

Jussi Vikström

# Kaidevalaistuksen käyttömahdollisuudet kevyen liikenteen väylällä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

25.4.2014

## Alkulause

Tämä insinööri työ tehtiin Helsingin Energian toimeksiannosta. Kiitän Helen Ulkovalaistuksen yksikön päällikköä Olli Markkasta saamastani ohjauksesta sekä koko yksikköä saamastani avusta. Hyvistä neuvoista haluan kiittää Misal Oy:n General Manageria Jyrki Sipistä sekä WSP Design Studion valaistustiimiä. Mitaten Finland Oy:n Marko Oramaa kiitän luminanssikameran lainasta ja Näkövammaisten keskusliiton esteettömyysneuvoja Juha Seppälää asiantuntijahaastattelusta. Lisäksi kiitän työni ohjaavaa opettajaa lehtori Tapio Kallasjokea Metropolia Ammattikorkeakoulusta. Lopuksi tahdon kiittää vaimoani Annaa, joka rohkaisi minua opiskelemaan sekä tuki minua insinööriopintojeni valmiiksi saattamisessa.

Helsingissä 25.4.2014

Jussi Vikström

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Jussi Vikström Kaidevalaistuksen käyttömahdollisuudet kevyen liikenteen väylällä 49 sivua + 2 liitettä 25.4.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	yksikön päällikkö Olli Markkanen, HelenUlkovalaistus lehtori Tapio Kallasjoki, Metropolia Ammattikorkeakoulu
<p>Tässä insinöörityössä käsitellään LED-kaidevalaistuksen ominaisuuksia sekä käyttökokeuksia kevyen liikenteen väylällä. Tarkastelun kohteena oli Helsingissä sijaitseva Auro-ransilta.</p> <p>Työssä selvitettiin pylväs- ja kaidevalaistuksen eroavaisuuksia sekä sitä, voiko pelkällä kaidevalaistuksella valaista kevyen liikenteen väyliä niin, että standardien vaatimukset täyttyvät.</p> <p>Menetelminä käytettiin mittauksia, käyttäjäkyselyä sekä asiantuntijahaastattelua. Lisäksi vertailtiin valaistuksien kustannuksia toisiinsa.</p> <p>Kaidevalaistus sopii Auroransillan tyyppisiin kohteisiin ja täyttää standardien perusvaati-mukset. Valaistus on tasainen, ohjaava ja parantaa väylän esteettömyyttä. Valaistustaso on jopa niin voimakas, että valaistusta voitaisiin himmentää. Pelkkää kaidevalaistusta käy-tettäessä kasvojentunnistus on ongelmallista. Nykyisin kaidevalaistuksen hankintakustan-nukset ovat korkeat verrattuna pylväsvalaistukseen, ja ne ovat merkittävässä osassa ko-konaiskustannuksia arvioitaessa. Parhaimmillaan kaidevalaistus tuo ympäristöön tunnel-maa ja viihtyisyyttä ja korostaa kohteen arkkitehtuuria.</p> <p>Tämän työn tulosten perusteella kaidevalaistuksen käyttöä voidaan suosittaa kohteissa, joissa tarvitaan tasaista ja laadukasta valotasoa ja joiden halutaan olevan esteettisiä ja päiväsaikaan vähäeleisiä.</p> <p>Kaidevalaistuksen kehittämistä täytyy jatkaa, jotta siitä voidaan saada vielä nykyistä pa-rempi valaistustapa.</p>	
Avainsanat	LED, valaistus, kaidevalaistus, esteettömyys, kevyen liikenteen väylä

Author Title	Jussi Vikström Handrail Lighting: Possibilities of Use in a Walkway
Number of Pages Date	49 pages + 2 appendices 25 April 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Olli Markkanen, Head of Unit Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer
<p>This final thesis concerns LED handrail lighting and it deals with its features and use experiences in a walkway. The object of experiment of the thesis was the Aurora bridge which is located in Helsinki.</p> <p>The goal of this final thesis was to find out what the differences between pole lighting and handrail lighting are and whether LED handrail lighting can meet the standards that are expected of it.</p> <p>The methods that were used in this final thesis were measurements, user enquiries and an interview of an expert. In addition to all these, costs of both lightings (pole and handrail) were compared to each other.</p> <p>Handrail lighting fits in to structures like Aurora bridge. It also fulfils the demands that standards set to it. The illumination is smooth, directional and it upgrades accessibility of the walkway. The level of the illumination is even too high, so it could be a good idea to dim it. Identification of the oncoming people is difficult when only handrail lighting is used. Nowadays, the purchase prices of handrail lighting are much higher than prices of pole lighting. Purchase prices are also significant when the total expenses are estimated. Handrail lighting can bring environmental aesthetics more ambience and cosiness and underline the architecture of the structure.</p> <p>Based on the results of this thesis, handrail lighting can be recommended in places where smooth and high-quality level illumination is needed, and where the lighting is to be aesthetic and, at the same time, unassuming in the daytime. Development of handrail lighting must be continued, so it could improve further.</p>	
Keywords	LED, lighting, handrail lighting, accessibility, walkway

## Sisällys

Alkulause

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Käsitteet, lyhenteet ja tunnukset

1	Johdanto	1
2	Valonlähteiden käyttömahdollisuudet kiinteissä rakenteissa	1
3	Kevyen liikenteen väylän valaistus	3
3.1	Kevyen liikenteen väylän valaistusvaatimukset	3
3.2	Kevyen liikenteen väylien valaistustoteutuksia	4
4	Kaidevalaistus	9
4.1	Kaidevalaistuksen käyttö	9
4.2	Kaidevalaistuskohteita	9
4.2.1	Urheilukalastajansilta -kohde	10
4.2.2	Pyhän Birgitan puisto -kohde	12
5	Koekohde Auroransilta	13
5.1	Valaistuskoe kohteen valinta	14
5.2	Pylväsvalaistus Louis Poulsen	14
5.2.1	Kaidevalaistus MGT-Meltron	15
5.3	Valaistusmittausten ja käyttäjäkyselyn järjestelyt	15
5.3.1	Valaistusmittauslaitteet	16
5.3.2	Käyttäjäkyselylomake	17
6	Valaistusmittaukset koekohteessa	17
6.1	Valaistusvoimakkuus koekohteessa	18
6.1.1	Valaistusvoimakkuusmittaukset	18
6.1.2	Valaistusvoimakkuusmittausten tulokset	19
6.2	Luminanssi koekohteessa	21
6.2.1	Luminanssimittaukset	21

6.2.2	Luminanssimittausten tulokset	24
6.3	Häikäisy koekohteessa	26
6.4	Väriämpötila ja värintoisto koekohteessa	26
6.5	Muodonanto koekohteessa	28
6.6	Kasvojentunnistus koekohteessa	32
7	Käyttäjäkysely	34
7.1	Tunnistettavuuden arviointi	34
7.2	Valon määrä ja sen jakautumisen arviointi	34
7.3	Häikäisyn arviointi	35
7.4	Valon värin ja värintoiston arviointi	35
7.5	Valaistuksen sopiminen ympäristöönsä	36
7.6	Sanallisia käyttäjäkommentteja	36
8	Esteettömyysneuvojan haastattelu	37
8.1	Näkövammaisten toimintakyvyn arviointi	37
8.2	Ohjaavuuden arviointi	38
8.3	Valaistusvoimakkuuden arviointi	38
8.4	Tunnistettavuus näkövammaisten näkökulmasta	39
8.5	Häikäisyn merkitys	39
8.6	Yhteenvedo arviointihaastattelusta	40
9	Koekohteen valaistuksien kustannusvertailu	40
9.1	Koekohteen valaistuksien käyttökustannukset	41
9.2	Koekohteen valaistuksien kokonaiskustannukset	43
10	Johtopäätökset	45
	Lähteet	48
	Liitteet	
	Liite 1. Luminanssikuvat mittausalueesta	
	Liite 2. Käyttäjäkyselylomake	

