

Valaistussuunnittelun kehittäminen

Heikki Lamula

Opinnäytetyö

Toukokuu 2017

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Lamula, Heikki	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2017
	Sivumäärä 84	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Valaistussuunnittelun kehittäminen		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (amk), energiatekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Vesa Hytönen, Marjukka Nuutinen		
Toimeksiantaja(t) Valoa design Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Valaistussuunnittelun rooli on kasvanut valaisimien kehittyessä nopeaan tahtiin. Valaistuksen energiatehokkuutta mitataan valaisimen energiatehokkuuden kautta. Valoa Design Oy halusi selvittää, voitaisiinko uudella valaistussuunnittelumallilla suunnitella ihmiselle miellyttävä valaistus energiatehokkaammin. Uusi valaistussuunnittelumalli pohjautui katsottavaan kohteeseen, eli periaatteena oli valaista ne kohteet, joita ihminen katsoo.</p> <p>Tavoitteena oli tutkia, voidaanko valaistusta kohdentamalla ja valaistavia kohteita priorisoimalla vähentää valaisimien määrää, ja saavuttaa siten valaistus joka on sekä energiatehokas että ihmiselle sopiva. Tehtävänä oli mallintaa kaksi eri valaistuskohdetta ja tehdä niihin valaistussuunnitelmia. Valaistuskohdet olivat katutila ja myymälätila. Valaistuskohteisiin suunniteltiin ja mallinnettiin kaksi vaihtoehtoista valaistussuunnitelmaa. Ensimmäisessä valaistussuunnitelmassa pyrittiin suunnittelemaan valaistuskohteelle mahdollisimman tyyppillinen ja perinteinen valaistus. Toisessa valaistussuunnitelmassa puolestaan pyrittiin kartoittamaan ja priorisoimaan valaistavan tilan valaistusta vaatineet kohteet, jonka perusteella tehtiin kehitysehdotuksia. Mallintamisen jälkeen valaistussuunnitelmia vertailtiin, mitä seurasi johtopäätökset.</p> <p>Valaistussuunnittelusta ja valaisimista kerättiin tietoa kirjallisuudesta ja internetistä. Lisäksi hyödynnettiin Valoa Design Oy:n henkilökunnan kokemuksia. Tutkimuksen pohjana käytettiin valaistussuunnittelun standardeja. Mallinnuksessa käytettiin DIALux- ohjelmistoa.</p> <p>Lopputuloksena saatiin molempiin tiloihin valaistussuunnitelma sekä valaistussuunnitelman kehitysehdotus. Johtopäätösten mukaan valaistussuunnittelulla voidaan saavuttaa energiansäästöä vähentämättä ihmisen toimintakykyä. Lisäksi todetaan, että valaistava tila vaikuttaa energiansäästöpotentiaaliin. Toimeksiantaja pystyy käyttämään tutkimustuloksia liiketoiminnassaan.</p>		
Avainsanat (asiasanat)		
Valaistus, valaistussuunnittelu, DIALux Evo		
Muut tiedot		

Author(s) Lamula, Heikki	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2017 Language of publication: Finnish
	Number of pages 84	Permission for web publication: x
Title of publication Development of lighting design		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Hytönen Vesa, Nuutinen Marjukka		
Assigned by Valoa Design Oy		
Abstract <p>As light fixtures rapidly advance the role of lighting design has grown. The energy efficiency of light fixtures is measured by the amount of energy they consume. Valoa Design Oy wanted to find out whether it was possible to design a pleasant lighting for people by using the new lighting design model. This new lighting design model is based on the object that is viewed, which means the objects people look at are illuminated.</p> <p>The aim of this study was to inspect if by using focused lighting and by prioritizing the illuminated objects the number of light fixtures could be reduced and an energy efficient lighting that is pleasant for people could be achieved. The task was to model two different lighting spaces and to create lighting schemes for them. The lighting spaces were a street space and a store space. Two lighting schemes were created for the lighting spaces. In the first lighting scheme, the aim was to create a design that was as typical as possible to the lighting space. In the second lighting scheme, the lighting of the objects in the space were planned for and prioritized, and developing suggestions were made. After the schemes were made, they were compared and conclusions were made. Information of lighting design and light fixtures was gathered from literature, from the internet, and from experiences of Valoa Design Oy. The standards of lighting design were used as a basis of this study. DIALux software was used for modeling.</p> <p>As a result, a lighting scheme was created for both spaces, as well as developmental suggestions for the lighting schemes. The conclusion was that with lighting design, saving energy is possible without reducing human performance. It was also noted that the lighting space affects energy saving potential. The client can use the results of this study in their business.</p>		
Keywords/tags (subjects) Lighting, lighting design, DIALux Evo		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto.....	6
1.1	Opinnäytetyön tausta.....	6
1.2	Opinnäytetyön tavoitteet.....	6
1.3	Työn toteuttaminen ja aineisto	7
2	Valaistuksen perusteita	8
2.1	Valon historia.....	8
2.2	Valaistuksen historia.....	9
2.3	Valaistussuunnittelun historia	10
2.3.1	Valaistussuunnittelija Richard Kelly (1910-1977)	11
2.3.2	Valaistussuunnittelun kehitys	13
3	Valaistussuunnittelu	14
3.1	DIALux Evo -valaistussuunnitteluohjelmisto	14
3.2	Valotekniset määritelmät ja yksiköt	15
3.2.1	Säteily, värivaikutelma ja värielämpötila	15
3.2.2	Valovirta, valovoima ja valaistusvoimakkuus.....	16
3.2.3	Luminanssi, heijastuminen ja häikäisy	17
3.3	Valaistuksen määrälliset ja laatuvaatimukset	19
3.3.1	Ulkotyöalueet	19
3.3.2	Tie- ja katuvalaistus	20
3.3.3	Sisävalaistus	22
3.3.4	Valosaaste.....	23
3.4	Taloudellisuus ja energiankäyttö.....	24
3.4.1	Investointi- ja rakennuskustannukset.....	24
3.4.2	Käyttö- ja ylläpitokustannukset	24
3.4.3	Energiatehokkuus	26
3.5	Valaistuksen ohjaus	27

4	Valaistussuunnittelun kehittäminen	28
5	Katuvalaistuksen valaistussuunnittelun kehittäminen	29
5.1	Katualue.....	29
5.2	Katuvalaistuksen valaisimet	31
5.2.1	iGuzzini MaxiWoody Compact BU98	32
5.2.2	iGuzzini Archilede HP	34
5.2.3	iGuzzini iPro BK20	36
5.3	Katuvalaistuksen perinteinen valaistustapa	38
5.4	Katuvalaistuksen perinteinen valaistustapa: tapaus 1	39
5.4.1	Valaistussuunnitelma.....	39
5.4.2	Energiankäyttö ja kustannukset.....	40
5.5	Katuvalaistuksen perinteinen valaistustapa: tapaus 2	42
5.5.1	Valaistussuunnitelma.....	42
5.5.2	Energiankäyttö ja kustannukset.....	44
5.6	Katuvalaistuksen kehitysehdotus	45
5.6.1	Kehitysehdotuksen valaistussuunnitelma.....	45
5.6.2	Energiankäyttö ja kustannukset.....	47
5.7	Katuvalaistuksen tulokset.....	48
6	Myymätilavaalaistuksen kehittäminen	51
6.1	Myymätilavaalaistuksen valaisimet	54
6.1.1	Yleisvalaistuksen valaisin Tino gen2 TN2254WBCED	55
6.1.2	Kohdevalaisun valaisin Tino gen2 TN2234MBCED.....	57
6.2	Myymätilavaalaistuksen ensimmäinen valaistussuunnitelma.....	58
6.2.1	Valaistussuunnitelma.....	59
6.2.2	Energiankäyttö ja kustannukset.....	62
6.3	Myymätilavaalaistuksen toinen valaistussuunnitelma	63
6.3.1	Valaistussuunnitelma.....	64

6.3.2	Energiankäyttö ja kustannukset.....	67
6.4	Myymäälävalaistuksen tulokset	68
7	Pohdinta	71
7.1	Tuloksien arviointi	71
7.1.1	Katuvalaistuksen tuloksien arviointi	72
7.1.2	Myymäälävalaistuksen tuloksien arviointi.....	72
7.2	Lopuksi.....	73
	Lähteet.....	74
	Liitteet	77
	Liite 1. Katujen valaistusluokat taajamassa	
	Liite 2. Katuvalaistuksen perinteinen valaistustapa: tapaus 1	
	Liite 3. Katuvalaistuksen perinteinen valaistustapa: tapaus 2	
	Liite 4. Katuvalaistuksen valaistussuunnitelman kehitysehdotus	
	Liite 5. Katuvalaistuksen valaistussuunnitelmien katunäkymät	

Kuviot

Kuvio 1.	Valaiseva katto	12
Kuvio 2.	Valovoima candela	16
Kuvio 3.	Huoltojakso.....	25
Kuvio 4.	Energiatehokas valaistus	26
Kuvio 5.	Katupiirustus.....	29
Kuvio 6.	Katunäkymä.....	30
Kuvio 7.	MaxiWoody Compact BU98	32
Kuvio 8.	MaxiWoody Compact BU98 valonjakokäyrä	33
Kuvio 9.	Archilede HP	34
Kuvio 10.	Valaisimen Archilede HP ST1.0 valonjakokäyrä	36
Kuvio 11.	Katuvalaistuksen valaisin iGuzzini iPro BK20	37
Kuvio 12.	Valaisimen iPro BK20 valonjakokäyrä.....	38

Kuvio 13. Katunäkymä, tapaus 1	40
Kuvio 14. Katunäkymä tapaus 2	43
Kuvio 15. Kehitysehdotuksen katunäkymä	46
Kuvio 16. Myymäläpiirustus	53
Kuvio 17. Myymälänäkymä	54
Kuvio 18. Tino gen2	55
Kuvio 19. Valonjakokäyrä TN2254WBCED	55
Kuvio 20. Valonjakokäyrä TN2234MBCED.....	57
Kuvio 21. Myymälän valaistussuunnitelma	60
Kuvio 22. Myymälän valaistusvoimakkuus.....	61
Kuvio 23. Myymälän toinen valaistussuunnitelma.....	65
Kuvio 24. Myymälän kehitysehdotuksen valaistusvoimakkuus.....	66

Taulukot

Taulukko 1. Värivaikutelma	15
Taulukko 2. Valaistusvoimakkuus.....	17
Taulukko 3. Pinnan heijastusominaisuuksien vaikutus pinnankirkkauteen	17
Taulukko 4. Ulkotyöalueiden valaistussuosituksat	19
Taulukko 5. Tievalaistuksen M (AL)- luokat.....	20
Taulukko 6. Yleisten teiden valaistusluokat	20
Taulukko 7. C (AE)- luokat ja vastaavuus.....	21
Taulukko 8. P (K)- luokat	21
Taulukko 9. Kevyenliikenteen valaistusluokat.....	22
Taulukko 10. Sisätyötilojen valaistussuosituksat	23
Taulukko 11. MaxiWoody Compact BU98 tekniset tiedot	32
Taulukko 12. Valaisimen Archilede HP -tekniset tiedot	35
Taulukko 13. Valaisimen iPro BK20- tekniset tiedot	37
Taulukko 14. Katuvalaistuksen sähkökustannusten vertailu.....	50
Taulukko 15. Tino gen 2 TN2254WBCED tekniset tiedot	56
Taulukko 16. Tino gen 2 TN2234MBCED tekniset tiedot.....	58
Taulukko 16. Myymälän toisen valaistussuunnitelman himmennöksen laskelmat.....	66

Taulukko 17. Myymälävalaistuksen sähkökustannusten vertailu	71
---	----

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta

Valaistussuunnitteluala on kasvanut viime vuosien aikana. Yhä useammin valaistussuunnittelua tehdessä otetaan huomioon yleisvalaistuksen lisäksi taidevalaistus ja valaistuksen esteettisyys yhdessä valaistavan kohteen kanssa. Valaistuksen energiatehokkuus on noussut suureksi osaksi valaistussuunnittelua. Suomessa on pitkä pimeän aika talvisin, mikä vaikuttaa ihmisten vireystilaan. Pimeän ajan "kaamosmasennusta" pyritään helpottamaan esimerkiksi kirkasvalolampuilla, ja kaupunki- ja ympäristövalaistuksella pyritään myös luomaan ihmisille parempaa oloa. Suomen pitkä pimeän aika mahdollistaa erilaisten valotapahtumien, kuten Jyväskylässä Valon Kaupunki ja Helsingissä Lux Helsinki, toteuttamisen. Ne keräävät vuosittain paljon ihmisiä katsomaan pimeän aikaan erilaisia valotaideteoksia.

Valaistukseen käytetään paljon sähköä, ja siksi valaistuksen energiatehokkuus on tullut entistä merkityksellisemmäksi sekä sähkölaskun että vastuullisuuden näkökulmasta. Valoa Design Oy halusi selvittää uuden suunnittelutavan kautta valaistussuunnittelun merkitystä energiankäyttöön ja ihmisten viihtyvyyteen. Valaistuksen ajattelumalli on pysynyt lähes samana öljylampusta lähtien. Esimerkiksi katujen valaisemisessa ei ole vaihtunut muuta kuin pylvään päässä valaisimessa oleva polttimo. Nykytekniikalla valaistus voitaisiin kuitenkin toteuttaa monella tavoin. (Siironen 2017.)

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tehtävänä oli selvittää valaistussuunnittelun uusia suunnittelumalleja, koska Valoa Design Oy pyrkii etsimään uusia vaihtoehtoja valaistuksen toteuttamiseen. Tehtävänä oli tutkia valaistussuunnittelun vaikutuksia energiatehokkuuteen ja ihmisen viihtyvyyteen. Koska valaistusta tehdään ihmistä varten, sen tulee olla miellyttävä ihmiselle, mutta toisaalta ympäristöongelmat, kuten energiankulutus ja valosaaste, tulee ottaa huomioon.

Lisäksi tavoitteena oli myös tutkia valaistuksen energiateknistä toteutusta valaistustapojen mukaan. Valaistuksen energiatehokkuus on paljon esillä suunnittelua tehtäessä, ja suunnittelullakin vaikuttaa paljon energiankäyttöön valaisinten ja valaistavien kohteiden avulla. Tavoitteena oli tutkia myös valaistuksen esteettis-teknistä yhteyttä, koska valaistussuunnittelua tehdään paljon yleisvalaistuksen lisäksi esteettisistä syistä. Tutkimuskysymyksenä oli, voidaanko uudella valaistustavalla ja valaistussuunnittelulla vähentää energiankulutusta ja suunnitella ihmiselle riittävä valaistusvoimakkuustaso.

Tutkimuskohteiksi valittiin katu- ja myymälätilan valaistussuunnittelu sekä niiden tutkiminen ja kehittäminen. Tutkimuksen valaistuskohdeiksi valittiin sisä- ja ulkotila, koska niissä tulevat esiin valaistussuunnittelun yleisimmät valaistusmuodot. Tutkimuksen tavoitteena oli tehdä katu- ja myymälätiloihin valaistussuunnitelma sekä valaistussuunnitelman kehitysehdotus.

1.3 Työn toteuttaminen ja aineisto

Tutkimus on kvalitatiivinen kehittämistutkimus, koska siinä tutkittiin ja kehitettiin kahden tilan valaistussuunnittelua. Kvalitatiivinen tutkimusmenetelmä valittiin, koska haluttiin tutkia valaistustilanteita, joita ei voida järjestää kokeeksi. Kvalitatiivinen tutkimusmenetelmä valittiin, koska tutkimus keskittyi kahteen valaistuskohteeseen ja tutkimustuloksia ei pystytä yleistämään kaikkeen valaistussuunnitteluun. Kvalitatiivinen tutkimus sopi tutkimusmenetelmäksi, koska tutkimuskohteista haluttiin saada laadullisia tuloksia ja kehitysehdotuksia, joten myös aineisto on laadullista. Tutkimus on teoreettinen tutkimus, koska tutkimuskohdeet eivät ole reaali maailman kohteita.

Opinnäytetyön sisältö suunniteltiin yhdessä toimeksiantajan kanssa. Tietoa etsittiin valaistuksen ja valaistussuunnittelun historiasta sekä tämän päivän valaistustavoista ja tekniikoista. Valaistuksen historiaa tutkittiin, jotta ymmärrettäisiin, miksi nykyisiin toimintatapoihin on päädytty, sillä yksi tutkimuksen keskeisimpiä tavoitteita oli kyseenalaistaa, tutkia ja kehittää tämän hetken valaistussuunnittelua. Tietoa kerättiin ammattikirjallisuudesta, internetistä ja toimeksiantajalta. Tietoa pyrittiin etsimään mahdollisimman ajankohtaisista lähteistä, koska etenkin valaistuksen tekniset ratkaisut ovat kehittyneet nopeaan tahtiin viime vuosina. Nopeasta kehityksestä johtuen

uusien tietojen julkaistaan usein internetissä, joka toimii sen vuoksi pääasiallisena tiedonlähteenä. Ammattikirjallisuutta ja standardeja käytettiin perustiedonhankintaan, koska perustieto ja standardit eivät muutu yhtä nopeasti kuin tekniset ratkaisut ja standardit luovat pohjan yhtenäiselle valaistussuunnittelulle. Toimeksiantajalta saatiin työn alkuvaiheessa tietoa mistä aineistoa kannattaa etsiä ja mikä on tutkimuksen kannalta relevanttia.

2 Valaistuksen perusteita

Tässä luvussa paneudutaan valaistukseen: sen teoriaan ja historiaan. Luvun tarkoituksena on selvittää, miten valaistus on kehittynyt, miksi valaistusta käytetään ja minkälaisia teknisiä toteutuksia käytetään. Valaistuksella työssä tarkoitetaan pääsääntöisesti keinovalaistusta.

2.1 Valon historia

Muoin ajateltiin, että silmä lähettää ympäristöön hiukkasia, jotka tekevät ympäristön ja esineet näkyviksi. Nykyään tiedetään, että silmä havaitsee sähkömagneettisen säteilyn kapeaa aallonpituutta, joka on havaitsemaamme näkyvää valoa. (Partonen 2012, 11.)

Aurinko on maapallon varsinainen valon ja energian lähde. Aurinko ja sen valo ovat saaneet ihmisten mielissä aikojen saatossa jopa myyttiset mittasuhteet. Ihmiset ovat palvoneet aurinkoa uskonnollisessa tarkoituksessa ja Raamatun luomiskertomuksessa valon todetaan olevan hyvä. Valo yhdistetäänkin usein puhtauteen ja valaistuminen puhdistautumiseen. (Partonen 2012, 12–19.) Ihminen on päiväaktiivinen laji, joka on sopeutunut toimimaan valoisassa. Tämän takia ihmiset ovat läpi historian pelänneet pimeää ja suhtautuneet valoon positiivisesti. Pimeys yhdistetään usein pahuuteen, kuten pimeyden ruhtinaksiin tai mustaan magiaan. Siinä missä pimeys ja yö yhdistetään usein pelkoon, kuolemaan ja suruun, aamunkoitolla ja päivällä kuvataan usein uutta elämää ja iloa. Myös ihmisiä kuvataan usein pimeällä ja valolla: positiivista ihmistä saatetaan kuvata valoisaksi, ja varkaksiin viitataan hämärämiehinä. (Lyytimäki & Rinne 2013, 12–13.) Valo koetaan siis usein positiivisena asiana, joka edistää ihmisen turvallisuuden- ja hyvinvointitunnetta.

2.2 Valaistuksen historia

Valon ja valaistuksen merkityksen ymmärtää, kun ajattelee, millaista elämä olisi ilman keinovalaistusta. Nykyään lähes jokaisella on puhelimen mukana taskulamppu taskussaan ja keinovaloa on kaikkialla, missä sitä pimeään aikaan tarvitsee.

Pitkään ainoita keinovaloja olivat päreet, soihdut, talikynttilät ja alkeelliset öljylamput. Polttoaineena näissä käytettiin mehiläisvahaa ja erilaisia eläinrasvoja, kuten nautan tai valaan rasvaa. Koska lamppujen ylläpito oli hankalaa ja polttoaine rajallista, keinovalon käyttö on ollut säästeliästä ja tarpeeseen perustuvaa. (Brox 2011, 10–15.) Kaupunkivalaistuksen voidaan ajatella yleistyneen 1600-luvulla, jolloin öiset kulkijat kuljettivat mukanaan öljylamppuja. Pariisissa otettiin katuvalaisimia käyttöön 1650-luvulla, jolloin lyhyiden katujen molemmissa päissä oli öljylyhdyt. Helsingissä ensimmäiset öljylyhdyt katuvaloina otettiin käyttöön vuonna 1818. Historian mukaan öljylyhdyt valaisivat lähinnä itsensä, eivätkä katuja, joten kaduilla kuljettiin edelleen kannettavien öljylyhtyjen kanssa. Lamput piti käydä illalla sytyttämässä ja aamulla sammuttamassa. Katuvalaistus toteutetaan edelleen laittamalla valonlähde pylvään päähän, valonlähde vain on muuttunut sähköiseksi. (Halonen & Eloholma 2005.)

Valon tuottaminen polttamalla materiaa sai uuden käänteen 1800-luvulla sähkön keksimisen myötä. Hehkulamppua kehitettiin pitkään 1800-luvulla, mutta vasta vuonna 1879 Edison esitteli ensimmäisen kaupallisen hehkulampan. Suomessa ensimmäiset sähkövalot sytytettiin vuonna 1882 Finlaysonin tehtaalla Tampereella. (Halonen & Eloholma 2005.) 1900-luvun alussa sähkövalot alkoivat yleistyä ensin kaupungeissa ja levisivät hiljalleen maaseudulle. 1930-luvulla oli sähköistetty käytännössä kaikki Suomen kaupunkikodit ja maaseutukodeista puolella oli sähkövalot. (Sähköistyminen Suomessa n.d.) Sähköjen yleistymisen myötä sähkövalot kehittyivät nopeasti.

Loistelamput esiteltiin ensimmäisen kerran vuonna 1937, ja ne alkoivat yleistyä 1940-luvulla. Loistelamput tarjosivat parempaa valotehokkuutta ja värintoistoa ja pidempää käyttöikää. Valovirta kuvaa lamppujen tuottamaa valon määrää silmän herkkyyden mukaan painotettuna, sen yksikkö on lumen (lm) (Howard, Brinksy & Leitman 2011, 24–25.). Valotehokkuus tarkoittaa valon määrää käytettyä wattia kohti. Se tarkoittaa siis valontuottamisen hyötysuhdetta. Valotehokkuuden yksikkö on lumenia

wattia kohden (lm/W) (Murphy 2011.). Värintoistolla tarkoitetaan keinovalon kykyä kertoa, miltä asioiden, kuten huonekalujen, värit tulevat valossa näyttämään. Värintoistokykyä kuvaa Ra- arvo, joka sijoittuu välille 0-100. Mitä suurempi luku, sitä luonnollisemmin värit toistuvat. (Sormanen 2008.)

1960-luvulla markkinoille tulivat purkauslamput, joista yleisimpänä monimetallilamput. Monimetallilamppujen vahvuutena on niiden suuri valotehokkuus. Purkauslamput ovat edelleen yleisesti käytössä (Halonen & Eloholma 2005). Keinovalaistuksen uusin suunta on LED (Light Emitting Diode)- valaisimet. LED eli hohtodiodi on puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirta. LED kehitettiin jo vuonna 1907, mutta vasta 1960-luvulla sen kehitys lähti etenemään ja siitä lähtien LEDien valotehokkuus on kaksinkertaistunut aina 36 kuukaudessa. LEDien varsinainen läpimurto tuli 1990-luvulla, kun kehitettiin sininen LED, jonka avulla saatiin päävärien avulla sekoitettua 16 miljoonaa väriä. LEDien hyviä puolia ovat pieni koko, hyvä valotehokkuus, suuri valovirta, pitkä käyttöikä ja vähäinen huollon tarve. Huonoja puolia ovat korkea investointikustannus. (Howard ym. 2011, 91–101.). LED valaisimet kehittyvät edelleen nopeaa tahtia ja markkinoilla on saatavilla paljon erilaisia LED-valaisimia.

2.3 Valaistussuunnittelun historia

Modernin valaistussuunnittelijoiden ajatellaan kehittyneen omaksi ammattikunnaksi 1950- ja 1960-luvuilla, jolloin alettiin ajattelemaan, että valaistuksesta voidaan tehdä osa arkkitehtuuria ja näin tehdä rakennuksista kauniimpia. Monet valaistussuunnittelijat ovat saaneet työhönsä vaikutteita modernin arkkitehtuurin uranuurtajilta - ”valon arkkitehteilta” – kuten Walter Gropius, Lloyd Wright, Louis Kahn sekä suomalaiset Eero Saarinen ja Alvar Aalto. Näiden arkkitehtien ajatuksina ovat olleet valo osana arkkitehtuuria, valon ja varjojen merkitykset materiaaleissa sekä heijastukset. Esimerkiksi Alvar Aallon töissä korostuu rakennuksesta heijastuva pehmeä valo ja valon ilmankaltainen hehku. Näiden arkkitehtien töissä valonlähteenä on toiminut ensisijaisesti auringonvalo osana valaistussuunnittelua. (Honkonen & Oksanen 2001, 122.)

2.3.1 Valaistussuunnittelija Richard Kelly (1910-1977)

Valaistussuunnittelijoiden suurimpana uranuurtajana pidetään olevan Richard Kellya (1910-1977). Richard Kellyn kiinnostus valaistukseen alkoi jo lapsuudessa, jolloin häntä ärsytti keittiön huono valaistus. Lukioaikana hän oli mukana teatterituotannossa, jossa hän huomasi valon toimivan ilmaiseksi suunnitteluelementtinä. Vuonna 1935 hän avasi valaistussuunnittelutoimiston New Yorkiin. Pian hän huomasi, että valaistuskonsulttipalveluille ei ollut kysyntää, mutta hänen suunnittelemaansa valaisimiaan ostettiin, joten hän alkoi myydä valaisimia ja samalla suositteli niiden arkkitehtonista yhteensovittamista. Näin hän pääsi suunnittelemaan arkkitehtuurivalaistuksia. (Donoff 2016.)

