisia tapoja on käyttää infrapuna- tai radiotaajuuspohjaisia järjestelmiä. Näille ei ole käytössä yhtenäistä standardia (Nikula 2018).

Induktiosilmukan asennus tulee suunnitella yhteistyössä ainakin esitystekniikan suunnittelijan ja sähkösuunnittelijan kesken ja aina on myös syytä käyttää

induktiosilmukkajärjestelmien asiantuntijan apua. Asennus vaatii erityistä kaapelointia esitystilassa ja äänitekniikan suunnittelijalle pitää luoda mahdollisuus kytkeytyä helposti järjestelmään. Mahdollisuus järjestelmän vaivattomaan rutiinitestaamiseen ja säätämiseen pitää huomioida myös suunnitteluvaiheessa, jotta järjestelmästä saadaan aidosti toimiva.

Näkövammaisten palveluille esitystilassa ei ole varsinaisesti esitystekniikkaa koskevia selkeitä vaatimuksia, mutta liittojen ja ministeriöiden suosituksia ja ohjeistuksia muun muassa opastevalaistuksen käytöstä on olemassa. Kulkureittimerkintöjä voidaan selkeyttää valoilla luotavilla suurilla kontrasteilla.

Viittomakielen tulkkaukseen liittyy myös esitystekniikan kannalta huomionarvoisia asioita. Viittomakielen tulkkaus tarvitsee valoa näkyäkseen, mutta valo ei saa kuitenkaan häiritä muuta yleisöä. Tämä voidaan toteuttaa näyttämörakenteisiin liittyvillä ratkaisulla, kuten seinäkkeillä tai verhoilla. (Auvinen, haastattelu 6.3.2020.) Jos tulkkaus eristetään omaan tilaansa, saattaa olla myös tarpeellista syöttää tilaan äänisignaali tulkin omaa äänen monitorointia varten, joten kiinteissä ratkaisussa edellytetään myös kiinteän kaapeloinnin suunnittelua. Äänisyötön osalta tämä koskee tietysti myös muita kuin viittomakielen tulkkeja.

#### 4.3.7 Audiovisuaaliset turvallisuusjärjestelmät

Tiettyjä turvallisuuteen liittyviä järjestelmiä liitetään myös esitystekniikan järjestelmiin ja tietyt esitystilan erityispiirteet asettavat järjestelmille normaalista tilasta poikkeavia vaatimuksia. Tämä tulee huomioida sähkösuunnittelussa, sillä yleiskuulutus- ja äänievakuointijärjestelmät kuuluvat pääsääntöisesti sähkösuunnittelun piiriin (Auvinen, haastattelu 6.3.2020).

Esitystilalle on tietyissä tapauksissa tyypillistä kova ääni ja vilkkuvat valot. Selvää on, että tavanomaisilla yleiskuulutusjärjestelmillä tai merkkivaloilla ei pystytä hätätilanteessa kiinnittämään yleisön tai tekniikan huomiota riittävästi, jos lainkaan (Auvinen, haastattelu 6.3.2020). Tämän vuoksi merkinanto pitää suunnitella poikkeavilla tavoilla.

Äänijärjestelmään voidaan esimerkiksi luoda niin sanottu pakkosyöttölinja saliäänijärjestelmään. Järjestelmän tarkoitus on saada hätäkuulutuksen aikana automaattisesti vaimennettua saliäänijärjestelmästä tuleva ääni tai ohjata hätäkuulutus

saliäänijärjestelmään. Tämän järjestelmän kaapelointi ja kytkentä pitää suunnitella yhteistyössä esitystekniikan suunnittelijan kanssa. Merkkivaloille ei ole vastaavaa vakiintunutta käytäntöä olemassa.

Turvavalojärjestelmät, automaattiset hälytysjärjestelmät ja savuilmaisimet kuuluvat jälleen muun talotekniikan suunnittelun piiriin, mutta niiden suunnittelussa on tärkeää huomioida esitystilassa tapahtuvan toiminnan erityiset olosuhteet, kuten vilkkuvat valot, savu ja hetkelliset kovat lämpökuormat ja mahdollisesti rakenteita tärisyttävä kova ääni. On paitsi varmistuttava, etteivät järjestelmät aiheuta näistä johtuvia turhia hälytyksiä, myös mietittävä, kuinka tällaisissa olosuhteissa voitaisiin saada yleisön huomio kiinnitettyä.

## 5 Lopuksi

Tapahtumatilan suunnittelu on monimutkainen prosessi, jossa eri alojen erityisasiantuntijoiden on sovittava omat osasuunnitelmansa yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi. Esitystekniikan osuuden merkitys riippuu hyvin paljon rakennettavan tilan käyttötarkoituksesta. Pienimmillään tämä voi tarkoittaa muutaman kaapelivarauksen tekemistä suunnitelmavaiheessa jälkiasennettavia laitteita varten ja suurimmillaan esitystekniikan vaikutus ulottuu kaikkeen muuhun suunnitteluun.

