



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Antti Eronen

Suuren ulkoyleisötapahtuman alueva- laistuksen tekninen suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Medianomi

Esitys- ja teatteritekniikka

Opinnäytetyö

3.6.2020

Tekijä(t) Otsikko	Antti Eronen Suuren ulkoyleisötapahtuman aluevalaistuksen tekninen suunnittelu
Sivumäärä Aika	37 sivua 3.6.2020
Tutkinto	Medianomi
Tutkinto-ohjelma	Esitys- ja teatteritekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Lehtori Mikko Pirinen
<p>Tämä opinnäytetyö käsittelee suurten ulkoyleisötapahtumien aluevalaistuksen teknistä suunnittelua. Hyvin tehdyllä aluevalaistuksen teknisellä suunnittelulla voidaan varmistaa onnistunut käytännön toteutus, mutta teknisen suunnittelun taso vaihtelee hyvin paljon tapahtumittain ja yksittäisen tapahtuman eri kohteissa.</p> <p>Aluevalaistuksen tekninen suunnittelu toteutetaan yhteistyössä ja vuoropuhelussa visuaalisen suunnittelijan ja tapahtuman järjestämisestä vastaavan tahon kanssa. Tässä opinnäytetyössä käydään aluksi läpi aluevalaistuksen tuotantosuunnittelun työvaiheet sekä käsitellään visuaalista ja funktionaalista valaistusta ja niiden suhdetta aluevalaistuksen näkökulmasta.</p> <p>Teknisen suunnittelun osuudessa perehdytään tekniseen dokumentaatioon, tuki- ja ripustusrakenteisiin, aluevalaistuksessa käytettäviin valaisimiin sekä muihin käytännön toteutukseen liittyviin asioihin. Näiden lisäksi käydään erillisissä luvuissa läpi sähköistystä ja signaali- ja ohjausjärjestelmiä, koska nämä aiheet ovat laajoja ja niiden merkitys aluevalaistuksessa on suuri.</p> <p>Aluevalaistuksen kohteena olevat tapahtumat ovat hyvin monimuotoisia. Tästä johtuen tämä opinnäytetyö ei ole suora ohjekirja aluevalaistuksen tekniseen suunnitteluun, vaan sen on tarkoitus tarjota ohjeita ja suuntaviivoja onnistuneen lopputuloksen saavuttamiseen.</p>	
Avainsanat	Tapahtumatekniikka, aluevalaistus, tekninen suunnittelu, tapahtumasähköistys, valaistuksen ohjaus

Author(s) Title	Antti Eronen Technical Design of a Large Scale Outdoor Event Area Lighting
Number of Pages Date	37 pages 6. June 2020
Degree	Bachelor of Culture and Arts
Degree Programme	Live Performance Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	Mikko Pirinen, Senior Lecturer
<p>This thesis is about the technical design of large scale outdoor events area lighting. With a well done technical design a successful practical implementation can be ensured but the quality of the technical design of area lighting varies a lot between events and even within different parts of a single event.</p> <p>Technical design of area lighting is done in co-operation and dialogue with the visual designer of area lighting and the organizer of the event. In this thesis will first go over the production planning of area lighting and the relationship between visual and functional lighting from the point of view of area lighting.</p> <p>In the part concerning technical design I will concentrate on technical documentation, support and rigging structures and lighting fixtures of area lighting. In addition to these, electrical and signal systems are handled in their own chapters because of their extent and significance for area lighting.</p> <p>The events that have area lighting are very diverse. Because of this, this thesis is not a direct manual on technical design of area lighting but rather its purpose is to offer general guidelines and instructions to achieving a successful event.</p>	
Keywords	Event technology, area lighting, technical design, event electricity, lighting control

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Aluevalaistus	2
2.1	Tuotantosunnittelu	2
2.2	Funktionaalinen ja visuaalinen valaisu	4
2.3	Kumppanitoteutukset ja muut itsenäiset kohteet	6
3	Tekninen suunnittelu	7
3.1	Tekninen dokumentaatio	8
3.2	Aluevalaistuksen tuki- ja ripustusrakenteet	10
3.3	Aluevalaistuksessa käytettävät valaisimet	11
3.4	Aikataulutus	12
3.5	Henkilökunta	13
3.6	Logistiikka ja työkoneet	13
4	Sähköistys	14
4.1	Ulkoyleisötapahotumien sähköjärjestelmät	15
4.1.1	Sähkötyö ja -turvallisuus sekä vastualueet	16
4.1.2	Kaapelit ja sähkökeskukset	19
4.2	Aluevalaistuksen sähköistyksen suunnittelu	20
4.2.1	Sähkön tarpeen ja sähkön syöttöjen arviointi	22
4.2.2	Kaapelointireitit ja kaapeleiden suojaus	23
4.2.3	Kaapeleiden pituudet ja oikosulkuvirrat	24
5	Signaali- ja ohjausjärjestelmät	27
5.1	Signaali- ja ohjausjärjestelmien laitetypit	27
5.2	Langalliset ohjausjärjestelmät	27
5.3	Langattomat ohjausjärjestelmät	29
5.4	Signaalijärjestelmän suunnittelu	31
6	Yhteenveto	32
6.1	Aluevalaistuksen tärkeimmät työvaiheet ja huomioon otettavat asiat	33
6.2	Loppusanat ja kiitokset	34
	Lähteet	36
	Haastattelut	37

1 Johdanto

Aluevalaistus on suomalaisessa tapahtumakentässä melko uusi ilmiö. Ensimmäisenä aluevalaistukseen alettiin panostaa merkittävästi hieman yli kymmenen vuotta sitten Flow-festivaalilla, minkä jälkeen aluevalaistus on saanut laajempaa kotimaista huomiota. Sitten aluevalaistusta on alettu toteuttaa kasvavissa määrin myös muissa suurissa yleisötapahtumissa Suomessa. Aluevalaistuksen tavoitteena on luoda tunnelmaa ja elämyksellisyyttä tapahtumaan myös esiintymislavojen ulkopuolelle ja varmistaa turvalliset työskentely- ja liikkumisolosuhteet tapahtuma-alueella. Tämän tyyppisen valaistuksen toteutus vaihtelee yksinkertaisista kulku- ja työvaloista sekä erilaisten kohteiden valaistusta itsenäisiin valoteoksiin.

Aluevalaistuksen teknisen suunnittelun taso vaihtelee hyvin paljon tapahtumittain ja myös kohteittain yksittäisessä tapahtumassa. Kun tekniset ennakkotyöt on tehty hyvin, rakennusvaiheessa voidaan keskittyä teknisen suunnittelun toteuttamiseen. Jos taas teknistä suunnittelua ei ole tehty lainkaan, ja suunnittelua joudutaan tekemään rakennustöiden aikana, käytettävissä oleva työvoima ei ole tehokkaassa käytössä ja ongelmatilanteilta on vaikea välttyä. Tässä tilanteessa tarvittavan kaluston määrää on vaikea arvioida tarkkaan ja virhearviot voivat johtaa kustannusten nousuun. Useimmiten teknistä suunnittelua on tehty etukäteen, mutta siihen on kuitenkin jäänyt joidenkin osa-alueiden kohdalle aukkoja.

Tavoitteenani tässä opinnäytetyössä on luoda tietopohjaa aluevalaistuksen tekniselle suunnittelulle. Aluksi esittelen luvussa kaksi aluevalaistuksen perusasioita ja tuotantosuunnittelua. Luvussa kolme käsittelen teknisen suunnittelun työvaiheita sekä sen suhdetta valaistussuunnitteluun. Luvuissa neljä ja viisi käsittelen sähkö- ja signaali tekniikkaa ja niiden erityispiirteitä aluevalaistuskäytössä sekä mahdollisia ongelmatilanteita, jotka tulee ottaa suunnittelussa huomioon onnistuneen lopputuloksen takaamiseksi. Nämä kokonaisuudet ovat osa teknistä suunnittelua, mutta niiden laajuuden ja merkityksen vuoksi käsittelen niitä omissa luvuissaan. Lopuksi teen luvussa kuusi yhteenvedon opinnäytetyössä käsitellyistä asioista. Suunnittelutyön sekä sen kohteena olevien tapahtumien monimuotoisuuden takia opinnäytetyöni ei ole suora ohjekirja aluevalaistuksen tekniseen suunnitteluun. Sen sijaan opinnäytetyöni tarkoitus on tarjota yleisluontoisempia ohjeita ja suuntaviivoja sekä aluevalaistuksen erityispiirteisiin liittyvää teknistä tietopohjaa ennakkotyöskentelyyn.

Käytän tässä opinnäytetyössä tapahtuman järjestäjätahosta termiä ”asiakas” johtuen omasta työhistoriastani aluevalaistuksen parissa. Aluevalaistuksen tekninen suunnittelija voi olla tapahtuman järjestäjän palveluksessa, ja järjestäjä voi toimia myös aluevalaistuksen toteutuksesta vastaavana tahona.

Tapahtumien aluevalaistusta ja sen teknistä suunnittelua ei ole tietääkseni tutkittu eikä myöskään ole löytänyt Suomessa tai muissa maissa tehtyä kirjallista materiaalia aiheesta. Kirjallisten lähteiden puute ei kuitenkaan tarkoita, että tietoa ei olisi olemassa. Tieto on kirjallisen muodon sijasta olemassa kokemuspohjaisena, tekijältä toiselle työn lomassa siirtyvänä hiljaisena tietona, ja haluan opinnäytetyössäni tuoda tuota hiljaista tietoa esiin. Käytän opinnäytetyössäni kirjallisten lähteiden lisäksi lähteenä asiantuntija-haastattelua ja omaa ja ammattitaitoani aluevalaistuksen teknisestä toteutuksesta sekä sähkö- ja signaalitekniikasta.

2 Aluevalaistus

Aluevalaistuksella tarkoitan opinnäytetyössäni kaikkea yleisötapahtumien valaisua, joka ei suoraan liity esiintymislavojen valaistukseen. Se pitää sisällään mm. työ- ja kulkuvalaistuksen, erilaiset tunnelmaa luovat visuaaliset valaistukset ja lisäksi mahdolliset itsenäiset kumppanitoteutukset ja valotaideteokset. Tässä luvussa esittelen aluevalaistuksen peruskäsitteet ja sen yleisimmät käyttötarkoitukset, tuotantosuunnittelussa erityisesti huomioon otettavat asiat, aluevalaistuksessa käytettävät laitteet sekä teknisen suunnittelun eri työvaiheet.

Kirjallisten lähteiden puuttumisen vuoksi käytän tämän luvun lähteenä pitkään aluevalaistuksen suunnittelun ja toteutusten parissa työskennelleen valosuunnittelija Lauri Lundahlin keskustelumuotoista asiantuntijahaastattelua. Aineistona käytän omaa osaamistani ja kokemuksiani aluevalaistuksesta ja sen toteutuksesta.

2.1 Tuotantosuunnittelu

Lundahlin (3.3.2020) mukaan aluevalaistuksen suunnittelu alkaa yleensä tapahtuman tyylilajin, luonteen, järjestämispaikan, tarpeiden sekä asiakkaan toiveiden ja näkemyksen kartoittamisesta. Valaistuksen suunnitteluun vaikuttaa suuresti järjestämispaikan sijainti, järjestämisajankohta ja miljöö. Urbanin kaupunkitapahtuman ja luonnonläheisessä paikassa, kuten puistoalueella, järjestettävän tapahtuman valaistustarpeet voivat

olla hyvin erilaiset. Omien kokemuksieni perusteella luonnonvalon määrä vaikuttaa toteutukseen. Jos tapahtuma järjestetään kesä–heinäkuun vaihteessa niin, että se loppuu iltakymmeneen mennessä, ovat aluevalaistukseen vaikuttavat ulkoiset tekijät todella erilaiset verrattuna siihen, että tapahtuma-aika onkin elokuun lopulla ja valoa tarvitaan yli puolen yön, puhumattakaan pimeämpiin vuodenaikoihin järjestettävistä tapahtumista.

Lundahlin (3.3.2020) mukaan ympäristöstä ja ajankohdasta riippuvien tekijöiden lisäksi aluevalaistuksen toteutukseen vaikuttavat paljon asiakkaan näkemykset, kuten asiakkaan haluama visuaalinen ilme, aluevalaistuksen päätehtävä (haluaako asiakas vain työvalaisua vai myös visuaalista valaisua). Myös aluevalaisun laajuus, eli se, toteutetaanko aluevalaistus koko tapahtuma-alueelle vai vain osaan siitä, vaikuttaa toteutukseen. Ulkoiset tekijät, visuaalisuus ja sen suhde käytännölliseen valaistukseen sekä taloudelliset seikat määrittelevät hyvin vahvasti sen, miten aluevalaistusta suunnitellaan ja toteutetaan.