Kelly ei halunnut leimautua valaisinsuunnittelijaksi tai insinööriksi, joten hän päätti kouluttautua arkkitehdiksi. Valmistuttuaan vuonna 1944 hän alkoi käyttää nimikettä arkkitehtuurivalaistuskonsultti. Vuonna 1952 Kelly esitteli uudenlaisen valaistusfilosofian luennollaan: valo osana arkkitehtuuria. Hänen ajatuksenaan oli kolme valaistusmuotoa, joilla kaikilla on oma tarkoituksensa. Ensimmäinen valaistusmuoto oli kohdistettu valo, jolla hän tarkoitti valoa, joka vetää huomion, myy tuotteita ja erottaa tärkeän ja epäolennaisen. Toinen valaistusmuoto oli epäsuora valo, jonka hän ajatteli olevan sumun kaltaista valoa, joka pesee tasaisesti tilaa ja luo varjottoman valaistuksen. Kolmas valaistusmuoto oli terävät yksityiskohdat, jolla hän tarkoitti teräviä varjoja ja yksityiskohtien korostamista. Nämä valaistusmuodot ja periaatteet näkyvät edelleen valaistussuunnittelussa. Kelly teki urallaan satoja valaistussuunnitelmia, joista tärkeimpänä pidetään Seagram-rakennuksen valaistussuunnittelua New Yorkissa. Hänen vahva vaikutuksensa moderniin arkkitehtuurivalaistukseen sekä käytännön että teorian osalta näkyy edelleen hänen innovoimissaan valaistusperiaatteissa ja tekniikoissa. (Maile 2007). Kuvio 1 on Seagram-rakennuksen sisätilasta, jossa ei ole lainkaan valaisimia näkyvissä, vaan valaistus toteutetaan valaisemalla katon

läpi ja näin luomalla pehmeä epäsuora valo tilaan. Näin ehkäistään valaisimien aiheuttama heijastuminen ja häikäisy ikkunoista. (Donoff 2016.)



Kuvio 1. Valaiseva katto (Donoff 2016)

Kelly esitteli myös ajatuksia valaistussuunnittelijan ammatista enemmän taiteilijana kuin insinöörinä, joka ajattelee tilan määrän avulla eikä laitteiden sähkötekniikan määreiden avulla. Kirjassaan *Lighting Design & Application* Kelly esittelee visuaalisen suunnittelun kolme elementtiä: valoa katsomiseen, valoa katsottavaksi ja valoa näkemiseen. Näillä elementeillä on vaikutusta siihen mikä herättää mielenkiintoa, mikä johdattaa katsomaan ja mikä antaa tilanvapauden tunnetta. Nämä ajatukset toivat uutta näkökulmaa sähköinsinööreille ja voimalaitosteollisuuden puolestapuhujille, jotka puhuivat valon määrän puolesta kaikissa olosuhteissa. (Honkonen & Oksanen 2001, 122.)

2.3.2 Valaistussuunnittelun kehitys

Kehitys valaistussuunnittelu- ja valaistusteknisellä alalla on jatkunut, mutta valaistusta on laiminlyöty keskittymällä teknisluonteisten arvojen kehittämiseen ja tutkimiseen. Ala on jäänyt sähköinsinöörien vastuulle. Lähtökohdat ovat usein olleet teknispainotteisia, eli ajatuksena on tuottaa riittävästi valoa valaistavalle alueelle, jolloin kokonaiskuva on jäänyt huomiotta. Valaistussuunnittelu on keskittynyt mittaamaan katu- ja tienpinnoille saatavia arvoja. Suomessa virisi 1980-luvulla kiinnostus uutta valaistussuunnittelua ja valotaidetta kohtaan muiden edelläkävijämaiden innoittamana. Ympäristöstä alkoi kohota yhä enemmän eri tavoin valaistuja kohteita ja teemavalaisuksia. (Honkonen & Oksanen 2001, 80–82, 122.)

Kulttuurin kehittyminen, taloudellinen kasvu ja yleistynyt myönteinen suhtautuminen valaistukseen tarjoavat uusia mahdollisuuksia myös ulkovalaistuksen esteettiseen ja visuaaliseen puoleen. Herääminen siihen, että tekniset vaatimukset täyttävä valaistus on mahdollista suunnitella osana tilaa ja se tuo lisäarvoa, on ollut suuri asia kehityksen kannalta. Valaistuksen merkitys nähdään nykyään moniulotteisempänä ja siihen ollaan valmiita panostamaan. Tilaajat tiedostavat paremmin valaistussuunnittelun merkityksen osana kaupunkikuvaa ja suunnittelussa on yhä enemmän mukana mm. arkkitehtejä ja valaistussuunnittelijoita. Vaikka valaistussuunnittelijat ovat vallanneet tilaa insinööreiltä, insinöörit ovat mukana suunnitteluprojekteissa ja valaistussuunnittelun myönteisessä kehityksessä, koska valaistussuunnittelun ajatellaan olevan monitieteellinen kokonaisuus, joka koostuu mm. arkkitehdin, sähköinsinöörin, historioitsijan, psykologin, filosofin ja analyytikön asiantuntijuudesta. (Honkonen ym. 2001, 80–82, 122.)

Valaistussuunnittelijat ovat kokoontuneet jo pitkään järjestöjen, kuten International Association of Lighting Designers (IALD v. 1969), CIE (Comission Internationale de l'Eclairage v.1913) ja Suomen Valoteknillinen Seura (SVS r.y. v.1947) piirissä, mutta valaistussuunnittelijoita on koulutettu varsin vähän ja ammattikunta on nuori ja pieni. Valaistussuunnittelija voi olla kuka tahansa, jolla on tekniset ja esteettiset valaistuskokonaisuuden taidot. Hyvän valaistussuunnittelijan tulee tuntea arkkitehtoniset lainalaisuudet, sähkötekniikan ja teknisen suunnittelun sekä osata soveltaa näitä taitoja halutun visuaalisen lopputuloksen aikaansaamiseen. Valaistussuunnittelijoita

koulutetaan valaistukseen erikoistuneista sähköinsinööreistä ja arkkitehdeista, sekä teatteri- ja estraditaiteen valaistussuunnittelijoista. Valaistussuunnittelu otetaan harvoin mukaan projektiin omana alanaan, ja puitteet valosuunnittelijoille ovat sekavat organisaatioissa. Nykyään valaistussuunnittelua tehdään tietokoneavusteisilla mallin-
nusohjelmilla, joista yleisin käytössä oleva on DIALux. (Siironen 2008.)

3 Valaistussuunnittelu

Valaistussuunnittelun on todettu olevan monitieteellinen ala ja siinä voidaan ajatella olevan karkeasti kolme osa-aluetta: tekninen osuus, joka käsittää sähkötekniset ja valaistustekniset vaatimukset, esteettisyys, jolla tarkoitetaan valaistuksen esteettisyyttä ihmiselle, ja taloudellisuus, joka tarkoittaa valaistussuunnittelun, investointi-
kustannusten sekä käyttö- ja huoltokustannusten määrää. (Siironen 2011 Tiensuu 2010, 5.)

3.1 DIALux Evo -valaistussuunnitteluohjelmisto

DIALux on Suomessa ja maailmanlaajuisesti yleisesti käytössä oleva valaistussuunnitteluohjelmisto. On arvioitu, että vuonna 2017 saksalaisen Dial-yhtiön tarjoamaa suunnitteluohjelmaa käyttää noin 680 000 käyttäjää ympäri maailman. DIALux-ohjelmalla voidaan 3D-mallintaa tiloja ja mallintaa niihin valaistus. DIALux-ohjelmistoja on tällä hetkellä ladattavissa ohjelmistovalmistajan sivuilta kahtena eri versiona, DIALux Evo 7 ja DIALux 4. DIALux 4 on suppeampi versio, joka pystyy mallintamaan yksittäisiä huoneita tai tievalaistusta. DIALux Evo 7 pystyy mallintamaan kokonaisia rakennuksia ja ympäristöjä. Ohjelmistoon on saatavilla useiden valaisinvalmistajien valonjakotiedot, jotka sisältävät tiedon valaisimen ympäristöönsä antamasta valosta, jotta mallintaminen voidaan toteuttaa suoraan valittavilla valaisimilla. (Lighting design software DIALux n.d.) 3D-mallintaminen auttaa hahmottamaan tilaa ja valaistuksen vaikutusta tilaan. DIALux-mallintaminen auttaa myös valaistuksen sähkösuunnittelussa.

3.2 Valotekniset määritelmät ja yksiköt

Valaistusteknisyys pohjautuu paljolti määriteltyihin standardeihin, joiden avulla on määritelty hyvä valaistus ja hyvät valaisimet. Valaistusta määritellään lukujen, kuten valaistuvoimakkuuksien ja käytetyn sähkön, avulla.

3.2.1 Säteily, värivaikutelma ja värilämpötila

Valo on sähkömagneettista säteilyä, joka säteilee 380–780 nm:n aallonpituudella. Spektri on valonjakautumisen kirjo eri komponentteihin aallonpituuden mukaan. Useimpien käyttämiemme valaisinten valo ei ole jatkuspektristä, vaan valo koostuu erilaisista värikoostumuksista. (Tiensuu 2010, 6.)

Lampun värivaikutelmalla tarkoitetaan valon näkyvää väriä. Värivaikutelmaa mitataan värilämpötilana, jonka yksikkö on kelvin (K). Värivaikutelman määräävät se mitä pidetään luonnollisena värinä, sekä esteettiset ja psykologiset tekijät. Taulukossa 1 kuvataan värivaikutelmien määrittelyt ja kolme esimerkkiä valonlähteiden värivaikutelmista ja värilämpötiloista. (Tiensuu 2010, 6–7.)

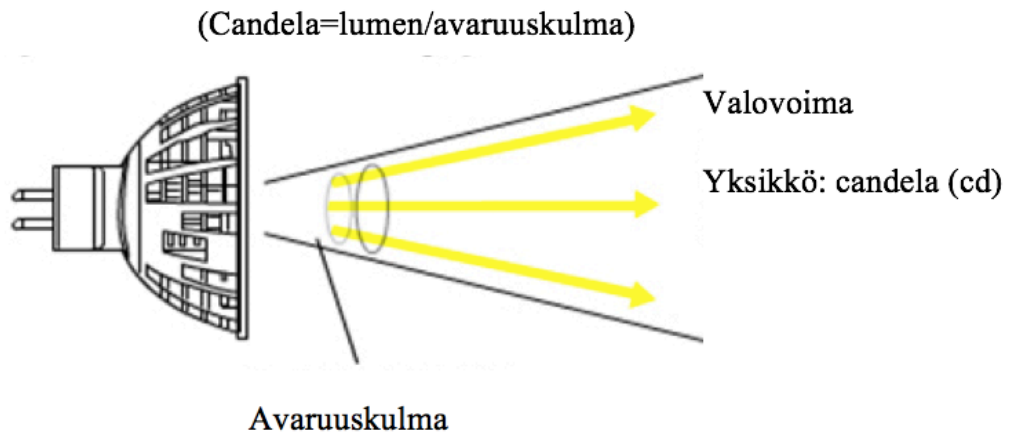
Taulukko 1. Värivaikutelma (Tiensuu 2010, 6–7; Howard ym. 2011, 26–28.)

Värivaikutelma	Värilämpötila T_{CP}	Valonlähde	Värilämpötila T_{CP}	Värivaikutelma
Lämmin	<3300 K	Tulitikku	1700 K	Lämmin
Neutraali	3300... 5300 K	Loistelamppu	2700-4500 K	Neutraali
Kylmä	>5300 K	Päivänvalo	5500-6000 K	Kylmä

Maan pinnalle tulevan auringonvalon värilämpötila muuttuu päivän aikana, mutta suora auringonvalo on itseasiassa värilämpötilaltaan kylmä. Loistelampun valo on värilämpötilaltaan neutraali eli valkoinen ja tulitikun valo on lämmin eli kellertävä. Valonlähteiden värilämpötila vaikuttaa valon värintoisto ominaisuuksiin eli siihen kuinka luonnollisesti valo toistaa kohteen väriä. Värintoiston laadukkuus on tärkeää näkötehokkuuden, mukavuuden ja turvallisuuden kannalta. Standardeissa määritellään erityyppisille tiloille, tehtäville ja toiminnoille värintoistoindeksin eli Ra-arvon minimivaatimukset. Ulkona ja työskentelytiloissa hyvä Ra-arvo on yli 60 ja tyydyttävä 40. (Howard ym. 2011, 26–28; Tiensuu 2010, 6–7; Whitehead 2009, 15–19.)

3.2.2 Valovirta, valovoima ja valaistusvoimakkuus

Valovirran (Φ) yksikkö on Lumen (lm), joka tarkoittaa valonlähteen tuottamaa säteilytehoa. Valovoima (I) tarkoittaa valon intensiteettiä eli sitä kuinka paljon valonlähde säteilee johonkin tiettyyn säteilykulmaan. Valovoiman yksikkö on candela (cd), joka vastaa suunnilleen yhden tavallisen kynttilän valon voimakkuutta, eli kirkkautta. Candela tarkoittaa lumenia jaettuna avaruuskulmalla. Kuvio 2 havainnollistaa valovoiman kulmasidonnaisuutta, eli valovoima on sama millä tahansa etäisyydellä tietyssä valon avaruuskulmassa. (Basic Lighting Knowledge n.d)



Kuvio 2. Valovoima candela (Basic Lighting Knowledge n.d)

Valaistusvoimakkuus (E) kuvaa tietylle pinta-alalle suuntautuvaa kohtisuoraa valovirran määrää. Valaistusvoimakkuuden yksikkö on luksi (lx) ja se muodostuu yhtälöstä 1, lumenia jaettuna neliömetrillä

$$E = \frac{\Phi}{A} = (lx = \frac{lm}{m^2}) \quad (1)$$

Valaistusvoimakkuus vaikuttaa nopeasti siihen, miten työalueella ja lähiympäristössä näkötehtävästä suoriudutaan ja se hahmotetaan. Joissain kohteissa on tarpeellista määrittellä erikseen pystytason valaistusvoimakkuus (E_{Ver}) ja vaakatason valaistusvoimakkuus (E_{Hor}). Keskimääräinen valaistusvoimakkuus (E_m) voidaan laskea pinnan tason pisteille laskettujen valaistusvoimakkuuksien aritmeettisella keskiarvolla. Valais-

tusvoimakkuuden yleistasaisuus (U_0) saadaan minimivalaistusvoimakkuuden suhteella valaistusvoimakkuuteen (E_{\min}/E_m). Taulukko 2 esittelee tyypillisiä valaistusvoimakkuuksia ihmisen elinympäristössä. (Howard ym. 2011, 25; Tiensuu 2010, 7–8; Whitehead 2009, 24.)

Taulukko 2. Valaistusvoimakkuus (Tiensuu 2010. 8.)

Valaistusvoimakkuus	Kohde
0,1 lx	Kuun valo
5-30 lx	Ulkotyöalueiden yleisvalaistus
300 lx	Isot tilat karkeaan työhön
500 lx	Luokkahuoneet, toimistohuoneet
2000 lx	Pilvinen päivä
40 000 lx	Auringonvalo kirkkaimmillaan

Ulkotyöalueiden ja sisätilojen valaistusvoimakkuusarvojen ero on melko suuri, koska sisätiloissa tehdään yleensä tarkempaa pienempää työtä vaativia tehtäviä, kuten kirjoittamista ja lukemista, joiden tekemiseen tarvitaan enemmän valoa.

3.2.3 Luminanssi, heijastuminen ja häikäisy

Luminanssi (L) tarkoittaa kohteesta heijastunutta valoa. Luminanssin yksikkö on kandela neliömetrille (cd/m^2). Luminanssi muodostuu pinnan heijastusominaisuuksien ja valaistusvoimakkuuden perusteella, sekä valon suunnan ja heijastuskulman perusteella. Pinnan heijastusominaisuudet vaikuttavat pinnankirkkauteen. Pinnan heijastusominaisuuksien vaikutus pinnankirkkauteen ilmenee taulukosta 3. (Tiensuu 2010, 7.)

Taulukko 3. Pinnan heijastusominaisuuksien vaikutus pinnankirkkauteen (Tiensuu 2010, 8.)

Pinta ja heijastumissuhde	Luminanssi eli pinnankirkkaus	Vastaava valaistusvoimakkuus
Valkoinen 89%	21 cd/m^2	100 lx
Musta 8%	19 cd/m^2	1000 lx

Taulukko 3 kertoo, että valkoinen pinta (89 %) heijastaa valoa noin kymmenkertaisesti enemmän, kuin musta pinta (8 %). Heijastumissuhde tarkoittaa pinnalta heijastuneen valovirran suhdetta pinnalle saapuneeseen valovirtaan. Tien pinnan heijastumissuhde on pienempi kuin 0,1 ja valkoisen pinnan heijastumissuhde on suurempi kuin 0,9. (Tiensuu 2010, 7–8.)

Pinnat heijastavat valoa eri tavoin, kuten taulukosta 3 nähdään. Nämä heijastussuhteet ja valo luovat yhdessä kontrastit, jotka havaitaan silmin ja tulkitaan aivoissa kuvaksi. Näkeminen perustuu kontrastien eli luminanssi- ja värierojen havaitsemiseen. Näkyvyyttä ei pystytä parantamaan pelkästään valoa lisäämällä vaan riittävän suuret erot ympäristöpintojen heijastussuhteissa eli kontrastit mahdollistavat hyvän valaistuksen. (Tiensuu 2010, 7–8; Luminanssi 2008.)

Häikäisyn tunnetta aiheuttavat näkökentässä olevat kirkkaat alueet. Häikäisyä on kahdenlaista, kiusahäikäisy ja estohäikäisy. Kiusahäikäisy ei välttämättä heikennä näkemistä, mutta aiheuttaa epämiellyttävän tunteen. Estohäikäisy ei välttämättä aiheuta epämiellyttävää tunnetta, mutta heikentää näkemistä. Harsoheijastuminen tarkoittaa häikäisyä, joka heijastuu näkökohteen kiiltäviltä pinnoilta. Häikäisyarvoa (GR) voidaan mitata yhtälön 2 mukaisesti.

$$GR = 27 + 24 \log_{10} \left(\frac{L_{vl}}{L_{ve}^{0,9}} \right) \quad (2)$$

Yhtälössä 1 L_{vl} tarkoittaa harsoluminanssien summaa, joka heijastuu valaisimista valaistusasennuksen havaitsijan silmään. L_{ve} tarkoittaa ympäristön harsoluminanssia. Häikäisyn psykologista vaikutusta mitataan Ti%- arvolla, jolla määritellään, kuinka paljon valaistusta täytyy lisätä, jotta päästään samaan kohteentunnistamiseen kuin valaistustilanteessa, jossa häikäisyä ei synny. Häikäisyvalon minimointi on tärkeää tapaturmien, väsymyksen ja virheiden välttämiseksi. Kirkkaat valaisimet aiheuttavat häikäisyä heikentäen kohteiden näkyvyyttä. Häikäisyä voidaan minimoida hyvällä suunnittelulla eli valaisinvalinnoilla, valaisimien sijoittelulla ja häikäisysojilla. Valo, joka häikäisee, ei paranna lainkaan kohteen valaistusta vaan luo tarpeen suuremmille valaistustasoille, jotta kohde näkyisi paremmin. Samalla myös valaistuksen tehoa joudutaan nostamaan. (Tiensuu 2010, 8; Howard & Leitman 2009, 157.)

3.3 Valaistuksen määrälliset ja laatuvaatimukset

Valaistuksen päätehtävä on luoda ihmisille tilan tai alueen turvallinen käyttö pimeään aikaan. Valaistus luo turvallisuuden tunnetta ja viihtyvyyttä pimeään aikaan. Hyvä valaistus on monen osatekijän summa. Valaistuksen pohja on siinä, kuinka hyvin kyseisessä valaistuksessa pystytään tekemään näkemiseen liittyvä työtehtävä. Hyvään valaistukseen tarvitaan niin vaadittu määrällinen kuin laadullinen valaistus. Valaistusta määritellään eurooppalaisten valaistustandardien avulla.

3.3.1 Ulkotyöalueet

Ulkotyöalueiden valaistuksessa noudatetaan valaistusstandardia SFS-EN 12464-2. Standardi määrittelee eri alueilla tehtäville töille vähimmäisraja-arvot keskimääräiselle valaistusvoimakkuudelle (E_m), sekä valaistuksen tasaisuudelle (U_o). Standardi esittelee yhteensä 15 alueelle ja 98 käyttötarkoitukselle valaistuksen vaatimukset. Taulukko 4 kuvaa näiden alueiden ja käyttötarkoitusten valaistusositusten periaatteen samalla tavalla, kuin suositukset on esitetty standardissa. GR_L kuvaa suurinta sallittua häikäisyarvoa.

Taulukko 4. Ulkotyöalueiden valaistusositukset (Tiensuu 2010, 9)

Alueen käyttötarkoitus	E_m	U_o	GR_L	Ra	Huom
Kuvaukset käyttötarkoituksista, joille on määritetty raja-arvot	5-300 lx	0,1-0,5	45-55	20-60	Joiltain osin poikkeavia vaatimuksia

Valaistusvoimakkuus E_m tarkoittaa valaistusvoimakkuuden huoltoarvoa, eli valaistustaso ei saa pudota suositustason alle missään vaiheessa asennuksen eliniän aikana. Standardeissa esitetyt arvot vaihtelevat taulukon 4 esittämässä raameissa. Hyvä valaistus ulkotyöalueilla ottaa huomioon vaaditun valaistusvoimakkuuden lisäksi laadulliset tarpeet, kuten tasaisuuden, häikäisyn ja värintoiston. (Kallasjoki & Tiensuu 2008 14–15; Tiensuu 2010, 9.)

3.3.2 Tie- ja katuvalaistus

Tie- ja katuvalaistuksessa sovellettavia standardeja ovat EN SFS 13201-13204. Standardit määrittelevät valaistuksen mitoituksia ja mittauksia määritteleviä. Liikennevirasto on laatinut suunnitteluohjeen, jonka mukaisia ajoneuvoliikenteen valaistusluokat ovat Suomessa. Valaistusluokat päivittyivät vuonna 2016 (ks. Taulukko 5). Vanhat, vuoden 2006 luokkien nimitykset on esitetty suluissa. (ST 58.10.01. 2016.)

Ajoneuvoliikenteessä on määritelty M (AL)- ja C (AE)- valaistusluokat. M-luokkia käytetään normaaleilla tieosuuksilla ja C-luokkia monimuotoisissa risteyksissä ja mutkissa. Taulukko 5 esittää M-luokkien vaatimukset kuivalla ja märällä päällysteellä. (ST 58.10.01. 2016.)

Taulukko 5. Tievalaistuksen M (AL)- luokat. Vanhat, vuoden 2006 luokkien nimitykset on esitetty suluissa. (ST 58.10.01. 2016.)

Luokka	Kuivan ja märän ajoradan luminanssi				Estohäikäisy	Vierialueen valaistus
	Kuiva			Märkä		
	L_m	U_o	UI	U_o		
	cd/m ²	min	min	min		
M1 (AL1)	2	0,4	0,6	0,15	10	0,4
M2 (AL2)	1,5	0,4	0,6	0,15	10	0,4
M3a (AL3)	1	0,4	0,6	0,15	10	0,4
M3b (AL4a)	1	0,4	0,4	0,15	15	0,4
M4 (AL4b)	0,75	0,4	0,4	0,15	15	0,4
M5(AL5)	0,5	0,35	0,4	0,15	15	0,4
M6	0,3	0,35	0,4	0,15	15	0,4

Taulukko 6 esittää muutaman esimerkin yleisten teiden valaistusluokista.

Taulukko 6. Yleisten teiden valaistusluokat. M tarkoittaa moottoriliikennettä, Pp, polkupyöräliikennettä ja Jk jalankulkijoita (Tievalaistuksen suunnitteluohje 2006, 20).

Toiminnallinen luokka	Liikenne	Ajonopeus	Valaistusluokka	
			Valoisa ymp.	Pimeä ymp.
Moottoriväylät	M	≥80	M2	M3a
Päätiet	M+Pp+Jk	≥60	M1	M2
Muut tiet	M+Pp+Jk	<60	M3b	M4

Taulukosta nähdään, että moottoriväylillä valaistusluokka on pienempi, kuin pääteillä. Ero johtuu polkupyöräilijöiden ja jalankulkijoiden liikenteestä, joiden havaitseminen on tärkeää pääteillä.

C-luokat on tarkoitettu yleisillä teillä moottoriajoneuvojen kuljettajille ja muille tienkäyttäjille mutkikkaissa tasoliittymissä ja kiertoliittymissä tai muilla konfliktialueilla, joissa luminanssiin perustuva mitoitus ei ole käyttökelpoinen (Tievalaistuksen suunnitteluohje 2006, 18).

Taulukko 7. C (AE)- luokat ja vastaavuus (Tievalaistuksen suunnitteluohje 2006, 18).

Luokka	Vaakatason valaistusvoimakkuus		Luokkien vastaavuus		
	E_m lx, min	U_o min	Luminanssi		Valaistusvoimakkuus
C0 (AE0)	50	0,4	M1	→	C1
C1 (AE1)	30	0,4	M2	→	C2
C2 (AE2)	20	0,4	M3a	→	C3
C3(AE3)	15	0,4	M3b	→	C3
C4 (AE4)	10	0,4	M4	→	C4
C5 (AE5)	7,5	0,4	M5	→	C5

Taulukko 7 kertoo C-luokkien valaistusmitoitukset sekä niiden vastaavuudet AL-luokkien kanssa.