## Käsitteet, lyhenteet ja tunnukset

AL-luokka	moottoriliikenteen valaistusluokka
E	valaistusvoimakkuus [lx]
$ \vec{E} $	valaistusvoimakkuusvektorin itseisarvo [lx]
$E_m$	keskimääräinen valaistusvoimakkuus [lx]
$E_s$	skalaarivalaistusvoimakkuus [lx]
$E_{sc}$	puolisylinterivalaistusvoimakkuus [lx]
Gobo	Goes Before Optics; valonheittimeen laitettava sapluuna, jolla valo saadaan rajattua halutulla tavalla
K	kelvin, lämpötilan mittayksikkö
K-luokka	kevyen liikenteen valaistusluokka
L	luminanssi [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ] kuvaa, kuinka kirkkaana jokin pinta näkyy
$L_m$	keskimääräinen luminanssi [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]
Luminanssi	kuvaa tarkasteltavan kappaleen pintakirkkautta, sen yksikkö on kandela neliömetriä kohden [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]
LED	Light Emitting Diode; loistediodi; ledi
$R_a$	värintoistoindeksi; arvo 0-100
$U_l$	luminanssin pitkittäistasaisuus
$U_{IE}$	valaistusvoimakkuuden pitkittäistasaisuus
$U_o$	luminanssin yleistasaisuus
$U_{OE}$	valaistusvoimakkuuden yleistasaisuus
$\text{W}/\text{m}^2$	tehotiheys

Valonjako	kuvaa sitä, kuinka valovoima jakaantuu valaisimesta ympäristöön
Valovirta	kuvaa valonlähteen lähettämä näkyvän valon säteilyteho, sen yksikkö on lumen [lm]
Valovoima	kuvaa valonlähteestä tiettyyn suuntaan säteilevän valovirran osaa, sen yksikkö on kandela [cd]
Väriämpötila	kuvaa valon värisävyä, sen yksikkö on kelvin [K]
Valaistusvoimakkuus	kuvaa pinnalle saapuvan valon määrää pinta-alayksikköä kohti, sen yksikkö on luksi [lx] = [lm/m <sup>2</sup> ]
Värintoistoindeksi	kuvaa värintoistoa vertailuvalonlähteeseen nähden



## 1 Johdanto

Kaidevalaistuksen käyttökokemukset -insinööriyössä käsitellään LED-kaidevalaistuksen ja pylväsvalaistuksen eroavaisuuksia sekä sitä, pystyttäisiinkö kevyen liikenteen väyliä valaisemaan kaidevalaistuksella niin, että valaistus täyttää standardien vaatimukset. Insinööriyön aineisto kerättiin mittauksin ja kyselyin. Tämä työ on tehty yhteistyössä Helsingin Energian ulkovalaistusyksikön kanssa.

LED-valaistukset ovat jo muuttaneet ja muuttavat vielä valaistuksen käyttötapoja. LEDien mahdollisuuksista ja niiden uusista käyttötavoista ei ole vielä paljon tutkimuksia. Kaidevalaistus on hyvä esimerkki LED-tekniikan hyödyntämisestä uudella tavalla. Vanhemmilla valaistustavoilla kaidevalaistuksen toteuttaminen on ollut vaativaa ja epäkäytännöllistä. Nyt ja tulevaisuudessa LEDien avulla eri kohteiden ilmettä voidaan muokata hyvinkin paljon erilaiseksi perinteisiin valaistustapoihin verrattuna.

## 2 Valonlähteiden käyttömahdollisuudet kiinteissä rakenteissa

Valaistusalalla on tapahtunut ja tapahtuu suuria muutoksia Euroopan Unionin Eco-Design-direktiivin vuoksi. Direktiivin avulla edistetään kestävästä kehityksestä ja ympäristön suojelua (EcoDesign-direktiivi 2013). Valaistuksessa säädökset vaikuttavat valonlähteisiin, joilla on huono energiankäytön hyötysuhde. Ulkovalaistuksessa suurin muutos tapahtuu keväällä 2015, kun elohopeahöyrylamppujen markkinoille tulo estetään direktiivin myötä. Vuonna 2011 EU-alueella ulkovalaistuksessa arvioitiin olevan 20 miljona elohopealamppua, Suomessa yli 650 000. Kaikista Suomen kunnissa olevista ulkovalaisimista arvioitiin elohopealamppujen osuuden olevan keskimäärin 58 %. (Rantakallio & Ylinen 2011.)

Muutoksen myötä haasteena on elohopealamppuja käyttävien valaisimien korvaaminen saneerattavissa kohteissa. Elohopealamppuvalaisimet voidaan muuttaa korvaaville lamputyypeille sopiviksi tai valaisimet voidaan vaihtaa kokonaan uusiin. Tehdyt muutokset vaikuttavat koko valaistusasennukseen. Esimerkiksi valonjaon muuttuessa täytyy asennuksessa huomioida mm. pylväsvälin sopiva mitoitus. Korvaavina valaisimina käytetään suurpainenaatrium-, monimetalli- ja LED-valaisimia. (Martikainen 2014; Rantakallio & Ylinen 2011.)

Yleisesti ulkovalaistuksessa valaisimien asentamista korkealle joko pylväisiin, seiniin tai ripustamalla, pidetään taloudellisesti ja valo-ominaisuuksiltaan parhaimpina vaihtoehtoina.

Perinteiset valonlähteet ovat yleensä suhteellisen suurikokoisia ja käytössä vain niitä varten suunnitelluissa valaisimissa. Kalusteisiin tai rakenteisiin integroituja valaistusideoita on ollut vaikea toteuttaa valonlähteiden suuren koon vuoksi. LED-tekniikka on tuonut uusia ideoita ja mahdollisuuksia valaistuksen integroimiseen pienen ja muokautuvan tekniikkansa ansiosta. Kaidevalaistus on hyvä esimerkki käyttömahdollisuuksista, joita LEDeillä voidaan tehdä.

Perinteisellä tekniikalla toteutettuja integroituja valaistuksia on ollut hankala toteuttaa. Esimerkeiksi integroiduista valaistuksista voisi ajatella kattoon, seinään tai maahan upotettavia valaisimia, jotka kuitenkin vievät kiinnitettävästä kohteestaan suuren tilan. Kuvassa 1 valaisimet on integroitu pollareihin, jotka hillitsevät ajoneuvojen pääsyä puistoalueelle. Samalla ne valaisevat vieressä olevaa väylää. Sisätiloissa integroitujen valaistusasennuksien esimerkkejä ovat esim. kaksikantaloistelamppujen asennus verhokappaan tai peilikaapin valaisimet.



Kuva 1. Pollareihin integroidut valaisimet

### 3 Kevyen liikenteen väylän valaistus

#### 3.1 Kevyen liikenteen väylän valaistusvaatimukset

Kevyen liikenteen väylien valaistusvaatimuksissa käytetään standardisarjaan SFS-EN 13201 pohjautuvia määritelmiä. Niistä löytyvät tiedot valaistusluokkien määrittämiseksi, valaistusluokkien vaatimukset, vaatimusten laskeminen sekä niiden mittaustavat.

Toisin kuin katuvalaistuksessa, kevyen liikenteen väylän vaatimukset todetaan valaistusvoimakkuuden, ei luminanssin perusteella. Kevyen liikenteen väylille on määritelty omat valaistusvaatimusluokat eli K-luokat. Eri luokkien vaaditut valaistustasot määritellään väylän sijainnin, sen käyttäjien sekä vilkkauden perusteella.

K-luokissa ilmoitetaan valaistusvoimakkuusarvot, jotka väylälle määritellyn luokan tulisi täyttää. K-luokkataulukosta selviää vaakatason keskimääräinen valaistusvoimakkuus sekä yksittäisen mittauspisteen pienin sallittu minimiarvo kullakin K-luokalla. Lisäksi epätasaisuutta ehkäisemään hankekohtainen keskimääräinen valaistusvoimakkuus ei saa ylittää puolitoistakertaista luokan edellyttämää keskiarvon minimiä. Kevyen liikenteen väylille on olemassa myös lisäluokat, joita voidaan hyödyntää silloin, kun halutaan vähentää rikollisuutta tai turvattomuuden tunnetta. Tällöin korostetaan pystysuoria pintoja tai rajoitetaan estohäikäisyä. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006: 19.)