Kysymys on hyvin usein kompromissien tekemisestä parhaan mahdollisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Ääni-, valo- ja kuvatekniikan optimaalisuus ei juuri koskaan ole kovin suoraviivainen asia, vaan kyse on enemmän mieltymyksistä ja preferensseistä. Varsinkin taiteellisen puolen toteutuksissa hyvän ja huonon lähtötilanteen määrittely voi olla hyvinkin tulkinnanvarainen prosessi, joka saattaa riippua paljon myös itse määrittelijästä.

Taitavan esitystekniikan konsultin avulla hankkeessa voidaan päästä lopputulokseen, joka palvelee pääkäyttötarkoitusta rajoittamatta marginaalikäyttäjien ilmaisua esimerkiksi erikoisilla arkkitehtonisilla tai sisustuksellisilla ratkaisuilla, liian pienellä ripustuskaasiteetilla tai muulla liikaa varsinaista toimintaa rajoittavilla valinnoilla.

Rakennuttajaa kiinnostaa aina jossain määrin myös esitystilahankkeen kustannukset. Suunnittelijoiden olisi tärkeää osata määrittää erilaisille vaihtoehdoille toteutustavoille jonkinlainen hinta. Se saattaa muodostua rakennuskustannuksista tai suunnittelussa tehtävien valintojen vaikutuksesta laitevalintoihin tai käyttökustannuksiin. Oikeilla valinnoilla investoinnit tuottavat lisäarvoa ja rajoittavat kokonaiskustannusten hallitsematonta kasvua.

Kun hankesuunnittelu aloitetaan riittävän tiedon keräämisellä, onnistumismahdollisuudet kasvavat. Kaikkien tässä työssä käsiteltyjen erityisalojen suunnittelijoiden pitää yhdistää asiantuntemuksensa toimivan tilan toteuttamiseksi. Tämän lisäksi varsinkin suuremmissa hankkeissa on selvitettävä laajasti myös muun muassa kysyntään, logistiikkaan, aluepolitiikkaan ja yleiseen yhteiskunnalliseen kehitykseen liittyviä kysymyksiä, jotta pystytään tekemään oikeanlaisia ratkaisuja.

## Lähteet

Valtioneuvoston asetus rakennuksen esteettömyydestä. A 241/2017. Viitattu 8.3.2020. <http://www.finlex.fi>, ajantasainen lainsäädäntö.

Akukon Oy 2020. Esittelyteksti virallisilla verkkosivuilla. Viitattu 11.2.2020. [www.akukon.fi/](http://www.akukon.fi/)

Auvinen, Janne 2020. Toimitusjohtaja. Verkatehdas Oy. Puheenvuoro: Tehdään Turkuun toimiva konserttitalo. Turun Sanomat 8.2.2020. Viitattu 19.2.2020. <https://www.ts.fi/mielipiteet/aliot/4853973/Puheenvuoro+Tehdaan+Turkuun+toimiva+konserttitalo>

Blomberg, Esa & Lepoluoto, Ari 2005. Audiokirja. Audiotekniikkaa ammattilaisille ja kehittyneille harrastajille. Viitattu 14.3.2020. <http://ari.lepoluo.to/audiokirja/>

Halme, Alpo & Seppänen, Olli 2002, Ilmastoinnin Äänitekniikka, Helsinki: Suomen LVI-liitto.

L 5.2.1999/132. Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132. Viitattu 5.3.2020. <http://www.finlex.fi>, ajantasainen lainsäädäntö.

Nikula, Juha 2016. RT-ohjekortti Induktiosilmukka kuulovammaisen apuvälineenä. Qlu Oy. 1.3.2018. Viitattu 8.3.2020. [https://www.hel.fi/static/hkr/helsinkikaikille/koulutukset/Qlu\\_20180130.pdf](https://www.hel.fi/static/hkr/helsinkikaikille/koulutukset/Qlu_20180130.pdf)

Rakennusurakan yleiset sopimusehdot, YSE 1998 (RT 16-10660). 1998. RT-kortisto. Rakennustieto.

SFS 6000-4-44:2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-44: Suojausmenetelmät. Suojaus jännitehäiriöiltä ja sähkömagneettisilta häiriöiltä.

## Haastattelut

Auvinen, Janne 2020. Toimitusjohtaja. Verkatehdas Oy. Haastattelu 6.3.2020.



Grönholm, Pertti 2020. Rakennustarkastaja. Nousiaisten kunta. Haastattelu 10.3.2020

Ilomäki, Tapio 2018. AV-suunnittelija. Akukon Oy. Haastattelu 7.3.2018.