Kevyenliikenteenväylille ja – alueille on määritelty käytettävät valaistusluokat taulukossa 8.

Taulukko 8. P (K)- luokat (ST 58.10.01. 2016.)

Luokka	Valaistusvoimakkuus	
	E_m (lx)	E_{min} (lx)
P1(K1)	15	3
P2(K2)	10	2
P3(K3)	7,5	1,5
P4(K4)	5	1
P5(K5)	3	0,6
P6(K6)	2	0,4

Valaistusluokkia sovelletaan erilaisilla kevyenliikenteenväylillä ja – alueilla taulukon 9 mukaisesti.

Taulukko 9. Kevyenliikenteen valaistusluokat (ST 58.10.01. 2016.)

Väylä tai alue	Valaistusluokka
Kävelykadut	
Kaupungin keskustassa	
–Vain kevytliikenne	P2
–Huoltoajo sallittu	P1
Kaupungin muilla alueilla	
–Vain kevytliikenne	P3
–Huoltoajo sallittu	P2
Hidas- ja pihakadut	
–Vilkkaut	P2
–Vähäliikenteiset	P4, P5
Jalankulkualueet keskustassa	
Torit ja aukiot	P1, P2
Pysäköintialueet	
–Vilkkaut	P3
–Vähäliikenteiset	P4
Ulkoilutiet	
–Puistokäytävät	P3
–Hiihtoladut, pururadat	P4
Erilliset kevytliikennetiet	
–Vilkkaut	P4
–Vähäliikenteiset	P6

Taulukosta nähdään, että valaistuksen luokitus pienenee mitä enemmän alueella on käyttäjiä. Taajaman sisällä olevan yleisen tien valaistustaso valitaan taulukosta liitteessä 1. (Tievalaistuksen suunnitteluohje 2006, 19–24., Tiensuu 2010, 10.)

3.3.3 Sisävalaistus

Sisävalaistuksen suunnittelussa käytetään koko Eurooppaa koskevaa sisävalaistusstandardia EN 12464-1. Standardissa esitetään valaistusvoimakkuuden suositusarvo

(E_m), joka on huoltoarvo, jonka alle valaistustaso ei saa pudota eliniän aikana. Valaistusvoimakkuus määritellään vain työalueelle, mikä on energiatalouden kannalta järkevämpää, sillä työalueen ulkopuolella oleva tila voidaan valaista pienemmällä valon määrällä. Standardi määrittelee työalueiden ja välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus- (E_m), häikäisy- (GR_L) ja värinointoarvot (R_a). Taulukko 10 esittää eri sisätyötilojen valaistussuosituksia. (Kallasjoki ym. 2008 4–11.)

Taulukko 10. Sisätyötilojen valaistussuosituksiset (Kallasjoki ym. 2008 10)

Tila, tehtävä tai toiminta	E_m , lx	GR_L	R_a	Huomautukset
Liikennealueet ja käytävät	100	28	40	Valaistusvoimakkuus lattiatasolla
Karkea kokoonpanotyö	200	25	80	
Arkistointi, kopiointi	300	19	80	
Näyttöpäätetyö, kirjoittaminen	500	19	80	
Neuvottelu- ja kokoushuoneet	500	19	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
Myyntialue	300	22	80	Arvot riippuvat myymälän tyypistä
Kassa-, luku-, palvelualue	500	19	80	
Luokkahuone, opetustila	300	19	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
Odotushuoneet	200	22	80	

Taulukosta nähdään, että tarkempaan työntekoon tarvitaan parempi valaistus valaistusvoimakkuudelta, häikäisyarvolla ja värinointokyvyllä.

3.3.4 Valosaaste

Valosaasteella tarkoitetaan keinovaloa, joka suuntautuu muualle kuin tarkoitettuun kohteeseen ja koetaan haitalliseksi. Vääränlainen, väärään paikkaan suunnattu tai liian voimakas valaistus kuluttaa energiaa, vähentää viihtyvyyttä ja voi aiheuttaa jopa terveys- ja ympäristöhaittoja. Tyypillinen valosaasteen aiheuttama ongelma kaupungeissa on tähtitaivaan katoaminen keinovalon valaistessa taivasta, tai räikeät mainosvalot ja led-näytöt. Valaistuksen huolellinen suunnittelu on hyvä tapa ehkäistä valosaasteen syntymistä. Myös arjen huolellisuudella pystytään vaikuttamaan valosaasteen syntyyn, kuten sammuttamalla valot työpaikalta ja kotoa lähettäessä, tai autoilla muistaa vaihtaa pitkät ajovalot pois päältä. (Lyytimäki & Rinne 2013, 15–16.)

3.4 Taloudellisuus ja energiankäyttö

Valaistuksen käyttämistä perustellaan turvallisuuden lisääntymisellä, viihtyvyydellä ja työskentelyn paranemisella. Näille arvoille harvoin voidaan määrittää euromääräistä arvoa. Valaistuksen kustannukset pystymme laskemaan melko helposti, mutta valaistuksen arvoa ihmiselle on lähes mahdotonta laskea euromääräisesti. Valaistuksen kokonaiskustannukset koostuvat investointi- ja rakentamiskustannuksista, sekä käyttö- ja ylläpitokustannuksista. (Tiensuu 2010, 37.)

3.4.1 Investointi- ja rakennuskustannukset

Investointi- ja rakennuskustannukset ovat kertaluonteisia kustannuksia, jotka tulevat valaistuksen aloituskustannuksista. Investointi- ja rakennuskustannukset koostuvat suunnittelukustannuksista. Suunnittelukustannuksiin kuuluu valaistussuunnitelmien tekeminen, valaisimien valinta ja sähkösuunnittelu. Suunnitteluvaiheen valinnat vaikuttavat olennaisesti käyttö- ja ylläpitokustannuksiin. Investointikustannuksia ovat valaisimien, sekä niiden mahdolliset tarvikkeet, kuten pylväät ja varret ja sähkökomponenttien ostaminen. Rakennuskustannukset koostuvat mahdollisista maanrakennus- ja valaistuksen asennuskustannuksista. (Tiensuu 2010, 37–38.)

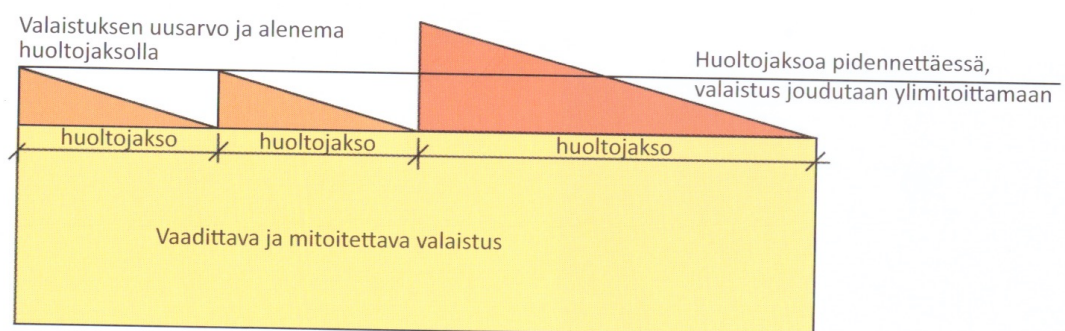
3.4.2 Käyttö- ja ylläpitokustannukset

Käyttö- ja ylläpitokustannukset koostuvat valaistuksen koko elinkaaren aikaisista kustannuksista. Käyttö- ja ylläpitokustannukset muodostavat valaistuksen elinkaaren aikana merkittävimmät kustannukset. Valitsemalla oikeanlaiset valaisimet erilaisiin käyttötarkoituksiin ylivoimaisesti tehokkaasti voidaan käyttökustannuksia pienentää niin, että valot eivät ole turhaan päällä. (Tiensuu 2010, 37.)

Suunnitteluvaiheessa tehdyissä valinnoissa tulisi ottaa huomioon seuraavia asioita, jotka vaikuttavat valaistuksen elinkaaren aikana käyttö- ja ylläpitokustannuksiin. Valaistustasoa ei saa ylivoimistaa, jotta valaistustarve ja ympäristön valaistustaso ovat tavoitetasolla ja energiankulutus mahdollisimman pieni. Energiankulutuksen ja elinkaarikustannuksen huomiointi suunnittelussa, eli investointikustannuksen suhde elinkaaren aikaisiin energia- ja huoltokustannuksiin. Valoteknisesti laadukkaat valaisimet

takaavat hyvän valotehokkuuden. Laadukas ja tarkoituksenmukainen optiikka takaa, että valaisimen tuottama valo saadaan suunnattua tarkoituksen mukaisesti, jottei valoa mene hukkaan. Valaisinten liitännälaittehäviöt tulee ottaa huomioon, jotta sähköhäviöt pysyvät mahdollisimman pieninä. Valaistuksen ohjauksella minimoidaan valaistuksen tarpeeton käyttö, joka käyttää energiaa ja kuluttaa valaisimia lyhentäen niiden käyttöikä. Valaisimien iän myötä syntyvä valontuoton vähenemä, joka johtuu valonlähteen iän myötä tulevasta valontuoton vähenemisestä, tai valaisimen likaantumisenstä täytyy ottaa huomioon suunnittelussa. Tarkoituksenmukaisella valaisimien valinnalla, käytöllä ja oikein mitoitetulla huoltojaksolla valaisimet pysyvät tarpeen vaatimalla valontuoton tasolla. (Tiensuu 2010, 37.)

Valaistuksen mitoitus suunnitellaan huoltoarvon perusteella, joka tarkoittaa, että valaistustaso säilyy vähintään mitoitetulla tasolla koko käyttöjakson ajan. Tämän saavuttaminen vaatii valaisimien säännöllisen huoltorytmi, jolloin valaisin puhdistetaan, tarkistetaan suuntaus ja valonlähde tarvittaessa vaihdetaan. Suunnittelija määrittää vaadittavan valaistustason ja mitoittaa valaistuksen niin, että huoltojakson aikana valaistustaso ei laske alle vaadittavan tason valotehon hiipumisen tai valaisimien likaantumisesta johtuen. Kuvio 3 havainnollistaa huoltojakson pituuden merkitystä valaistustason ylimitoitukseen, eli pidemmällä huoltojaksolla joudutaan ylimitoittamaan enemmän valaistustasoa. (Tiensuu 2010, 38.)



Huoltojakson pituuden vaikutus tarvittavaan mitoitukseen.

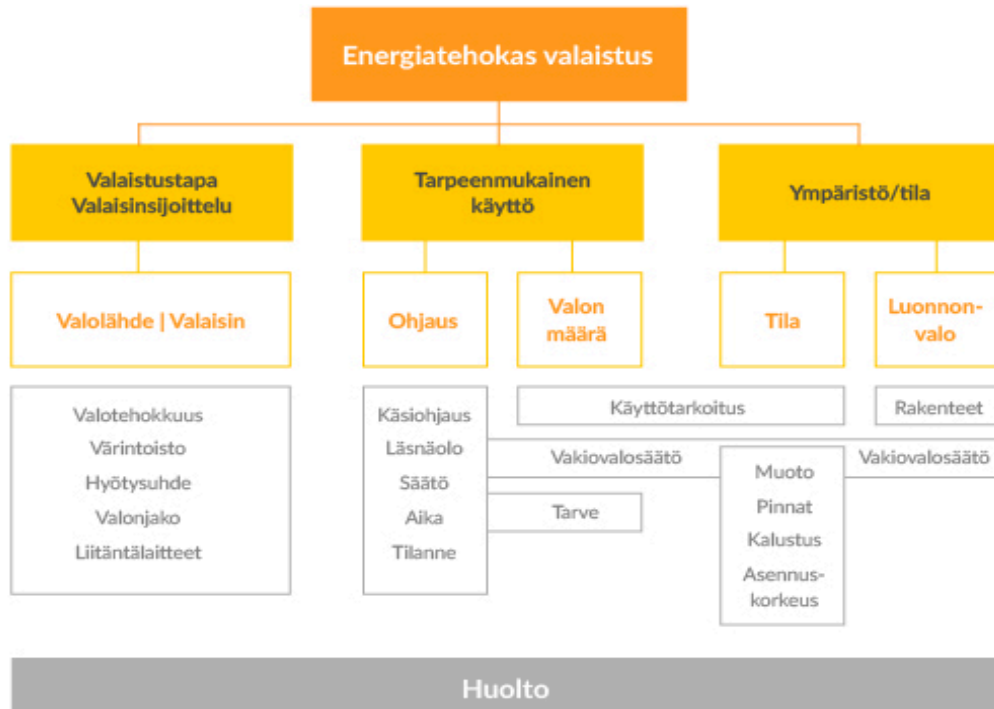
Kuvio 3. Huoltojakso (Tiensuu 2010, 38)

Valaistusta täytyy siis ylimitoittaa, jotta vaadittava valaistustaso säilyy riittävänä. Pitempi huoltojakso vaatii suuremman ylimitoituksen, joka kuluttaa turhaa energiaa.

3.4.3 Energiatehokkuus

Kestävä kehitys ja energiatehokkuus on ollut kasvava teema yhteiskunnallisessa keskustelussa jo 1990-luvulta lähtien. Energiatehokkuuden parantaminen on nopea ja helppo tapa tukea kestävää kehitystä ja samalla säästää sähkölaskussa. Valaistuksen uusiminen on helppo, halpa ja yksinkertainen tapa parantaa energiatehokkuutta. (Howard ym. 2011, 24–25.) Usein valaistuksen energiatehokkuutta ajatellaan vain valonlähteiden vaihtamisena valotehokkaampiin, mikä on helppo tapa, mutta vain osa valaistuksen energiatehokkuutta.

Energiatehokas valaistus syntyy valaistuksen huolellisesta suunnittelusta ja toteutuksesta, energiatehokkaista valonlähteistä, valaistuksen ohjauksesta ja valaistuksen huoltamisesta. Kuvio4 havainnollistaa energiatehokkaan valaistuksen eri osa-alueet.



Kuvio 4. Energiatehokas valaistus (Energiatehokas valaistus n.d.)

Suunnittelussa tulee ottaa huomioon valaistustason tarve, tila ja päivänvalo määrittävät paljon valaistustarvetta. Valaistusvoimakkuuden ylimitoitus vaikuttaa suoraan energiankulutukseen. Valaistus tulee mitoittaa tarpeenmukaisille alueille, ei koko tilaan, jos tarvetta ei ole. Valaistuksen käyttöaikaa ja voimakkuutta tulee säädellä tarpeen ja tilan mukaan, esimerkiksi vuodenaikojen mukaan. Valaistushuollon optimointi tulee olla hyvin suunniteltu, jotta ei valaistustasoa ei jouduta ylimitoittamaan. Valonlähteiden määrän optimointi ja energiatehokkaat valaisimet vähentävät turhan valaistuksen määrää. Valaistuksen liitännälaitteet aiheuttavat sähköhäviöitä, jotka voidaan minimoida valitsemalla hyvän energialuokan omaavat komponentit. (Energiatehokas valaistus n.d.)

3.5 Valaistuksen ohjaus

Valaistuksen ohjauksella säädetään valaistuksen käyttöaikaa ja valaistuksen tasoa tarkoituksenmukaisesti. Ohjauksella minimoidaan kulutettava energia ja luodaan tarkoituksenmukainen valaistus ottaen huomioon, että valaistusta tarvitaan tuomaan turvallisuutta, lisäämään viihtyvyyttä ja tehostamaan työtehtäviä. Valaistuksen ohjauksen tärkeimmät tehtävät ovat tarjota oikea määrä valoa sinne missä sitä tarvitaan ja silloin kun sitä tarvitaan. Valaistuksen ohjauksen tulee joustavasti tukea tilan valaistuksen tarvetta niin, että himmentimillä ja kytkimillä voidaan ohjata valaistuksen määrää ilman valaistuksen turhaa käyttöä. Ohjauksen tulee joustavasti pystyä säätämään valoa sinne, missä sitä tarvitaan esimerkiksi jakamalla tila eri alueisiin. Ohjauksen tulee säätää valaistusta niin, että valaistusta käytetään vain silloin, kun sitä tarvitaan. Ohjausta on tyypillisesti esimerkiksi sisätiloissa hallinnut käyttäjä itse valokatkaisijasta, mutta uusi teknologia mahdollistaa uusia älykkäämpiä ratkaisuja valaistuksen ohjaukseen. (DiLouie 2008, vii–xvii; Tiensuu 2010, 35.)

Kellokytkin on yksinkertainen ohjauslaite, jolla voi ohjata valaistusta tietyn ajan, tai tietyn aikaan päivästä. Erilaisilla tunnistimilla on eri mahdollisuuksia ohjata valaistuksen paikkaa ja valaistustasoa. Liiketunnistimilla voidaan sytyttää valoja alueelle, missä liikutaan ja tarvitaan valoa. Hämäräkytkimillä voidaan ohjata valaistusta vuorokauden valon mukaan ja estää turhaa kilpailua auringonvalon kanssa. Himmennys, eli valotason pudotus on nykyaikaisen ohjauksen tärkeä tekijä, sillä on paljon kohteita,

joissa täyttä valaistusta ei tarvita koko aikaa ja alati syttyvät ja sammuvat valot tuntuvat häiritseviltä. (DiLouie 2008, 3–6; Tiensuu 2010, 35.)

Älykäs ohjaus kehittyy jatkuvasti ja jotta älykästä ohjausta voidaan hyödyntää tehokkaasti ja joustavasti vaaditaan valaistussuunnittelulta oikeanlaisia valaisimia, joita pystytään ohjaamaan älykkäästi (Siironen, 2016).

4 Valaistussuunnittelun kehittäminen

Valaistussuunnittelua on pitkään ohjannut ajatus yleisvalosta ja sen tarpeellisuudesta. Uudet tekniset ratkaisut ja suunnittelumallit mahdollistavat uudenlaisia vaihtoehtoja valaistuksen toteuttamiseen. Tässä tutkimuksessa tutkitaan valaistussuunnittelun nykyisten suunnittelutapojen ja käytännön ratkaisujen toimivuutta. Tutkimuksessa kehitetään uusia suunnittelutapoja valaistuksen toteuttamiseen sekä katuettä myymälätiloissa. Tutkimuksessa kyseenalaistettiin usein käytössä olevien perinteisten valaistustapojen ja valaistusstandardien oikeellisuutta. Samalla tutkimuksessa kehitettiin uusia ratkaisuja energiatehokkaiden ja ihmiselle miellyttävien valaistustapojen toteuttamiseen.

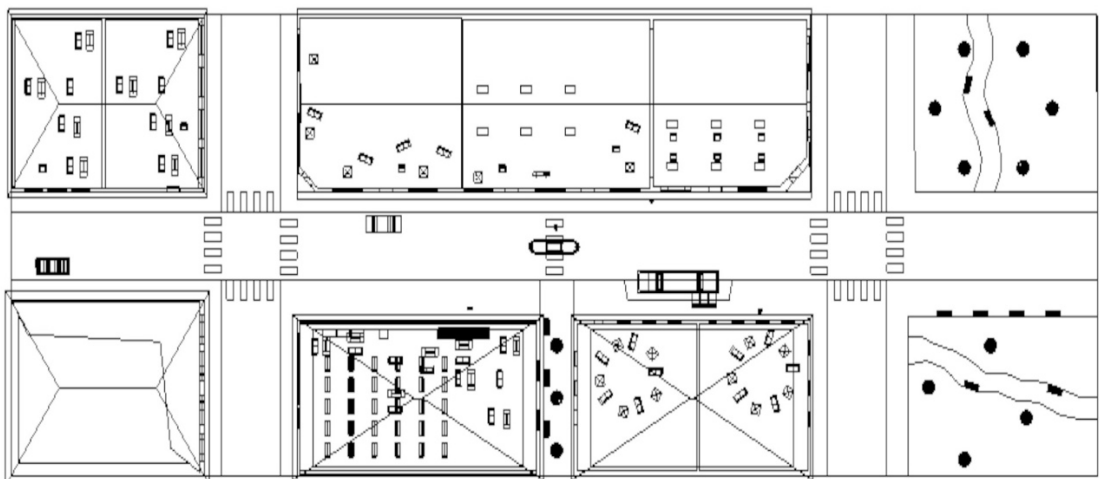
Tutkimuksessa mallinnettiin erilaisia valaistuskohhteita ja valaistussuunnitelmia DIALux- ohjelmiston avulla. Keskiössä ovat tievalaistus ja myymälävalaistus, joille mallinnettiin erilaisia valaistussuunnitelmia. Näiden pohjalta tutkittiin valaistussuunnitelmien valaistustasoa, energiankäyttöä ja soveltuvuutta ihmiselle. Mallinnettavat kohteet eivät ole reaali maailman kohteita, jotta tutkimustuloksista saadaan mahdollisimman yleistettäviä. Reaali maailman valaistussuunnittelussa täytyy ottaa huomioon tilan ympäristötekijät kuten historialliset ja arkkitehtuuriset seikat. Tutkimuksessa käytettiin sähkön kokonaishinnan hintatietona energiavirastolta saatua tietoa. Sähkön kokonaishinta noin 35 000 kWh/a kuluttavalle taloudelle kahden vuoden määräaikaisella sopimuksella 10.5.2017 oli 6.8 snt/kWh. Hintaa ei sisällä veroja (Sähkön hintatilastot. N.d.)

5 Katuvalaistuksen valaistussuunnittelun kehittäminen

5.1 Katualue

Ulkovalaistuksen päätehtävät taajamassa ovat näkyvyys eli toimintojen valaiseminen, tilan ja ympäristön hahmottaminen sekä turvallisuuden tunteen ja tunnelman synnyttämä ilmapiiri. Katuvalaistussuunnittelua ohjaa Tievalaistuksen suunnitteluohje (2006), joka perustuu EN SFS- standardeihin. Katuvalaistuksen järjestäminen ja huoltaminen ovat yleensä kaupungin tai kunnan vastuulla. Katuvalaistusta suunnitellaan usein autotien pinnan valaisemisen kautta eikä tilan kokonaisuutta oteta huomioon.

Tutkimuksessa katuvalaistuksen kehittämiseksi mallinnettiin DIALux Evo 7- ohjelmistolla kuvitteellinen katualue. Katualue sijoittuu taajamaan ja alueella on rakennuksia kadun molemmin puolin. Alueella on liiketiloja rakennusten alimmassa kerroksessa. Alueella on seitsemän metriä leveä autotie, jonka molemmin puolin on kevyen liikenteen väylä. Tien yli menee suojateitä ja alueella on risteysalueita sekä linja-auto pysäkki. Kuvio 5 kuvaa katupiirustusta ylhäältä päin rautalankamallina. Piirustuksessa nähdään keskeltä menevä katu ja suojatiet. Kuvioista nähdään myös viisi rakennusta ja oikeassa reunassa kaksi viheraluetta.



Kuvio 5. Katupiirustus

Kuvio 6 havainnollistaa katunäkymän 3D- mallinnuksena: näkymä on piirustuksesta katsottuna oikeasta reunasta vasempaan otettu näkymä. Kuvioista 6 nähdään autotie, rakennuksia, linja-autopysäkki ja suojatie.



Kuvio 6. Katunäkymä

Liikenneviraston laatima tievalaistuksen suunnitteluohje (2006) ohjaa katu- ja tievalaistuksen suunnittelua. Ohje määrittelee valaistuksen mitoituksia ja mittauksia. Tutkimuksessa mallinnettu katu oli kaupungin keskustassa. Liitteen 1 taulukon perusteella katu kuuluu toiminnalliselta luokaltaan AL3-luokkaan eli M3a- luokkaan uudistetun luokituksen mukaan, sillä tien nopeusrajoitus on alle 60km/h, tiellä on moottoriliikennettä ja suojatiellä on jalankulkijoita. Luokituksen mukaan vaakatason valaistusvoimakkuus tulee tällöin olla vähintään 15 luksia. Tutkimuksessa oletetaan, että valaisimia pidetään päällä 9 tuntia päivässä.

Kaupungin keskustaan sijoittunut kevyen liikenteen väylä on ainoastaan kevyen liikenteen käytössä, joten sen valaistusluokka on liitteen 1 taulukon mukaan K4 eli uudistetun luokituksen mukaan P4. Siinä vaakatason valaistusvoimakkuuden tulee olla vähintään 5 luksia.

Tutkimuksessa mallinnettiin katunäkymälle kaksi eri tavalla toteutettua valaistus-suunnitelmaa: perinteisesti toteutettu valaistus sekä jalankulkijan ehdolla toteutettu valaistus. Ensimmäisessä valaistussuunnitelmassa tavoitteena oli suunnitella ja mallintaa mahdollisimman tyypillinen taajama-alueen katuvalaistus standardien määrittämällä tavalla. Tyypillinen taajama-alueen valaistus on toteutettu joko pylväiden päihin asennetuilla valaisimilla tai talojen väliin viritetyillä vaijereilla, joihin on asennettu valaisimet. Tässä tapauksessa nämä molemmat vaihtoehdot mallinnettiin, sillä haluttiin vertailla perinteisen valaistustavan erilaisia toteutusvaihtoehtoja sekä niiden hyviä ja huonoja puolia.

Toisessa valaistussuunnitelmassa keskityttiin katutilan valaisemiseen jalankulkijan ehdoilla. Tavoitteena oli tutkia erilaisten valaistussuunnittelutapojen käytännön toimivuutta, energiatehokkuutta, kustannuksia ja tehdä kehitysehdotuksia.

5.2 Katuvalaistuksen valaisimet

Suunnitteleminen aloitettiin valaisimien valinnalla, jossa pyrittiin valitsemaan mahdollisimman nykyaikainen ja laadukas valaisin. Valinnassa kiinnitettiin huomiota valaisimen soveltuvuuteen katutilan kannalta, energiatehokkuuteen, käyttöikään, hintaan, ohjattavuuteen, saatavuuteen ja värintoisto-ominaisuuksiin. Lisäksi haluttiin käyttää vain yhden valmistajan valaisimia, sillä sen avulla varmistetaan valaisimien yhtenäinen laatu. Tällöin valaistussuunnitelmia pystytään myös vertailemaan.