Hyvä valaistus muodostuu useista eri osatekijöistä. Sen tärkeimpinä tehtävinä on toimintojen valaiseminen, tilan ja ympäristön muodostaminen sekä turvallisen tunteen synnyttäminen. Näin valaistuksella voidaan mahdollistaa kokonaisvaltaisesti turvallisen tuntuinen liikkuminen pimeään aikaan. Hyvän valaistuksen saavuttamiseksi täytyy siis ottaa huomioon muun muassa valaistusvoimakkuus, suuntaus, tasaisuus, häikäisy ja värintoisto. Suunnittelussa voidaan käyttää apuna eri ohjeistuksia ja standardeja.

Valaistuksen täyttäessä vaaditut laatustandardit ja ohjeistukset se mahdollistaa yleensä eri näkötehtävien suorittamisen, kuten näkökohteiden havaitsemisen. Pelkkä vaatimusten täytyminen ei kuitenkaan takaa, että valaistus myös sopisi ympäristöönsä esteettisesti, ottaisi huomioon lähiympäristönsä, toimisi teknisesti hyvin sekä olisi valonjaoltaan kohteeseen sopiva ja vähän huoltoa vaativa. Hyvässä valaistuksessa on otettu huomioon sen kokonaistaloudelliset kustannukset materiaaleineen, asennustapoineen sekä energiankulutuksineen. Ammattimaisella ja osaavalla valaistussuunnittelulla on

näin ollen tärkeä tehtävä hyvän ja toimivan valaistuksen aikaansaamisessa. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006: 14; Arola 2013: 4; Kallasjoki 2011.)

Taajamissa sijaitsevilla kevyen liikenteen väylillä on esteettömän liikkumisympäristön kannalta merkittävä vaikutus. Onnistuneella valaistuksella voidaan paitsi auttaa ja selkeyttää ihmisten liikkumista sekä parantaa pimeään ajan ilmettä ja nostaa eri kaupunginosien tai alueiden identiteettiä.

### 3.2 Kevyen liikenteen väylien valaistustoteutuksia

Kevyen liikenteen väyliä voidaan valaista usealla eri tavalla. Valaistuksen vaatimukseen vaikuttaa se, missä väylä sijaitsee ja mikä on sen käyttöaste.

Autoliikenteelle tarkoitetun ajoradan välittömässä läheisyydessä sijaitseva väylä, eli jalkakäytävä, pystytään todennäköisesti valaisemaan ajoradalle tarkoitetun valaistuksen avulla. Koska valaisimilla on erilaiset valonjaot, niin ajoradalle ja kevyelle liikenteelle asetetut valaistusvaatimukset voidaan täyttää riippumatta siitä, sijaitsevatko pylvää ajoradan ja kevyen liikenteen väylän välissä vai niiden takana (kuvat 2 ja 3, ks. seur. s.). Kaupungissa on usein käytössä myös ripustus- tai seinävalaistus katutilan ahtauden vuoksi. Tällainenkin valaistus voi valaista sekä ajoradan että jalkakäytävän.

Toisinaan kevyen liikenteen väylän ja ajoradan välissä on viherkaista, jossa on puita tai jotakin muuta, mikä estää valon pääsemisen kummallekin kulkuväylälle. Tällöin voidaan ajoradalle tarkoitettujen valaisimien pylvääitä käyttää hyödyksi asentamalla niihin kaksi valaisinta, joista toinen osoittaa kevyen liikenteen väylälle, kuten kuvassa 4 (ks. s. 6).



Kuva 2. Jalkakäytävän taakse sijoitettu valaisinpylväs



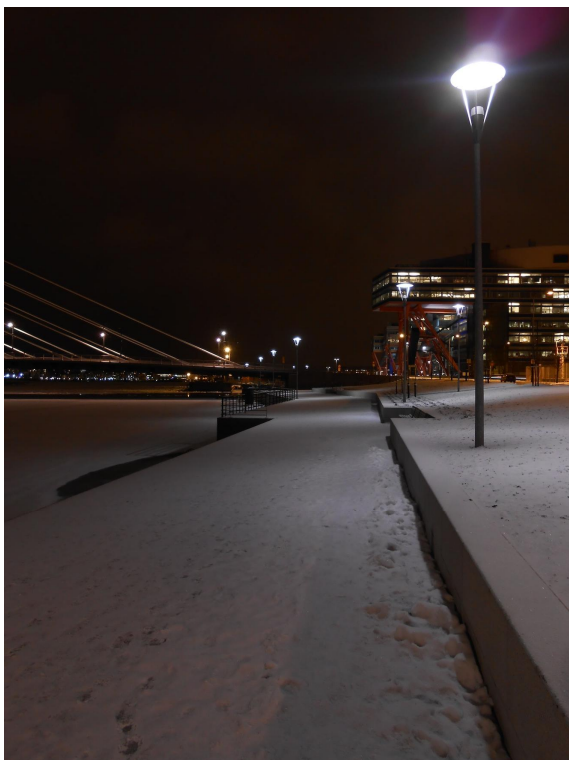
Kuva 3. Jalkakäytävän ja ajoradan väliin sijoitettu valaisinpylväs



Kuva 4. Ajorata ja jalkakäytävä valaistu pylvällä, joihin on asennettu kaksi valaisinta

Muusta liikenteestä erillään olevien kevyen liikenteen väylien valaistus voidaan toteuttaa niitä varten suunnitelluilla valaisimilla, joissa on kohteeseen sopiva valonjako. Tällaisissa tilanteissa voidaan harkita myös puistokäytävälle tyypillisesti käytettävää valaistusta. Kevyen liikenteen väylän valaistus ei saa haitata päätien ohjaavuutta. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006: Liite s. 8.)

Puistoihin soveltuvia valaisimia käytetään yleensä viihtyisyyden ja turvallisen tunnelman tuomiseksi (Valot varjot vaarat 2013: 45). Puistovalaisimet eivät ole valonjaoltaan välttämättä katuvalomaisia, vaan valaisevat myös lähiympäristöä tuoden mukanaan turvallisuuden tunnetta. Kuvassa 5 (ks. seur. s.) valaisimet valaisevat sekä kulkuväylää että viheraluetta sen vieressä.



Kuva 5. Puistoihin soveltuva valaisin valaisee koko ympäristöänsä

Kevyelle liikenteelle tarkoitettujen siltojen valaistus riippuu useasta osatekijästä. Valaistuksen suunnitteluun vaikuttaa muun muassa sillan pituus, leveys ja rakenne. Kuvassa 6 (ks. seur. s.) sillan valaistus on toteutettu yhdellä valonheittimellä. Toteutuksessa on käytetty sillan rakennetta hyvin hyödyksi ja saatu kulkuväylä valaistua yksinkertaisella menetelmällä. Toteutusta voisi parantaa, sillä siitä aiheutuu häikäisyä, voimakkaita varjoja ja hukkavaloa. Kun sillalle tullaan valonheittimen takaa, näkyy kulkuväylällä selvä raja heittimen valaisemasta alueesta. Jos valaisimia olisi useita, valoa sillankannella olisi tasaisemmin. Kyseinen silta tosin sijaitsee hyvin valaistulla alueella, joten haitta on lähinnä esteettinen.

Kuvan 7 (ks. seur. s.) silta on rakenteeltaan aivan toisenlainen. Käytävämäisen rakenteen ansiosta valaisimet on voitu sijoittaa sillan ns. *kattoon*. Näin valaistus on saatu rajattua hyvin sillankannelle. Tämä valaistus viestii kanavan varrella kulkijoille selvästi jo kaukaa, missä silta on. Kuvien 6 ja 7 sillat sijaitsevat Helsingin Ruoholahdessa.



Kuva 6. Vasemmalla valonheittimestä tulee väylälle selvä raja; oikealla valonheittimen valokeilaa voisi rajata ja näin vähentää häikäisyä sekä ohi menevää valoa



Kuva 7. Valaistuksessa on käytetty hyväksi sillan kattomaista rakennetta



## 4 Kaidevalaistus

### 4.1 Kaidevalaistuksen käyttö

LEDien ansiosta kaiteeseen integroitu valaistus on tullut aiempaa huomattavasti helpommaksi toteuttaa. Kaidevalaistuksia on alkanut näkymään varsinkin sisätiloissa, yleensä portaiden valaistuksen yhteydessä. Liukuportaiden valmistajilta on lisävarusteena LEDeillä toteutettavia kaidevalaistuksia, jotka lisäävät turvallisuutta kuljettaessa liukuportaissa.