Visuaalisesti onnistunut aluevalaistus vaatii paitsi onnistunutta teknistä ja taiteellista suunnittelua, myös kokonaisuuden hallintaa. Asiakkaan kanssa kannattaa määritellä tapahtuman visuaaliseen toteutukseen liittyvät asiat, kuten värimaailma ja visuaalinen ilme. Lisäksi on varmistettava, että aluevalaistuksesta vastaavalla toimijalla on mahdollisuus hallita myös muiden toimijoiden, kuten anniskelua ja ruokamyyntiä hoitavien yritysten visuaaliseen toteutukseen vaikuttavaa toimintaa. Tätä tarkoitusta varten on hyvä sopia asiakkaan kanssa sitovat säännöt ja suuntaviivat tapahtuman visuaalisen ilmeen toteuttamiseksi sekä koostaa ne visuaaliseksi ohjeistukseksi. On myös tärkeää tehdä vastuunjako asiakkaan kanssa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa esimerkiksi aluevalon tukirakenteiden, työkonestikustannusten, työtilojen aiheuttamien kustannusten ja asiakkaan työvoimaresurssien käytöstä. (Lundahl 3.3.2020.)

Oman kokemukseni mukaan muilla toimijoilla, kuten anniskelua ja ruokamyyntiä hoitavilla yrityksillä, ei välttämättä ole halua tai ymmärrystä visuaalisen kokonaisuuden hahmottamiseen. Yksi huonosti suunniteltu tai toteutettu kohde voi pilata suuremman kokonaisuuden, jos visuaalisesta suunnittelusta vastaavalla taholla ei ole mahdollisuutta vaikuttaa toteutukseen. Esimerkiksi liian kirkkaasti valaistu ravintola- tai anniskelualue voi tuottaa ympärilleen tarpeetonta roskavaloa, joka vaikuttaa suuresti visuaaliseen valaistukseen. Toimintatavoista tällaisen tilanteen varalta on hyvä sopia etukäteen, koska vain tapahtuman järjestäjällä on oikeus vaatia muutoksia muiden toimijoiden visuaaliseen toteutukseen.

2.2 Funktionaalinen ja visuaalinen valaisu

Funktionaalinen eli käytännöllinen valaisu on tärkeä osa aluevalaistusta. Riittävällä funktionaalisella valaistuksella varmistetaan, että tapahtumassa on turvallista liikkua ja oleilla sekä työskennellä. Erityisen tärkeitä funktionaalisen valaisun kohteita ovat kulkureitit sekä yleisöalueilla että henkilökunnan alueilla, ruoka- ja anniskelutelttojen työskentelyalueet, lastausalueet, tapahtuman toteutuksesta ja turvallisuudesta vastaavan henkilökunnan työskentelyalueet sekä backstage-alueet. Kulkuvalaistuksesta suunnitellussa tulee kiinnittää erityistä huomiota yleisöalueella olevien portaikkojen ja muiden vastaavien rakenteiden näkyvyyteen. (Lundahl 3.3.2020.) Mikäli tapahtumassa käytetään vain funktionaalista valaisua, on sen suunnittelu ja toteutus oman kokoemukseni mukaan melko suoraviivaista. Jos tapahtumaan halutaan myös visuaalista valaisua, tulee sen toteutus ottaa huomioon myös funktionaalisen valaisun suunnittelussa.

Tapahtuma-alueelle muualta vuotava valo voi olla vaikuttamatta funktionaalisen valaisun tai jopa vähentää sen tarvetta, mutta toisaalta se voi vaikuttaa huomattavasti visuaalisen valaisun toteutukseen ja rajata siihen käytettävissä olevia tapoja. Omien kokeuksieni perusteella kiinteään valaistukseen voi suhtautua monella eri tavalla. Sitä voidaan käyttää osana aluevalaistusta tai se voidaan kytkeä pois päältä riippuen aluevalaistuksen visuaalisesta suunnittelusta. Jos kiinteä valaistus on helposti hallittavissa, sitä voidaan myös käyttää aluevalaistuksen varajärjestelmänä poikkeustilanteessa.

Funktionaalinen ja visuaalinen valaisu eivät ole toistensa vastakohtia tai edes erillisiä kokonaisuuksia. Kuvissa 1 ja 2 on esimerkkejä visuaalisesta ja funktionaalisesta valaistuksesta ja siitä, kuinka funktionaalinen valaisu voi olla osa visuaalista kokonaisuutta ja kuinka visuaalisella valaisulla voi olla myös funktionaalinen luonne. Hyvä esimerkki funktionaalisen ja visuaalisen valaisun yhdistelmästä on yleisesti aluevalaistuksessa käytetty valoketju eli hehkulamppuroikka. Sitä käytetään usein kulkureittien valaistukseen mutta myös luomassa tunnelmaa tapahtuma-alueelle. Myös profiiliheittimillä maahan ja seiniin toteutetut kuvioinnit toimivat sekä funktionaalisena että visuaalisena valaistuselementtinä. Halogeeni- tai led-työvaloilla toteutettu työskentelyvalaisu on hyvä esimerkki puhtaasti funktionaalisesta valaistuksesta. Sen sijaan erilaiset väripesu-tyyppiset valaistukset varsinkin orgaanisiin, huonosti valoa heijastaviin pintoihin, kuten puihin, ovat usein puhtaasti visuaalisia.



Kuvio 1. Visuaalista ja funktionaalista valaisua sekä niiden yhdistelmiä Flow Festivaalilla (kuva: Antti Eronen 2017, suunnittelu ja toteutus: Sun Effects Oy).



Kuvio 2. Esimerkki puhtaasti visuaalisesta valaisusta Tikkurila Festivaalilla (kuva: Antti Eronen 2019, suunnittelu ja toteutus: Sun Effects Oy).

Yleisötapauhtumien väliaikaisesta valaistuksesta ei ole olemassa yleisiä ohjeita, määräyksiä tai standardeja (yhteinen menettelytapa ja suositus toistuvaan toimintaan, joiden käyttöä viranomaiset voivat edellyttää; SFS Suomen Standardoimisliitto ry 2020). Kiinteästi asennettuun ulkovalaistukseen on olemassa säädöksiä esimerkiksi kuntien rakennusjärjestyksissä ja suunnitteluohjeistuksissa, mutta ne eivät ole suoraan sovellettavissa aluevalaistustoteutuksiin esimerkiksi valon määrän vaatimusten vuoksi. Näiden ohjeistusten periaatteita on kuitenkin hyvä noudattaa myös aluevalaistuksessa. Esimerkkejä ohjeistuksista:

Tontin valaistusjärjestelyissä valolaitteiden sijoitus, suuntaus ja valoteho on sovitettava siten, että ne lisäävät alueen turvallisuutta ja viihtyisyyttä eivätkä tarpeettomasti ja haitallisesti häiritse alueen asukkaita, alueella liikkuvia tai naapurialueita. Julkisivuvalaistuksen tulee tukea rakennuksen luonnetta ja sen kaupunkikuvallista merkitystä. Valaisinten on sovelluttava kunkin alueen kaupunkikuvaan. (Helsingin kaupungin rakennusjärjestys, 2010, §10.)

Valolla on myös haitallisia vaikutuksia. Häiriövalo on valaistavan alueen ulkopuolelle menevää valoa, joka määränsä, suuntansa tai spektrijakaumansa takia kasvattaa epämiellyttävyyttä, epämukavuutta, hämmennystä tai rajoittaa oleellisen informaation näkymistä. Valaistussuunnittelussa häiriövalo tulee aina pyrkiä minimoimaan, erityisesti asuinrakennusten kohdalla. (Helsingin kaupungin ulkovalaistuksen suunnitteluohje 2017, 6.)

Samoin kuin kiinteä ulkovalaistus, myös yleisötapauhtuman aluevalaistus tulee suunnitella siten, että sen toteutus lisää turvallisuutta ja viihtyvyyttä. Aluevalaistuksessa käytävät valaisimet tulee asemoida ja suunnata niin, etteivät ne aiheuta häiriötä alueen ulkopuolelle eivätkä häikäise myöskään alueen sisäpuolella.

2.3 Kumppanitoteutukset ja muut itsenäiset kohteet

Aluevalaistuksessa on usein mukana myös kohteita, jotka ovat luonteeltaan, laajuudeltaan tai merkitykseltään sellaisia, että niille tehdään oma tarkempi valosuunnittelu ja tekninen suunnittelu. Tällaisia kohteita voivat olla esimerkiksi niin kutsutut kumppanitoteutukset, taideteokset ja muut merkittävät tai suuret itsenäiset kohteet.

Kumppanitoteutuksella tarkoitetaan Lundahlin (3.3.2020) mukaan toteutusta, joka tehdään tilaustyönä erilliselle, usein kaupalliselle kolmannelle osapuolelle, jolla on tapahtuman järjestäjän kanssa tehty sopimus yhteistyöstä ja näkyvyydestä tapahtumassa. Teknisesti kyseiset toteutukset voivat olla monen kokoisia ja tyyppisiä kohteita sisätiloista ja teltoista suurempiin kokonaisuuksiin, jotka voivat olla rakenteiltaan hyvinkin mielikuvituk-

sellisia. Usein kumppaniasiakkaan kanssa toimii lisäksi sen palkkaama tuottaja tai tuottantoyhtiö. Kumppanitoteutuksista tehdään erillinen kohdesuunnittelu, johon vaikuttavat mm. kohteen rakenne ja koko sekä palvelusuunnat ja niiden määrä (esimerkiksi festivaaleilla olevassa myyntiteltassa on yksi palvelusuunta, kun myynti tapahtuu teltan yhdeltä sivulta). Näiden toteutusten taloudellisista kustannuksista vastaavat usein kumppanitoimijat itse.

Monissa tapahtumissa toteutetaan ja esitetään erilaisten taiteilijoiden tekemiä itsenäisiä taideteoksia. Näiden toteutusten koko ja luonne vaihtelevat pienistä taideteoksista suuriin ulkovalaisuihin ja projisointeihin. Samoin kuin kumppanituotannot, myös taidekohteet voivat vaikuttaa aluevalaistuksen suunnitteluun tai toimia osana sitä, ja niistä tehdään erillinen tekninen suunnittelu. Taiteilijat ovat usein tapahtuman järjestäjän paikalle kutsumia, jolloin järjestäjä määrittelee teoksen sijainnin ja budjetin. (Lundahl 3.3.2020.)

Kumppanituotantojen ja taideteosten lisäksi myös muita suurempia aluevalaistuksen kohteita voi olla kokemukseni mukaan järkevää käsitellä itsenäisinä kokonaisuuksia silloin, kun niiden visuaaliseen suunnitteluun on haluttu tehdä erityinen panostus. Tällaisia ovat esimerkiksi suuremmat ruoka- ja anniskelualueet, VIP-alueet ja backstage-alueet. Myös näissä toteutuksissa voi olla mukana kaupallinen kumppani, jonka visuaalinen ilme, tuotteet ja palvelut voivat vaikuttaa kohteen suunnitteluun.

3 Tekninen suunnittelu

Tässä luvussa käsittelen tekniseen suunnitteluun liittyviä asioita lukuun ottamatta sähkö- ja signaalijärjestelmiä, joita käsittelen erikseen luvuissa neljä ja viisi. Tämän luvun tiedot perustuvat suurelta osin omiin työkokemuksiini aluevalaistuksen parissa.

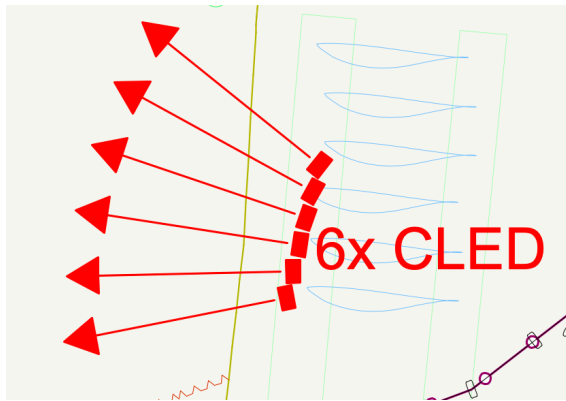
Oman kokemukseni mukaan visuaalisen ja teknisen suunnittelun välinen raja voi olla hyvin sumea. Yleisellä tasolla valosuunnittelija vastaa toteutuksen visuaalisen ilmeen luomisesta ja toimii yhteistyössä asiakkaan kanssa, ja tekninen suunnittelija vastaa valosuunnittelijan vision toteuttamisesta käytettävissä olevissa taloudellisissa ja teknisissä puitteissa. Valosuunnittelijan ja teknisen suunnittelijan työntekoon kuuluu luonnollisesti vuoropuhelua suunnitelmien toteutettavuudessa, ja usein työtehtävät ovat myös jonkin verran päällekkäisiä. On myös tavallista, että visuaalinen suunnittelu ja tekninen suunnittelu ovat saman henkilön vastuulla.

Valosuunnittelija voi tehdä vain konseptisuunnittelun, jolloin teknisen suunnittelijan tulee toteuttaa valosuunnittelijan visio, suunnitella funktionaalinen valaisu, valita niitä varten laitteet ja piirtää koko valokartta muun teknisen suunnittelun lisäksi. Visuaalinen suunnittelu voidaan tehdä toisaalta hyvin tarkasti, jolloin valosuunnittelija piirtää valmiit valokartat sekä valitsee käytettävät laitteet ja valaisimet. Tällöin teknisen suunnittelijan vastuulle jäävät lähinnä järjestelmäsuunnittelu, kaapelin määrien ja työn määrän arviointi sekä aikataulutus.