Valaisintoimittajaksi valittiin iGuzzini, sillä iGuzzinin katuvalaisimet sopivat hyvin mallinnettavaan katuosuuteen. Myös Liikennevirasto on hyväksynyt iGuzzinin tievalaisimia vuonna 2016 (Ekrias, Hautala, Lehtonen, Paakkinen, Tiensuu & Uutela. 2016). Lisäksi iGuzzinilla on laaja valikoima ulkovalaisimia. iGuzzinin Suomen toimipaikat ovat Helsingissä ja Tampereella. (iGuzzini Finland n.d.)

5.2.1 iGuzzini MaxiWoody Compact BU98

Katuvalaistuksen talojen väliin vaijerilla asennettavaksi valaisimeksi valittiin iGuzzini MaxiWoody Compact BU98. Valaisin on LED-polttimoilla varustettu ulkokäyttöön tarkoitettu valaisin. Kuvio 7 kuvaa valaisimen ulkonäköä. Valaisimen muodosta nähdään valaisimen linssin olevan pyöreä, mikä kertoo valaisimen valonjakokuvion olevan pyöreä. (BU98 Product information n.d.)



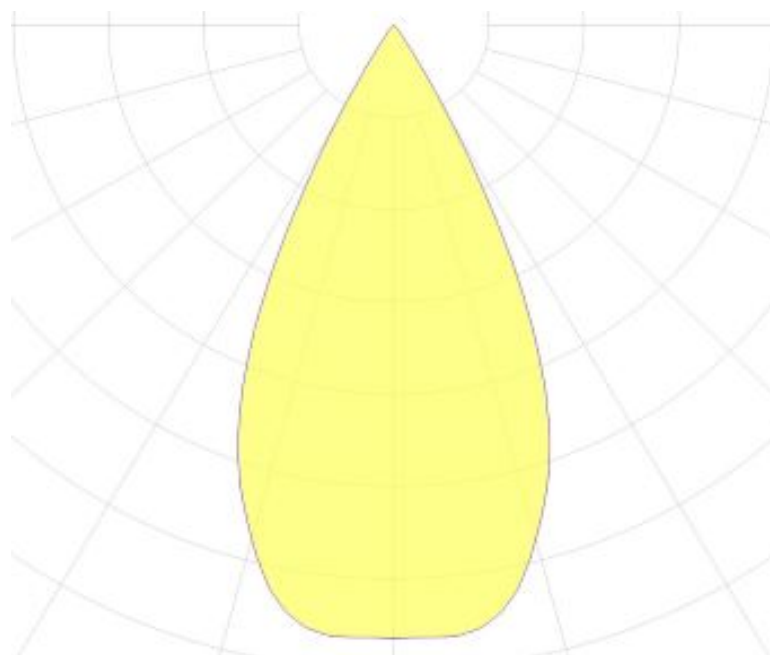
Kuvio 7. MaxiWoody Compact BU98 (BU98 Product information n.d)

Taulukko 11. MaxiWoody Compact BU98 tekniset tiedot (BU98 Product information n.d.)

MaxiWoody Compact BU98	Määrä	Yksikkö
Paino	4,57	kg
Pituus	270	mm
Leveys	260	mm
Korkeus	296	mm
Kotelointiluokka	IP67	
Teho	42,7	W
Valon värilämpötila T_{CP}	4000	K
Ra-indeksi	RA>80	
Moduulin valovirta \varnothing	4209	lm
Valovirran pysyvyys	100 000	h
Kokonaisvalotehokkuus	98,6	lm/W
Optiikka	WF 50°	

Valaisimen teknisiä ominaisuuksia kuvaa Taulukko 11. Valaisimet ovat koteloituilukituksestaan IP67, eli niissä on täydellinen suojaus pölyltä ja ne kestävät hetkellisen upotuksen veteen. (IP-classification n.d.). Valaisimet eivät myöskään ruostu, sillä ne on tehty alumiinista. Koska valaisimet ovat IP-luokituksiltaan ja materiaaleiltaan ulkoilmaan tarkoitettuja, ne soveltuvat hyvin katuvalaisimiksi.

Valaisimien valovirran pysyvyys on erittäin pitkä, mikä tarkoittaa, että valonlähteitä ei tarvitse vaihtaa usein. Valon värilämpötila on 4 000K, eli neutraali on hyvä, koska värilämpötila vaikuttaa RA- indeksiin (ks. Taulukko 1). Valaisimen Ra-indeksi 80 on hyvä, jotta valo toistaa kadulla olevat värit mahdollisimman luonnollisesti. Valaisimen kokonaisvalotehokkuus on 98,6 lm/W, mikä on LED- valaisimelle keskitasoa. Toisaalta se on hyvä verrattuna monimetallilamppuun, jonka valotehokkuus on tyypillisesti 70-100 lm/W, mutta käyttöikä vain 10 000 tuntia (Lamppujen, valon ja valaistuksen ominaisuuksia n.d.). Valaisimien optiikka on iGuzzinin WF (Wide Flood) 50°, joka tarkoittaa laajaa valonjakoa 50 asteen leveydellä. Optiikan valonjakokäyrää havainnollistaa Kuvio 8. Kuvioista 8 nähdään, että valonjakokäyrä on laaja ja pyöreä, mikä sopii kadun valaisemiseen ylhäältäpäin. Tuoteperheessä ei ollut laajemmalla optiikalla varustettua LED- valaisinta. (BU98 Product information n.d.) Valaisimen hinta on 550 euroa (Syrjälä, J. 2017).



Kuvio 8. MaxiWoody Compact BU98 valonjakokäyrä (BU98 Product information n.d.)

Tiivistettynä, valaisin oli tutkimuksen katuvalaistukseen soveltuva, koska sen valovirta on riittävä, sen värinasto-ominaisuudet ovat hyvät ja sillä on laaja optiikka. Lisäksi valaisin on pitkäikäinen ja energiatehokas.

5.2.2 iGuzzini Archilede HP

Katuvalaistuksen perusvalaisimeksi valittiin Archilede HP, koska se on energiatehokas sekä värinasto-ominaisuuksiltaan ja valaistusvoimakkuudeltaan riittävä. Se sopii katuun ja lisäksi se on Liikenneviraston hyväksymä tievalaisin.

Archilede HP on katuvalaistukseen tarkoitettu LED-valaisin. Tuoteperhe sisältää monta eri mallia riippuen valaistusvoimakkuudesta, värilämpötilasta tai optiikasta. Valaisimia saa metallipylväs-asennuksena ja seinäkiinnityksenä. Valaisin on modernin näköinen ja pieni, kuten alla olevasta kuvioista 9 nähdään. (BL66 Product information n.d.)



Kuvio 9. Archilede HP (BL66 Product information n.d.)

Tuoteperheestä valittiin kaksi valaisinta: Archilede HP BL66 ja Archilede HP BX36. Valaisinten teknisiä tietoja kuvataan taulukossa 12.

Taulukko 12. Valaisimen Archilede HP -tekniset tiedot (BL66 Product information n.d; BL66 Product information n.d.)

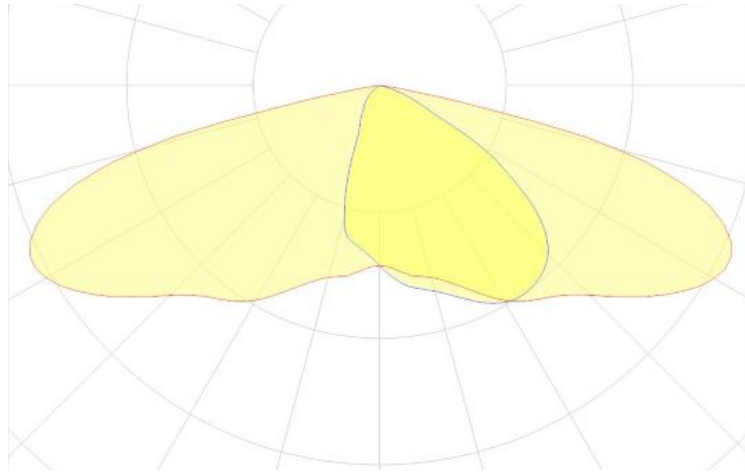
Archilede HP	BL66	BX36	Yksikkö
Paino	15,28	9,24	kg
Pituus	765	627	mm
Leveys	412	300	mm
Korkeus	268	250	mm
Kotelointiluokka	IP67	IP67	
Teho	42,4	16,7	W
Valon väriämpötila T _{CP}	4000	4000	K
Ra-indeksi	RA>70	RA>70	
Moduulin valovirta Ø	4280	1820	lm
Valovirran pysyvyys	100 000	100 000	h
Kokonaisvalotehokkuus	105	108	lm/W
Optiikka	ST1.0 katuvalaistus	ST1.0 katuvalaistus	

Taulukosta 12 nähdään valaisimien olevan melko samankaltaisia. Kuitenkin BL66-malli on tehokkaampi, koska siinä on enemmän LED-valonlähteitä. Ero näkyy valaisimen koossa ja valovirrassa.

Valaisimet ovat kotelointiluokitukseltaan IP67, eli niissä on täydellinen suojaus pölyltä ja ne kestävät hetkellisen upotuksen veteen. (IP-classification n.d.). Valaisimet eivät myöskään ruostu, sillä ne on tehty alumiinista. Koska valaisimet ovat IP-luokituksiltaan ja materiaaleiltaan ulkoilmaan tarkoitettuja, ne soveltuvat hyvin katuvalaisimiksi.

Valaisimien valovirran pysyvyys on erittäin pitkä, mikä tarkoittaa, että valonlähteitä ei tarvitse vaihtaa usein. Valon väriämpötila on 4 000K, eli neutraali on hyvä, koska väriämpötila vaikuttaa RA- indeksiin (ks. Taulukko 1). Valaisimen Ra-indeksi 70 on hyvä, jotta valo toistaa kadulla olevat värit mahdollisimman luonnollisesti. Valaisimien kokonaisvalotehokkuudet 105 ja 108 lm/W ovat hyvät verrattuna monimetallilamppuun, jonka valotehokkuus on tyypillisesti 70-100 lm/W, mutta käyttöikä vain 10 000 tuntia. Valaisimen kokonaisvalotehokkuus kertoo, että valaisimen hyötysuhde eli valaisimen energiatehokkuus on hyvä. (Lamppujen, valon ja valaistuksen ominaisuuksia n.d.) Valaisimien optiikka on iGuzzinin ST1.0, joka on tarkoitettu katuvalaisimiin. Optiikan valonjakokäyrää havainnollistaa Kuvio 10. Kuvio 10 nähdään, että valonjakokäyrä on laaja ja suuntaava, minkä vuoksi valaisin sopii katuvalaistukseen.

(BL66 Product information n.d.; BX36 Product information n.d.) BL66-valaisimen hinta on 650 euroa ja BX36-valaisimen hinta 470 euroa (Syrjälä, J. 2017).



Kuvio 10. Valaisimen Archilede HP ST1.0 valonjakokäyrä (BL66 Product information n.d.)

Valaisimet ovat ohjattavia ja himmennettäviä, joten valaistustasoa voidaan ohjata ja himmentää. Valaisin on tutkimuksen katuvalaistukseen soveltuva, koska sen valovirta on riittävä ja sen värintoisto-ominaisuudet ovat hyvät. Valaisimen optiikka on tievalaistukseen tarkoitettu. Lisäksi valaisin on pitkäikäinen, energiatehokas ja ohjattava. (BL66 Product information n.d.; BX36 Product information n.d.)

5.2.3 iGuzzini iPro BK20

Katuvalaistuksen täydennysvalaisimeksi valittiin iGuzzini iPro BK20- valaisin tarkoituksena täydentää valaistusta suojateiden kohdalla. IPro BK20 on LED- toiminen ulko- käyttöön tarkoitettu kohdevalaisin. Kuvio 11 kuvaa iPro BK20- valaisinta. Valaisin on pienikokoinen, suunnattava ja seinään kiinnitettävä. (BK20 Product information n.d.)



Kuvio 11. Katuvalaistuksen valaisin iGuzzini iPro BK20 (BK20 Product information n.d.)

Taulukko 13 kuvaa valaisimen iPro BK20- teknisiä tietoja.

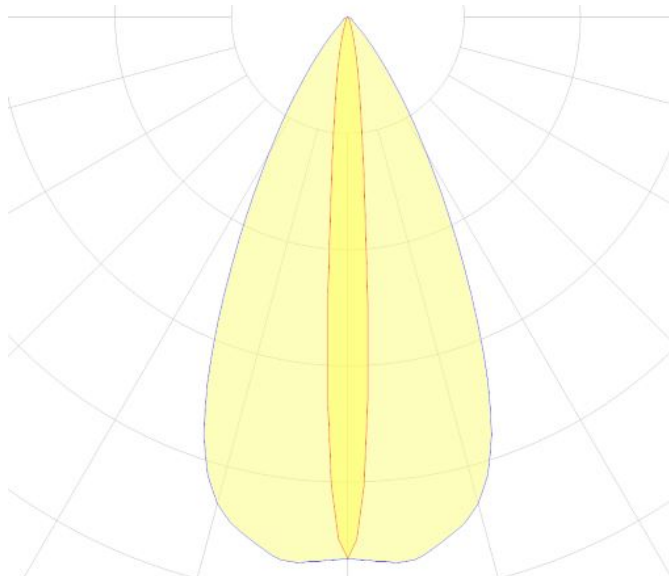
Taulukko 13. Valaisimen iPro BK20- tekniset tiedot (BK20 Product information n.d.)

iPro BK20	Määrä	Yksikkö
Paino	0,86	kg
Pituus	86	mm
Leveys	81	mm
Korkeus	111	mm
Kotelointiluokka	IP66	
Teho	6,4	W
Valon väriämpötila T_{CP}	4000	K
Ra-indeksi	RA>80	
Moduulin valovirta \varnothing	271	lm
Valovirran pysyvyys	100 000	h
Kokonaisvalotehokkuus	42	lm/W
Optiikka	ET	

Valaisin on kotelointiluokaltaan IP66, eli siinä on täydellinen suojaus pölyltä ja se kestää paineella tulevan vesisuihkun (IP-classification n.d.). Valaisimet ovat alumiinia, eli ne eivät ruostu. Valaisimet ovat IP-luokituksiltaan ja materiaaleiltaan ulkoilmaan tarkoitettuja, joten ne soveltuvat katuvalaisimiksi. Valaisimien valovirran pysyvyys on erittäin pitkä. Valon väriämpötila on 4 000K, eli neutraali on hyvä, koska väriämpötila vaikuttaa RA- indeksiin (ks. Taulukko 1). Valaisimen Ra-indeksi 70 on hyvä, jotta valo toistaa kadulla olevat värit mahdollisimman luonnollisesti. Valovirran pysyvyys

on pitkä, mikä tarkoittaa, että valaisimia ei tarvitse vaihtaa pitkään aikaan. Valaisimen kokonaisvalotehokkuus 42 lm/W on LED- valaisimeksi huono, mutta sen tarkoitus ei olekaan toimia pääasiallisena valonlähteenä vaan muun valaistuksen tukena, ja siksi se valittiin tutkimukseen. (Lamppujen, valon ja valaistuksen ominaisuuksia n.d.)

Valaisimien optiikka on iGuzzinin ET eli pystysuunnassa oleva ellipsis. Optiikan valonjakokäyrää havainnollistaa kuvio 12. Kuvio 12 nähdään, että valonjakokäyrä kapea, mikä sopii suojatievalaistukseen. (BK20 Product information n.d.) Näin ollen valaisin on valaistussuunnitelmaan soveltuva, koska sen valovirta on riittävä, sen värintoisto-ominaisuudet ovat hyvät ja optiikka on kapea. Lisäksi valaisin on pitkäikäinen. Valaisimen hinta on 180 euroa (Syrjälä, J. 2017).



Kuvio 12. Valaisimen iPro BK20 valonjakokäyrä (BK20 Product information n.d.)

5.3 Katuvalaistuksen perinteinen valaistustapa

Katuvalaistuksen perinteisen valaistustavan tavoitteena oli suunnitella ja mallintaa tyypillinen taajama-alueen katuvalaistus. Valaistusvoimakkuustasoksi pyrittiin mallintamaan vähintään 15 luksin valaistusvoimakkuustaso autotielle ja vähintään 5 luksin valaistusvoimakkuustaso kevyen liikenteen väylille.

Tutkimuksessa mallinnettiin perinteinen valaistustapa kahdella käytännön toteutustavalla. Tyypillinen taajama-alueen valaistus on toteutettu talojen väliin viritetyillä vaijereilla, joihin on asennettu valaisimet. Tästä käytetään tutkimuksessa nimitystä tapaus 1. Toinen perinteinen tapa toteuttaa taajama-alueen valaistus on asentaa pylväisiin valaisimia. Tästä käytetään tutkimuksessa nimitystä tapaus 2. Tutkimuksessa mallinnettiin näille molemmille tapauksille valaistussuunnitelmat. Tavoitteena oli tutkia perinteisen valaistustavan käytännön toimivuutta, energiatehokkuutta, kustannuksia sekä luoda kehitysehdotukselle vertailukohtia.

5.4 Katuvalaistuksen perinteinen valaistustapa: tapaus 1

5.4.1 Valaistussuunnitelma

Mallintaminen aloitettiin mallintamalla autotien kattava yleisvalaistus. Valaisimeksi valittiin MaxiWoody Compact BU98, joka asennettiin vaijerilla rakennusten väliin 11 metrin korkeuteen. Tämän myötä valo levittyi myös kevyen liikenteen väylille. Valaisimia mallinnettiin noin 8,5 metrin välein, jotta riittävä valaistusvoimakkuus saavutettiin. Liite 2 kuvaa katuvalaistuksen ensimmäistä valaistussuunnitelmaa. Valaistussuunnitelmassa nähdään valaisimet oranssinvärisenä. Valaisimet sijoitettiin keskelle rakennusten väliä. MaxiWoody Compact BU98- valaisimia mallinnettiin katutilaan 23 kappaletta. Kuvio 13 kuvaa mallinnettua katunäkymää.



Kuvio 13. Katunäkymä, tapaus 1.

Kuviosta 13 nähdään kadun yläpuolella olevat valaisimet. Maantasolla nähdään mitausalueiden valonjakautumiskäyrät keltaisella värillä. Valaisimen alapuolella, keskellä autotietä valaistusvoimakkuus on noin 50 luksia. Valaistusvoimakkuustaso pienenee tasaisesti kohti valokeilan reunoja. Kevyen liikenteen väylän rakennuksen vierisellä reunalla valaistusvoimakkuus on parhaimmillaan noin 15 luksia ja huonoimmillaan noin 5 luksia. Valaistusvoimakkuus vaihtelee valaisimen ympyrän muotoisesta valokeilasta johtuen.

Valaistussuunnittelussa onnistuttiin, ja tavoiteltuihin valaistusvoimakkuustasoihin päästiin. Valo ei levity tasaisesti katutilaan. Keskellä autotietä valaistusvoimakkuus on liian korkea, mikä vaikuttaa energiankulutukseen.

5.4.2 Energiankäyttö ja kustannukset

Valaistuksen kokonaiskustannukset koostuvat investointi- ja rakennuskustannuksista sekä käyttö- ja ylläpitokustannuksista. Investointi- ja rakennuskustannukset koostuvat suunnittelu- ja rakennuskustannuksista sekä valaisimien ja muiden komponenttien hankintakustannuksista. Suunnittelu- ja rakennuskustannukset ovat lähes samat valaistussuunnitelmasta riippumatta, joten niitä ei tässä tutkimuksessa oteta huomioon. Valaisimien hankintakustannukset muodostavat 23 kappaletta MaxiWoody

Compact BU98- valaisinta. Valaisimien hankintakustannukset ovat 12650 euroa (ks. yhtälö 3).

$$550\text{€} \times 23 \approx 12\,650\text{€} \quad (3)$$

Käyttö- ja ylläpitokustannukset koostuvat koko elinkaaren aikaisista huolto- ja energiakustannuksista. Valaistuksen elinkaari on sama kuin valovirran pysyvyys, koska valonlähteitä ei pystytä vaihtamaan. Valovirran pysyvyys on 100 000 tuntia eli yhdeksän tunnin keskimääräisellä päivittäisellä käytöllä noin 30,4 vuotta (ks. yhtälö 4). Tutkimuksessa mitoitetaan elinkaaren pituudeksi 30 vuotta, ettei valovirta laske alle vaaditun tason.

$$\frac{100000h}{9h \times 365d} \approx 30,4a \quad (4)$$

Huoltokustannuksia ovat valaisimien puhdistaminen ja vikatilanteissa valaisimien vaihtaminen. Valonlähteitä ei tarvitse kuitenkaan vaihtaa koko elinkaaren aikana. Huoltojakso ja -kustannukset ovat lähes samat valaistussuunnitelmien välillä, koska valaistussuunnitelmissa käytetään lähes saman tyyppisiä valaisimia. Näin ollen niitä ei oteta huomioon tässä tutkimuksessa.

Valaistussuunnitelmasta pyrittiin tekemään mahdollisimman energiatehokas valitsemalla mahdollisimman energiatehokkaat valaisimet. Valaistusta pidetään päällä 9 tuntia päivässä vuoden ympäri. Valaistussuunnitelman 23 BU98 valaisinta käyttävät sähköä yhteensä 982,1 W, joten sähkönkulutus vuodessa on 3 226,2 kWh/a (ks. yhtälö 5)

$$(982,1W \times 9h \times 365d) \approx 3226,2kWh/a \quad (5)$$

Sähkön kokonaishinta noin 35000 kWh/a kuluttavalle taloudelle kahden vuoden määräaikaisella sopimuksella 10.5.2017 on 6.8 snt/kWh ilman veroja. (Sähkön hintatilastot n.d.). Tällä hinnalla sähkön vuosikustannukseksi tulee 219,4 euroa (ks. yhtälö 6).

$$\frac{3226,2kWh}{a} \times 0,068\text{€} \approx 219,4\text{€} \quad (6)$$

Tämän hetkiselällä sähkön hinnalla koko elinkaaren aikaiset sähkökustannukset ovat 6581,4 euroa (ks. yhtälö 7).

$$219,4 \frac{\text{€}}{a} \times 30a \approx 6\,581,4\text{€} \quad (7)$$

Sähkön hinta on joka kaupungissa erilainen ja sähkön hinta vaihtelee vuosien aikana, joten yllä oleva laskelma on vain suuntaa antava. Sen avulla voidaan kuitenkin vertailla valaistussuunnitelmia.

Valaistussuunnitelma on valaisimien osalta energiatehokas, koska valaisimiksi valittiin energiatehokkaat valaisimet, jotka takaavat valon jakautumisen tien toiselle puolelle asti. Keskellä autotietä valaistusvoimakkuustaso on suuri, ja sen vuoksi sähköä kuluu turhaan. Asentamalla valaisimet ylemmäs tai valitsemalla laajemmalla optiikalla varustettu valaisin valaistuksesta tulisi tasaisempi. Samalla valaisimet valaisivat kuitenkin turhaan rakennusten seiniä.

5.5 Katuvalaistuksen perinteinen valaistustapa: tapaus 2

5.5.1 Valaistussuunnitelma

Mallintaminen aloitettiin mallintamalla autotien kattava yleisvalaistus. Valaisimeksi valittiin Archilede HP BL66, joka sijoitettiin valaisinpylvääseen 5 metrin korkeuteen. Tämän myötä valo levittyi tasaisesti eikä valaistus häikäisisi. Valaisinpylväitä mallinnettiin noin 10,5 metrin välein, jotta riittävä valaistusvoimakkuus saavutettiin. Liitteen 3 kuvio kuvaa katuvalaistuksen perinteisen valaistussuunnitelman tapausta 2. Valaistussuunnitelmassa nähdään valaisimet oranssinvärisenä. Archilede BL66 -valaisimia mallinnettiin alueelle 23 kappaletta. Autotien valaisimet säteilivät valoa myös kevyen liikenteen väylien valaisemiseen. Kuvio 14 kuvaa mallinnettua katunäkymää.



Kuvio 14. Katunäkymä tapaus 2

Kuviosta 14 nähdään kevyen liikenteen väylän reunaan mallinnetut valaisinylväät. Maantasolla nähdään mittausalueiden valonjakautumiskäyrät keltaisella värillä. Valaisinylvään alapuolella ja autotien etureunassa valaistusvoimakkuus on noin 50 luksia. Valaistusvoimakkuustaso pienenee tasaisesti kohti autotien toista reunaa, jossa valaistusvoimakkuus on noin 15 luksia. Valaisinylväiden vastakkaisen kevyenliikenteenväylän valaistusvoimakkuus on noin 5 luksia.

Valaistussuunnittelussa onnistuttiin ja tavoiteltuihin valaistusvoimakkuustasoihin päästiin. Katuvalaistus ei leviy tasaisesti katutilaan. Kevyen liikenteen väylät, joiden puolella ei ole valaisinylvästä, ovat vähemmän valaistuja, mutta valaistusvoimakkuustaso on riittävä. Korkeammat valaisinylväät auttaisivat valon jakautumisessa autotien toiselle puolelle, mutta samalla valoa säteilisi turhaan rakennuksien seiniin ja ikkunoihin. On syytä myös huomioida, että valaisinylväät ovat kalliita asentaa ja ne käyttävät paljon tilaa kevyen liikenteen väylältä.