Ulkotiloissakin kaidevalaistuksia on, mutta vain muutamissa kohteissa ja yleensä vain korostusvalaistuksena yhdessä muun valaistuksen kanssa. Otollisia paikkoja, joissa kaidevalaistusta voisi käyttää yksinään ilman muunlaista valoa, on vain vähän. Ulkotiloissa sopivia kohteita kaidevalaistukselle voisivat olla paikat, joissa tavallisestikin käytetään kaiteita ja edetään niiden suuntaisesti, kuten portaat, luiskat ja sillat. Ennen kaikkea sellaiset paikat, joiden halutaan olevan esteettisiä ja päiväsaikaan vähäeleisiä, sopivat kaidevalaistukselle.

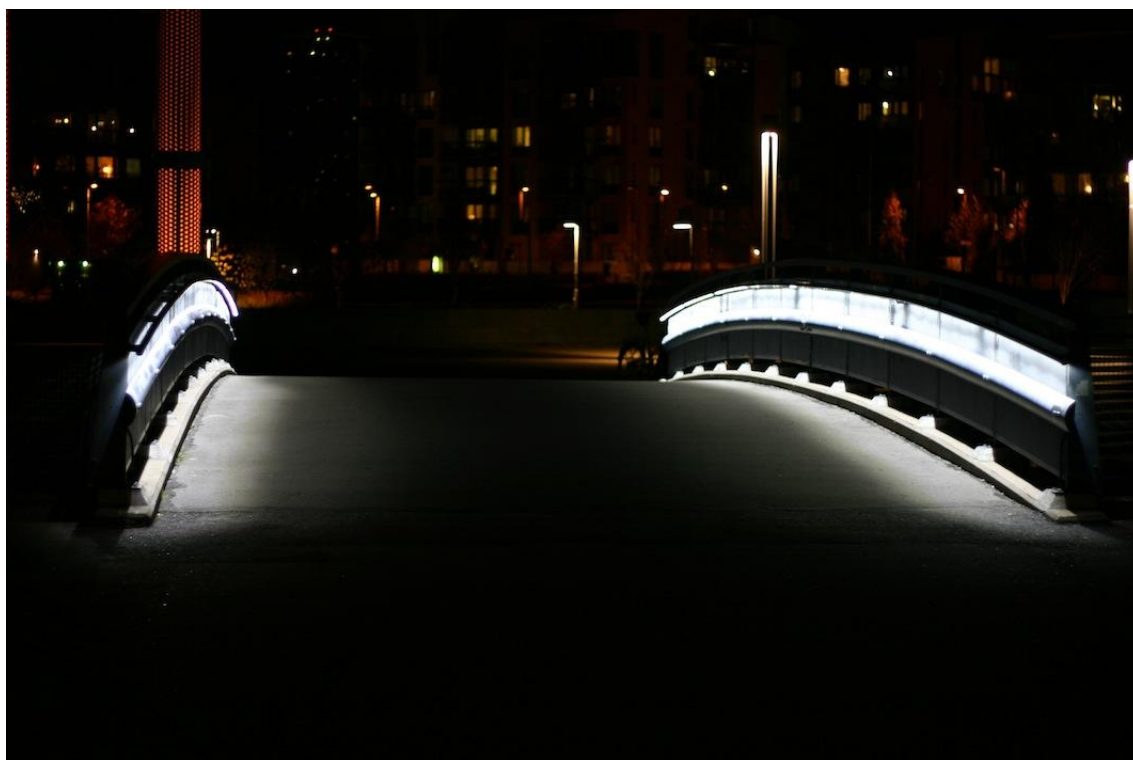
Esteettömyyttä ajateltaessa kaidevalaistuksella saatava ohjaavuus on erityisen hyvä. Kaidevalaistuksen saa sopeutumaan kaupunkikuvaan helposti asennuksen näkymättömyyden ansiosta. Ongelmana nykyisissä sisä- ja ulkotiloissa tehdyissä asennuksissa on, että kaidevalaistuksista tuleva valo jää usein kaiteen alapuolelle. On mahdollista, että tekniikan ja erilaisten optiikoiden kehittyessä kaidevalaistuksella voidaan saada valoa tasaisemmin ja etäämmälle kaiteesta.

### 4.2 Kaidevalaistuskohdeita

Pääkaupunkiseudulla on muutamia ulkovalaistuskohdeita, joissa on käytetty kaidevalaistusta. Kohteiden onnistuminen valaistusteknisesti on ollut sekä laadun että toteutusten suhteen vaihtelevaa. Tärkeää tällaisen valaistuksen suunnittelussa on ottaa huomioon asennuksen turvallisuus ja ilkvallan kesto.

#### 4.2.1 Urheilukalastajansilta -kohde

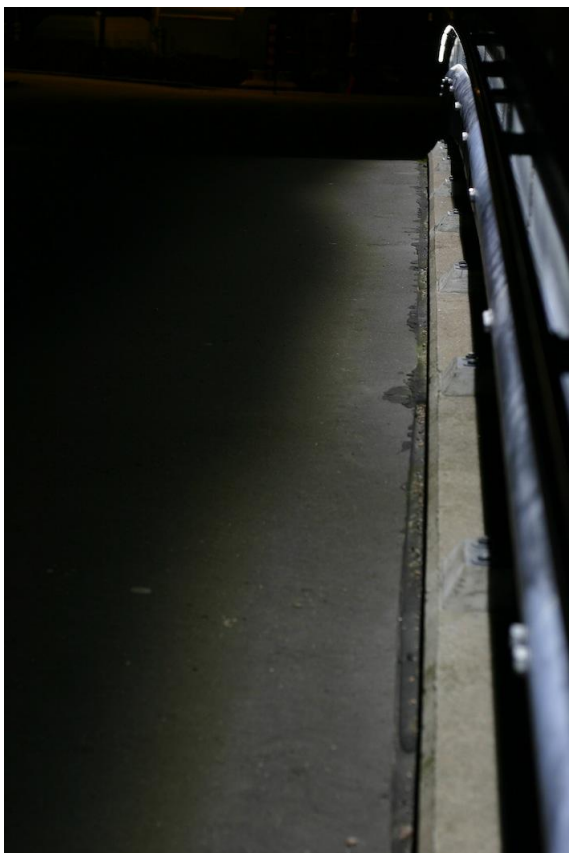
Urheilukalastajansilta (kuva 8) on Helsingin Vuosaaren Aurinkolahdessa Uutelankanan ylittävä silta. Se on ensimmäinen Helsingin Energian käsijohdevalaistuksella toteutettu kohde. Silta on viisi metriä leveä, eikä sen välittömässä läheisyydessä ole muita katupintaa valaisevia valaisimia. Sillan kummassakin päässä on yksi ympäristötaiteeksi luokiteltu rei'itetty metallipylväs, joka on valaistu alhaalta päin. Koska kohde sijaitsee ympäristössä, joka on lähinnä oleskelukäyttöön tarkoitettua merenranta-aluetta, on lähialueen valaistustaso matala (Markkanen 2014).



Kuva 8. Urheilukalastajansilta

Urheilukalastajansillalla on kyllä valoa, ehkä liikaakin, mutta väärässä paikassa, jos asiaa tarkastellaan valaistusstandardin näkökulmasta. Käsijohdevalaistus valaisee vain osan kulkuväylästä, kuten kuvasta 8 havaitaan. Sillan valaistus valaisee pääasiassa vain alaspäin tehden selkeän linjan noin puolen metrin päähän kaiteesta (kuva 9, ks seur. s.). Iso osa valaistuksen valovoimasta menee suoraan kaiteeseen. Jos LED-profiilit olisi asennettu eri tavoin tai käytetty niissä jonkinlaista optiikkaa, valo saattaisi yltää sillan keskelle asti. Sillan valaistuksessa on myös muita teknisiä ja visuaalisuutta haittaavia ongelmia, kuten liitälaitteiden koko ja sijainti, käsijohteen vaatimien standardien täyttyminen ja valon ehkä liiankin kylmä sävy (Markkanen 2014). Asennettu

valaistus toimii tässä tilanteessa oikeastaan korostusvalaistuksena ohjaten sillan luokse ja sen yli sekä näyttämällä kaaren muotoa ohikulkijoille.