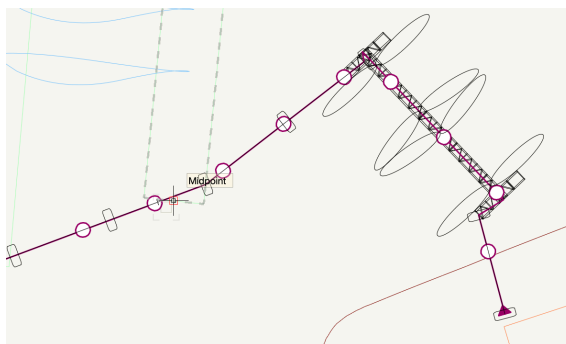
3.1 Tekninen dokumentaatio

Lundahlin (3.3.2020) mukaan aluevalaistuksen suunnitelma tehdään tapahtuman mittakaavaan piirretyn aluesuunnitelman pohjalta. Aluesuunnitelmassa näkyvät tapahtuma-alueen kiinteät ja väliaikaiset rakenteet, kuten rakennukset, esiintymislavat, teltat, aidat ja wc-alueet. Aluevalaistuksen kannalta on todella tärkeää, että suunnitelman pohjana oleva dokumentti on tarkka ja luotettava. Aluesuunnitelman pohjana voidaan käyttää yleensä valmiiksi saatavilla olevia digitaalisia karttoja. Esimerkiksi Helsingin kaupungin Kaupunkimittauspalveluilta on saatavilla erilaisia karttoja ja jopa 3D-mallinnuksia kaupungin alueista.

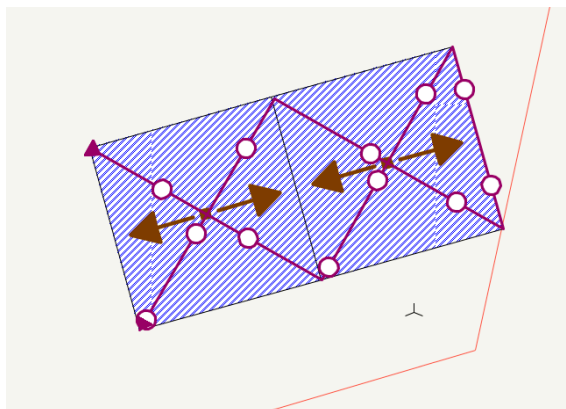
Valokarttaan merkitään valaisinten sijainti, summittainen suuntaus ja ohjauksessa olevien valaisimien DMX-osoitteet sekä mahdolliset värikalvot ja gobot (Värikalvoilla voidaan muuttaa valaisimen tuottaman valon sävyä. Gobot ovat metallista tai lasista tehtyjä levyjä, joilla voidaan heijastaa kuvioita tai muotoja pintoihin). Tavallisesta teatteri- tai tapahtumavalokartasta poiketen valaisimia ja niiden suuntausta voidaan valokartassa kuvata esimerkiksi nuolilla. Merkintätapojen malleina käyttämiäni esimerkkejä käytetään paljon yleisötapahtumien aluevalaistusta toteuttaneessa Sun Effects Oy:ssä. Eri valaisimia kuvaavat nuolet erotetaan toisistaan nuolen pituuden ja värin avulla. Tapahtuma-alueiden laajuudesta johtuen aluevalokartan mittakaava on usein hyvin pieni ja valaisimia on valokartassa suuri määrä. Yksinkertaistettujen symbolien käyttäminen selventää valokarttaa ja tekee siitä helpommin luettavan. Aluevalaisuun käytettävät rakenteet, kuten trussi- ja rakennustelineet, merkitään valokarttaan kaksiulotteisina ylhäältä päin kuvattuina ja niiden yksityiskohdat, kuten osat ja rakenne, voidaan yksinkertaisimmissa rakenteissa merkitä kirjallisesti erilliseen ohjeeseen. Monimutkaisemmissa rakenteissa kannattaa tehdä erillinen mallinnus. Kuvioissa 3-6 esimerkkejä mahdollisista merkintävoista.



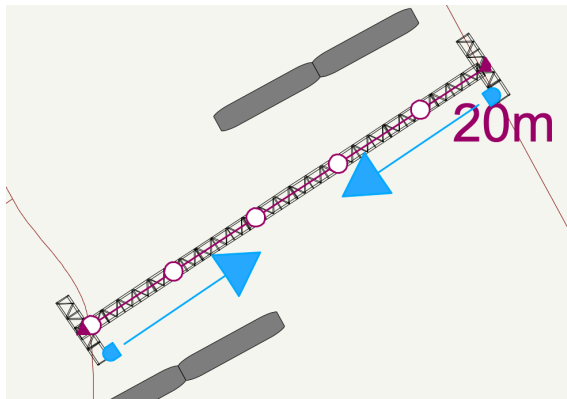
Kuvio 3. Kuuden C-Led-pesurin valaisinryhmä (kuva: Sun Effects Oy 2019).



Kuvio 4. Valoketju eli hehkulamppuroikka trussiportissa ja aitalinjassa. Nuoli oikeassa alareunassa osoittaa sähkön syöttöpisteen (kuva: Sun Effects Oy 2019).



Kuvio 5. Valoketju ja yleisvalona käytettävät halogeenityövalot teltassa (kuva: Sun Effects Oy 2019),



Kuvio 6. Valoketju ja kaksi kappaletta led-pesureita trussiportissa. Valoketjun merkintävärin kanssa samalla värillä on ilmoitettu valoketjun pituus (kuva: Sun Effects Oy 2019).

Valokartan lisäksi tärkeä teknisen suunnittelun dokumentti on kohdeluettelo. Kohdeluettelo sisältää kaikki tapahtuma-alueen aluevalaistuksen kohteena olevat asiat. Ne voidaan jakaa pienempiin kokonaisuuksiin käyttötarkoitusten ja sijaintien perusteella, kuten esimerkiksi anniskelu- ja ruokateltat, wc-alueet ja backstage-alueet omina kokonaisuuksinaan. Usein jako tapahtuu myös merkityksen ja koon perusteella, kuten suuremmat julkisivu- ja tilavalaisut sekä aiemmin mainitsemani kumppanitoteutukset ja muut itsenäiset kohteet. Kohdeluetteloon merkitään kohteessa käytettävä kalusto, kaapelit ja tarvikkeet, tarvittava työvoimaresurssi ja rakennusaikataulu sekä mahdollinen kirjallinen ohjeistus toteutusta varten. Sen liitteenä voi myös olla tarkempi suunnitelma toteutuksesta.

3.2 Aluevalaistuksen tuki- ja ripustusrakenteet

Valaisinten asennukseen tarvitaan usein jokin kiinnityspiste, tai valaisimet tulee pystyä nostamaan tietyn tason yläpuolelle, jotta ne ovat tarkoituksenmukaisesti käytettävissä. Tähän voidaan käyttää alueella kiinteästi olevia rakenteita, mutta ne eivät välttämättä sijaitse sopivissa paikoissa valaistuksen toteutuksen kannalta. Oman kokemukseni mukaan yleisimmät aluevalaistuksessa käytettävät valaisinten tuki- ja ripustusrakenteet ovat erilaiset trussirakenteet ja rakennustelineet. Näitä rakenteita suunnitellessa tulee ottaa huomioon mahdolliset yleisön ja huoltoliikenteen kulkureitit, pelastustiet ja muut turvallisuusasiat, kuten tuulikuormat. Varsinkin suuret, rakennustelineistä tehdyt kokonaisuuudet tilataan usein valmiiksi pystytettyinä niiden toimittajalta. Rakenteita pystyttäessä ja niissä työskennellessä on otettava erityisen tarkasti huomioon työturvallisuus, kuten putoamissuojaus ja nostotöiden turvallisuus.

3.3 Aluevalaistuksessa käytettävät valaisimet

Aluevalaistuksessa käytetään suurta määrää erilaisia valaisimia eri käyttötarkoituksiin. Työ- ja kulkuvalaistukseen käytetään omien kokemuksien mukaan usein led- tai halogeenityövalaisimia, valoketjuja eli hehkulamppuroikkaita sekä roikkalamppuiksi kutsuttuja käsivalaisimia. Nämä valaisintyypit ovat taloudellisia vuokra- ja hankintahinnoiltaan sekä nopeita asentaa. Niillä saadaan helposti toteutettua työ- ja kulkuvaloa laajalle alueelle, ja ne soveltuvat ulkokäyttöön. Näistä syistä ne ovat yleisimpiä aluevalaistuksessa käytettäviä valaisimia. Niiden lisäksi käytetään mm. erilaisia led-väripesureita, profiiliheittimiä ja liikkuvia heittimiä sekä monenlaisia muita valaisimia käyttötarkoituksesta riippuen. Valaisimet voivat olla joko staattisia tai dynaamisia. Staattisissa valaisimissa ei ole hallittavissa olevia ominaisuuksia, vaan ne ovat jatkuvasti päällä. Dynaamiset valaisimet, kuten esimerkiksi led-pesurit ja liikkuvat valaisimet ovat ohjattavissa valo-ohjaimella. Kumppanitoteutuksissa käytetään usein myös erilaisia led-nauhoja ja -listoja sekä muita led-valaisimia. Käytettävien valaisimien määrään ja tyyppiin vaikuttaa paljon se, millaisessa ympäristössä tapahtuma järjestetään.

Kaupunkimaisessa ympäristössä, jossa on paljon suoria, hyvin valoa heijastavia pintoja, voidaan mahdollisesti käyttää esimerkiksi väripesuihin pienempää määrää valaisimia kuin luonnollisemmassa ympäristössä vähemmän valoa heijastavia kohteita, kuten puita, valaistessa. Toisaalta kaupunkiolosuhteissa hajavalon määrä voi aiheuttaa ongelmia väripesujen toteutuksessa ja lisätä tarvittavan värivalotehon määrää.

Aluevalaistuksen osana voidaan käyttää myös alueen kiinteää valaistusta, kuten katuvaloja tai rakennusten ulkovaloja. Usein näiden valaisimien tuottamaa valoa myös muokataan käyttämällä värikalvoja niiden sävyn muuttamiseksi tai himmentämiseksi. Tällöin tulee ottaa huomioon valaisimen tyyppi. Purkauslamppuilla varustetut valaisimet polttavat värikalvon helposti puhki, tai ne voivat ylikuumentua ja rikkoutua, jos niihin käytetään liian tummia kalvoja.



Kuvio 7. Led-väripesureita aluevalaistuskäytössä Ruisrockissa (kuva: Antti Eronen 2017).

3.4 Aikataulutus

Toisin kuin yleisötapahtumien esiintymislavojen esitystekniikassa, aluevalaistuksessa toimitaan yhtä aikaa monen eri toimijan kanssa. Esiintymislavan ja sille tulevan muun tekniikan pystytys on suhteellisen selkeä kokonaisuus, jossa toimii suunnitellussa järjestyksessä korkeintaan muutama eri toimija. Muulla tapahtuma-alueella työskentelee yleensä suuri määrä eri tahoja tapahtuman oman tuotannon tekijöistä ruokamyymiin, aniskelusta telttafirmaan ja eri dekoraatiofirmoista wc-toimittajaan, joiden kaikkien toiminta ja aikataulut vaikuttavat aluevalon suunnitteluun ja toteutukseen.

Oman kokemukseni perusteella aluevalaistuksen rakentamisen ja purkamisen aikataulut riippuvat suurelta osin muun tapahtuman rakennusaikataulusta. Kiinteitä rakenteita, esimerkiksi katuvalotolppia, aitoja ja rakennuksia lukuun ottamatta aluevalaistus rakennetaan suurelta osin kiinni tapahtuman väliaikaisiin rakenteisiin, kuten telttoihin ja siirrettäviin aitoihin. Sama järjestys pätee myös valaistuksen purkamiseen tapahtuman jälkeen. Aluevalaistuksen kalusto täytyy saada purettua ennen kuin muita tapahtuman väliaikaisrakenteita aletaan purkaa. Varsinkin kesätapahtumissa aikataulu on usein tiukka, koska tapahtumissa käytettävät teltat ja muu väliaikainen infrastruktuuri ovat todennäköisesti olleet käytössä toisessa tapahtumassa edellisenä viikonloppuna ja siirtyvät seuraavaan

tapahtumaan heti, kun se on mahdollista. Aluevalaistuksen rakentaminen kannattaa siis aina aloittaa niistä kohteista, jotka eivät ole riippuvaisia muiden toimijoiden aikatauluista. Lisäksi aikataulua laatiessa tulee kiinnittää erityisistä huomioita kohteisiin, joissa aluevalaistuksen rakentaminen tapahtuu kahden eri toimijan työsuoritteiden välisenä aikana. Aikatauluihin tulee lähes aina odottamattomia muutoksia, ja siksi onkin hyvä varmistaa, että myös omassa aikataulussa on jouston varaa niin, että jokaiselle työntekijälle on jatkuvasti töitä rakentamisen ja purkamisen aikana.

3.5 Henkilökunta

Aikataulun laatimisen yhteydessä lasketaan myös työvoiman tarve. Aluevalaistuksen toteutuksessa tulee aina olla mukana esimies, joka vastaa kokonaisuuden hallinnasta ja aikataulussa pysymisestä. Kävijämäärältään suurimpien tapahtumien, kuten merkittävimpien kesäfestivaalien, tai muiden kalustomäärältään ja pinta-alaltaan laajojen tapahtumien aluevalaistustoteutuksissa kannattaa olla kahdesta kolmeen esimestä. Esimiehet eivät yleensä osallistu varsinaiseen toteuttavaan työhön vaan keskittyvät johtamaan työtä. Heillä tulee myös olla paras mahdollinen tieto tapahtuman teknisen suunnittelun yksityiskohdista ja kokonaisuudesta. Usein aluevalaistuksen tekninen suunnittelija toimii myös rakentamisen esimiestehtävissä.