5.5.2 Energiankäyttö ja kustannukset

Valaistuksen kokonaiskustannukset koostuvat investointi- ja rakennuskustannuksista, sekä käyttö- ja ylläpitokustannuksista. Valaisimien investointikustannuksen muodostavat 23 Archilede HP BL66 –valaisinta. Valaisimien hankintakustannukset ovat 14 950 euroa (ks. yhtälö 8).

$$650\text{€} \times 23 \approx 14\,950\text{€} \quad (8)$$

Käyttö- ja ylläpitokustannukset koostuvat koko elinkaaren aikaisista huolto- ja energiakustannuksista. Valaistuksen elinkaari on sama kuin valovirran pysyvyys, koska valonlähteitä ei pystytä vaihtamaan. Valovirran pysyvyys on 100 000 tuntia, eli noin 30,4 vuotta (ks. yhtälö 3). Tutkimuksessa mitoitetaan elinkaaren pituudeksi 30 vuotta, ettei valovirta laske alle vaaditun tason.

Valaistussuunnitelmasta pyrittiin tekemään mahdollisimman energiatehokas valitsemalla mahdollisimman energiatehokkaat valaisimet. Valaistusta pidetään päällä 9 tuntia päivässä ympäri vuoden. Valaistussuunnitelman 23 BL66-valaisinta käyttävät sähköä yhteensä 970,6 W, joten sähkönkulutus vuodessa on 3 203,5 kWh/a (ks. yhtälö 9)

$$970,2\text{W} \times 9\text{h} \times 365\text{d} \approx 3\,188,4\text{kWh/a} \quad (9)$$

Sähkön kokonaishinta noin 35 000 kWh/a kuluttavalle taloudelle kahden vuoden määräaikaisella sopimuksella 10.5.2017 oli 6.8 snt/kWh ilman veroja. (Sähkön hintatilastot n.d.) Tällä hinnalla sähkön vuosikustannukseksi tulee 217,8 euroa (ks. yhtälö 10)

$$\frac{3203,5\text{kWh}}{a} \times 0.068\text{€} \approx 216,8\text{€} \quad (10)$$

Tämän hetkiselällä sähkön hinnalla koko elinkaaren aikaiset sähkökustannukset ovat 6535,2 euroa (ks. yhtälö 11)

$$216,8 \frac{\text{€}}{a} \times 30a \approx 6\,504,4\text{€} \quad (11)$$

Sähkön hinta on joka kaupungissa erilainen ja se vaihtelee vuosien aikana, joten yllä oleva laskelma oli vain suuntaa antava. Sen perusteella voidaan valaistussuunnitel-

mia kuitenkin vertailla keskenään. Valaistussuunnitelma oli valaisimien osalta energiatehokas, koska valaisimiksi valittiin energiatehokkaat valaisimet. Energiaa menee kuitenkin hukkaan, sillä valaisin ei ole autotien yläpuolella. Tällöin valaisinta joudutaan ylimitoittaminen, jotta valo jakautuisi tien toiselle puolelle asti. Valaisinpylvään alapuolella on siis liian suuri valaistusvoimakkuustaso, joka luonnollisesti kuluttaa paljon sähköä. Valaistussuunnitelmassa tavoitteena oli luoda standardeissa määritelty valaistusvoimakkuustaso.

5.6 Katuvalaistuksen kehitysehdotus

Katuvalaistuksen valaistussuunnittelun kehitysehdotuksessa kyseenalaistettiin perinteisen valaistussuunnittelun valaistustapa, jossa priorisoidaan autotien valaistus ennen kevyen liikenteen väyliä. Kehitysehdotuksessa tavoitteena oli mallintaa katuvalaistus priorisoimalla kevyen liikenteen väylä ja jalankulkijat sekä ottaa katutila laajemmin huomioon. Tavoitteena oli mallintaa katuvalaistus valaistavien kohteiden kautta, eli valaista turvallisuus huomioiden kohteet, joita ihmisen kaupungissa tarvitsee nähdä: jalkakäytävät ja suojatiet.

Tavoitteena oli minimoida turha valon käyttö eli esimerkiksi liian suuri valaistusvoimakkuustaso keskellä autotietä. Valaistussuunnitelmalla pyrittiin luomaan kohdenettu, noin 20 luksin valaistus kevyen liikenteen väylille ja suojateille. Autoteille suunniteltiin riittävä, noin 5 luksin valaistus ihmisen havaitsemiseen. Kevyen liikenteen väyliä ja suojateitä valaistiin, koska niiden valaiseminen tuo esiin katutilan ja horisonttipisteet kuten rakennukset. Lisäksi huomioitiin autoissa olevat valot, jotka valaisevat tien noin 50 metrin matkalta. Kevyen liikenteen väylillä liikkuvat ihmiset nähdään paremmin ja mahdollisesti autotielle yllättävästi tuleva ihminen havaitaan jo kevyen liikenteen väylällä.

5.6.1 Kehitysehdotuksen valaistussuunnitelma

Katuvalaistuksen kehitysehdotuksen valaistussuunnittelu aloitettiin valitsemalla kevyen liikenteen väylille perusvalaisin. Valaisimeksi valittiin Archilede HP BX36 -valaisin seinäkiinnityksellä. Valaisin sopi kevyen liikenteen valaistukseen, koska sen valonjakokäyrä on leveä ja valovirta riittävä.

Valaisimia sijoitettiin noin 13 metrin välein 4,5 metrin korkeuteen molemmille puolille autotietä. Valaisimia suunnattiin noin 8 astetta alaspäin, jotta valo osuisi mahdollisimman hyvin kevyen liikenteen väylille. Tämän jälkeen suunniteltiin valaistus suoja-
teille. Suojateiden valaisuun valittiin iPro BK20 –valaisimet, jotka sijoitettiin seinäkiinnityksellä valaisemaan suojateitä. Liite 4 kuvaa valaistussuunnitelmaa, jossa valaisimet näkyvät oranssilla värillä. Tavoitellun valaistustason mallintamiseen tarvittiin Archilede HP BX36 -valaisimia 24 kappaletta ja iPro BK20 -valaisimia 10 kappaletta. Kuvio 15 kuvaa katunäkymää katutasosta.



Kuvio 15. Kehitysehdotuksen katunäkymä

Kuviosta 15 nähdään rakennusten seinään mallinnetut valaisimet. Valaisimet valaisevat myös rakennuksien sei-
niä tehden katutilasta näkyvämmän. Maantasolla nähdään mittausalueiden valonjakautumiskäyrät keltaisella värillä. Kevyen liikenteen väylillä valaistusvoimakkuus on noin 20 luksia. Valaistusvoimakkuustaso pienenee tasaisesti kohti autotien keskustaa. Autotien ajoväylillä valaistusvoimakkuus on noin 10 luksia ja keskellä autotietä valaistusvoimakkuus on noin 5 luksia. Suojatiellä valaistus on noin 20 luksia.

Valaistussuunnittelussa onnistuttiin ja tavoiteltuihin valaistusvoimakkuustasoihin päästiin. Katuvalaistus levittyy tasaisesti katutilaan ja kevyen liikenteen väylät ovat valaistuja. Autoteillä valaistusvoimakkuustaso on riittävä, mikä johtuu kevyen liikenteen väylän valaisimista säteilevästä valosta ja rakennuksista heijastuneesta valosta. Korkeammat valaisinpylväät olisivat auttaneet valon jakautumisessa autotien toiselle puolelle, mutta samalla valoa olisi säteilyt turhaan rakennuksien seiniin ja ikkunoihin. Valaisimet mallinnettiin seinäkiinnityksellä, joten ne eivät käytä kevyen liikenteen väylän tilaa.

5.6.2 Energiankäyttö ja kustannukset

Valaistuksen kokonaiskustannukset koostuvat investointi- ja rakennuskustannuksista sekä käyttö- ja ylläpitokustannuksista. Valaisimien investointikustannuksen muodostavat 24 Archilede HP BX36 -valaisinta ja 10 iPro BK20 -valaisinta. Valaisimien hankintakustannukset ovat 13 080 euroa (ks. yhtälö 12).

$$470\text{€} \times 24 + 180\text{€} \times 10 \approx 13\,080\text{€} \quad (12)$$

Käyttö- ja ylläpitokustannukset koostuvat koko elinkaaren aikaisista huolto- ja energiakustannuksista. Valaistuksen elinkaari on sama kuin valovirran pysyvyys, koska valonlähteitä ei pystytä vaihtamaan. Valovirran pysyvyys on 100 000 tuntia eli noin 30,4 vuotta (ks. yhtälö 3). Tutkimuksessa mitoitetaan elinkaaren pituudeksi 30 vuotta, ettei valovirta laske alle vaaditun tason.

Valaistussuunnitelmasta pyrittiin tekemään mahdollisimman energiatehokas valitsemalla mahdollisimman energiatehokkaat valaisimet. Valaistussuunnittelussa pyrittiin välttämään ylimitoitusta. Valaistusta pidetään päällä 9 tuntia päivässä ympäri vuoden. Valaistussuunnitelman 24 BX36-valaisinta käyttävät sähköä yhteensä 400,8 W ja 10 BK20-valaisinta käyttävät 64 W, joten sähkönkulutus vuodessa on 1 526,9 kWh/a (ks. yhtälö 13)

$$(400,8\text{W} + 64\text{W}) \times 9\text{h} \times 365\text{d} \approx 1526,9\text{kWh/a} \quad (13)$$

Sähkön kokonaishinta noin 35 000 kWh/a kuluttavalle taloudelle kahden vuoden määräaikaisella sopimuksella 10.5.2017 oli 6.8 snt/kWh, hinta ei sisällä veroja. (Sähkön hintatilastot n.d.) Tällä sähköhinnalla sähkön vuosikustannukseksi tulee 103,8 euroa (ks. yhtälö 14).

$$\frac{1526,9kWh}{a} \times 0.068\text{€} \approx 103,8\text{€} \quad (14)$$

Tämän hetkiselällä sähkön hinnalla koko elinkaaren aikaiset sähkökustannukset ovat 3114 euroa (ks. yhtälö 15).

$$278,1 \frac{\text{€}}{a} \times 30a \approx 3114\text{€} \quad (15)$$

Sähkön hinta on joka kaupungissa erilainen ja se vaihtelee vuosien aikana. Näin ollen yllä oleva laskelma on vain suuntaa antava, jotta valaistussuunnitelmia voidaan vertailla keskenään. Valaistussuunnitelma on valaisimien osalta energiatehokas, koska valaisimiksi valittiin energiatehokkaat valaisimet. Valaistus on tasainen, eli liian voimakkaasti valaistuja kohtia ei ole.

5.7 Katuvalaistuksen tulokset

Katuvalaistuksen valaistussuunnittelussa oli tavoitteena tutkia perinteisen valaistustavan käytännöllisyyttä, soveltuvuutta, kustannuksia ja energiatehokkuutta. Lisäksi tavoitteena oli tehdä perinteiselle valaistustavalle kehitysehdotus ja vertailla perinteistä valaistustapaa ja kehitysehdotusta keskenään.

Perinteisen valaistustavan tavoitteena oli mallintaa noin 15 luksin yleisvalo autotien alueelle ja 5 luksin valaistusvoimakkuustaso kevyen liikenteen väylille. Perinteisen valaistustavan tapauksen 1 mallintamisessa onnistuttiin ja valaistusvoimakkuustaso oli tavoitteen tasolla. Valaistusvoimakkuustaso oli kuitenkin liian korkea keskellä autotietä, jossa oli noin 50 luksin valaistusvoimakkuustaso. Kevyen liikenteen väylillä valaistusvoimakkuustaso oli noin 5 luksia. Kontrasti valaisinpylvään alta kevyen liikenteen väylälle oli suuri. Liian korkea valaistusvoimakkuustaso tarkoittaa turhaa valoa, joka kuluttaa energiaa. Nostamalla valaisinpylväiden korkeutta tai käyttämällä toisenlaista optiikkaa voitaisiin parantaa valaistusvoimakkuuden tasaisuutta. Valaistus valaisee katutilasta ainoastaan katupintaa eli asfalttia. Valaistusvoimakkuustaso riittää standardien määrittämiin valaistusvoimakkuustasoihin. Valaisimien investointikustannukset olivat 12 650 euroa. Valaisimien energiankäyttö oli 3 226,2 kWh/a ja sähkökustannukset 219,8 €/a.

Perinteisin valaistustavan tapauksen 2 mallintamisessa onnistuttiin ja valaistusvoimakkuustaso oli tavoitteen tasolla. Valaistusvoimakkuustaso oli kuitenkin liian korkea

valaisinpylvään alla, jossa oli noin 50 luksin valaistusvoimakkuustaso. Kevyen liikenteen väylällä valaistusvoimakkuustaso oli noin 5 luksia. Kontrasti autotien keskeltä kevyen liikenteen väylälle oli suuri. Liian korkea valaistusvoimakkuustaso tarkoittaa turhaa valoa, mikä puolestaan kuluttaa energiaa. Toisenlaisella optiikalla, joka säteilee enemmän valoa kadunreunoille, voitaisiin parantaa valaistusvoimakkuuden tasaisuutta. Nyt valaistus valaisee katutilasta ainoastaan katupintaa eli asfalttia. Valaistusvoimakkuustaso riittää standardien määrittämiin valaistusvoimakkuustasoihin. Valaisimien investointikustannukset olivat 17 550 euroa. Valaisimien energiankäyttö oli 3203,5 kWh/a ja sähkökustannukset 217,8 €/a.

Katuvalaistuksen kehitysehdotuksen valaistussuunnitelma suunniteltiin tuottamaan tarvittava valaistusvoimakkuustaso valaistusta tarvitseville kohteille. Kehitysehdotuksessa priorisoitiin kevyen liikenteen väylät ja horisonttipisteet eli rakennukset valaistaviksi kohteiksi. Kevyen liikenteen väylillä tavoitteena oli 20 luksin valaistusvoimakkuus ja autotiellä 5 luksin valaistusvoimakkuus. Mallintamisessa onnistuttiin hyvin. Valaisimet olivat optimaalisia, koska valaistusvoimakkuus oli tavoitellulla tasolla ja valaistus levittäytyi tasaisesti. Valaisimia ei jouduttu himmentämään, eikä missään ollut liian suuri valaistusvoimakkuus. Rakennuksien pinnoilta ja kevyen liikenteen väyliltä heijastui valoa autoteille, joten niitä ei tarvinnut erikseen valaista. Rakennusten seinien valaisu loi katutilasta valoisan ja dynaamisemman. Valaisimien investointikustannukset olivat 13 080 euroa. Valaisimien energiankäyttö 1526,9 kWh/a ja sähkökustannukset 103,8 €/a.

Liitteeseen 5 on koottu katuvalaistuksen valaistussuunnitelmien katunäkymät allekkain, jotta niiden visuaalista ilmettä pystyttiin helposti vertailemaan. Katunäkymät on järjestetty niin, että ylimpänä on perinteisen valaistustavan tapaus 1, keskimmäisenä perinteisen valaistustavan tapaus 2 ja alimmaisena kehitysehdotuksen valaistussuunnitelma. Ensimmäisen valaistustavan molemmissa valaistussuunnitelmissa autotien valaistusvoimakkuustaso on huomattavasti korkeampi kuin kehitysehdotuksen valaistustavassa. Kehitysehdotuksen valaistus on selkeästi tasaisempi, koska valaisimia sijoitettiin molemmin puolin katua. Kehitysehdotuksen valaistussuunnitelma valaisee laajemmin koko katutilan, koska valaistus ulottuu myös vertikaaleille pinnoille eli rakennusten seinälle. Kehitysehdotuksen valaistussuunnitelman kontrasti autotien ja kevyen liikenteen väylän välillä oli pienempi, koska valo jakautuu tasaisemmin kuin

perinteisellä valaistustavalla. Pienemmällä valotehokkuudella ja laajemmalla valaisimien sijoittelulla päästään siis tasaisempaan ja laajempaan valaistuksen lopputulokseen.

Valaisimien investointikustannukset olivat tapauksessa 1 yhteensä 12 650 euroa, tapauksessa 2 yhteensä 14 950 euroa ja kehitysehdotuksessa 13 080 euroa. Kehitysehdotuksen investointikustannukset olivat 430 euroa eli noin 3 % suuremmat, kuin tapauksen 1 investointikustannukset. Kehitysehdotuksen investointikustannukset olivat 1 870 euroa, eli noin 14 % pienemmät kuin tapauksen 2 investointikustannukset. Investointikustannukset olivat lähes samat tapauksessa 1 ja kehitysehdotuksessa. Tapauksessa 2 investointikustannukset olivat selvästi korkeammat, kuin kehitysehdotuksessa.

Saman valaisintoimittajan lähes yhtä energiatehokkaiden valaisimien käyttäminen kaikissa katuvalaistuksen valaistussuunnitelmissa auttaa valaistussuunnitelmien energiatehokkuuden vertailemisessa. Valaisimet ovat lähes yhtä energiatehokkaat, joten vain valaistussuunnitelma vaikuttaa energian käyttöön. Taulukko 14 kuvaa katuvalaistuksen sähkökustannusten vertailua. Taulukossa valaistussuunnitelmat on numeroitu siten, että perinteisen valaistustavan tapaus 1 on numero yksi. Perinteisen valaistustavan tapaus 2 on numero kaksi ja kehitysehdotuksen valaistussuunnitelma numero kolme. Taulukosta 14 kuvaa valaistussuunnitelmien sähkökustannusten vertailua. Vertailu tehtiin ensimmäisen valaistussuunnitelman ja kehitysehdotuksen kesken, sekä toisen valaistussuunnitelman ja kehitysehdotuksen kesken. Vertailu nähdään taulukossa, erotus 1-3 ja erotus 2-3 riveillä.

Taulukko 14. Katuvalaistuksen sähkökustannusten vertailu

Valaistus-suunnitelma	Valaisimien lukumäärä	Valaisimien teho W	Sähkönkulutus kWh/a	Kustannukset €/a	Elinkaaren aikaiset sähkökustannukset €
1	23	982,1	3226,2	219,4	6581,4
2	23	975,2	3203,5	217,8	6535,2
3	34	464,8	1526,9	103,8	3114
Erotus 1-3	3	517,3	1699,6	115,6	3467,4
Erotus 2-3	-11	510,4	1676,6	114	3421,2

Tapauksen 1 sähköteho oli 517,3 W enemmän kuin kehitysehdotuksen valaistussuunnitelman sähköteho. Pienemmällä sähköteholla saavutetaan vuodessa tutkimuksessa käytetyllä sähkön hinnalla 115,6 euron säästö, mikä on elinkaaren aikana 3467,4 euroa. Kehitysehdotuksen valaistussuunnittelulla voidaan saavuttaa noin 53 % säästö sähkönkulutuksessa tapaukseen 1 verrattuna. Tapauksen 2 sähköteho oli 510,4 W enemmän kuin kehitysehdotuksen valaistussuunnitelman sähköteho. Pienemmällä sähköteholla saavutetaan vuodessa tutkimuksessa käytetyllä sähkön hinnalla 114 euron säästö, mikä on elinkaaren aikana 3421,2 euroa. Kehitysehdotuksen valaistussuunnittelulla voidaan saavuttaa noin 53 % säästö sähkönkulutuksessa tapaukseen 2 verrattuna. Tapauksissa 1 ja 2 sähkönkulutukset olivat lähes samat, mutta kehitysehdotuksessa sähkönkulutus oli selkeästi pienempi, vaikka valaisimia oli enemmän, mikä johtuu valaisimien pienemmästä sähkötehosta.

Tutkimuskysymyksenä oli, voidaanko uudella valaistustavalla ja valaistussuunnittelulla vähentää energiankulutusta ja suunnitella ihmiselle riittävä valaistusvoimakkuustaso tutkimuskohteissa. Tulosten perusteella voidaan todeta, että kehitysehdotuksen valaistustavan mukaisella valaistussuunnittelulla ja valaistuskohdeiden priorisoinnilla saavutetaan riittävä ja katutilan näkyväksi tekevä katuvalaistus 53 % pienemmällä sähköteholla. Tutkimuskysymykseen saatiin vastaus.

6 Myymälätilavalaisituksen kehittäminen

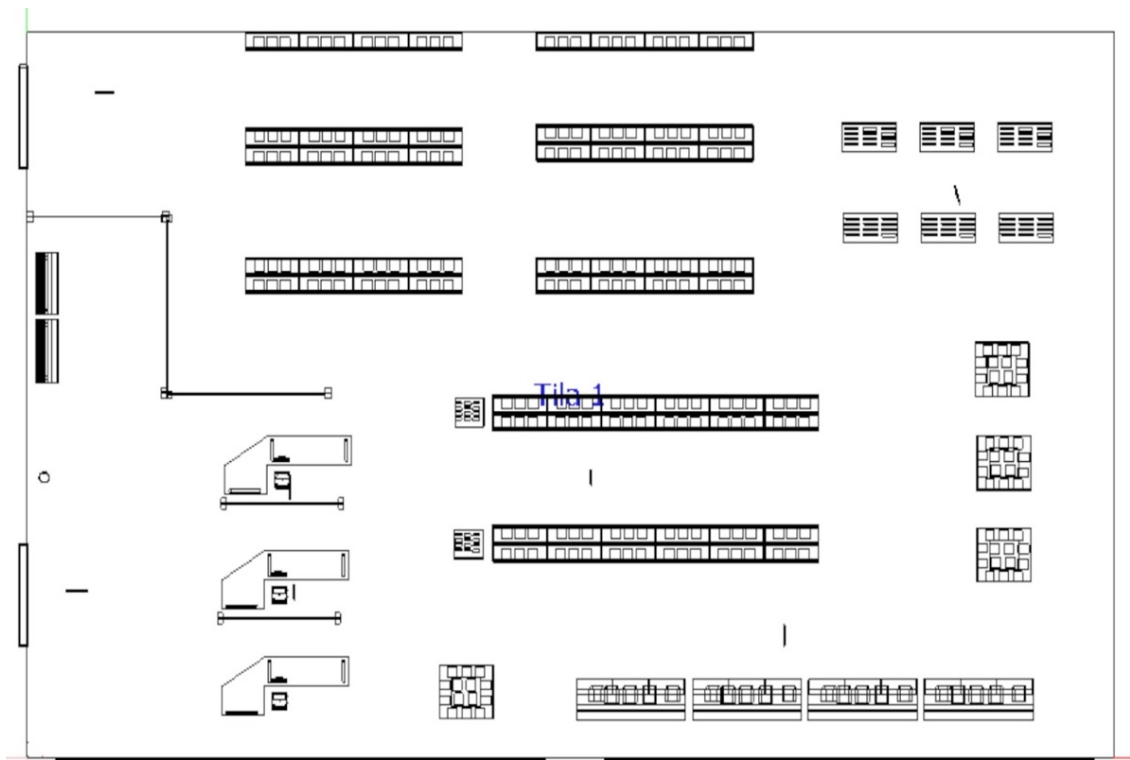
Myymälätiloissa valaistuksella on suuri merkitys, koska näköaistin kautta tapahtuu suuri osa viestinnästä. Asiakkaiden visuaalinen kokemus myymälästä ja tuotteista on siis perusta koko myyntitilanteelle. Myymälän käyttöympäristö vaikuttaa yksityiskohtiin ja valaistuksen kokonaisratkaisun valintaan. Käyttöajat ja käyttötarkoitus sekä itsepalvelu- ja asiakaspalvelusuhde vaikuttavat valonlähteiden valintaan, järjestelmän muunneltavuuteen sekä valaistuksen ohjattavuuteen. (ST 58.14. Myymälävalaistus. 2004.)

Myymälätiloja on monenlaisia ja valaistukset eri tyyppisten myymälätilojen välillä vaihtelevat paljon. Esimerkiksi vaatekaupassa on usein hyvin kirkkaat valot ja kohdevalo on kohdistettu myytäviin vaatteisiin ja mallinukkeihin, jolla pyritään luomaan asiakkaalle aktiivinen olo. Kirjakaupassa on usein hämärämpi valaistus, jolla pyritään

luomaan olohuonemaista ja lukusalimaista tunnelmaa. Tutkimuksen valaistuskohdeeksi päätettiin mallintaa tavallinen ruokakauppa, koska ne ovat useimmiten hyvin saman tyyppisiä. Niissä käytetään perusvalaistuksena yleisvalaistusta, eikä juurikaan kohdevalaistusta. Ruokakauppojen valaistus toteutetaankin lähes samalla tavalla myymälän koosta riippumatta. Mallintamalla mahdollisimman tyyppinen myymälävalaistus pyritään tuloksista saamaan mahdollisimman yleistettävät. (ST 58.14. Myymälävalaistus. 2004.)