Kuva 9. Sillan valaistuksesta tulee selkeä linja noin puolen metrin päähän kaiteesta

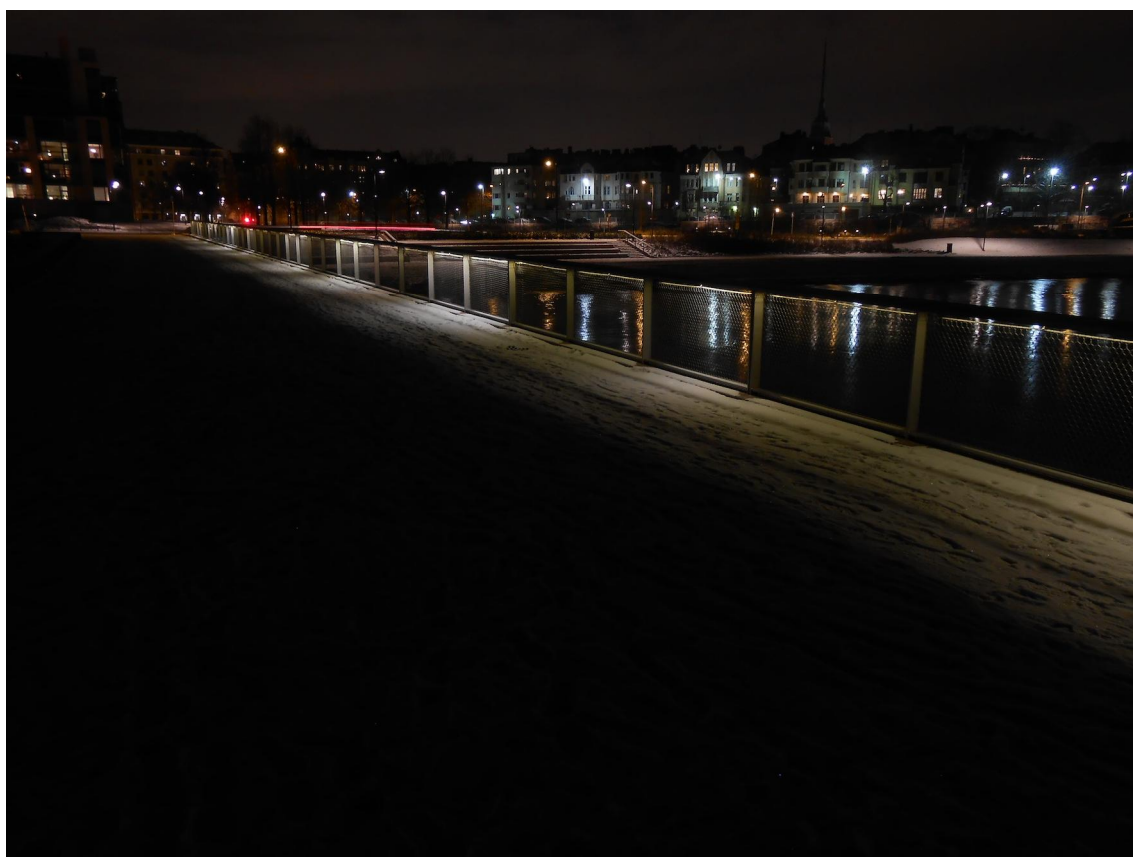
Kuten kuvasta 8 (ks. s. 10) ja taulukosta 1 voidaan havaita, rajautuu kaiteesta tuleva valo asteittain noin puolen metrin ja metrin kohdille, kun edetään kaiteesta kohtisuorasti pois päin. Tässä on yksi kaidevalaistuksen haasteista: saada valo ulottumaan tarpeeksi etäälle. Toinen negatiivinen asia, joka taulukosta selviää, on se, että suoraan alaspäin tuleva valo on todella voimakasta. Jos tämän runsaan valovoiman saisi suunnattua oikein, sillan kulkuväylän valaistus paranisi huomattavasti. Valaistusvoimakkuudet mitattiin väylän pinnalta.

Taulukko 1. Urheilukalastajansillan valaistusvoimakkuudet edetessä kaiteesta sillan keskelle

Urheilukalastajansilta											
Etäisyys (m)	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
Valaistusvoimak. (lx)	249	206	107	30,6	19,1	10,2	5,3	3	2,1	1,8	1,6

#### 4.2.2 Pyhän Birgitan puisto -kohde

Helsingin Eiranrannassa sijaitsee Pyhän Birgitan puisto. Sen yhteydessä olevaan rantamuriin on rakennettu kaiteet, joissa on integroitu valaistus. Kaide on kymmeniä metrejä pitkä. Eiranranta on yksi myrskyisimmistä paikoista Helsingin rannoilla. Puiston rannalle ei alun perin suunniteltu valaistusta ankarien olosuhteiden vuoksi. Kohteeseen päätettiin kuitenkin tehdä yleisölle turvallinen ratkaisu pienoisjännitteellä ja rakentaa kaidevalaistus, jotta kohteessa olisi edes vähän valoa. (Markkanen 2014.)



Kuva 10. Pyhän Birgitan puiston kaidevalaistus

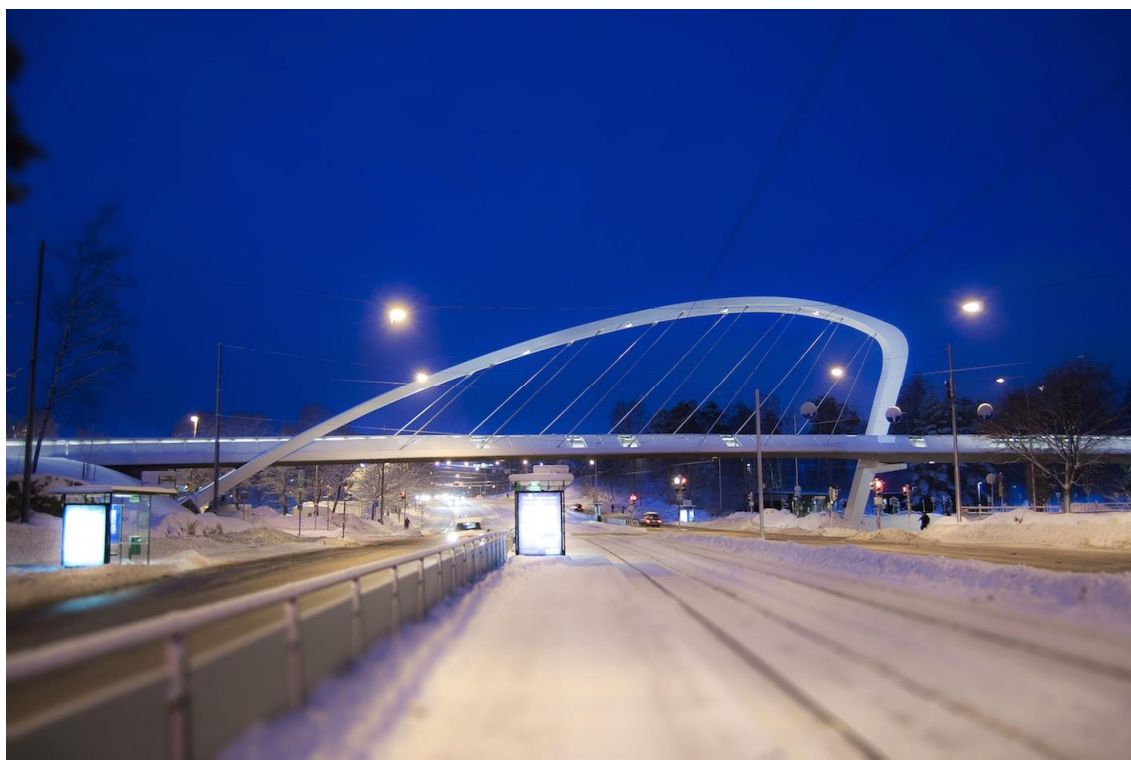
Kaiteen valaistusvoimakkuus ei ole kovin suuri, kuten kuvasta 10 ja taulukosta 2 (ks. seur. s.) selviää. Valaistusvoimakkuudet mitattiin maan pinnalta. Samoin kuin Urheilukalastajansilta, Pyhän Birgitan puisto sijaitsee meren rannalla, eli matalampi valaistusvoimakkuuden taso riittää. Valaistus ei tässäkään toteutuksessa yletä koko kulkuväylän leveydelle, mutta se tuo alueelle tarpeellista valoa ja luo selkeän rajan mereen yhdessä rantamuurin kanssa.