Varsinaisten esimiesten lisäksi tarvitaan kokeneempia teknikoita toimimaan suurempien yksittäisten kohteiden pystytyksen esimiehinä. Nämä kohde-esimiehet vastaavat yksittäisten kohteiden pystytyksestä ja osallistuvat myös käytännön työhön. Lisäksi tarvitaan luonnollisesti teknistä henkilökuntaa aluevalaistuksen rakennustyöhön. Henkilöstöä palkatessa kannattaa varmistaa, että rakennukseen ja purkuun saadaan erilaisia tarpeellisia erikoistaitoja, kuten signaali- ja sähkötekniikkaa osaavia ja erilaisten koneiden käsittelyä hallitsevia henkilöitä, riippuen luonnollisesti kyseisen aluevalokokonaisuuden luonteesta. Aikataulu tulisi rakentaa niin, että työn määrä jakautuisi mahdollisimman tasaisesti eri rakennus- ja purkupäiville. Rakennuksen ja purun lisäksi henkilökuntaa tarvitaan usein myös varsinaisten tapahtumapäivien aikaiseen päivystykseen mahdollisten vikatilanteiden varalta ja esimerkiksi vaihtamaan rikkoutuneita polttimoita.

3.6 Logistiikka ja työkoneet

Omien kokemuksieni mukaan aluevalaistustoteutuksen logistisessa suunnittelussa tulee ottaa huomioon tarvittavan kaluston määrä, mahdollinen varastointikapasiteetti ja muu

tavaraliikenne alueella. Usein tapahtuma-alueella ei ole saatavilla riittävästi varastotilaa. Näissä tilanteissa voi olla hyvä käyttää vuokrattavaa puoliperävaunua, kuorma-autoa tai konttia, joka jää varasto- ja työtilaksi alueelle koko tapahtuman ajaksi. Kalustoa voi tulla myös eri ajankohtina muiden tapahtumien aikatauluista riippuen ja sitä voi tulla myös useilta eri toimittajilta. Myös rakentamisen ja purkamisen aikainen kaluston liikuttaminen tulee ottaa huomioon logistisessa suunnittelussa. Tapahtuma-alueet ovat usein suuria, ja tapahtuma-alueen sisäiset kuljetukset tulee ottaa huomioon kokonaisuudessa. Useissa tapahtumissa käytetään rakennusaikana mönkijöitä ja kevyitä perävaunuja pienemmän kaluston ja pakettiautoja suurempien tavaramäärien kuljettamiseen. Myös tyhjiä kuljetuslaatikoiden varastointi tai mahdollinen poiskuljettaminen tulee ottaa huomioon.

Aluevalaistuksen toteutus vaatii kuljetuskaluston lisäksi usein myös muita työkoneita. Kuorma-autojen ja rekkojen purkuun, betonipainojen siirtoon ja rakenteiden pystytykseen sekä kaluston nostoon käytetään trukkeja, pyöräkuormaajia ja kurottajia. Lisäksi valaisinten asennukseen ja suuntaukseen tarvitaan usein henkilönostimia, kuten ajettavia saksilava- ja nivelpuominostimia ja autonostureita. Työkoneet voivat olla yhteiskäytössä tapahtumaa järjestävän tahon kanssa tai tarkoitettuja vain aluevalaistuksesta vastaavan toimijan käyttöön riippuen siitä, kuinka paljon niille on tarvetta ja mitä asiakkaan kanssa on sovittu. Mikäli päädytään yhteiskäyttöön, on tärkeää, että työkoneresurssien käytöstä on sovittu tarkkaan, jottei pääse käymään niin, että työt seisovat soveltuvan koneen puuttamisen takia. Työkoneita varten tulee myös olla saatavilla osaavia henkilöitä niiden kuljettajiksi. Henkilönostimien ja kuormauskoneiden käyttöä sekä kaluston kuljetuksia suunnitellessa tulee ottaa huomioon koneiden ja kuljetuskaluston vaatima tila ja maaston kantavuus.

4 Sähköistys

Seuraavissa kahdessa luvussa käsittelen tapahtumasähköistystä ja valo-ohjausjärjestelmiä aluevalaistuksen näkökulmasta. Näiden kokonaisuuksien teknisestä luonteesta johtuen lähestymistapa asioihin on erilainen kuin kahdessa edeltävässä luvussa. Varsinkin sähköistykseen liittyy paljon lainsäädäntöä, määräyksiä ja turvallisuusnäkökulmia, joiden käsittelyn koen tarpeelliseksi opinnäytetyössäni.

Suurten ulkoyleisötapahtumien aluevalaistuksen toteutuksissa on kolme erityisen merkittävää sähköistuksen kannalta huomioon otettavaa asiaa. Suurten yleisötapahtumien

alueet ovat laajoja, joten sähkökaapeleiden pituudet on ehdottomasti otettava suunnittelussa huomioon. Lisäksi ulko-olosuhteiden takia on kiinnitettävä huomiota kosteussuojaukseen ja siihen, että käytettävä kalusto on soveltuu ulkokäyttöön. Lisäksi on otettava huomioon yleisötilaisuuksien erityisvaatimukset sähköjärjestelmän toteutukselle, kuten ohjeet kaapeleiden suojauksesta yleisöalueilla.

Vaikka aluevalaistuksen teknisen suunnittelijan työtehtäviin ei kuulu varsinainen sähkösuunnittelu, on hänellä oltava perustiedot ulkoyleisötapahtumien sähköjärjestelmistä, sähköturvallisuudesta ja suojausmenetelmistä pystyäkseen suunnittelemaan omaan vastuualueeseensa kuuluvien valaisinten ja laitteiden sähköistuksen ja kaapeloinnin. Esimerkiksi riittävien oikosulkuvirtojen varmistaminen ei kuulu aluevalaistuksen teknisen suunnittelijan työtehtäviin, vaan se on tapahtuman pienjänniteverkosta vastaavan toimijan vastuulla. Teknisen suunnittelijan on silti hyvä ymmärtää kaapelin pituuksien vaikutus sähköjärjestelmän toimintaan ja perusasiat oikosulkuvirran merkityksestä. Riittävän tietopohjan avulla voidaan varmistaa toimivan pienjänniteverkon ja aluevalaistuksen sähköjärjestelmän toteutus yhdessä pienjänniteverkon toimittajan kanssa.

4.1 Ulkoyleisötapahtumien sähköjärjestelmät

Festivaalien ja muiden ulkoyleisötapahtumien järjestämispaikat ovat yleensä puistoalueita tai muita vastaavia julkisia ulkotiloja. Osaan tapahtumakäytössä olevia alueita on rakennettu tapahtumakäyttöä varten kiinteä pienjänniteverkko omalla muuntamolla, mutta suuressa osassa tapahtumapaikkoja sellaista ei ole. Niissäkin paikoissa, joihin on rakennettu tapahtumakäyttöön soveltuva verkko, se ei yleensä kata koko tapahtuma-aluetta, ja sitä ei ole mitoitettu kattamaan koko tapahtuman sähkön tarvetta. Tästä johtuen suuren ulkoyleisötapahtuman toteutus edellyttää lähes aina tilapäisen pienjänniteverkon rakentamista. (Kotovuori 2010, 1.) Tapahtuman väliaikainen pienjänniteverkko on sähköjärjestelmä, jolla toteutetaan sähköenergian jakelu esiintymislavoille, aluevalaistukselle, ruoka- ja juomamyyntiin sekä kaikkiin muihin tarpeisiin (Kotovuori 2010, 2). Pienjännitteellä tarkoitetaan korkeintaan 1000 voltin vaihtojännitettä tai 1500 voltin tasajännitettä (SFS 600-1, 3). Tapahtumakäyttöön rakennetun tilapäisen pienjänniteverkon nimellisjännite on 230/400 V, kuten jakeluverkoissa yleensä (SFS 6000-8-801.312). Yleisötapahtuman pienjänniteverkon tehonlähteenä voi toimia kiinteän verkon muuntamossa oleva syöttö, moottorigeneraattori, näiden yhdistelmä tai useammasta moottorigeneraattorista muodostettu järjestelmä (Kotovuori 2010, 18–22).

4.1.1 Sähkötyö ja -turvallisuus sekä vastuualueet

Suurten ulkoyleisötapauhtumien tilapäisen pienjänniteverkon rakentamisesta ja toiminnasta vastaa pääsääntöisesti joko tapahtuman järjestäjän palkkaama pätevä henkilö tai alihankkijayritys. Väliaikaisen pienjänniteverkon rakentaminen on sähkötyötä, jolloin siitä vastaavalla toiminnanharjoittajalla tulee olla Sähköturvallisuuslain neljännen luvun 55 §:n mukaiset edellytykset, kuten esimerkiksi nimetty sähkötöiden johtaja (Sähköturvallisuuslaki 2016, luku 4, 55§). Sähkötöiksi ei kuitenkaan lasketa alle 50 voltin vaihtojännitteisiin tai alle 120 voltin tasajännitteisiin eli niin sanottuihin pienisjännitteisiin laitteisiin kohdistuvia sähkötöitä (Sähköturvallisuuslaki 2016, luku 4, 56§). Pienisjännitteitä käytetään usein esimerkiksi led-nauhoissa, -listoissa ja -pienvalaisimissa. Tapahtumasähköistyksessä tehtäviä tilapäisiä sähköasennuksia koskevat SFS 6000 -standardin osien 1–6 vaatimukset sekä erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset 7-704 ”Rakennustyömaat”, 7-711 ”Näyttelyt, esitykset ja näyttelyosastot” ja 7-740 ”Huvipuistojen, tivoliin ja sirkusten huvilaitteiden, myyntikojujen ja vastaavien tilapäiset asennukset”.

Tärkein sähköjärjestelmien turvallisuusasia on suojaus sähköiskulta. Suojaus voidaan toteuttaa kolmella eri tavalla. Perussuojauksella estetään ihmisiä joutumasta kosketuksiin jännitteellisten osien kanssa esimerkiksi koteloinnilla. Vikasuojauksella tarkoitetaan jännitteelle alttiiden osien suojamaadoitusta. Lisäsuojaus taas tarkoittaa suojalaitteen, kuten vikavirtasuojan käyttöä. (D1-2017, 78–85.) Toinen tärkeä suojausasia on ylivirtasuojaus eli suojaus ylikuormitukselta ja oikosululta. Ylivirtasuojaus toteutetaan yleisesti automaattijohdonsuojalla (D1-2017, 135–136).

Suojalaitteet voidaan jakaa kahteen ryhmään, johdonsuojiiin ja vikavirtasuojiin. Johdonsuojat (sulakkeet ja automaattijohdonsuojakatkaisijat) suojaavat sähköjärjestelmää ylikuormitukselta ja oikosuluilta. Johdonsuoja katkaisee jännitteen virtapiiristä sen nimellivirran ylityttyä. (Harsia 2008a.) Vikavirtasuojia mittaa vaihe- ja nollajohtimen välisen virran eroa ja katkaisee jännitteen sen nimellisarvon ylityttyä. 30 mA ja sitä pienemmän nimellisarvon vikavirtasuojat estävät hengenvaarallisen virran kulun ihmisen kehon läpi ja toimivat henkilösuojina, kun taas suuremmat vikavirtasuojat toimivat palosuojina. 100–200 mA:n sähköisku vaihtovirrasta voi aiheuttaa kuoleman, joten johdonsuojat eivät toimi henkilösuojina. (Harsia 2008b.)

Vikavirtasuojauksen käytöstä määrätään SFS 6000 -standardissa seuraavasti:

Vikavirtasuojan käyttö

Jokainen ryhmäjohto, joka syöttää

- valaistusta
- korkeintaan 32 A pistorasioita
- taipuisalla kaapelilla syötettyä siirrettävää enintään 32 A sähkölaitetta

on suojattava mitoitusominaisuuksiltaan enintään 30 mA vikavirtasuojalla.

HUOM. Lisäsuojauksen vaatimus johtuu lisääntyneestä kaapelien vaurioitumisen riskistä. (SFS 6000-7-740.415.1)

Suuri osa ulkoyleisötapahtumien aluevalaistuksesta tapahtuu luonnollisesti ulkona, joten kalusto on usein sään armoilla. Ulkotiloissa käytettävien kaapeleiden ja laitteiden tulee olla ulkokäyttöön soveltuvia, tai ne tulee suojata sääolosuhteilta. Laitteiden ja kaapeleiden soveltuvuus erilaisiin olosuhteisiin voidaan varmistaa IP-luokituksesta, joka kertoo laitteen suojauksen ulkoisia uhkia, kuten pölyä ja vettä, vastaan. Ulkokäyttöön tulevien laitteiden IP-luokituksen tulee olla vähintään IPX4 tai, jos laite on suojattu sateelta, IPX1 (D1-2017, 179).

Taulukko 1. IP-Luokitus, ensimmäinen numero (D1-2017, 175).