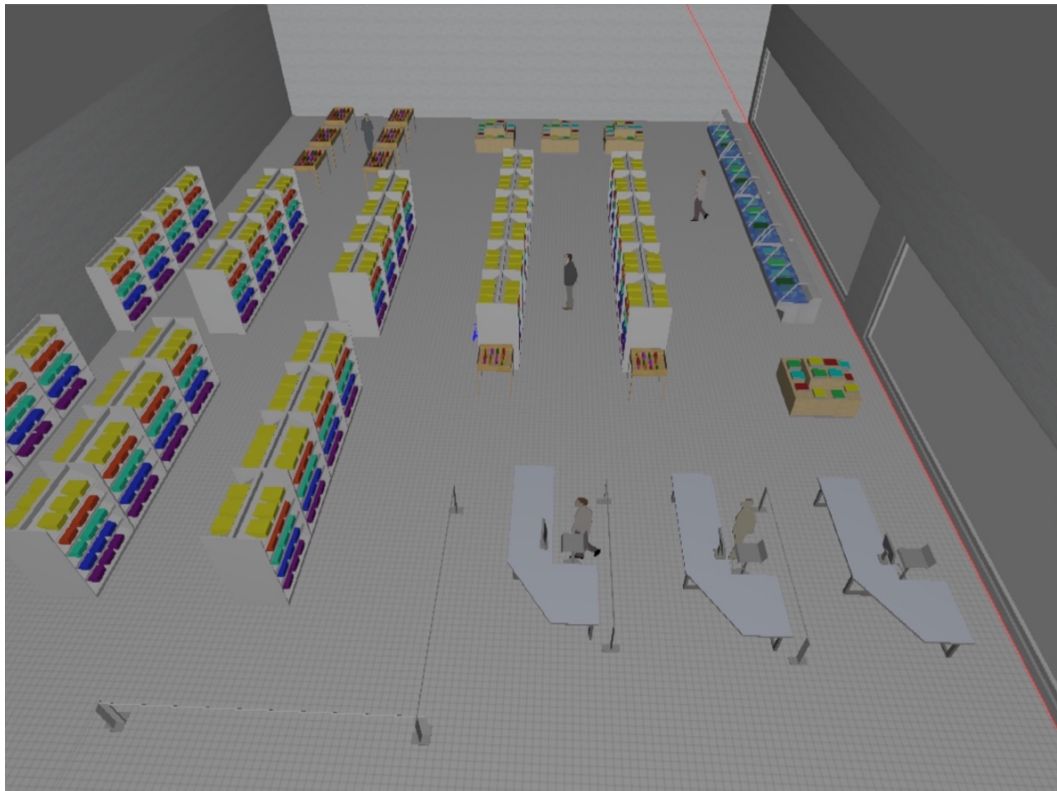
Sisävalaistuksen suunnittelussa käytetään koko Eurooppaa koskevaa sisävalaistusstandardia EN 12464-1. Standardi määrittelee myyntialueen valaistusvoimakkuustasoksi 300 luksia ja kassatyöskentelyn valaistusvoimakkuustasoksi 500 luksia, mutta valaistusvoimakkuus riippuu myös myymälän tyylistä. Käytännössä kuitenkin valaistusvoimakkuustaso on noin 1 000 luksia, ja ST-kortti 58.14 Myymälävalaistus opastaa, että myymälöiden valaistusvoimakkuustasot nousevat Suomessa nykyään yli 1000 luksin. Korkeaa valaistusvoimakkuutta perustellaan sillä, että kirkaalla valaistuksella saadaan dynaaminen vaikutelma, joka saa asiakkaat kiinnostumaan myymälästä ja pysymään aktiivisina. Isoissa myymälöissä myös yleisvalo joudutaan pitämään korkeana, jotta tilan kokonaisuutena ei vaikuttaisi hämärältä. (ST 58.14. Myymälävalaistus. 2004.) Myymälöissä tulee keskittyä myytävien tuotteiden kohdevalaisemiseen, kuten Richard Kelly esitteli, eli ”valoa katsomiseen, valoa joka myy tuotteita”.

Tavoitteena oli tutkia ja vertailla erilaisten valaistussuunnittelutapojen käytännön toimivuutta, energiatehokkuutta ja kustannuksia sekä tehdä kehitysehdotuksia. Tutkimuksessa mallinnettiin DIALux Evo 7 –ohjelmistolla pienehkö myymälätila, jonka lattiapinta-ala on 600 neliometriä. Myymälätila mallinnettiin kuvaamaan tavallista ruokakauppaa. Myymälätilan oletetaan olevan uudisrakennus. Myymälätilassa pidetään 14 tuntia päivässä valaistusta päällä. Myymälätilassa on kaksi metriä korkeita myyntihyllyjä, kuusi myyntipöytää käsittävä hedelmäosasto, esittelypöytiä, liha-/kalatiski ja kassa-alue, jossa oli kolme kassaa. Kuvio 16 kuvaa myymälätilan pohjapiirustusta. Piirustuksen vasemmassa yläreunassa on myymälän sisäänkäynti ja hyllyjä on myymälän yläosassa sekä keskiosassa. Piirustuksen oikeassa yläreunassa ovat hedelmäpöydät, joiden alla on neliönmuotoisia myyntipöytiä. Piirustuksen alareunassa ovat liha/kalatiskin myyntipisteet ja vasemmassa alareunassa ovat kassat sekä myymälän uloskäynti.



Kuvio 16. Myymäläpiirustus

Myymälnäkymää havainnollistaa kuvio 17, joka kuvaa tilaa 3D- mallinnuksena myymäläpiirustuksesta katsottuna vasemmasta reunasta oikean suuntaan. Kuviosta 17 nähdään kassa-alueet oikeassa alareunassa, hyllyt sekä myymälän takaosa, jossa ovat hedelmäosasto, myyntipöydät ja liha-/kalatiskit. Myymälästä pyrittiin mallintamaan mahdollisimman tavallinen myymälätila, jotta tutkimuksesta tulisi mahdollisimman yleistettävä. Myymälästä löytyvät ruokakaupalle tyypilliset komponentit ja alueet.



Kuvio 17. Myymälänäkymä

6.1 Myymälävalaistuksen valaisimet

Suunnittelu aloitettiin valaisimien valinnalla. Valaisimien valinnassa pyrittiin valitsemaan mahdollisimman nykyaikainen ja laadukas valaisin. Valinnassa kiinnitettiin huomiota valaisimen soveltuvuuteen myymälätilan kannalta, energiatehokkuuteen, käyttöikään, hintaan, ohjattavuuteen, saatavuuteen ja värinvalaistusominaisuuksiin.

Valaisimien valinnassa päädyttiin Ensto Finland Oy:n Tino gen2 LED- runkovalaisimeen, koska Tino gen2 -tuoteryhmässä on useita vaihtoehtoja valaisimen tehokkuudelle ja optiikalle. Valaisimet ovat uutta LED-tekniikkaa, ne ovat laadukkaita ja kotimaisia. Tino gen2- valaisimia on asennettu vuonna 2016 mm. K-citymarket Selloon, jonne ne soveltuvat hyvin (Heikkilä 2016). Kuvio 18 kuvaa Tino gen 2 valaisinta. Kaikki tuoteryhmän mallit ovat ulkonäöltään lähes samanlaisia, mutta valaisimen pituus vaihtelee. (Tino gen 2 TN2254WBCED n.d.)

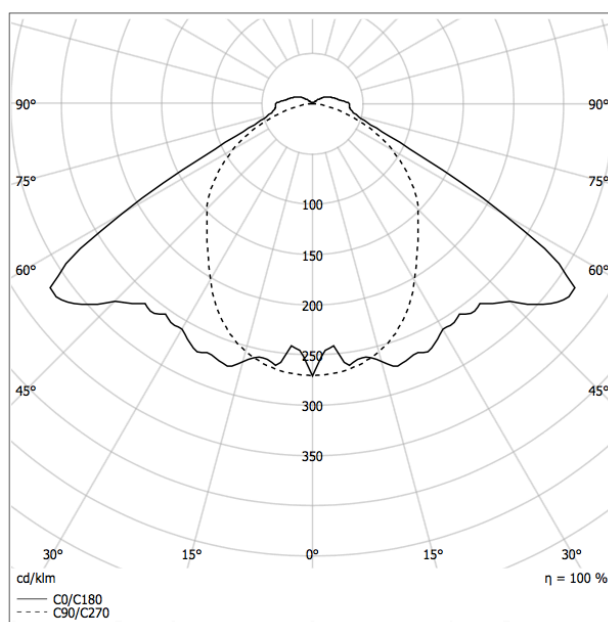
Tino gen2- tuoteryhmästä valittiin kaksi eri valaisin mallia. Ensimmäinen yleisvalaistuksen toteuttamiseen ja toinen kohdevalaisuun.



Kuvio 18. Tino gen2 (Tino gen 2 TN2254WBCED n.d.)

6.1.1 Yleisvalaistuksen valaisin Tino gen2 TN2254WBCED

Yleisvalaistuksen toteuttamiseen valittiin Tino gen2 TN2254WBCED 66W/840 AC C DALI. Valaisimessa on laajasäteilevä optiikka ja kirkas kupu. Kuvio 19 kuvaa valaisimen valonjakautumista. Kuviosta nähdään, että valaisin säteilee valoa noin 60 asteen kulmassa laajalle alueelle. Valaisimeksi valittiin laajasäteilevä valaisin, jotta valaistuksesta tulisi mahdollisimman tasainen koko myymälän alueelle.



Kuvio 19. Valonjakokäyrä TN2254WBCED (Tino gen 2 TN2254WBCED n.d.)

Taulukko 15 kertoo valaisimen tärkeimmät tekniset tiedot.

Taulukko 15. Tino gen 2 TN2254WBCED tekniset tiedot (Tino gen 2 TN2254WBCED n.d.)

TN2254WBCED	Määrä	Yksikkö
Paino	3	kg
Pituus	1440	mm
Leveys	83	mm
Korkeus	73	mm
Kotelointiluokka	IP44	
Teho	66	W
Valon värilämpötila T_{CP}	4000	K
Ra-indeksi	RA>80	
Moduulin valovirta \emptyset	11000	lm
Valovirran pysyvyys	100000	h
Valaisimen kokonaisvalotehokkuus	152	lm/W
Jännite	230	V

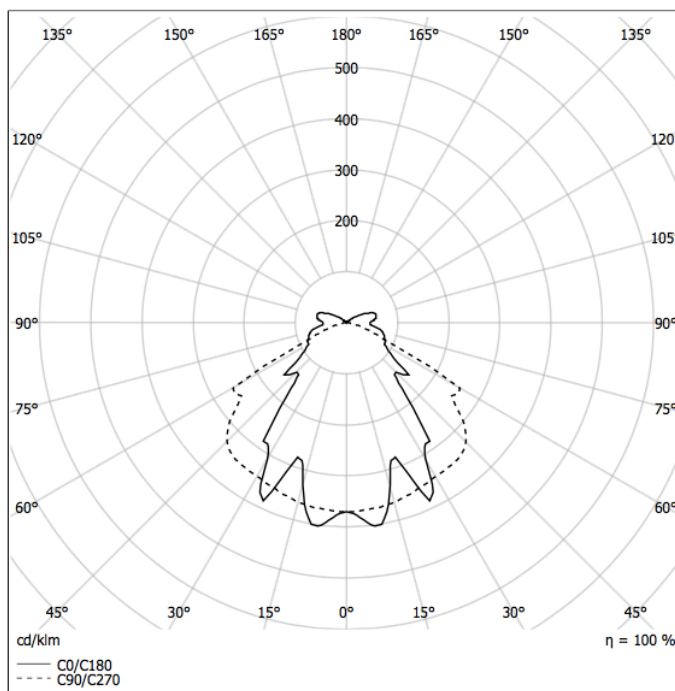
Valaisimen IP-luokitus kertoo valaisimen suojauksesta ulkoisia asioita tai kosteutta vastaan. Valaisin on kotelointiluokaltaan IP44, joka kertoo, että valaisin on suojattu halkaisijaltaan yli 1mm kokoisilta ulkoisilta esineiltä ja se on roiskesuojattu vedeltä. (IP-classification n.d.). Valon värilämpötila on 4 000K, eli neutraali (ks. Taulukko 1), mikä on hyvä, jotta toistavat myymälän tuotteiden värit mahdollisimman luonnollisesti. Valaisimen Ra-indeksi on kassatyöskentelyyn vaadittava 80. Valovirran pysyvyys on myös pitkä, mikä tarkoittaa, että valonlähteitä ei tarvitse vaihtaa pitkään aikaan.

Valaisimen kokonaisvalotehokkuus 152 lm/W on hyvä verrattuna loisteputkeen, jonka valotehokkuus on tyypillisesti 70-100 lm/W tai hehkulamppuun, jonka valotehokkuus on 11 lm/W. Valaisimen kokonaisvalotehokkuus kertoo, että valaisimen hyötysuhde on hyvä, eli valaisimen energiatehokkuus on hyvä (Lamppujen, valon ja valaistuksen ominaisuuksia n.d.). Valaisimen kappalehinta on 185 euroa ilman arvonlisäveroa (Anttila, T. 2017). Valaisin on ohjattava ja himmennettävä, joten valaistusta voidaan ohjata osastoittain, ja sitä voidaan myymälän kiinni ollessa himmentää.

(Tino gen 2 TN2254WBCED n.d.) Valaisin on kohteeseen soveltuva, koska sen valovirta on riittävä ja sen värinasto-ominaisuudet ovat hyvät. Lisäksi valaisin on pitkäikäinen, energiatehokas ja ohjattava.

6.1.2 Kohdevalaisun valaisin Tino gen2 TN2234MBCED

Kohdevalaisun valaisimeksi valittiin Tino gen2 TN2234MBCED. Valaisimessa on keskiteilevä optiikka ja kirkas kupu. Kuvio 20 kertoo, että valaisimen valaisin säteilee valoa noin 30 asteen kulmassa, eli valaisimen valokiila on selvästi kapeampi kuin yleisvalaisussa käytetyssä valaisimessa.



Kuvio 20. Valonjakokäyrä TN2234MBCED (Tino gen 2 TN2234MBCED n.d.)

Kohdevalaisuun valittiin kapeammalla valonjakokäyrällä oleva valaisin, jotta kohdevalo kohdistuisi tarkasti valaistavaan kohteeseen. Valaisimen tärkeimmät tekniset tiedot esitetään taulukossa 16.

Taulukko 16. Tino gen 2 TN2234MBCED tekniset tiedot (Tino gen 2 TN2234MBCED n.d.)

TN2234MBCED	Määrä	Yksikkö
Paino	1,8	kg
Pituus	880	mm
Leveys	83	mm
Korkeus	73	mm
Kotelointiluokka	IP44	
Teho	41	W
Valon värielämpötila TCP	4000	K
Ra-indeksi	RA>80	
Moduulin valovirta \emptyset	6600	lm
Valovirran pysyvyys	100000	h
Valaisimen kokonaisvalotehokkuus	142	lm/W
Jännite	230	V

Valaisin on monilta osin samanlainen kuin yllä oleva TN2254WBCED, mutta valaisimessa on vähemmän LED-valonlähteitä, joten se on lyhyempi ja siinä on pienempi valovirta. (Tino gen2 TN2234MBCED n.d.). Valaisimen kappalehinta on 150 euroa ilman arvonlisäveroä (Anttila, T. 2017). Valaisin sopii kohdevalaisimeksi suoraan ylhäältä alaspäin valaistavalle kohteelle. Valaisin ei ole kohdevaloksi tarkoitettu, koska siinä ei ole suoraa mahdollisuutta valaisimen suuntaukseen. Valaisin sopi käyttötarkoitukseen, koska kohdevalaisu toteutettiin valaistavan kohteen yläpuolelta. Valaisin valittiin kohdevalaisimeksi, jotta kaikki valaisimet tulevat samalta valmistajalta ja tutkimuskohteesta tulisi mahdollisimman yksinkertainen ja tulokset olisivat mahdollisimman yleistettävät.

6.2 Myymälävalaistuksen ensimmäinen valaistussuunnitelma

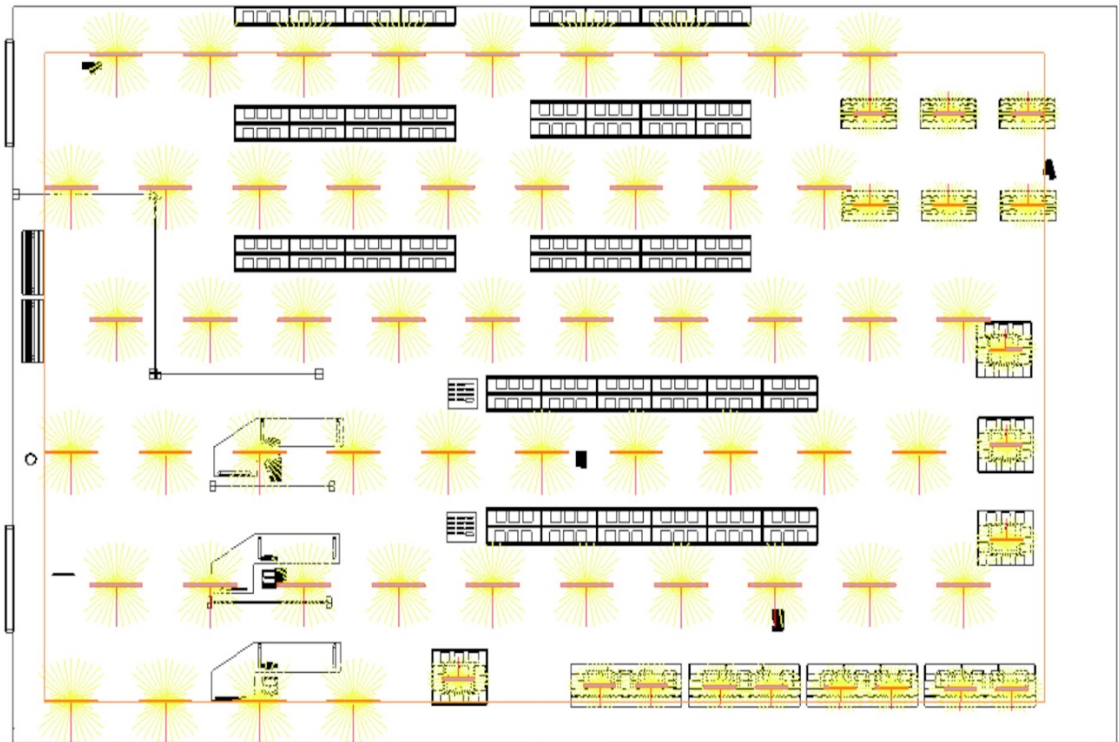
Myymälävalaistuksen ensimmäisessä valaistussuunnitelmassa tavoitteena oli suunnitella ja mallintaa tyypillinen ruokakaupan myymälävalaistus. Valaistusvoimakkuustasoksi pyrittiin saamaan tasainen noin 1 000 luksin valaistusvoimakkuus horisontaalilla tasolla 0,8 metrin korkeudella koko myymälän alueelle lukuun ottamatta hedelmäosastoja, myyntipöytiä ja liha-/kalatiskiä. Näille tavoitteena oli korkeampi, noin 1 300 luksin valaistusvoimakkuustaso kohdennetulla valaistuksella. Kassa-alueille ei tarvittu

kohdevaloa, koska kassatyöskentelyyn tarvittava valaistusvoimakkuus saatiin yleisvalosta.

6.2.1 Valaistussuunnitelma

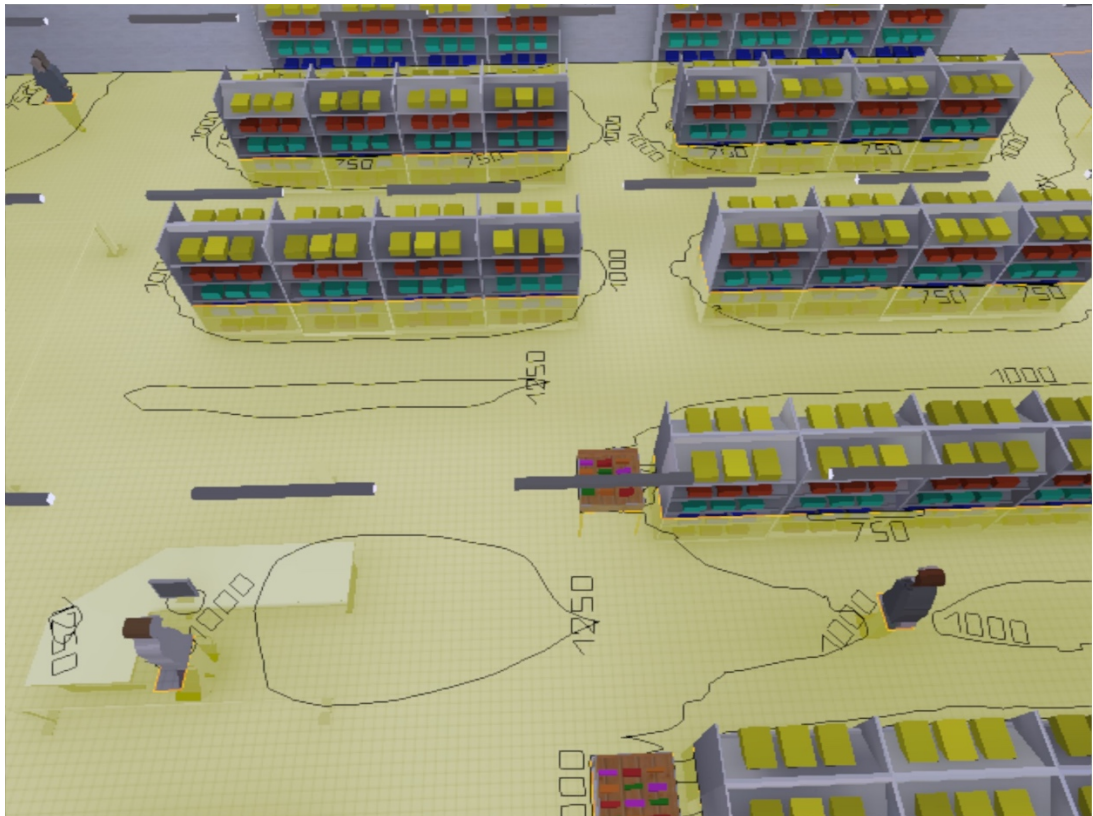
Valaistussuunnittelu aloitettiin kartoittamalla tilan valaistuskohteet ja -alueet. Kohdevalaistus tarvittiin hedelmäosastolle, myyntipöydille ja liha-/kalatiskille. Tavoitteena oli mallintaa noin 1 000 luksin valaistusvoimakkuustaso koko myymälän alueelle ja kohdevalaistukselle noin 1 300 luksin valaistusvoimakkuustaso.

Mallintaminen aloitettiin luomalla koko myymälän kattava yleisvalaistuksen gridi, eli tasaisin välimatkoin olevien valaisimien ruudukko. Gridi sijoitettiin 4 metrin korkeuteen, jotta valo levittyisi mahdollisimman tasaisesti ja häikäisyn minimoimiseksi. Gridin tekemisen jälkeen siitä poistettiin valaisimet, jotka olivat kohdevalaistusta vaativien kohteiden yläpuolella. Valaisimet poistettiin, jotta valaistavan kohteen ympäristö olisi hämärämpi ja jotta valaistava kohde erottuisi paremmin. Yleisvalaistuksen riittävään valaistusvoimakkuustasoon vaadittiin 52 laajasäteilevää valaisinta. Yleisvalaistuksen jälkeen sijoitettiin kohdevalaisimet. Kohdevalaisimia sijoitettiin yksi valaisin jokaisen kohdepöydän yläpuolelle. Kohdevalaisimia tarvittiin 18 kappaletta, ja ne sijoitettiin kolmen metrin korkeuteen, eli alemmas kuin yleisvalaistus, jotta valo kohdistuu tarkasti valaistavaan kohteeseen. Kuviosta 21 nähdään oranssin värisenä valaisimet sekä niiden valonjakosäteet. Yleisvalaistus oli suunniteltu niin, että valaisinlinjat menevät tasaisesti hyllyjen välissä ja että linjat ovat limittäin, jotta valaistus olisi tasainen.



Kuvio 21. Myymälän valaistussuunnitelma

Valaistus tuottaa myymälän alueelle keskimäärin 1044 luksin valaistusvoimakkuustason pois lukien kohdevalaistut alueet. Kuvio 22 kuvaa 0,8 metrin korkeudessa olevalle tasolle kohdistunutta valaistusvoimakkuutta. Valaistus peittää suurimman osan myymälästä noin 1 000 luksin voimakkuudella. Hyllyjen välissä ja lähellä hyllyjä valaistusvoimakkuustaso on pienempi, noin 750 luksia, mikä johtuu hyllyjen varjostuksesta. Avoimilla alueilla valaistusvoimakkuus nousee jopa 1 250 luksiin, koska korkealta säteilevä valo pääsee jakautumaan ja yhteen pisteeseen saattaa kohdistua valoa useammasta valaisimesta.



Kuvio 22. Myymälän valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuutta mitattiin eri kohteista ympäri myymälässä. Kassoilla valaistusvoimakkuustaso on 1 200 luksia, joten kassatyöskentelyyn vaadittava 500 luksin valaistusvoimakkuus saavutettiin. Hedelmäosaston kohdevaloilla saatiin valaistusvoimakkuudeksi 1 390 luksia, joka on yli tavoitteen. Tavoitellun tason ylitys saattaa johtua yleisvalaistuksesta säteillestä valosta.

Myyntipöydillä valaistusvoimakkuus on noin 1 300 luksia, mikä oli tavoitteena. Valaistusvoimakkuutta tarkasteltiin myös keskellä hyllyä olevan tuotteen etupinnalta ja hyllyn päällä olevan tuotteen pinnalta. Keskellä hyllyä olevan tuotteen etupinnalla valaistusvoimakkuustaso on noin 500 luksia, mikä johtuu hyllyistä syntyneestä varjostuksesta ja siitä, että valaistus säteilee korkealta, eikä sitä ole kohdistettu hyllyihin. Hyllyjen päällä valaistusvoimakkuustaso on noin 1 200 luksia. Keskellä myymälän kattoa valaistusvoimakkuus on noin 700 luksia, mikä on myymälän pinnoista heijastunutta valoa. Mallinuksessa onnistuttiin hyvin ja valaistusteknisiin tavoitteisiin päästiin. Vaikka valaistusvoimakkuus on noin 1 000 luksia koko kaupan kattavasti, niin hyllyillä olevat tuotteet ovat selkeästi vähemmän valaistuja johtuen siitä, että valaisimia

ei ollut kohdistettu tuotteisiin. Valaistusvoimakkuusmittaus vaihteli riippuen mittauskohdasta, joten mittaukset pyrittiin tekemään mahdollisimman lähellä keskiarvoa olevista kohdista. Myymälän pinnat ovat vaaleita ja heijastavia, mikä vaikuttaa valon heijastumiseen myymälässä ja saattaa vääristää mittaustuloksia.