Taulukko 2. Pyhän Birgitan puiston kaidevalaistuksen valaistusvoimakkuudet edetessä kaiteesta pois päin

Pyhän Birgitan puisto											
Etäisyys (m)	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
Valaistusvoimak. (lx)	29,5	26,7	18,5	16	10,7	7	3,3	-	2,4	-	0,3

## 5 Koekohde Auroransilta

Auroransilta on vuonna 2012 valmistunut, Nordenskiöldinkadun ylittävä silta, joka sijaitsee Helsingissä. Se yhdistää Eläintarhan ja Keskuspuiston puistoalueet toisiinsa. Sillan on suunnitellut WSP Finland Oy ja urakoitsijana toimi Lemminkäinen Oyj. Silta on noin 165 m pitkä, 5 m leveä ja se on tarkoitettu kevyen liikenteen käyttöön.



Kuva 11. Auroransilta (© Ari Kujala, WSP)

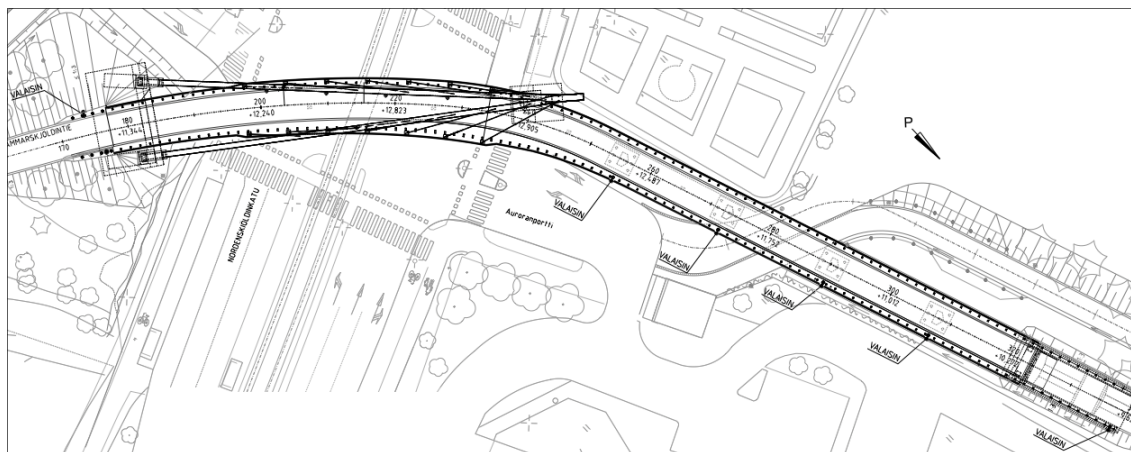
Sillan kulkuväylä on valaistu pohjoispäästä pylväsvalaistuksella ja eteläpäästä sillan kaareen kiinnitetyillä valaisimilla. Lisäksi koko sillan matkalla on käytetty kaidevalaistusta kummassakin kaiteessa. Kulkuväylän valaistusluokaksi on määritetty K2. Väylä on siis luokiteltu vilkasliikenteiseksi kulkureitiksi, jota kaupunkilaiset käyttävät esimerkiksi työmatkoihinsa.

Sillan vaaleapintaiset tukikaaret on valaistu gobolla varustettujen valonheittimien avulla, joilla rakenteiden valaistus on saatu kohdistettua tarkasti haluttuihin pintoihin. Kohdistuksen ansiosta sillan julkisivuvalaistuksesta aiheutuva valosaaste on saatu jäämään vähäiseksi. (Schneider 2013: 10 - 13.)

## 5.1 Valaistuskoe kohteen valinta

Silta valittiin tämän insinööriyön koe kohteeksi, koska siihen on rakennettu sekä pylväs- että kaidevalaistus. Tämän ansiosta oli mahdollista tehdä valaistusmittauksia siten, että mittausaikana muuttavana tekijänä on ainoastaan valaistus. Näin valaistuksien vertaaminen toisiinsa oli helppoa, ja erot oli mahdollista nähdä heti.

Keskuspuistosta johtava puistoväylä on yhteydessä sillan pohjoispäähän. Puistosta sillalle saavuttaessa ensimmäisenä on 90 m pitkä suora osuus. Suoralle on asennettu viisi valaisinylvästä. Kahden ensimmäisen väli on 30 m, muiden 17,5 m. Mittausalueeksi valittiin kolmannen ja neljännen valaisinylvään välinen alue. Alueen koko on 17,5 x 5,0 m eli 87,5 m<sup>2</sup>. Mittausalueella on myös kaidevalaistus koko matkalla.



Kuva 12. Auroransillan asemapiirustus

## 5.2 Pylväsvalaistus Louis Poulsen

Mittausalueella käytetyt pylväsvalaisimet ovat mallia Louis Poulsen Icon Mini Opal. Valaisimessa on käytetty 70-wattista monimetallilamppua. Kun liitäntälaitteen viemä teho lasketaan mukaan, valaisimen tehoksi saadaan 78 W. Helsingin Energian käyttämien monimetallilamppujen värilämpötilat ovat valmistajasta riippuen joko 2 700 - 2 800

K tai 3 000 K. Monimetallilamppujen ryhmävaihtoväliksi Helsingin Energia on arvioinut 12 000 tuntia.

Suunnitteluvaiheessa K2-luokan valaistusvaatimusten on laskettu täyttyvän pylväsvaistuksella, jonka pylväsväli on 30 m. Laskenta on tehty 30 m:n pylväsväleillä, koska siltaan liittyvän puistokäytävän pylväsvälisissä on käytetty tätä etäisyyttä. Osa sillan pylväistä on kuitenkin asennettu 17,5 m:n välein, koska pylväät on haluttu asentaa sillan tukipilarien kohdalle esteettisistä syistä.

### 5.2.1 Kaidevalaistus MGT-Meltron

Kaidevalaistus on toteutettu MGT-Meltronin valoprofiileilla. Käytössä on profiilijärjestelmä 36. Se on asymmetrinen opaloitu profiili, jossa on Citizenin Electronicsin LEDit. Profiilien teho on 7 W/m ja valovirta 700 lm/m. Profiileja syötetään 350 mA:n virralla Excelsys LXD150-0350 -virtalähteillä. Virtalähteet vievät profiilin kuluttaman 7 W/m:n lisäksi 10 - 15 % lisää tehoa. Näin ollen kaidevalaistuksen kokonaistehonkulutus on noin 8 W/m. (Vesanto 2014.)

LED-profiilit on asennettu kumpaankin sillan kaiteeseen, ja niiden pituus on yhteensä noin 270 m. Niiden väriämpötila on 3 000 K ja värintoistoindeksi  $R_a$  on 80. LEDien käyttöikäksi on luvattu vähintään 75 000 tuntia. Virtalähteille ei ole annettu elinikäarviota, mutta niillä on viiden vuoden takuu. (Vesanto 2014.)

### 5.3 Valaistusmittausten ja käyttäjäkyselyn järjestelyt

Mittauksiin ja kyselyyn tarvittavien valaistustilanteiden järjestäminen sillalle onnistui soittamalla ulkovalaistuksen ylläpitopalveluun ja pyytämällä heitä kytkemään valaistukset halutulla tavalla. Kytkennät tapahtuivat C2SmartLight-ohjausjärjestelmän avulla reaaliaikaisesti. Kutsua osallistua valaistuskyselyyn välitettiin Suomen Valoteknillisen Seuran kautta sekä sosiaalisessa mediassa.

### 5.3.1 Valaistusmittauslaitteet

Valaistusvoimakkuutta mitattiin Minolta CL-100 -valaistusvoimakkuusmittarilla. Väri- lämpötilat ja värinistöindeksit mitattiin Konica Minolta CL-500A -mittarilla. Luminanssiarvojen mittaukseen käytettiin luminanssit kuvantavaa kameraa (Canon EOS 350D).