1. tunnus-numero	Suojaus vieraiden esineiden ja pölyn sisäänpääsystä
0	Suojaamaton
1	Suojaus halkaisijaltaan 50 mm tai suuremmilta objekteilta
2	Suojaus halkaisijaltaan 12,5 mm tai suuremmilta objekteilta
3	Suojaus halkaisijaltaan 2,5 mm tai suuremmilta objekteilta
4	Suojaus halkaisijaltaan 1 mm tai suuremmilta objekteilta
5	Pölysuojattu
6	Pölytiivis

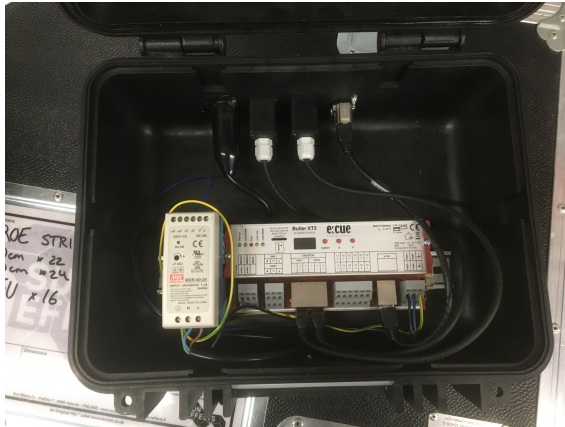
Taulukko 2. IP-luokitus, toinen numero (D1-2017, 175).

2. tunnus-numero	Suojaus veden sisäänpääsyn haitallisilta vaikutuksilta
0	Suojaamaton
1	Suojaus pystysuoraan tippuvalta vedeltä.
2	Suojaus pystysuoraan tippuvalta vedeltä (laitteen kallistus korkeintaan 15 ⁰)
3	Suojaus vesisateelta
4	Suojaus roiskuvalla vedeltä.
5	Suojaus vesisuihkulta
6	Suojaus voimakkaalta vesisuihkulta.
7	Suojaus lyhytaikaisesti upotettuna
8	Suojaus jatkuvasti upotettuna

Ulkokäyttöön soveltumattomien laitteiden ja valaisimien suojaukseen voidaan käyttää myös erilaisia suojausratkaisuja, kuten liikkuvien heittimien suojahuppuja ja -kupuja sekä erilaisia suojakoteloita. Kun laite on suojarakenteen sisällä, voidaan yhdistelmän katsoa olevan suojarakenteen IP-luokituksen mukainen kokonaisuus, kunhan suojausta käytetään valmistajan ohjeiden mukaan ja laitteet ovat yhteensopivia keskenään.



Kuvio 8. Suojakoteloon rakennettu E-Cue Butler XT2 -ohjainlaite (kuva: Antti Eronen 2020).



Kuvio 9. Sisäkuva suojakoteloon rakennetusta E-Cue Butler XT2 -ohjainlaitteesta (kuva: Antti Eronen 2020).

4.1.2 Kaapelit ja sähkökeskukset

Paras kaapelivaihtoehto aluevalaistuksen sähköjärjestelmissä on kumikaapeli, jonka johtimet ovat monisäikeisiä kuparijohtimia. Kumikaapeli on ominaisuuksiltaan väliaikaiseen käyttöön sopivaa ja taipuisaa, ja se kestää hyvin toistuvaa asennusta, purkua, kuljetusta ja varastointia. (Kotovuori 2010, 24.)

Johtojen valinta ja asentaminen

Jos kaapelilla on mekaanisen vahingoittumisen vaara, on käytettävä armeerattuja tai mekaanisia rasituksia vastaan suojattuja kaapeleita.

Lisätään:

Kaapeleiden on oltava poikkipinnaltaan vähintään 1,5 mm² kuparikaapeleita, jotka täyttävät standardisarjojen SFS-EN 50525-21 tai SFS-EN 50525-31 tyyppikohtaiset vaatimukset.

Taipuisia kaapeleita ei saa sijoittaa yleisölle avoimille alueille, ellei niitä ole suojattu mekaaniselta vahingoittumiselta. (SFS 6000-7-711.52)

Kumikaapeleiden liittiminä käytetään kolmivaihekaapeleissa SFS-EN 60309 -standardin mukaisia, yleisesti voimavirtaliittimiksi kutsuttuja 3L-N-PE-pistokytkimiä (kolmivaiheiset pistotulpat, jatkopistorasiat ja kojevastakkeet) ja yksivaihekaapeleissa SFS-EN 5610 -standardin mukaisia suojakoskettimellisiä pistokytkimiä (sukopistotulpat ja -jatkopistorasiat). Kyseiset liittimet ovat yleisesti käytössä yksivaiheisina 16 A:n virtaan asti ja kolmivaiheisina 16 A:n, 32 A:n, 63 A:n ja 125 A:n virroilla.

Aluevalokäyttöön soveltuvat esimerkiksi työmaakäyttöön tarkoitetut pistorasiakeskukset, mutta myös nimenomaan tapahtumatekniikan käyttöön suunniteltuja keskuksia on olemassa. Pistorasiakeskukset on yleensä varustettu 3-vaiheisella kojevastakkeella tai syöttökaapelin päässä olevalla 3-vaihepistotulpalla, ja niissä käytetään eri virroille mitoitettuja 1- ja 3-vaiheisia pistorasioita.

Keskusten valinnassa tulisi kiinnittää huomiota siihen, että useamman pistorasian vikavirtojen summautumisen välttämiseksi pistorasiaryhmien kannattaa olla mieluummin yksittäin vikavirtasuojattuja kuin yhdellä keskuskohtaisella vikavirtasuojalla varustettuja. Yleisin vikavirran aiheuttaja aluevalaistuksessa on kosteuden aiheuttama maasulku. Henkilösuojaukseen tarkoitetun vikavirtasuojan nimellistoimintavirta on 30 milliampeeria. Yhdellä vikavirtasuojalla varustetussa sähkökeskuksessa, jossa on esimerkiksi kuusi pistorasiaryhmää, voi yhdessä pistorasiaryhmässä olla keskimäärin vain alle 5 milliampeeria vikavirtaa ennen vikavirtasuojan toimintaa ja jännitteen katkeamista. Jos taas jokainen pistorasiaryhmä on suojattu ryhmäkohtaisella vikavirtasuojalla, voi jokaisessa ryhmässä olla 30 milliampeerin vikavirta ennen vikavirtasuojan toimintaa. Ryhmäkohtaisilla vikavirtasuojilla varustetussa keskuksessa on etuna myös se, että vikavirtasuojan toiminta tekee jännitteettömäksi vain vikavirran aiheuttaneen pistorasiaryhmän.

Keskusten ketjuttamista varten keskuksesta tulisi löytyä pistotulpan tai kojevastakkeen kanssa samankokoinen rinnankytketty suojaamaton pistorasia. 3x16 A -syötön kolmeen sukopistorasiaan jakava adapteri ei varsinaisesti ole sähkökeskus, mutta sitä käytetään yleisesti 3x16 A -alakeskusten sijasta, koska oikeantasoinen suojaus on syötössä jo olemassa.

4.2 Aluevalaistuksen sähköistyksen suunnittelu

Yleisötapahtuman varsinaisen sähkösuunnittelun tekee väliaikaisesta pienjänniteverkosta vastaava taho, mutta aluevalaistuksen teknisen suunnittelijan tehtäviin kuuluu suunnitella aluevalaistuksen sähköistys ja kaapelointi pienjänniteverkon toimittajan keskuksista tai sähköön syötöistä eteenpäin. Teknisen suunnittelijan tulee kuitenkin hallita omaan vastualueeseensa kuuluvan kaluston kuorman laskenta, kaapeloinnin suunnittelu ja tarvittavien kaapeleiden laskenta sekä perusasiat kolmivaihesähköstä, kuten vaiheiden tasaisen kuormituksen tärkeys.

Sähköistyksen suunnittelu alkaa aina käytettävän kaluston sähkön tarpeen ja sijainnin arvioinnista. Aluevalaistus kattaa usein laajan alueen, joten suunnittelu kannattaa toteuttaa jakamalla kokonaisuus selkeisiin pienempiin osiin esimerkiksi käyttötarkoituksen mukaan. Kun koko sähköntarve on tiedossa, käydään sähköntarpeet ja syöttöjen sijainnit läpi tapahtuman pienjänniteverkon rakentamisesta vastaavan tahon kanssa. Syöttöihin kannattaa aina tilata toimittajalta myös sähkökeskukset ja varmistaa, että kyseiset keskukset ovat vain aluevalaisun käytössä ja että käyttötarkoitus on merkitty keskukseen. Tämä selkeyttää toimintaa rakennusvaiheessa ja helpottaa mahdollista vianetsintää sekä varmistaa sen, etteivät muiden tapahtuman toimijoiden ongelmatilanteet pimennä heti aluevalaistusta tai aluevalaistuksen vikatilanteet haittaa muita toimijoita. Syöttö kannattaa aina tilata mahdollisimman lähelle sähköä tarvitsevaa kohdetta. Jos tämä ei ole helposti toteutettavissa kannattaa asiasta mainita pienjänniteverkon toimittajalle. Tällainen tilanne voi tulla vastaa esimerkiksi valaisinten sijoituspaikan ollessa korkealla katolla tai muuten haastavassa paikassa, mikä vaatii pitkän kaapelivedon syöttöpisteestä.

Sähköistysuunnitelman pohjana käytetään aluevalaistuskarttaa, jossa näkyvät myös kiinteät ja väliaikaiset rakenteet. Aluevalaistuksen sähkökuvaan merkitään selkeästi sähkösyötöt sähköjärjestelmän toimittajan kanssa sovitulla tavalla. Aluevalaistuksen sähkösyötöt kannattaa merkitä karttaan selvästi eri tavoin kuin muut sähkösyötöt. Sähkönsyötöistä kannattaa tehdä myös erillinen dokumentti, jossa näkyy selvästi jokainen syöttöpiste, syötön koko, arvioitu kokonaiskuorma, mahdollisesti syötön mukana toimitettava sähkökeskus sekä aikaväli, jolloin syötön on oltava aluevalaistuksen käytettävissä. Selkeä dokumentointi helpottaa yhteistyötä pienjänniteverkon toimittajan kanssa ja sillä voidaan varmistaa, että sähkösyötöt löytyvät oikean kokoisina oikeista paikoista.

Kaapeleiden määrän arviointi on tärkeä osa aluevalaistuksen teknistä suunnittelua. Valokartan selvyuden säilyttämiseksi kohdekohtaisia kaapeleita ei kuitenkaan piirretä ilman erityistä syytä aluevalokarttaan. Isommista ja monimutkaisemmista kohteista voidaan tehdä kohdekohtaisia suunnitelmia ja valokarttoja, joissa on valaisinten lisäksi merkittynä myös kaapelointi. Kaapeleiden määrät kannattaa arvioida kohteittain tai joissain tapauksissa alueittain tai kohderyhmittäin yhdessä käytettävien valaisimien ja muiden laitteiden kanssa. Kaluston kohde- ja aluekohtaiset listat helpottavat rakennusvaiheen työskentelyä.

4.2.1 Sähkön tarpeen ja sähkön syöttöjen arviointi

Tarvittavan sähkön määrä riippuu luonnollisesti käytettävien valaisimien ja muiden laitteiden kokonaisvirrankulutuksesta. Kulutus kannattaa laskea kohteittain ja pitää samalla mielessä sähkönsyöttöpisteiden sijainnit. Lineaarisen ja resistiivisen, kuten himmentämättömien hehkulamppujen ja halogeenivalaisimien, kuorman virrankulutus lasketaan yksinkertaisella laskukaavalla $I = P/U$, jossa I on virta ampeereina, P on laitteen teho watteina ja U jännite voltteina (Cadena 2014, 95). Resisttiivisessä ja lineaarisessa kuormassa jännite ja virta ovat ajallisesti samassa vaiheessa, eli niiden aaltomuoto nousee ja laskee samanaikaisesti (Cadena 2014, 90).

Aluevalaistuksessa käytetään kuitenkin yleisesti valaisimia ja laitteita, joiden kuorma on lineaarisen ja resistiivisen sijaan epälineaarinen ja reaktiivinen, kuten led-valaisimet, purkauspälylamput varustetut valaisimet ja himmennetyt halogeenivalaisimet sekä useiden muiden laitteiden virtalähteet. Tällaisessa kuormassa jännite ja virta eivät ole ajallisesti samassa vaiheessa (Cadena 2014, 90), joten osa virrasta ei niin sanotusti tee työtä, vaan tuottaa loistehoa. Tällöin laitteen virrankulutus on suurempi kuin tehon ja jännitteen perusteella pitäisi olla (Cadena 2014, 95). Reaktiivista ja epälineaarista kuormaa tuottavissa laitteissa, kuten purkauspälylamput ja led-valaisimet, vaihe-eroa on yleensä kompensoitu komponenteilla, mutta niiden kuormaa ei kuitenkaan ole mahdollista saada täysin lineaariseksi. Yleensä laitteesta löytyy tyyppikilpi, jossa on ilmoitettu tehokerroin. Reaktiivisen kuorman virrankulutus saadaan laskettua kaavalla $I = (P / U) / \cos \varphi$, jossa I on virta ampeereina, P on laitteen teho ja $\cos \varphi$ on laitteen tehokerroin (Cadena 2014, 95). Joissain, yleensä halvemmissä laitteissa reaktiivista kuormaa ei ole välttämättä kompensoitu lainkaan ja tehokerroin voi olla jopa 0,5, jolloin laitteen virrankulutus on kaksinkertainen suhteutettuna tehoon (Cadena 2014, 97).