6.2.2 Energiankäyttö ja kustannukset

Valaistuksen kokonaiskustannukset koostuvat investointi- ja rakennuskustannuksista, sekä käyttö- ja ylläpitokustannuksista. Investointi- ja rakennuskustannukset koostuvat suunnittelu- ja rakennuskustannuksista sekä valaisimien ja muiden komponenttien hankintakustannuksista. Suunnittelu- ja rakennuskustannukset ovat uudisrakennuksessa lähes samat eri valaistussuunnitelmasta riippumatta, joten niitä ei tässä tutkimuksessa oteta huomioon. Valaisimien hankintakustannuksia ovat 52 Tino gen2 TN2254WBCED -valaisinta ja 18 Tino gen2 TN2234MBCED -valaisinta. Valaisimien investointikustannukset olivat 12 320 euroa (ks. yhtälö 16).

$$185\text{€} \times 52 + 150\text{€} \times 18 \approx 12\,320\text{€} \quad (16)$$

Käyttö- ja ylläpitokustannukset koostuvat koko elinkaaren aikaisista huolto- ja energiakustannuksista. Valaistuksen elinkaari on sama kuin valovirran pysyvyys, koska valonlähteitä ei pystytä vaihtamaan. Valmistajan ilmoittama valovirran pysyvyys on 100 000 tuntia, eli noin 19,6 vuotta (ks. yhtälö 17). Tutkimuksessa mitoitetaan elinkaaren pituudeksi 19 vuotta, ettei valovirta laskisi alle vaaditun tason. 3432

$$\frac{100\,000h}{14h \times 365d} \approx 19,56a \quad (17)$$

Huoltokustannuksia ovat valaisimien puhdistaminen ja vikatilanteissa valaisimien vaihtaminen. Valonlähteitä ei tarvitse kuitenkaan vaihtaa koko elinkaaren aikana. Huoltojakso ja -kustannukset ovat lähes samat valaistussuunnitteluiden välillä, koska valaistussuunnitelmissa käytetään saman tyyppisiä valaisimia, joten niitä ei oteta huomioon tässä tutkimuksessa.

Valaistussuunnitelmasta pyrittiin tekemään mahdollisimman energiatehokas valitsemalla mahdollisimman energiatehokkaat valaisimet. Valaistusta pidetään päällä 14 tuntia päivässä vuoden ympäri. Valaistussuunnitelman 70 valaisinta käyttävät sähköä yhteensä 4170W, joten sähkönkulutus vuodessa on 21 300 kWh/a (ks. yhtälö 18).

$$4170W \times 14h \times 365d \approx 21\,300kWh/a \quad (18)$$

Sähkön kokonaishinta noin 35000 kWh/a kuluttavalle taloudelle kahden vuoden määräaikaisella sopimuksella 10.5.2017. on 6.8 snt/kWh ilman veroja (Sähkön hintatilastot. n.d.). Tällä sähkönhinnalla sähkön vuosikustannukseksi tulee 1449 euroa (ks. yhtälö 19).

$$\frac{21300kWh}{a} \times 0.068€ \approx 1\,449€ \quad (19)$$

Vaikka käytössä ovat energiatehokkaat valaisimet, valaistuksen sähkön käytöstä tulevat vuosikustannukset ovat merkittävät. Tämän hetkiselällä sähkön hinnalla koko elinkaaren aikaiset sähkökustannukset ovat 27 500 euroa (ks. yhtälö 20).

$$1449 \frac{€}{a} \times 19a \approx 27\,500€ \quad (20)$$

Sähkön hinta vaihtelee vuosien aikana, joten yllä oleva laskelma on vain suuntaa antava. Valaistussuunnitelma oli valaisimien osalta energiatehokas, koska valaisimiksi valittiin energiatehokkaat valaisimet. Hukkaan energiaa menee valaisimista säteilevän valon heijastumisena kattoon. Lisäksi ylimitoittaminen kuluttaa turhaa energiaa. Tässä suunnitelmassa tavoitteena oli luoda selkeästi standardeissa määriteltyä valaistusvoimakkuustasoa korkeampi valaistusvoimakkuustaso.

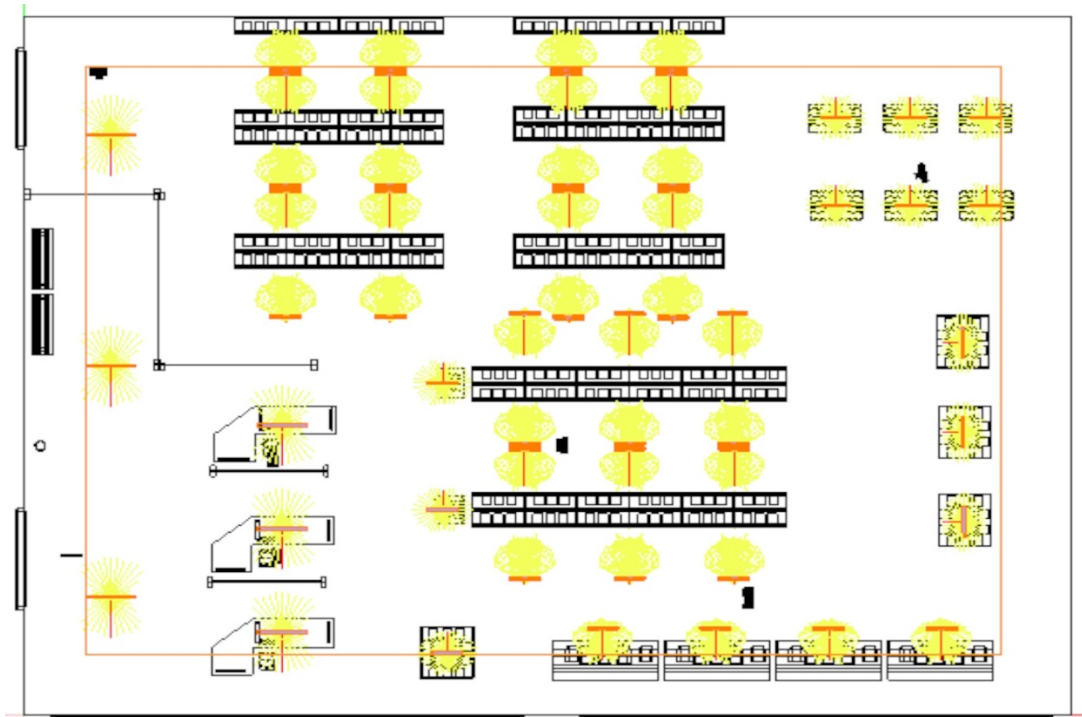
6.3 Myymälävalaistuksen toinen valaistussuunnitelma

Myymälävalaistuksen toisessa valaistussuunnitelmassa tavoitteena oli mallintaa valaistus valaistavien kohteiden kautta. Tavoitteena oli valaista kohteet, joita ihmisen myymälässä tarvitsee nähdä eli hyllyt, myyntipöydät ja kassat, ottaen huomioon työskentelyyn ja näkemiseen vaadittavat valaistusvoimakkuustasot. Tavoitteena oli minimoida turha valon käyttö eli liian suuri valaistusvoimakkuustaso ja pintojen, kuten lattian, seinien ja katon valaiseminen. Valaistussuunnitelmalla pyrittiin luomaan hyllyille, myyntipöydille ja kassoille kohdennettu valaistus. Muuhun tilaan, kuten käytävälle, suunniteltiin riittävä valaistus normaalien näkötehtävien tekemiseen.

6.3.1 Valaistussuunnitelma

Valaistussuunnittelu aloitettiin kartoittamalla tilan valaistuskohteet ja -alueet. Erikoiskohdevalaistus tarvittiin hedelmäosastolle, myyntipöydille ja liha-/kalatiskille. Suurin valaistukohde ovat myymälän hyllyt. Myymälän käytäville 0,8 metrin korkealle vertikaalille tasolla pyrittiin mallintamaan noin 300 luksin valaistusvoimakkuustaso, joka on standardin suositustaso myyntialueelle (ks. Taulukko 10). 300 luksin valaistusvoimakkuustaso on sopiva turvalliselle liikkumiselle, jotta kontrasti kohdevalaistuihin kohteisiin ei ole liian suuri. Myyntipöydille suunniteltiin noin 700 luksin valaistusvoimakkuus ja hyllyille noin 500 luksia. Kassoille suunniteltiin noin 500 luksin valaistusvoimakkuus. Hyllyjen ja myyntipöytien valaisemiseen käytettiin kohdevalaisimena Tino gen 2 TN2234MBCED -valaisimia. Kohdevalaisimia käytettiin myös hyllyjen valaisemiseen, koska valo haluttiin kohdistaa mahdollisimman tarkasti valaistavaan kohteeseen. Tällöin ei valaistaisi liikaa ympäristöä.

Mallintaminen aloitettiin hyllyjen valaisemisella. Hyllyjen väliin sijoitettiin yksi kohdevalaisin kahta hyllyä kohden, eli valaisemaan hyllyjä kolmen metrin leveydeltä. Valaisimet sijoitettiin 2,6 metrin korkeuteen ja suunnattiin hyllyä kohti 35 asteen kulmassa. Hedelmäosastolle ja myyntipöydille sijoitettiin yksi valaisin jokaisen pöydän yläpuolelle 2,6 metrin korkeuteen. Liha-/kalatiskille sijoitettiin yksi valaisin jokaisen tiskin yläpuolelle noin 0,3 metrin etäisyydelle tiskistä suunnattuna 20 asteen kulmassa tiskille. Kassoille sijoitettiin jokaisen kassan päälle 3,5 metrin korkeuteen yksi laajasäteilevä Tino gen 2 TN2254WBCED -valaisin. Kassoille sijoitettiin laajasäteilevät valaisimet, jotta kassoilla olisi mahdollisimman tasainen valaistus. Myymälän sisäänkäynneille ja odotustilaan sijoitettiin kolme laajasäteilevää valaisinta, jotta sisäänkäynneillä olisi riittävästi valoa. Kohdevalaisimia valaistussuunnitelmaan mallinnettiin 48 kappaletta ja laajasäteileviä valaisimia 6 kappaletta. Yhteensä myymälään mallinnettiin 54 valaisinta. Kuviosta 23 nähdään oranssin värisenä valaisimet sekä niiden valonjakosäteet.



Kuvio 23. Myymälän toinen valaistussuunnitelma

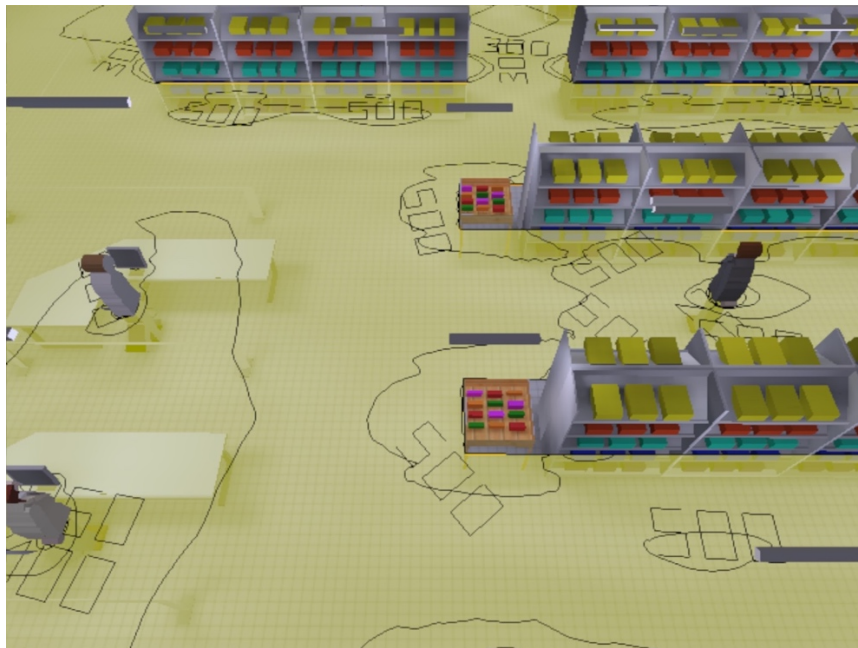
Täydellä teholla valaisimet ovat monessa paikassa liian kirkkaat, mutta tasaisen valaistuksen takaamiseksi valaisimia sijoitettiin yläpuolella olevan kuvion mukaisesti. Valmistajalta ei myöskään löydy valikoimastaan pienempitehoisia saman tyyppisiä valaisimia. Lisäksi tutkimuksesta haluttiin mahdollisimman vertailukelpoinen valaistussuunnitelmien kesken, joten päätettiin käyttää saman tyyppisiä valaisimia molemmissa valaistussuunnitelmissa.

Liian suurta valaistusvoimakkuutta voidaan säätää himmentämällä valaisimia. Tutkimuksessa oletetaan, että himmennettäessä valaisimen teho laskee lineaarisesti valaistusvoimakkuuden kanssa. Valaisimia himmennettiin osastoittain taulukon 16 mukaan, mikä kertoo alueen himmennystason prosentteina ja kokonaistehon watteina.

Taulukko 17. Myymälän toisen valaistussuunnitelman himmennetyksen laskelmat

Alue	Valaisimien lukumäärä	Valaisimen teho W	Himmennetty teho %	Kokonais teho W
Hyllyt	32	41	80	1049,6
Kassat	3	66	95	188,1
Sisäänkäynnit	3	66	75	148,5
Hedelmäosasto	6	41	60	147,6
Myyntipöydät	4	41	70	114,8
Liha/kalatiskit	4	41	95	155,8
Pienet myyntipöydät	2	41	60	49,2
Yhteensä	54			1853,6

Valaistus tuottaa myymälän alueelle keskimäärin 387 luksin valaistusvoimakkuustason pois lukien hedelmäosasto, myyntipöydät ja liha-/kalatiskin. Kuvio 24 kuvaa 0,8 metrin korkeudessa olevalle tasolle kohdistunutta valaistusvoimakkuutta. Valaistus peittää suurimman osan myymälästä noin 300 luksin voimakkuudella. Hyllyjen välissä ja lähellä hyllyjä valaistusvoimakkuustaso oli suurempi, noin 500 luksia, mikä johtuu hyllyjen kohdevalaisusta ja hyllyistä heijastuvasta valosta. Avoimilla alueilla valaistusvoimakkuus oli noin 300 luksia, koska kohdevalaistus heijastaa ympäristöönsä valoa, joka valaisee myös käytäviä.



Kuvio 24. Myymälän toisen valaistussuunnitelman valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuutta mitattiin samoista kohteista kuin ensimmäisessä valaistus suunnitelmassa, jotta valaistussuunnitelmia pystyttiin vertailemaan. Kassatasolla valaistusvoimakkuus oli vaadittu noin 500 luksia. Hedelmäosastolla ja myyntipöydillä valaistusvoimakkuus oli noin 700 luksia, mikä oli tavoitteena. Keskellä hyllyä olevan tuotteen etupinnalla valaistusvoimakkuus oli noin 400 luksia. Hyllyn päällä olevan tuotteen pinnalla valaistusvoimakkuus oli noin 300 luksia. Keskellä myymälän kattoa valaistusvoimakkuus oli noin 300 luksia.

Himentämällä valaistusvoimakkuutta alueittain tavoitteena oleviin valaistusvoimakkuustasoihin päästiin hyvin. Kohdevalaisimet eivät olleet optimaaliset, koska ne olivat liian tehokkaita ja niiden valonjakokäyrä oli liian laaja. Liian tehokkaat valaisimet aiheuttivat sen, että valaisimia jouduttiin himmentämään. Himmentäminen antaa myymälälle mahdollisuuden säätää valaistusvoimakkuutta tarpeen mukaan suuremmaksi tai pienemmäksi. Himmentäminen tarkoittaa, että valaisimet ovat ylimitoitettuja, mikä näkyy myös valaisimien hankintahinnassa. Valaisimien valonjakokäyrä oli liian laaja, eli valoa säteilee ylimääräistä ohi valaistavan kohteen esimerkiksi lattialle. Kohdevalaisimien täytyisi olla pienempitehoisia ja kapeammalla valonjakokäyrällä varustettuja. Pienempitehoisilla valaisimilla valaisimia voitaisiin sijoittaa enemmän, minkä myötä kohdevalaistus olisi tasaisempi.

6.3.2 Energiankäyttö ja kustannukset

Valaistuksen kokonaiskustannukset koostuvat investointi- ja rakennuskustannuksista sekä käyttö- ja ylläpitokustannuksista. Investointi- ja rakennuskustannukset koostuvat suunnittelu- ja rakennuskustannuksista sekä valaisimien ja muiden komponenttien hankintakustannuksista. Valaisimien hankintakustannuksen muodostavat 6 Tino gen2 TN2254WBCED -valaisinta ja 48 Tino gen2 TN2234MBCED -valaisinta. Valaisimien hankintakustannukset ovat 8 310 euroa (ks. yhtälö 21).

$$185\text{€} \times 6 + 150\text{€} \times 48 \approx 8\,310\text{€} \quad (21)$$

Toisessa valaistussuunnitelmassa tavoitteena oli valaista kohteet, joita myymälässä katsotaan, eli ensisijaisesti valaista hyllyt, myyntipöydät ja kassat. Valaistuskohhteiden

priorisoinnilla minimoitiin ylimääräinen valon käyttö ja liian korkea valaistusvoimakkuustaso. Pienemmällä valaistusvoimakkuustasolla ja kohdennetulla valaistuksella pyrittiin myös energiansäästöön ja energiatehokkuuteen.

Myymän toisen valaistussuunnitelman 54 valaisinta himmennettynä käyttävät sähköä yhteensä 1 853,6 W (ks. taulukko 17), joten sähkönkulutus vuodessa oli 9 471,9 kWh/a (ks. yhtälö 22).

$$1853,6W \times 14h \times 365d \approx 9\,471,9kWh/a \quad (22)$$

Sähkön kokonaishinta noin 35000 kWh/a kuluttavalle taloudelle kahden vuoden määräaikaisella sopimuksella 10.5.2017 on 6.8 snt/kWh ilman veroja (Sähkön hintatilastot n.d.). Tällä sähkön hinnalla sähkön vuosikustannukseksi tulee 644 euroa (ks. yhtälö 23).

$$\frac{9471,9kWh}{a} \times 0.068\text{€} \approx 644\text{€} \quad (23)$$

Tällä sähkön hinnalla koko elinkaaren aikaiset sähkötaloudet ovat 12236 euroa (ks. yhtälö 24).

$$644 \frac{\text{€}}{a} \times 19a \approx 12\,236\text{€} \quad (24)$$

Sähkön hinta vaihtelee vuosien aikana, joten yllä oleva laskelma on vain suuntaa antava. Valaistussuunnitelma oli valaisimien osalta energiatehokas, koska valaisimiksi valittiin energiatehokkaat valaisimet. Valaistusvoimakkuustaso on riittävä, eikä sähköenergiaa kulu valaistusvoimakkuustason ylitykseen. Toisessa valaistussuunnitelmassa tavoitteena oli suunnitella myymälään soveltuva valaistus valaisemalla tarvittavat valaistuskohdeet. Valaistustapa osoittautui energiatehokkaaksi, koska valaisimien määrää pystyttiin karsimaan ja valaistustasoa laskemaan.

6.4 Myymälävalaistuksen tulokset

Myymävalaistuksen valaistussuunnittelussa oli tavoitteena vertailla kahden valaistussuunnittelutavan käytännöllisyyttä, soveltuvuutta, kustannuksia ja energiatehokkuutta sekä tehdä kehitysehdotuksia.

Ensimmäinen valaistussuunnitelma suunniteltiin tuottamaan noin 1000 luksin yleisvalo koko myymälän alueelle. Mallintamisessa onnistuttiin hyvin ja valaistusvoimakkuustaso oli tavoitteen tasolla. Valaistusvoimakkuustaso oli kuitenkin niin korkea, että valonsäteet heijastuivat pinnoilta niin, että kattopinnalla oli 700 luksin valaistusvoimakkuus. Tämä kaikki on turhaa valoa, mikä kuluttaa energiaa. Katossa olevat myymälän tekniset laitteet eivät ole myöskään tarkoitettu katsottavaksi. Korkea valaistusvoimakkuustaso vähensi kontrastin vaikutusta myyntipöydille, eli kirkasta kohdevalaistusta ei huomaa, koska myymälässä oli niin korkea valaistusvoimakkuustaso. Soveltuvuutta ihmiselle oli vaikea määrittää, sillä valaistuksen miellyttävyyttä on hankala mitata. Ihmisen silmä sopeutuu kirkkaaseen valoon, mutta pimeään aikaan ulkoa myymälään tullessa valaistus saattaa tuntua liian kirkkaalta.

Valaistusvoimakkuustaso takaa riittävän valaistusvoimakkuustason kaikkeen työskentelyyn myymälän alueella. Vaikka valaistusvoimakkuustaso oli korkea lattiapinnoilla, niin hyllyihin kohdistuva valaistusvoimakkuus oli matala, noin 500 luksia. Tuotteet eivät siis näy hyllyistä kovinkaan hyvin, mikä johtuu valaisimien korkeasta sijoittelusta ja suuntaamattomuudesta. Valaisimien investointikustannukset olivat 12 320 euroa. Valaisimien energiankäyttö oli 21 300 kWh/a ja sähkökustannukset 1 449 €/a. Energiakäyttö on pieni verrattuna loisteputkiin, joiden hyötysuhde on noin 70-100 lm/W, kun tutkimuksessa käytetyillä valaisimilla hyötysuhteet olivat 142 lm/W ja 152 lm/W.

Toinen valaistussuunnitelma suunniteltiin tuottamaan tarvittava valaistusvoimakkuustaso valaistusta tarvitseville kohteille. Mallintamisessa onnistuttiin hyvin ja himmentämällä valaisimia valaistusvoimakkuustaso saatiin valaistuskohdeissa tavoitellulle tasolle. Valaisimet säteilivät liian laajalle alueelle ja liian kirkkaasti, joten valaisimia jouduttiin himmentämään. Esimerkiksi lattiapintaa valaistiin turhaan. Pinnoilta heijastui valoa myymälän kattoon noin 300 luksin valaistusvoimakkuudella, mikä oli turhaa valon käyttöä. Hyllyjen pinnoilta heijastui valoa käytäville ja muihin tiloihin tarpeeksi, joten käytäviä ei tarvinnut erikseen valaista muuten kuin sisäänkäyntien kohdista. Valaistusvoimakkuustaso ja kohdevalaisu loivat kontrastin tuotteiden ja lattiapintojen välillä, mikä auttoi tuotteiden erottumista myymälätilassa. Hyllyllä olevan tuotteen etupintaan kohdistui noin 400 luksin valaistusvoimakkuus. Kirkkaasta ulkoilmasta sisälle tultaessa valaistus saattaa vaikuttaa hetken aikaa hämärältä, kunnes ih-

misen silmä tottuu valaistusvoimakkuuteen. Valaistuksessa on säätövaraa, eli tarvittaessa valaistusvoimakkuustaso voidaan säätää kirkkaammaksi valoisan aikaan. Valaisimien investointikustannukset olivat 8 310 euroa. Valaisimien energiankäyttö 9471,9 kWh/a ja sähkökustannukset 644 €/a.

Ensimmäisessä valaistussuunnitelmassa keskimääräinen valaistusvoimakkuustaso on huomattavasti korkeampi kuin toisessa valaistussuunnitelmassa. Toisen valaistussuunnitelman valaistusvoimakkuustaso on kuitenkin tarpeeksi korkea ja standardit täyttävä, että normaalit näkötehtävät pystytään suorittamaan hyvin. Ensimmäisessä valaistussuunnitelmassa hedelmäosaston ja myyntipöytien valaistusvoimakkuustaso oli noin 1 300 luksia ja toisessa noin 700 luksia. Toisen valaistussuunnitelman hedelmäosasto ja myyntipöydät kuitenkin erottuvat paremmin myymälässä. Pöytien valaistusvoimakkuustaso on 700 lx. Pöytien läheisyydessä lattiapinnalla valaistusvoimakkuus on noin 300 luksia, joten kontrasti kohdevalaistun valaistuskohteen ja käytävän välillä on suhteessa suurempi, kuin ensimmäisessä valaistussuunnitelmassa. Pienellä valaistusvoimakkuustasolla ja suurella kontrastilla luodaan elävän tuntuinen valaistus. Toisen valaistussuunnitelman pienemmästä keskimääräisestä valaistustasosta huolimatta valaistus hyllyllä olevan tuotteen etupinnalla on lähellä toisiaan, ensimmäisessä noin 500 luksia ja toisessa noin 400 luksia. Pienemmällä valotehokkuudella päästään siis lähes samaan lopputulokseen, kun valaisimet suunnataan hyllyihin.

Valaisimien investointikustannukset olivat perinteisessä valaistustavassa 12 320 euroa ja kehitysehdotuksessa 8 310 euroa. Kehitysehdotuksen investointikustannukset olivat 4 010 euroa, eli noin 33 % pienemmät kuin perinteisen valaistustavan investointikustannukset.

Samojen valaisimien käyttäminen molemmissa valaistussuunnitelmissa auttaa valaistussuunnitelmien energiatehokkuuden vertailemisessa. Valaisimet ovat yhtä energiatehokkaat, joten vain valaistussuunnitelma vaikuttaa energian käyttöön. Toisessa valaistussuunnitelmassa käytettiin vähemmän valaisimia, joista suurin osa oli pienempi-tehoisia kohdevalaisimia. Taulukko 18 vertailee sähkökustannuksia valaistussuunnitelmien välillä.

Taulukko 18. Myymälävalaistuksen sähkökustannusten vertailu

Valaistus-suunnitelma	Valaisimien lukumäärä	Valaisimien teho W	Sähkönkulu-tus kWh/a	Kustannuk-set €/a	Elinkaaren aikaiset sähkökustannukset €
1	70	4170	21300	1449,0	27500
2	54	1853,6	9471,9	644,0	12236
Erotus	16	2316,4	11828,1	805,0	15264

Ensimmäisen valaistussuunnitelman sähköteho oli 2 316,4 W vähemmän, kuin toisen valaistussuunnitelman sähköteho. Pienemmällä sähköteholla saavutetaan vuodessa tutkimuksessa käytetyllä sähkön hinnalla 805 euron säästö, mikä on elinkaaren aikana 15 264 euroa. Valaistussuunnittelulla voidaan saavuttaa noin 55 % säästö sähkönkulutuksessa.