Vaikka kevyen liikenteen standardien vaatimuksissa ei käytetä luminanssiarvoja, haluttiin ne selvittää tässä työssä. Luminanssimittaukset ovat ennen olleet hankalia, koska niiden mittaaminen pisteluminanssimittarilla on ollut aikaa vievää. Nykyään luminanssimittaukset voidaan tehdä luminanssit kuvantavalla kameralla, mikä nopeuttaa mitaamista todella paljon.

Kameralla otetaan kolmen kuvan sarja samasta kohdasta. Sarjassa on yli-, ali- ja normaalisti valottunut otos. Kuvat siirretään tietokoneelle, jossa ne voidaan yhdistää siihen suunnitellussa ohjelmassa (LMK LabSoft) luminanssit havainnollistavaksi kuvaksi. Luminanssikuvasta pystyy mittaamaan halutun pisteen luminanssiarvoja. Ohjelmassa voidaan myös määritellä haluttu mittausalue, josta voidaan ottaa mittauspisteet standardin SFS-EN 13201-3 mukaisesti. Näin yhdellä kuvasarjalla saadaan mitattua vaaditut 60 tai 100 mittauspistettä, joista saaduilla arvoilla voidaan laskea muun muassa mittausalueen yleistasaisuus sekä kaistojen pitkittäistasaisuudet. Liitteessä 1 (kuva 13) näkyy rajattu mittausalue selkeästi.

Liikenneväylille, joilla tapahtuu moottoriajoneuvoliikennettä tai sekaliikennettä, on standardissa SFS-EN 13201-3 määritelty ohjeet luminanssimittauksia varten. Koska tässä työssä kyseessä on kevyen liikenteen väylä, ei näitä ohjeita noudatettu täydellisesti. Kuvat otettiin vain kulkuväylän keskeltä, ei jokaiselta kaistalta. Mittausalueesta otettiin kuvia usealla etäisyydellä, 5 - 30 m:iin. Kuvia ei otettu standardin mukaiselta 60 m:n etäisyydeltä, koska mittausalueen kummastakaan päästä ei ollut mahdollista päästä suoralla linjalla 60 m:n etäisyydelle. Lisäksi se olisi hankaloittanut mittausalueen tarkkaa rajaamista otetuista kuvista. Luminanssikuvat otettiin läheltä mittausaluetta, koska mittausalueen rajaaminen kuvista oli näin helpompaa ja tulosten eroavaisuudet kaukaa otettuihin kuviin verrattuna olivat pieniä. Myös se, että ihminen tarkkailee pyöräillessään tai kävellessään tieympäristöä toisin kuin ajaessaan autoa, oli yksi peruste sille, miksi kuvat otettiin lähietäisyydeltä. Kovissa nopeuksissa, kuten autolla ajaessa, katseen polttopiste siirtyy kauemmaksi kaventaen näkökenttää. (Tien suuntauksen suunnittelu 2013: 16.)



Kuvia otettiin muutamalla objektiivin eri valotusaukolla. Aukoista päädyttiin käyttämään isointa mittauksessa käytettävää kokoa eli 4.0, koska eri aukoilla mittauspisteiden arvojen muutos oli minimaalista.

Mittauksista saadut arvot eivät ole täysin tarkkoja, koska mittauksen yhteydessä ei käytetty erillistä pisteluminanssimittaria. Pisteluminanssimittarin avulla olisi voitu ottaa tarkka arvo halutusta pinnasta ja tämän avulla käyttää korjauskerrointa luminanssikuvien muokkaamiseen todellisiksi arvoiksi. Kameralla saavutettiin tämän insinööriyön tarpeisiin riittävän vertailukelpoinen tarkkuus ilman pisteluminanssimittaria.

### 5.3.2 Käyttäjäkyselylomake

Kyselylomake koostui yksinkertaisista kysymyksistä, jotka pystyttiin esittämään eri valaistustilanteiden vallitessa. Valaistustilanteita kyselyssä oli kaksi, pelkkä pylväsvalaistus ja pelkkä kaidevalaistus. Taustakysymyksillä selvitettiin vastaajan sukupuoli, ikä, koulutus sekä se, onko hänellä silmälasit. Valaistuksiin liittyviä kysymyksiä oli kymmenen. Niissä kysyttiin mm. valaistusvoimakkuudesta, tasaisuudesta, häikäisystä ja tunnistettavuudesta. Kysymyksiin vastattiin Likert-asteikon mukaisesti. Asteikossa käytettiin parillista määrää (6), jotta vastaajan olisi päätettävä kummalle puolelle asteikkoa vastauksensa sijoittaa. (Liite 2: käyttäjäkyselylomake.)

## 6 Valaistusmittaukset koekohteessa

Valaistusmittauksia tehtiin yhteensä seitsemänä iltana joulukuun 2013 ja tammikuun 2014 välisenä aikana. Mittausalue oli sillan pohjoispäässä olevalla suoralla olevien neljän tasaisesti asennetun pylvään, kahden keskimmäisen pylvään välinen alue. Mittausalueen kooksi määräytyi täten 17,5 x 5 m.

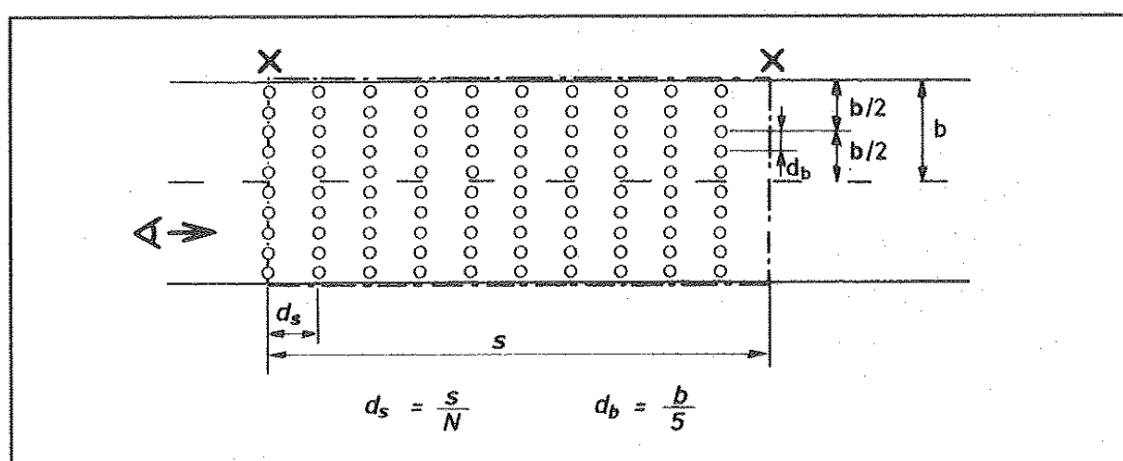
Ensimmäisenä selvitettiin mittausalueen valaistusvoimakkuus. Tämän jälkeen tehtiin luminanssimittaukset kuivan, märän ja lumisen säätilan vallitessa. Luminanssimittauksissa eri säätilojen lisäksi vaihtelivat eri valaistustavat. Valaistustapoja oli kolme: pylväsvalaistus, kaidevalaistus sekä pylväs- ja kaidevalaistus yhdessä. Viimeiseksi tehtiin värilämpötila- ja värintoistomittaukset.

## 6.1 Valaistusvoimakkuus koekohteessa

Valaistusvoimakkuus kuvaa tietylle pinnalle kaikista suunnista tulevan kokonaisvalovirran määrän pinta-alayksikköä kohden. Sen yksikkö on luks [lx = lm/m<sup>2</sup>]. Valaistusvoimakkuuden avulla määritellään pinnoille tulevaa valon määrää. Se ei kuitenkaan kerro, kuinka kirkkaalta jokin pinta näyttää. Toisin sanoen pinnalle tuleva valaistusvoimakkuus on käytännössä sama riippumatta siitä, onko pinta pikimusta tai lumivalkea. Kevyen liikenteen väylien valaistusvaatimukset on määritelty valaistusvoimakkuuksien avulla. (Tievalaistuksen suunnittelu 2006: 19.)