Oman kokemukseni mukaan yksittäistä syöttöä mitoittaessa kannattaa jättää vaihekohdasta toleranssia noin 10 % vaiheen maksimikuormasta sekä noin 20 % kasvunvaraa lisätarvetta varten. Yksittäiseen syöttöön ei kannata koskaan laittaa sen sallimaa maksimikuormaa, koska aina on mahdollisuus, että siihen kytketään virheellisesti jotain muuta kuin on tarkoitettu. Kannattaa myös ottaa huomioon, että halogeenipolttimoilla ja hehkulamput on joskus taipumus palaa kirkkaampina ennen loppuun palamistaan johtuen hehkulangan osittaisesta oikosulusta, ja tällöin myös kyseisen laitteen virrankulutus nousee huomattavasti. Aina on myös mahdollista, että johonkin aluevalaistuksen pisteeseen

tarvitaan lisää valaistusta, ja sen toteuttaminen on helpompaa, kun mahdollinen lisätarve on otettu huomioon jo suunnitteluvaiheessa.

Mielestäni kannattaa aina yhden syötön koon ylittyessä sähköntarpeen suhteen siirtyä suoraan seuraavaan syöttökokoon. Esimerkiksi yksivaiheisen 16 ampeerin syötön jäädessä pieneksi kannattaa usein siirtyä suoraan 3x16 A -syöttöön kahden yksivaihesyötön sijaan varsinkin, jos syöttöpisteeseen tulee jonkin verran matkaa. Yksi kaapeli on kustannukseltaan yleensä kahta kaapelia edullisempi vaihtoehto. Sama pätee usein myös isompiin syöttöihin. Neljää 32 ampeerin vaihetta varten tarvitaan joka tapauksessa 63 ampeerin kolmivaihesyöttö. Näin saadaan myös helpommin pidettyä aluevalaistus kokonaan omissa sähkökeskuksissaan. Kolmivaiheiset syötöt tulee aina kuormittaa mahdollisimman tasaisesti kaikkien kolmen vaiheen kesken vinokuorman ja sen aiheuttamien ongelmien, kuten nollajohtimen ylikuormittumisen välttämiseksi (Kotovuori 2010, 41; Cadena 2014, 203-204).

4.2.2 Kaapelointireitit ja kaapeleiden suojaus

Kaapelointireitit kannattaa sijoittaa yleisöalueen ulkopuolelle aina, kun se on toteutuksen kannalta järkevää. Jos kaapelireitit kulkevat yleisöalueella, ne tulee suojata mekaaniselta rasitukselta esimerkiksi kaapelikouruilla (SFS 6000-7-711.52). Jos kaapelikouruja ei jostain syystä haluta tai voida käyttää, voidaan kaapelointireitti toteuttaa myös yläkautta trussirakenteen tai vaijerin varassa. Tällöin tulee huomioida tarkkaan kulkureitin leveys ja korkeus esimerkiksi tilanteissa, joissa reitti on hätäpoistumistie tai sillä on tapahtuman aukioloaikojen ulkopuolista huoltoajoa. Rakenne tulee myös suunnitella vakaaksi ja turvallisesti, eikä se saa missään tilanteessa liikkua paikaltaan.

Kaapeleiden maahan kaivaminen ei ole yleensä suositeltavaa, koska niiden esiin kaivaminen tapahtuman jälkeen erityisesti yleisön kulkureiteillä voi olla maan tiivistymisen takia todella vaikeaa. Jos muita reittejä ei ole käytettävissä, voidaan kaapelit putkittaa maahan (Lundahl 3.3.2020). Putkittaminen mahdollistaa kaapelin purun ja myös saman reitin käyttämisen uudestaan, kunhan putkeen jätetään kaapelin purun yhteydessä vetonaru. Putkien kaivaminen maan sisään voi vaatia paikasta riippuen tapahtuma-alueen haltijan luvan. Asiaankuuluva selvitystyö kannattaa tehdä hyvissä ajoin ennen tapahtumaa, ja yleensä myös putken asennus on hyvä tehdä ennen varsinaista tapahtuman rakennusaikaa tai sen alkuvaiheessa. Helpoin tapa toteuttaa putkitus on teettää se alihankintana esimerkiksi asiaan perehtyneellä kaivinkoneurakoitsijalla.

4.2.3 Kaapeleiden pituudet ja oikosulkuvirrat

Aluevalaistus kattaa usein koko tapahtuma-alueen, joka voi olla todella laaja. Kaapeleiden pituus voi helposti kasvaa liian pitkäksi. Liian pitkässä kaapelissa johdinmateriaalin sisäinen impedanssi nousee liian korkeaksi, jolloin johdinmateriaali alkaa vastustaa virran kulkua enemmän kuin kyseiselle kaapelille on tarkoitettu. Tämä vaikuttaa oikosulkuvirtaan ja aiheuttaa kaapelin ylikuumenemista ja jännitteen laskua. Riittävä oikosulkuvirta kannattaa varmistaa jo suunnitteluvaiheessa, koska toteutusvaiheessa sen korjaaminen voi olla hyvin työlästä (D1-2017, 94). Oikosulkuvirran tulee olla riittävän korkea, että se varmistaa johdonsuojan oikeanlaisen toiminnan oikosulkutilanteessa ennen kuin johdinmateriaali ylikuumenee ja aiheuttaa vaurioita kaapelille (Tiainen 2010).

Johdinmateriaali vastustaa aina jonkin verran virran kulkua riippuen sen rakenteesta ja poikkipinta-alasta (ks. taulukko 3). Aluevalaistuksessa käytettävissä kumikaapeleissa johdinaine on yleensä kuparia. Johdinmateriaalin sisäisen impedanssin noustessa yhä suurempi osa kaapelin läpi kulkevasta virrasta muuttuu lämpöenergiaksi. Tämä johtaa jännitteen laskuun kaapelin loppupäässä. Kun johdinmateriaali vastustaa virran kulkua liikaa, se alkaa vaikuttaa hyötykuorman kanssa sarjaan kytketyn lämpövastuksen tavoin ja jännite kaapelin päässä laskee. (Cadena 2014, 272)

Taulukko 3. Kuparikaapeleiden yksittäisen johtimen likimääräisiä impedansseja johdinlämpötilassa 80°C (D1-2017, 96)

Johtimen poikkipinta-ala	Impedanssi (Ω/km)
1,5 mm ²	14,620
2,5 mm ²	8,770
6 mm ²	3,660
16 mm ²	1,418
50 mm ²	0,489

Kaapelin johdinmateriaalin liian korkea sisäinen impedanssi aiheuttaa kuumenemista ja jännitteen laskua. Tämä voidaan estää pienentämällä syöttöön kytkettyä kuormaa, mutta kuorman pienentäminen ei kuitenkaan korjaa liian matalaksi laskeneen oikosulkuvirran ongelmaa. Vaihtoehtoina on joko vaihtaa johdonsuoja nimellisvirraltaan pienemmäksi tai kasvattaa kaapelin poikkipinta-alaa, jolloin kaapelin impedanssi pienenee ja hyötykuormaa voidaan käyttää enemmän.

Yleisötapauhtumissa usein käytettävissä valoketjuissa (ns. hehkulamppuroikassa) on kaapelissa tasavälein esimerkiksi e27-kantoja hehkulanka- tai led-lamppuja varten. Yksittäiset valoketjut voivat olla pituudeltaan muutamasta metristä useaan kymmeneen metriä, mutta niissä käytetään usein jatkopistorasioita, jolloin niitä voidaan yhdistää pitkiksi ketjuiksi. Näiden ketjujen yhteispituuden ei tule missään tapauksessa ylittää sataa metriä, ja ne on laskettava koko pituudeltaan kaapeleiksi kaapeloinnin oikosulkuvirtoja ja pituuksia arvioitaessa.

Oikosulkuvirralla on olemassa taulukon 4 mukaiset johdonsuojatyyppin minimiarvot kiinteitä sähköasennuksia varten. Väliaikaisia sähköjärjestelmiä ei ole säädelty yhtä tarkkaan kuin kiinteitä, mutta koska samat fysiikan lait koskevat molempia, kannattaa minimiarvoja aina noudattaa.

Taulukko 4. Pienimmät sallitut oikosulkuvirrat C-tyypin johdonsuojakatkaisijoille (D1-2017, 93)

Nimellisvirta A	Oikosulkuvirta vähintään A
6	60
10	100
13	130
16	160
20	200
25	250
32	320
50	500
63	630
80	800
125	1250

Yleispätevää sääntöä kaapelien pituuksiin ja siihen, milloin tulisi käyttää poikkipinta-alaltaan suurempaa kaapelia, ei ole olemassa johtuen siitä, että oikosulkuvirta ja virtapiirin kokonaisimpedanssi riippuvat aina kulloinkin käytössä olevan syötön impedanssista. 16 A:n C-tyypin automaattijohdonsuojakatkaisijan pienin hyväksyttävä oikosulkuvirta on 160 A, mutta riippuen pääkeskuksen sulakekoosta ja sen kokonaisimpedanssista voi oiko-

sulkuvirta olla jopa monikymmenkertainen. Suunnitellessani tapahtumien valaisun väliaikaisia sähköjärjestelmiä olen mitannut 16 ampeerin kolmivaihesyötöille pienimmillään 180 ampeerin ja suurimmillaan 2900 ampeerin oikosulkuvirtoja. Syötön oikosulkuvirran ollessa 180 ampeeria voidaan käyttää vain alle kymmenen metrin jatkojohtoa 2,5 mm²:n poikkipinta-alalla ilman, että oikosulkuvirta laskee liian alas 16 ampeerin c-tyyppin johdon-suojakatkaisijalle. 2900 ampeerin oikosulkuvirta puolestaan mahdollistaa yli 70 metriä pitkän poikkipinta-alaltaan 2,5 mm²:n jatkojohdon käyttämisen 16 ampeerin c-tyyppin johdonsuojakatkaisijan kanssa. Nimellisarvoltaan pienemmän johdonsuojakatkaisijan käyttäminen mahdollistaa pidemmät kaapelipituudet. Toinen vaihtoehto pidemmän siirtomatkan turvalliseen toteutukseen on käyttää poikkipinta-alaltaan suurempaa kaapelia, jolla on matalampi impedanssi, kuten taulukko 4 osoittaa.

Oikosulkuvirta voidaan laskea alla olevalla kaavalla, kunhan tiedetään kaavan muut tekijät. Yleensä kaikki muut tekijät ovat tiedossa tai ne voidaan päätellä, mutta impedanssi ennen suojalaitetta vaihtelee sähköön syötöstä riippuen. Kyseisen impedanssiarvon voi tarkistaa sähköjärjestelmän käyttöönottotarkastuspöytäkirjasta, mikäli kyseinen dokumentti on saatavilla. Muissa tapauksissa impedanssin ennen suojalaitetta voi saada selville vain mittaamalla. Pienjänniteverkon toiminnasta vastaavalla taholla on vastuu tapahtuman väliaikaisen pienjänniteverkon oikosulkuvirroista.

$$L = ([c \times U] / [\sqrt{3} \times I_k] - Z_v) / (2 \times z)$$

jossa

L	on johtopituus
c	on kerroin 0,95, joka ottaa huomioon jännitteenaleneman liittimissä, johdoissa, sulakkeissa, kytkimissä jne.
U	pääjännite (V)
I _k	on oikosulkuvirta, joka aiheuttaa automaattisen poiskytkennän vaaditussa ajassa
Z _v	on impedanssi ennen suojalaitetta
z	on suojattavan johtimen impedanssi (Ω/km)

Sallitun johtopituuden laskukaava (D1-2017, 96)

5 Signaali- ja ohjausjärjestelmät

Visuaalisessa aluevalaistuksessa käytetään yleisesti led-valaisimia väripesujen toteutukseen, profiilivalaisimia goboilla toteutettuja kuviointeja varten sekä muita mahdollisesti ohjausta tarvitsevia dynaamisia valaisimia. Näitä laitteita voidaan usein käyttää myös ilman ohjausta, mutta esimerkiksi värin vaihdot on helpompi toteuttaa ohjausjärjestelmän kanssa. Ulkoyleisötapah-tumien alueiden laajuus ja pitkät etäisyydet tuottavat haasteita signaalijärjestelmän toteutukselle. Visuaalisen valaistuksen toteuttaminen vaatii usein valaisimien sijoittelun eli puolille tapahtuma-alueita, ja varsinkin laajat yleisöalueet voivat muodostua ongelmaksi signaalijärjestelmiä suunnitellessa ja toteuttaessa. Esittelen tässä luvussa yleisimpiä valaistustekniikan ohjausjärjestelmiä ja niiden käyttöä aluevalaistuksen näkökulmasta.