Tutkimuskysymyksenä oli, voidaanko uudella valaistustavalla ja valaistussuunnittelulla vähentää energiankulutusta ja suunnitella ihmiselle riittävä valaistusvoimakkuustaso tutkimuskohteissa. Tulosten perusteella voidaan todeta, että toisen valaistussuunnitelman valaistussuunnittelulla ja valaistuskohteisiin priorisoidulla valaistuksella saavutetaan riittävä myymälävalaistus 55 % pienemmällä sähköteholla kuin ensimmäisessä valaistussuunnitelmassa. Tutkimuskysymykseen saatiin vastaus.

7 Pohdinta

7.1 Tuloksien arviointi

Valaistussuunnittelun valaistustapojen vertailussa saatiin tuloksena sähköenergian säästöpotentiaali sekä euromääräinen säästöpotentiaali. Tuloksena saatiin myös 3D-mallinnus katuvalaistuksen ja myymälävalaistuksen eri valaistussuunnitelmien kohteen näkymästä valaistuna. Toimeksiantaja voi käyttää laskelmia ja 3D-mallinnuksia liiketoiminnassaan valaistussuunnittelussa. DIALux- mallinnus luo virhettä, koska tietokoneohjelma ei pysty simuloimaan täydellisesti reaalia maailmaa esimerkiksi heijastusten osalta, koska reaalia maailmassa valaistuskohdeet ja materiaalit vaihtelevat paljon. Sähkön hinta on suuntaa antava, koska sähkön sopimushinta on eri suuruinen riippuen kaupungista, kunnasta ja myymälästä. Lisäksi sähkön hinta muuttuu ja kehittyy valaistuksen elinkaaren aikana.

Myös valaisimien valinta voi aiheuttaa virhettä, koska valaisimien kehitys on nopeaa ja valaisinvaihtoehtoja paljon. Tutkimus haluttiin tehdä kuvitteellisiin valaistuskohteisiin, jotta tulokset olisivat mahdollisimman monikäyttöiset ja yleistettävät. Reaali maailman valaistuskohteissa olisi saatu tarkemmat tulokset kyseisiin valaistuskohteisiin. Tutkimustuloksia voidaan kuitenkin yleistää tutkimuskohdeiden kaltaisissa ympäristöissä, ja siksi tutkimustulokset antavat suuntaviivoja myös muiden valaistuskohdeiden valaistussuunnitteluun.

7.1.1 Katuvalaistuksen tuloksien arviointi

Katuvalaistuksen tuloksien oikeellisuuteen vaikuttaa valaisimien valinnat. Valaisimien kokonaisvalotehokkuudet olivat lähes samat, koska kaikki valaisimet tulivat samalta valmistajalta. Valaisimien optiikan valinta vaikuttaa tutkimustuloksiin. Muilta valmistajilta olisi voinut löytyä paremmin perinteisen valaistustavan valaisimiksi sopivat valaisimet. Kehitysehdotuksen valaistussuunnitelmassa valaistusvoimakkuustasot eivät ole standardien mukaiset, mikä saattaa vaikuttaa valaistussuunnitelman toteutusmahdollisuuksiin. Tutkimuksessa ei ole otettu huomioon valaistussuunnitelmien rakennuskustannuksia, mikä vaikuttaa valaistussuunnitelman kokonaiskustannuksiin. Valaisinten hankintahinta on yhden kappaleen hankintahinta. Kilpailuttamalla ja pyytämällä tarjous suuremmasta erästä valaisimia saataisiin edullisempi yksikköhinta

7.1.2 Myymälävalaistuksen tuloksien arviointi

Myymälävalaistussuunnittelun valaistustapojen vertailussa saatiin tuloksena sähköenergiänsäästöpotentialiaali sekä euromääräinen säästöpotentialiaali. Tuloksena saatiin myös 3D-mallinnus myymälävalaistuksen eri valaistussuunnitelmien myymälänäkymästä valaistuna. Myymälävalaistuksia on monenlaisia, joten tutkimuksen myymälävalaistuksen tuloksia voidaan hyödyntää pääasiassa ruokakaupan valaistussuunnittelussa. Perinteisen myymälävalaistuksen mallintaminen voi luoda virhettä, koska lähes kaikkien myymälöiden valaistus on yksilöllinen.

Myös valaisimien valinnat vaikuttavat tuloksien oikeellisuuteen. Valaisimien kokonaisvalotehokkuudet olivat samat, koska tutkimuksessa käytettiin samoja valaisimia molemmassa valaistussuunnitelmissa. Valaisimien optiikan valinta vaikuttaa tutkimus-

tuloksiin. Kehitysehdotuksen valaistussuunnitelmassa paremmin tarkoitukseen so-
piva valaisin valovirraltaan ja optiikaltaan olisi vähentänyt sähkönkäyttöä. Valaisinten
hankintahinta on yhden kappaleen hankintahinta. Kilpailuttamalla ja pyytämällä tar-
jous suuremmasta erästä valaisimia saataisiin edullisempi yksikköhinta.

7.2 Lopuksi

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen, sillä valaistussuunnittelun historia on melko
lyhyt ja ala kasvaa tulevaisuudessa. Valaisinten energiatehokkuuden parantuessa
energiansäästöpotentiaali siirtyy valaisinten energiatehokkuudesta valaistussuunnit-
telulla saavutettavaan energiansäästöön. Aiheesta mielenkiintoisen teki myös se,
että valaistussuunnittelun roolista on tehty vain vähän tutkimusta. Tutkimustulokset
olivat mielenkiintoiset ja tutkimustuloksissa todettu energiansäästöpotentiaali yllätti
itsenikin.

Haasteita oli valaistusstandardien etsimisessä ja tulkinnessa, koska standardeja on
paljon ja ne on suunniteltu pääasiassa maantievalaistukseen, mutta samoja standar-
deja käytetään myös taajama-alueilla. Aihe oli melko laaja, koska tutkimuksessa ha-
luttiin tutkia valaistussuunnittelun roolia ja valaistustapoja sekä ulko- että sisätilassa.
Rajaamalla aihe ainoastaan ulko- tai sisätilaan, tutkimuksesta olisi voinut tehdä tar-
kemman ja laskea valaistuksen kokonaiskustannukset rakennuskustannuksia ja säh-
kökomponentteja myöten. Laajan aiheen ansiosta valaistussuunnittelun roolista sai
kuitenkin laajan yleiskuvan ja monipuolista tietoa eri valaistuskohteisiin.

Opinnäytetyön aikana opittiin paljon uutta valaisimista, valaistussuunnittelusta, va-
laistuksen standardeista ja DIALux- mallintamisesta. Työ oli kokonaisuudessaan on-
nistunut. Työhön asetetut tavoitteet täyttyivät ja toimeksiantaja pystyy käyttämään
työn tuloksia.

Haluan kiittää Valoa Design Oy ohjeistuksesta, opastuksesta, kannustamisesta ja
mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyö itseä kiinnostavasta aiheesta. Suuri kiitos kuu-
luu myös läheisille, perheelle ja ystäville.

Lähteet

- Anttila, T. 2017. Tarjouspyyntö Ensto Oy:n valaisimista. Sähköpostiviesti. 16.5.2017. Vastaanottaja H, Lamula.
- DiLouie, C. 2008. Lighting controls handbook. Yhdysvallat: The Fairmont Press Inc.
- Donoff, E. 2016. The Luminous Ceiling. Artikkelit Architectural Lighting- sivustolla. Viitattu 12.4.2017. http://www.archlighting.com/projects/the-luminous-ceiling_o
- Basic Lighting Knowledge. N.d. O.H.Technologyn sivustolla perustietoa valaistuksesta. Viitattu 20.2.2017. <http://www.ohopt.com/led.asp>
- BK20 Product information. N.d. Valaisimen esittely iGuzzinin sivustolla. Viitattu 17.5.2017. <http://www.iguzzini.com/bk20/>
- BL66 Product information. N.d. Valaisimen esittely iGuzzinin sivustolla. Viitattu 15.5.2017. <http://www.iguzzini.com/bl66/>
- Brox, J. 2011. Brilliant: The evolution of artificial light. Boston: Mariner Books Houghton Mifflin Harcourt.
- BU98 Product information. N.d. Valaisimen esittely iGuzzinin sivustolla. Viitattu 17.5.2017. <http://www.iguzzini.com/bu98/>
- BX36 Product information. N.d. Valaisimen esittely iGuzzinin sivustolla. Viitattu 15.5.2017. <http://www.iguzzini.com/bx36/>
- Ekrias, A., Hautala, P., Lehtonen, K., Paakkinen, M., Tiensuu, A. & Uutela, P. 2016. Hyväksytyt tievalaisimet 6.7.2016. Liikenneviraston julkaisu. Viitattu 13.5.2017. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/opas_2016_hyvaksytyt_tievalaisimet_web.pdf
- Energiatehokas valaistus. N.d. Motiva Oy. Artikkelit valaistustieto.fi sivustolla. Viitattu 5.4.2017. <https://valaistustieto.fi/energiatehokas-valaistus/>
- Halonen, L & Eloholma, M. 2005. Keinovalon historia. Artikkelit Duodecim digilehdessä 121(23): 2565-73. Viitattu 8.2.2017. <http://www.duodecimlehti.fi/lehti/2005/23/duo95374>
- Heikkilä, K. 2016. K-citymarket Sellossa loisteputkista LEDeihin ennätysajassa. Artikkelit Enston sivustolla. Viitattu 9.5.2017. <https://www.ensto.com/fi/yhtio/uutiset-ja-media/artikkelit/loisteputkista-ledeihin-ennatysajassa/>
- Honkonen, V. & Oksanen, J. 2001. Kolme tarinaa: uudet valonlähteet ympäristövalaistuksessa. Helsinki: Teatterikorkeakoulu, valo- ja äänisuunnittelun laitos, Tekes.
- Howard, B., Brinksy, B. & Leitman S. 2011. Green Lighting. Yhdysvallat: The McGraw-Hill Companies.
- iGuzzini Finland. N.d. Toimipaikka esittely yrityksen sivustolla. Viitattu 15.5.2017. <http://www.iguzzini.com/contacts/finland/>

- IP-classification. N.d. Artikkelin RISEn sivustolla. Viitattu 9.5.2017.
<http://sp.se/en/index/services/ip/sidor/default.aspx>
- Kallasjoki, T. & Tiensuu, A. 2008. Valaistushankintojen energiatehokkuus. Selvitystyö. Suomen Valoteknillinen Seura Ry. Viitattu 22.2.2017.
http://www.valosto.com/tiedostot/SVS_Valaistushankintojen_energiatehokkuus_V4.pdf
- Lamppujen, valon ja valaistuksen ominaisuuksia. N.d. Artikkelin valaistuksen perusteista taloon.com sivustolla. Viitattu 9.5.2017.
<http://www.taloon.com/valaisininfo/10210/dg>
- Lighting design software DIALux. N.d. DIALux esittely yrityksen sivustolla. Viitattu 25.4.2017. <https://www.dial.de/en/dialux/>
- Luminanssi. 2008. Opetusmateriaali Ensto pro- opetussivustolla. Viitattu 20.2.2017.
<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/enstopro.html>
- Lyytimäki, J. & Rinne, J. 2013. Valon varjopuoleet. Valosaaste ympäristöongelmana. Helsinki: Gaudeamus.
- Maile, M. 2007. Richard Kelly: Defining a Modern Architecture of Light. Saksa: ERCO Lichtbericht. Artikkelin lehdessä. Viitattu 9.2.2017
https://www.erco.com/download/content/30-media/1-lighting_report/021-de-erco-lb82/erco-lichtbericht-82-en.pdf
- Murphy, T. 2011. Maximum Efficiency of White Light. Californian yliopiston opetusmateriaali sivustolla. Viitattu 9.2.2017.
<http://physics.ucsd.edu/~tmurphy/papers/lumens-per-watt.pdf>
- Partonen, T. 2012. Valosta aikaa. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.
- Siironen, R. 2017. Toimitusjohtaja Valoa design Oy. Puhelinkeskustelu 20.1.2017.
- Siironen, R. 2011. Arkkitehtuurivalaistuksen estetiikka. Blogiteksti yrityksen sivuilla. Viitattu 14.2.2017. <http://www.valoa.com/blogiteksti-etiam-dolor-diam-consectetur-eu-molestie-ac/>
- Siironen, R 2008. Valaistussuunnittelun tehtäväluettelo. Valo-Lehti 1-2/2008. Helsinki: Suomen Valoteknillinen Seura ry. Viitattu 14.2.2017
<http://www.prointerior.fi/catalogue/valolehti.php?magazineID=12&p=48>
- Sormanen, A. 2008. Valonlähteiden värinvalinto-ominaisuuksien kuvaaminen. Mittaustekniikan työ. Teknillinen korkeakoulu. Viitattu 9.2.2017.
http://metrology.tkk.fi/courses/S-108.erikoisty/reports/web/etyo_Sormanen.pdf
- ST 58.10.01. 2016. Taajamien maanteiden sekä jalankulku- ja pyöräteiden valaistus. Sähköinfo Oy. Viitattu 5.5.2017.
<https://severi.sahkoinfo.fi/item/648?search=valaistus>
- ST 58.14. 2004. Myymälävalaistus. Sähköinfo Oy. Viitattu 4.5.2017.
<https://severi.sahkoinfo.fi/item/550?search=58.14>
- Syrjälä, J. 2017. Vastaus tarjouspyyntöön. Sähköpostiviesti 21.5.2017. Vastaanottaja H, Lamula. iGuzzinin edustajan vastaus tarjouspyyntöön.

Sähköistyminen Suomessa. N.d. TUKES (turvatekniikan keskus) Sähköturvallisuus 100 vuotta. Artikkelit TUKESin sivustolla. Viitattu 8.2.2017.
<http://www.tukes.fi/sahkoturvallisuus100/>

Sähkön hintatilastot. N.d. Sähkön hintatilastotaulukko energiaviraston sivustolla. Viitattu 10.5.2017. <http://www.sahkonhinta.fi/summariesandgraphs>

Tiensuu, A. 2010. Uusi Valaistuskirja. Helsinki: Viherympäristöliitto ry.

Tievalaistuksen suunnitteluohje. 2006. Tiehallinnon verkkojulkaisu. Viitattu 22.2.2017. http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100034-v-06tievalaist_suunn.pdf

Tino gen2 TN2234MBCED. N.d. Valaisimen esittely Enston sivustolla. Viitattu 9.5.2017. <https://www.ensto.com/fi/tuotteet/valaistus/teollisuusvalaisimet/tino-gen2/TN2234MBCED>

Tino gen2 TN2254WBCED. N.d. Valaisimen esittely Enston sivustolla. Viitattu 9.5.2017. <https://www.ensto.com/fi/tuotteet/valaistus/teollisuusvalaisimet/tino-gen2/TN2254WBCED>

Whitehead, R. 2009. Residential lighting. Toinen painos. New Jersey, Yhdysallat: John Wiley & Sons, Inc.

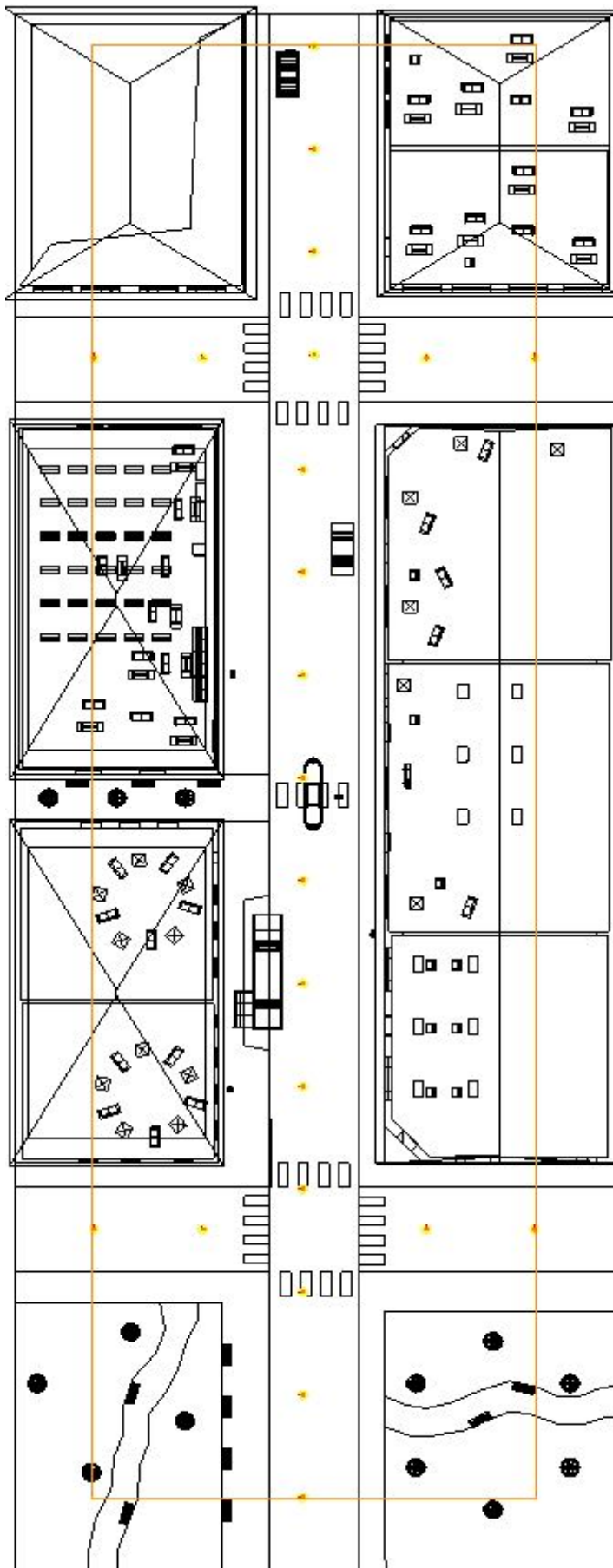
Liitteet

Liite 1. Katujen valaistusluokat taajamassa (Tievalaistuksen suunnitteluohje, 2006)

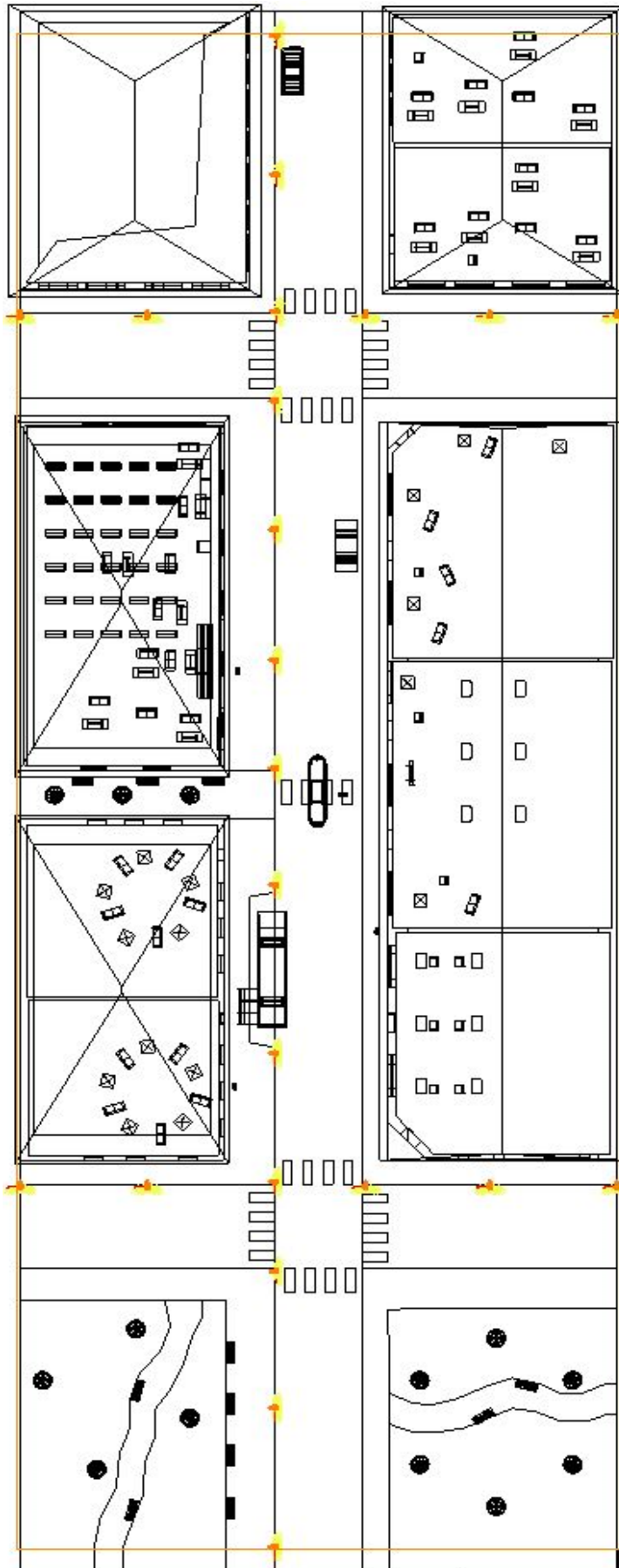
Toiminnallinen luokka	Poikkileikkaus	Liikenne	Nopeusrajoitus	Liittymät	Valaistusluokka
Pääkadut					AL2+K2
Keskustassa		M+E(Pp+Jk)	50	Taso	AL2+K2
					AL1+K1
Muilla alueilla		M+E(Pp+Jk)	80 60	Eritaso Taso	AL2+K2 AL3+K4
		M+Pp+Ejk	50	Taso	AL4a+K4
Kokoojakadut		M+E(Pp+Jk)	50	Taso	AL3+K4
		M+Pp+Ejk			AL3+K4
Muilla alueilla		M+E(Pp+Jk)	60	Taso	AL4a+K6
		M+Pp+Ejk	50		AL4b+K6
Tonttikadut		M+Pp+Ejk	50	Taso	AL4a+K4
		M+Pp+Ejk	40	Taso	AL4b+K6
Muilla alueilla		M+Pp+Jk	30		AL5

M=moottoriajoneuvoliikenne Jk=jalankululiikenne Pp=polkupyöräliikenne E=erillinen liikenne

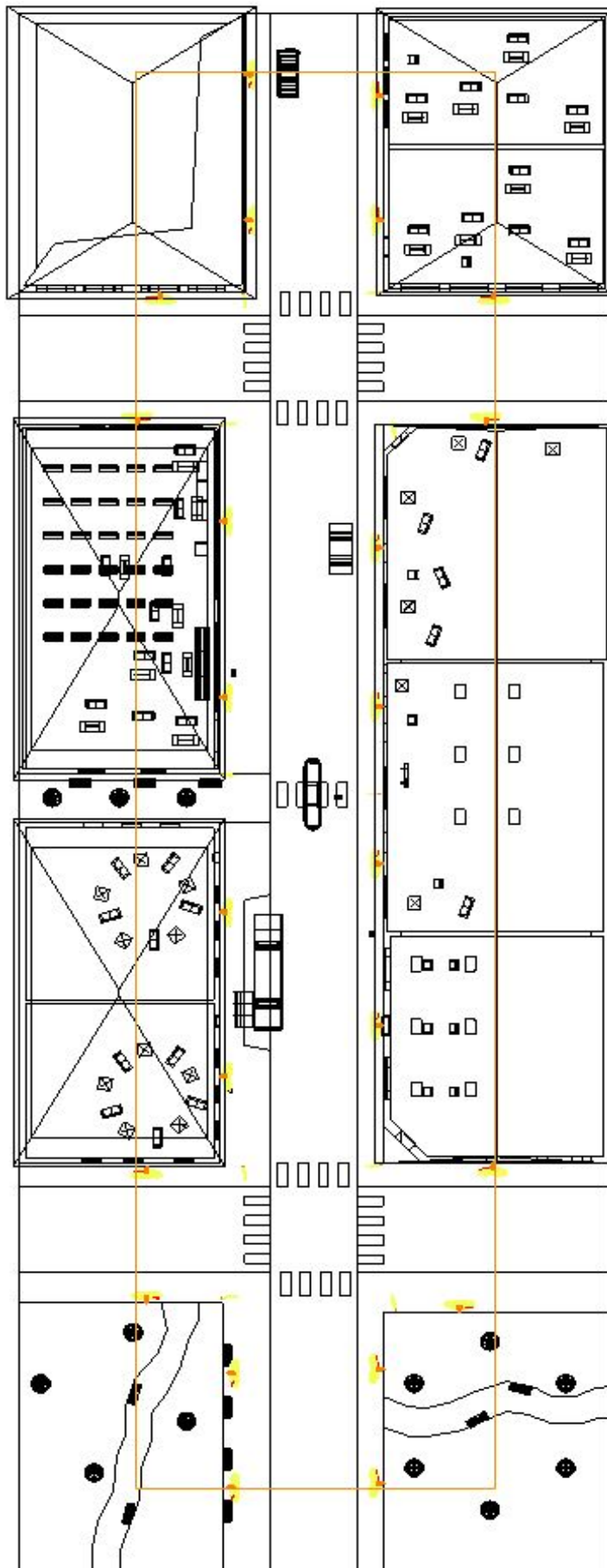
Liite 2. Katuvalaistuksen perinteinen valaistustapa: tapaus 1



Liite 3. Katuvalaistuksen perinteinen valaistustapa: tapaus 2.



Liite 4. Katuvalaistuksen valaistussuunnitelman kehitysehdotus



Liite 5. Katuväläistuksen välistussuunnitelmién katunäkymät