5.1 Signaali- ja ohjausjärjestelmien laitetypit

Aluevalaistuksessa käytetään ohjattavien valaisimien lisäksi monenlaisia signaalin siirtoon liittyviä laitteita. Ohjausjärjestelmä vaatii toimiakseen aina valo-ohjaimen, joka kykenee tuottamaan DMX-signaalia tai on mahdollista kytkeä toimimaan ethernet-pohjaisessa valo-ohjausverkossa. Valo-ohjain voi olla pc-pohjainen, valo-ohjelmointiin soveltuvaa ohjelmaa käyttävä tietokone, valopöytä, dmx-tallennin tai vastaava itsenäinen ns. ”Stand-alone”-ohjain, johon voidaan tallentaa valotilanteita. Lisäksi voidaan käyttää ethernet-dmx-signaalimuuntimia, jotka muuttavat valo-ohjausverkon tietoliikenteen DMX-signaaliksi. Ohjainjärjestelmän lisäksi tarvitaan usein myös DMX-jakovahvistimia, joilla saadaan jaettua ja vahvistettua DMX-signaalia (Howell 2010, 39). Verkkopohjaisissa valo-ohjausjärjestelmissä käytetään verkkokytкимиä, joilla saadaan verkkolaitteet yhdistettyä toisiinsa (Howell 2013, 64).

5.2 Langalliset ohjausjärjestelmät

DMX512 on RS-485-standardiin perustuva valo-ohjaukseen tarkoitettu sarjaporttiväylä, joka toimii 250 kilobaudin nopeudella (Howell 2010, 28, 46). DMX512 on yleisin tapahtuma- ja teatterivalaistuksessa käytettävä ohjausstandardi. Yhteen syöttöön voidaan kytkeä jopa 32 laitetta, kaapelin pituus voi olla maksimissaan 300 metriä, ja yhdessä DMX-universumissa voi olla maksimissaan 512 8-bittistä osoitetta. DMX-signaalia, toisin kuin esimerkiksi ethernet-verkkoa, voidaan linkittää laitteesta toiseen. (Howell 2010, 26.)

Suurin osa käytössä olevista ohjattavista valaisimista käyttää DMX-signaalia. Sitä käytetään ohjaussignaalin jakamiseen valo-ohjaimelta tai joissain tapauksissa ethernet-dmx-signaali muuntimilta valaisimille ja muille ohjattaville laitteille.

Aluevalaistuksen näkökulmasta DMX on hyvin käyttökelpoinen ohjaussignaali. Se on hyvin toimiva ja luotettava sekä yleinen tapahtumateknisissä toteutuksissa. DMX ei vaadi ohjattavan laitteen osoitteen ja oikean käyttöprofiilin valinnan lisäksi muuta määrittelyä. DMX-järjestelmä on kustannustehokas toteuttaa, koska käytännössä kaikki ohjattavat valaisimet ovat sen kanssa yhteensopivia. DMX myös mahdollistaa aluevalaistuksessa tärkeät pitkät kaapelipituudet.

Ethernet-verkko on tiedonsiirtoon tarkoitettu osoitteellisen liikenteen pakettipohjainen protokolla (Howell 2013, 20, 107-109), joka on nopeudeltaan moninkertainen verrattuna DMX-väylään. Gigabit Ethernet -verkossa voidaan siirtää teoriassa 4000 DMX-universumia, mutta vähintään CAT5-kuparikaapelia käytettäessä ethernet-verkon kaapelin suositeltu enimmäispituus on vain sata metriä. Toisin kuin DMX, ethernet ei ole valaisimelta toiselle ketjutettavissa oleva protokolla, vaan verkoissa, joissa on enemmän kuin kaksi päätelaitetta, on käytettävä verkkokytkintä, ja jokaiselle päätelaitteelle on vedettävä oma kaapeli kytkimeltä. (Howell 2013, 38–39.) Valokuitumuunnosta käyttämällä voidaan siirtomatka päästä kymmenien kilometrien pituuteen riippuen kuidun tyypistä (Howell 2013, 142–143).

Merkittävä ethernet-verkkojen aluevalaistuskäyttöön vaikuttava tekijä on päätelaitteiden hinta verrattuna DMX-väylän laitteisiin. Harvat valaisimet ja muut valaistuksessa käytettävät ohjauslaitteet voidaan kytkeä suoraan ethernet-verkkoon, vaan tarvitaan lisäksi päätelaitteita, jotka muuntavat ethernet-verkon DMX-väyläksi. DMX-signaalin kuljettamiseen ethernet-verkon yli on useita eri vaihtoehtoja. Monilla valmistajilla on omat protokollansa, ja niiden lisäksi on olemassa yleisessä käytössä olevia protokollia, kuten esimerkiksi Art-Net ja sACN (Howell 2013 27-31). Aluevalaistuksessa tarvitaan harvoin laajaa ohjausjärjestelmää, joka mahdollistaa suuren tiedonsiirtomäärän. Suurissakin tapahtumissa laajojen järjestelmien ohjaukseen riittävät hyvin yhden DMX-syötön 512 kanaavaa.

Valokuitupohjaisen, pitkät siirtomatkat mahdollistavan ethernet-verkon rakentaminen aluevalaistuskäyttöön vaatii suuren määrän kalustoa, kuten kuitumuuntimilla varustettuja

verkkokytkimiä, ethernet-dmx-laitteita sekä tapahtumakäyttöön soveltuvaa valokuitukaapelia. Tällaisen verkon rakentaminen pelkkään aluevalaistuskäyttöön voi olla taloudellisesti mahdotonta. Joissain tapauksissa tapahtuma-alueella on olemassa valmis kuituverkko tai esimerkiksi tapahtuman maksuliikennettä varten rakennetaan väliaikainen verkko. Kaistan vuokraaminen valmiista verkosta voi olla halvempaa kuin laajan DMX-pohjaisen järjestelmän rakentaminen, jos kyseisen järjestelmän verkkokytkimet sijaitsevat aluevalon ohjausjärjestelmään sopivilla paikoilla. Tällainen verkko on myös langattomia ohjausjärjestelmiä varmempi toiminnaltaan. DMX:n vaatima tiedonsiirtokaista on niin pieni verrattuna esimerkiksi Gigabit ethernet -verkon kaistaan, että verkon kapasiteetti ei ole ongelma. Helpoin tapa toteuttaa valo-ohjausverkko tällaisessa tilanteessa on vuokrata olemassa olevaa verkkoa hallinnoivalta taholta virtuaaliverkko (VLAN, Virtual local area network), jolloin valo-ohjaus kulkee omassa verkossaan mutta samassa kaapeloinnissa muun verkon kanssa. Verkkopohjainen ohjausjärjestelmä vaatii aina erilliset ethernet-DMX-laitteet lähiverkkoliikenteen muuttamiseksi DMX-muotoon.

5.3 Langattomat ohjausjärjestelmät

Joissain tilanteissa valaisimet on välttämätöntä saada ohjaukseen, mutta kaapeloinnin toteutus ei ole mahdollista teknisistä tai taloudellisista syistä. Näissä tilanteissa on mahdollista käyttää langattomia ohjausjärjestelmiä.

Wi-Fi eli standardi IEEE802.11 mahdollistaa ethernet-verkon langattoman käytön. Myös langattomien verkkojen kanssa voidaan käyttää dmx-over-ethernet protokollia. Yleisimmät versiot toimivat 2,4 GHz:n ja 5 GHz:n taajuuskaistoilla. Langattoman verkon päätelaitteiden valmistajia on paljon, ja eri valmistajien tuotteet ovat useimmiten keskenään yhteensopivia (Howell 2013, 89-90). Wi-Fi-verkkoja käytettäessä kannattaa panostaa laitteiden laatuun ja käyttää ulkoisia, suuntaavia antennoja kaikissa langattomissa päätelaitteissa. Langattoman verkon päätelaitteiden lisäksi tarvitaan lähes aina lähiverkon tietoliikenteen dmx-signaaliksi muuttavia laitteita. Jos langattomia linkkejä joudutaan tekemään useampia, voi langaton DMX olla edullisempi vaihtoehto.

Markkinoilta löytyy useiden eri valmistajien laitteita DMX-signaalin langattomaan siirtoon. Niistä useimmat toimivat samalla 2,4 GHz:n kaistalla kuin Wi-Fi-verkot. Toisin kuin Wi-Fi-verkoissa, langattomien DMX-laitteiden valmistajilla on DMX-signaalin langattomaan

siirtoon omat protokollansa, eivätkä eri valmistajien tuotteet ole keskenään yhteensopivia (Henry 2019). Langattomasta DMX-signaalista on saatavilla vain vähän tietoa, joten käsittelen asiaa omien käytännön kokemusteni pohjalta.

Langattomat ohjausjärjestelmät ovat herkkiä ulkoisille häiriöille. Tietoliikenteen suuri määrä niiden käyttämällä taajuuskaistoilla voi merkittävästi häiritä tai jopa estää ohjausjärjestelmän toiminnan. Älypuhelimissa ja muissa mobiililaitteissa on Wi-Fi-yhteys, joka toimii samalla taajuuskaistalla kuin ohjauskäytössä olevat langattomat verkot ja langaton DMX. Suurissa ulkoyleisötapahtumissa lähes kaikilla tapahtuman asiakkaila on käytössään jokin mobiililaitte. Tapahtuman koosta riippuen mobiililaitteita voi olla tapahtuma-alueella jopa kymmeniä tuhansia. Suurimmissa tapahtumissa mobiililaitteet voivat tukkia kaistan niin, että langattomat ohjausjärjestelmät lopettavat toimintansa kokonaan.

Omien käytännön kokemusteni perusteella myös matkapuhelin- ja mobiilidataverkkojen tukiasemien läheisyys voi häiritä langattomien järjestelmien toimintaa ja jopa estää niiden toiminnan kokonaan. 2,4 GHz:n kaistalla toimivien laitteiden suurin sallittu lähetysteho on 100mW (STUK 2019), kun taas matkapuhelin- ja mobiilidataverkkojen tukiasemien lähetystehot voivat olla monikymmen- tai jopa tuhatkertaisia (STUK 2020). Vaikka matkapuhelin- ja mobiilidataverkot eivät toimi samalla kaistalla kuin langattoman verkon päätelaitteet, voi niiden tuottama signaali haitata merkittävästi tiedonsiirtoa langattoman verkon päätelaitteessa tai langattoman DMX-järjestelmän vastaanottimessa tai jopa estää tietoliikenteen kokonaan. Keskisuurissa tapahtumissa huolellisesti suunnitellut, suunta-antennein varustetut langattomat ohjausjärjestelmät ovat usein toimivia, mutta suurimmissa yleisötapahtumissa niiden toimintaan ei voi luottaa. Langattomalla ohjauksella käytettävien valaisimien rooli kokonaiskuvassa tulee suunnitella niin, että mahdollinen ohjaussignaalin menettäminen ei häiritse kokonaistoteutusta liikaa.

Olen havainnut langattomien DMX-järjestelmien parissa työskennellessäni, että niillä on taipumus aiheuttaa pientä pätkimistä DMX-signaaliin varsinkin langattoman signaalin voimakkuuden laskiessa. Ohjaussignaali menee edelleen perille laitteeseen, mutta pitkissä valotilanteiden välisissä ristihäivytyksissä ja liikkuvien valaisimien ohjauksessa voi esiintyä häiritsevää katkonaisuutta. Tästä syystä langattomia verkkoja ei kannata käyttää liikkuvien valojen ohjaamiseen, ja valotilanteiden väliset ristihäivytykset kannattaa pitää lyhyinä, kun niitä käytetään muiden valaisimien kanssa.

Ohjauksessa voidaan myös käyttää saarekkeittain toteutetun ja langattoman järjestelmän yhdistelmää, jossa jokainen saareke toimii itsenäisesti omalla ohjauksellaan, mutta synkronoidusti. Tällaiseen järjestelmä voidaan toteuttaa esimerkiksi niin, että jokainen valo-ohjain toimii omalla kellollaan, ja valotilanteiden vaihto tehdään ohjaimen kalenteri-toiminnoilla. Näin toteutetussa järjestelmässä voi esiintyä pieniä aikaeroja eri saarekkeiden ohjauksessa, mutta se on yleensä kokonaisuuden kannalta hyväksyttävää. (Lundahl 3.3.2020.)

5.4 Signaalijärjestelmän suunnittelu

Aluevalaistuksen järjestelmää suunnitellessa tulee ensimmäisenä tehdä päätös järjestelmän toteutustavasta. Halutaanko väripesurit ja muut dynaamiset valaisimet ohjaukseen, vai riittävätkö niiden sisäiset ohjaustoiminnot haluttuun toteutukseen. Jos valaisimet halutaan ohjaukseen, on selvitettävä ovatko ne kaikki järkevän matkan päässä toisistaan ja samalla alueella niin, että ne ovat helposti kytkettävissä toisiinsa langallisella järjestelmällä. Jos näin ei ole, tulee päättää onko niiden kaikkien olla ohjattavissa yhtä aikaa, vai voidaanko ohjaus toteuttaa saarekkeittain. Jos signaalijärjestelmää ei ole mahdollista toteuttaa yhtenäisenä langallisena järjestelmänä, mutta kaikki valaisimet halutaan samaan ohjaukseen, tulee selvittää mahdollistavatko kävijämäärä ja vallitsevat muut olosuhteet langattoman ohjausjärjestelmän käytön. Jos tapahtuma-alueella on käytettävissä oleva kiinteä tai väliaikainen verkkojärjestelmä joka soveltuu valo-ohjaukseen ja on riittävän laaja, kannattaa se ehdottomasti ottaa käyttöön.

Yksi tärkeimmistä asioista suuren, yhtenäisen ja laajalle alueelle levittyvän langallisen ohjausjärjestelmän suunnittelussa ovat kaapelointireitit. Suorin reitti ei usein ole käytettävissä johtuen yleisölle varatuista alueista. Yksittäistä ohjauskaapelia varten ei kannata tehdä pitkää kaapelikourua tai kaapeliylitystä, mutta jos lähettyvillä on muita suunniteltuja kaapelireittejä, kannattaa ne hyödyntää. Vaikka standardin mukaan yhteen DMX-syöttöön voi kytkeä jopa 32 laitetta, kannattaa ohjattavat laitteet jakaa ryhmittäin DMX-jakovahvistimen eri lähtöjen taakse, jottei yhden kaapelin tai ohjattavan laitteen rikkoutuminen estä koko järjestelmän toimintaa.

Langallisen DMX-järjestelmän käyttö aluevalaistuksen ohjaukseen on suhteellisen edullista ja se mahdollistaa melko pitkät siirtomatkat kaapelilla. Usein käytetään myös yhdistelmää, jossa osa ohjauksesta on toteutettu langattomasti ja osa langallisesti. Langatto-

mallalla DMX-linkillä voidaan esimerkiksi korvata ylipitkä tai vaikeasti toteutettava kaapelointi. Langattoman järjestelmän suunnittelussa tulee ottaa huomioon tapahtumapaikan, vallitsevien olosuhteiden ja kävijämäärän lisäksi myös siirtomatkat. Langattoman DMX:n siirtomatkat ovat vastaavia kuin Wi-Fi-verkoissa eli pisimmillään parisataa metriä (STUK 2019). Siirtomatkaa voidaan hieman kasvattaa suunta-antenneilla. Toinen tärkeä asia langattoman järjestelmän suunnittelussa on antennien sijoittelu. Mahdollisimman pitkän siirtomatkan ja hyvän signaalitason varmistamiseksi lähettimen ja vastaanottimien antennien tulee aina olla näköetäisyydellä toisistaan. Antennit kannattaa myös nostaa ylös maanpinnan tasolta ihmisten ja ajoneuvojen muodostamien esteiden takia.



Kuvio 10. Langattoman DMX-vastaanottimen suunta-antenni käytössä (kuva: Antti Eronen 2018)

6 Yhteenveto

Aluevalaistus poikkeaa toteutukseltaan muusta tapahtumatekniikasta monin tavoin, ja sen mittakaava voi vaihdella todella paljon. Suurten ulkoyleisötapahtumien olosuhteet, kuten sää, muut tapahtuman toteutuksen parissa työskentelevät toimijat ja tapahtuman yleinen rakennusaikataulu vaikuttavat aluevalaistuksen toteutukseen paljon enemmän

kuin esimerkiksi esiintymislavojen tapahtumatekniikkaan. Oman haasteensa kokonaisuuteen tuo vielä se, että usein aluevalaistus kattaa hyvin laajan alueen. Keskikokoisen kesäfestivaalin yleisöalueen pinta-ala on usein vähintään kymmeniä tuhansia neliömetrejä, ja isommissa tapahtumissa alueen päästä päähän voi olla kilometrin pituinen matka.

Olosuhteet ja tapahtuma-alueen suuruus tuovat mukanaan haasteita, joiden hallinta vaatii huolellista ennakkosuunnittelua. Kulku- ja työvalaistuksen suunnittelu ja sen riittävyyden varmistaminen sekä tunnelmaa luovien visuaalisten tehokeinojen suunnittelu ovat luonnollisesti tärkeitä, mutta yhtä tärkeää on niiden toteuttavuuden ja toiminnan varmistaminen.

Aluevalaistuksen tekninen suunnittelu pitää sisällään laajan kokonaisuuden eri työvaiheita. Teknisen suunnittelijan tulee osata valaistustekniikan perusasioiden lisäksi laajasti sähkö- ja signaalitekniikkaa, aikataulutusta, logistiikkaa sekä kokonaisuuden hallintaa. Näiden taitojen lisäksi onnistunut aluevalaistuksen tekninen suunnittelu vaatii jatkuvaa vuoropuhelua valosuunnittelijan ja asiakkaan tai asiakkaiden edustajien kanssa. Seuraavassa alaluvussa kokoan yhteen aluevalaistuksen teknisen suunnittelun tärkeimmät asiat.

6.1 Aluevalaistuksen tärkeimmät työvaiheet ja huomioon otettavat asiat

Tuotantos suunnittelu

Aluevalaistuksen tuotantos suunnittelussa on otettava huomioon tapahtuman järjestämisaika- ja paikka, tapahtuma-alueen laajuus ja sen ympäristö. Asiakkaan kanssa tulee selvittää valaistuksen kohteet ja valaistavan alueen laajuus sekä taloudelliset raamit toteutukselle. Tärkeää on myös asiakkaan näkemysten kartoittaminen, vastuunjako asiakkaan kanssa ja tapahtuman visuaalisen ilmeen suuntaviivojen määrittäminen, visuaalisen ohjeistuksen laatiminen sekä visuaalisen kokonaisuuden hallinta.

Funktionaalinen ja visuaalinen valaisu

Aluevalaistuksen tärkeimmät tavoitteet ovat turvallisuus ja viihtyvyys. Sekä yleisölle että henkilökunnalle tulee varmistaa riittävä työskentely- ja kulkuvalaistus. Suunnittelussa on otettava huomioon aluevalaistukseen vaikuttavat asiat, kuten tapahtuma-alueen ulkopuolelta vuotava valo ja ympäristön luonne.

Tekninen suunnittelu

Teknisen suunnittelijan työtehtäviin vaikuttaa visuaalisen suunnittelun ja teknisen suunnittelun välinen raja. Yhteistyö ja jatkuva kommunikaatio teknisen suunnittelijan, visuaalisen suunnittelijan ja asiakkaan kesken on onnistuneen suunnittelun kannalta välttämätöntä. Lisäksi on otettava huomioon muiden toimijoiden vaikutus työskentelyyn. Teknisen suunnittelijan tehtäviin kuuluvat yleensä valokartan laatiminen, tuki- ja ripustusrakenteiden suunnittelu, aikataulutus, henkilökunnan määrän arviointi, logistiikan suunnittelu ja työkoneiden tarpeen arviointi.

Sähköistys

Tapahtuman väliaikaisen pienjänniteverkon toiminnasta vastaavan tahon ja aluevalaistuksen toteuttavan tahon vastuualueiden on oltava selviä molemmille osapuolille. Sähköistystä suunnitellessa on erittäin tärkeää ottaa huomioon yleiset sähköturvallisuusasiat eli suojaus sähköiskulta, ylivirralla ja vikavirralla. Lisäksi tulee varmistaa laitteiden soveltuvuus ulkokäyttöön, suunnitella kaapelointi, kaapeleiden suojaus ja käytettävät sähkökeskukset. Sähköistystä suunnitellessa lasketaan myös sähkön tarve ja kaapeleiden määrä. Lisäksi on tärkeää ottaa huomioon kaapeleiden pituudet ja riittävät oikosulkuvirrat.

Signaali- ja ohjausjärjestelmät

Ohjausjärjestelmän toteutustapaan vaikuttaa luonnollisesti alueen laajuus ja muoto sekä käytettävien valaisimien määrä ja sijainti. Yleensä käytetään pelkästään DMX-pohjaista järjestelmää, mutta joissain tapauksissa osittain verkkopohjainen ohjaus voi olla parempi vaihtoehto. Langallisesti toteutettava ohjausjärjestelmä voidaan rakentaa joko keskiteykiksi tai hajautetuksi, jos visuaalinen toteutus mahdollistaa sen. Tapahtuman kävijämäärä ja sijainti vaikuttavat siihen, voidaanko ohjaukseen käyttää langattomia järjestelmiä. Langattomien järjestelmien rajoitteet ja haasteet tulee ottaa huomioon kävijämäärältään suurissa tapahtumissa.

6.2 Loppusanat ja kiitokset

Opinnäytetyön tekeminen on antanut minulle mahdollisuuden terävöittää omaa ammatitaitoani ja kerryttää teoreettista pohjaa osaamiselleni. Se on myös hyvässä mielessä

pakottanut etsimään perusteluita ja lähteitä asioille ja näkemyksille, jotka olen jo käytännön kautta havainnut oikeiksi. Toivon, että aluevalaistuksesta tekemäni tutkimus on hyödyksi niille, jotka toimivat sen parissa joko teknisen suunnittelijan roolissa tai muissa työtehtävissä.

Haluaisin lopuksi kiittää seuraavia henkilöitä, jotka ovat vaikuttaneet opinnäytetyöni valmistumiseen ratkaisevasti.

Opinnäytetyöni ohjaaja ja tarkastaja Mikko Pirinen, jonka kommentit ja ajatukset ovat auttaneet ratkaisevasti kirjoitustyössäni.

Lauri Lundahl, jonka kommentit opinnäytetyöstäni auttoivat hiomaan lopputulosta ja jonka asiantuntijahaastattelu auttoi minua itselleni vieraampiin suunnittelutyön osiin perehtymisessä.

Opinnäytetyöni toinen tarkastaja Tuomas Kotovuori, joka suositteli sopivia lähdeteoksia opinnäytetyöhöni ja jonka diplomityötä olen käyttänyt yhtenä lähdeteoksista.

Marko Lavander, joka on toiminut sähköasioissa esimiehenäni ja mentorinani sekä tarjonnut minulle laajasti tukea ja tietoa sähköasioista.

Oman vuosikurssini (valo- ja äänitarkkailuluokka KXH18S2) opiskelukaverit, jotka ovat tarjonneet opiskelun aikana todella paljon uusia näkökulmia, keskustelua ja tukea.

Erityiskiitos puolisololleni Hennalle tärkeästä tuesta ja avusta opinnäytetyöni kirjoitus- ja kieliasun kanssa.

Lähteet

Cadena, Richard 2014: Electricity for entertainment electrician and technician. Burlington: Focal Press

Harsia, Pirkko 2008a: Vikavirtasuojat. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1204792797383/1210594480264/1210594518400/1210595439547.html>> AMK-Verkosto 2008 (3.3.2019)

Harsia, Pirkko 2008b: Johdonsuojakatkaisijat. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1204792797383/1210594480264/1210594509783/1210594818536.html>> AMK-Verkosto 2008 (3.3.2019)

Helsingin kaupunki, Rakennusvalvontavirasto, 2010: Helsingin kaupungin rakennusjärjestys. <<https://www.hel.fi/static/rakvv/Rakennusjarjestys.pdf>> (20.4.2020)

Helsingin kaupungin rakennusvirasto, 2017: Helsingin kaupungin ulkovalaistuksen suunnitteluohje.

Henry, David 2019: Should I Use Wireless DMX? The Complete Guide to Running Data to Your Lights Wirelessly. <<https://www.learnstagelighting.com/should-i-use-wireless-dmx-the-complete-guide-to-running-data-to-your-lights-wirelessly/>> Learn Stage Lighting Labs 2019 (14.4.2020)

Howell, Wayne 2010. Control Freak, A real world guide to DMX512 and Remote Device management Cambridge: Entertainment Technology Press Ltd

Howell, Wayne 2013. Rock Solid Ethernet. Cambridge: Entertainment Technology Press Ltd

Kotovuori, Tuomas 2010: Esityksien ja yleisötapahotumien pienjänniteverkko. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, sähköenergiatekniikan laitos. Luettavissa osoitteessa <<http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201007051220>>

Säteilyturvakeskus 2019: Langaton lähiverkko. Kodin ja toimiston säteilevät laitteet <<https://www.stuk.fi/aiheet/kodin-ja-toimiston-sateilevat-laitteet/langaton-lahiverkko>> STUK 2019 (20.2.2020)

Säteilyturvakeskus 2020: Matkapuhelinverkon toiminta ja tukiasemat. Matkapuhelimet ja tukiasemat <<https://www.stuk.fi/aiheet/matkapuhelimet-ja-tukiasemat/matkapuhelin-verkko/matkapuhelinverkon-toiminta-ja-tukiasemat>> STUK 2020 (20.2.2020)

Sähköturvallisuuslaki <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161135#L4P67>> Oikeusministeriö 2016 (1.4.2020)

SFS 5610 Kotitalouksiin ja vastaaviin käyttöihin tarkoitetut pistokytkimet. Osa 1: Yleiset vaatimukset. 2015. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

SFS-EN 60309-1 Teollisuuskäyttöön tarkoitetut voimapistokytkimet. Osa 1. Yleiset vaatimukset. 2000. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

Julkaisut ja palvelut. Usein kysyttyä. <https://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/usein_kysyttya> Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2020 (3.5.2020)

Tiainen, Esa 2010: Vikasuojauksen ja oikosulkusuojauksen erot
<https://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/sahkotekniikka/fi_FI/vika-ja_oikosulkusuojaus/> Sähköala-lehti 2010 (20.4.2020)

D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL Ry. Espoo: Sähköinfo Oy

SFS-Käsikirja 600-1 Pienjännitesähköasennukset. Osa 1. 2017. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

Haastattelut

Lundahl, Lauri. Valosuunnittelija. Freelancer. Haastattelu: 3.3.2020