### 6.1.1 Valaistusvoimakkuusmittaukset

Valaistusvoimakkuusmittaukset tehtiin 1. - 2.12.2013. Mittaukset tehtiin Minoltan CL-100-valaistusvoimakkuusmittarilla. Valaistusvoimakkuuden jakaumasta haluttiin tarkka tieto, joten mittauspisteet sijoitettiin mittausalueelle kuvan 13 mukaiseksi ruudukoksi. Samaa ruudukkoa käytetään myös luminanssimittauksia tehdessä. Mittauspisteet sijoitettiin ruudukkoon siten, että 10 mittauspistettä sijoitettiin alueen pituussuunnassa tasavälein. Koska tasaisuuden oletettiin olevan hyvä, poikittaissuunnassa sijoitettiin kolme mittauspistettä kummallekin mittausalueen puoliskolle siten, että keskimäinen pisterivi sijoittuu kummankin puoliskon keskilinjalle. Näin ollen mittauspisteitä oli yhteensä 60. Mittausalue ja sen pisteet määriteltiin Ahponen ym. mukaan (1996: 135, 139 - 140).



Kuva 13. Mittausalueen ja mittauspisteiden sijoittaminen (Ahponen ym. 1996: 139)

Koska koekohteena toimi julkinen kulkuväylä, täytyi mittaukset tehdä aiheuttamalla mahdollisimman vähän häiriötä ohikulkijoille. Mittausruudukon sijoittaminen toteutettiin

merkitsemällä pituussuuntaiset kohdat teipillä sillan reunapalkkeihin. Tämän jälkeen pituussuuntaisten merkkien väliin pingotettiin naru, johon oli merkitty leveysuuntaiset mittauspisteet. Kun kaikki kuusi leveysuuntaista mittauspistettä oli mitattu, siirryttiin seuraaviin pituussuuntaisiin merkkeihin. Tämä toistettiin, kunnes kaikki kuusikymmentä mittauseroa oli saatu selville.

Mittausruudukossa olevat mittauspisteet mitattiin maan tasalta kolmella eri valaistuksella, pylväsvalaistuksen ollessa päällä, kaidevalaistuksen ollessa päällä sekä pylväs- ja kaidevalaistuksen ollessa päällä. Näin valaistuksia voitiin verrata toisiinsa sekä saada tietoa nykyisestä valaistuksesta.

### 6.1.2 Valaistusvoimakkuusmittausten tulokset

Mittauspisteistä saatiin kuvan 14 mukaiset arvot. Kuvan arvot ovat esitetty seuraavasti: vasemmalla pylväs- ja kaidevalaistus, keskellä pelkkä pylväsvalaistus ja oikealla pelkkä kaidevalaistus. Arvot ovat lukseja.

168	99	73	67	98	162	30	35	35	34	34	24	144	68	36	37	70	145
169	103	73	73	111	179	30	35	34	38	45	35	140	70	36	36	68	149
165	91	62	66	110	176	22	23	26	33	48	41	150	73	39	37	67	138
171	92	53	57	96	177	18	17	19	22	32	42	159	73	38	37	68	138
149	79	51	53	93	186	13	15	14	16	21	36	142	71	38	38	71	150
160	79	45	54	82	173	14	13	13	16	21	26	145	70	37	37	72	160
166	90	54	58	98	180	16	14	16	22	28	27	161	67	37	38	69	154
151	85	54	55	98	176	16	17	17	21	31	33	141	74	38	35	70	146
164	95	64	66	99	159	26	25	28	32	36	30	146	71	38	37	60	132
175	111	77	73	103	167	29	36	39	40	40	29	150	75	40	38	68	137

Kuva 14. Mittausalueen valaistusvoimakkuudet (lx) eri valaistuksilla

Mittauksista saaduista arvoista laskettiin keskimääräinen valaistusvoimakkuus, valaistusvoimakkuuden yleistasaisuus sekä kummankin puoliskon pitkittäistasaisuus.

Keskimääräinen valaistusvoimakkuus ( $E_m$ ) laskettiin summaamalla kaikki mittausalueen pisteet yhteen ja jakamalla summa mittauspisteiden lukumäärällä. Yleistasaisuus laskettiin jakamalla mittaussuuren pienin arvo keskimääräisellä valaistusvoimakkuudella ( $U_{OE} = E_{min}/E_m$ ). Pitkittäistasaisuus laskettiin kummankin puoliskon keskilinjan mitaustuloksista siten, että pienin arvo jaettiin suurimmalla ( $U_{IE} = E_{min}/E_{max}$ ). Tuloksiksi saatiin taulukon 3 mukaiset arvot.

Taulukko 3. Valaistuksien keskimääräiset valaistusvoimakkuudet, valaistusvoimakkuuden yleistasaisuudet ja valaistusvoimakkuuden pitkittäistasaisuudet

	Pylväs+kaide	Pylväs	Kaide
$E_m(lx)$	108,5	27,0	84,4
$U_{OE}$	0,41	0,47	0,42
$U_{IE1}$	0,71	0,36	0,89
$U_{IE2}$	0,74	0,44	0,93

Kuten taulukosta 3 voitiin havaita, valaistusvoimakkuus on huomattavan suuri, jopa kymmenkertainen, verrattuna koekohteelle määrättyihin arvoihin. Taulukossa 4 on kevyen liikenteen väylille määritellyt K-luokkien arvot. Koalue kuuluu luokkaan K2. Koska kyseessä on silta, joka on suunniteltu vauhdikkaalle kevyelle liikenteelle (pyöräily, hiihto, juoksu), voi valaistustaso olla hiukan korkeampi kuin siltaan liittyvien väylien valaistusvaatimukset. Silta on kapea, eikä siellä pysty levittäytymään väylän ulkopuolelle: yllättävät tilanteet on havaittava hyvissä ajoin (Markkanen 2014). Tämän huomioiden jälkeenkin valaistustaso on tarpeettoman korkea.

Taulukko 4. K-luokat (Tievalaistuksen suunnittelu 2006: 19)

Luokka	Vaakatason valaistusvoimakkuus	
	$E_m^{1)}$ lx, min	E lx, min
K1	15	5
K2	10	3
K3	7,5	1,5
K4	5	1
K5	3	0,6
K6	2	0,6

1) Riittävän tasaisuuden vuoksi hankekohtainen keskiarvo ei saa ylittää 1,5-kertaista luokan edellyttämää keskiarvon minimiä

Taulukon 3 tuloksista voitiin havaita, että valaistusvoimakkuuden yleistasaisuus on pylväsvalaistuksella parempaa kuin kaidevalaistuksella. Tämä johtuu siitä, että kaide-

valaistuksen valaistusvoimakkuus on suuri lähellä kaidetta ja selvästi heikompi väylän keskellä. Tämän vuoksi se tuottaa huonomman yleistasaisuuden kuin pylväsvalaistus.

Pylväs- ja kaidevalaistuksen ollessa yhtä aikaa päällä yleistasaisuus on vielä hiukan kaidevalaistusta huonompi. Syy tähän on siinä, että keskimääräinen valaistusvoimakkuus kasvaa prosentuaalisesti enemmän kuin valaistusvoimakkuuden pienin arvo. K-luokissa ei erikseen määritellä pitkittäistasaisuutta, mutta koealueelta kaidevalaistuksella mitatut pitkittäistasaisuudet ovat pylväsvalaistukseen nähden erittäin tasaisia. Hyvä kulkuväylän yleistasaisuus vaikuttaa näkötehokkuuden paranemiseen, mutta kun halutaan parantaa myös näkömukavuutta, täytyy pitkittäistasaisuuteen kiinnittää huomiota (Valaistustekniikan käsikirja III 1985: 170).

## 6.2 Luminanssi koekohteessa

Luminanssi eli valotiheys osoittaa sen, miten valoisalta tai kirkkaalta jokin pinta näyttää tiettyyn suuntaan. Sen yksikkö on  $\text{cd/m}^2$ , kandela per neliometri. Näkeminen perustuu pääasiassa luminanssieroihin. Tie- ja katuvalaistuksien vaatimuksissa käytetään luminanssiarvoja. (Kallasjoki 2012; Tievalaistuksen suunnittelu 2006: 14)

Vaikka kevyen liikenteen väylän valaistusvaatimuksissa ei ole määrätty käytettäväksi luminanssiarvoja, tahdottiin ne selvittää tässä työssä. Luminanssiarvojen selvittämisen ansiosta saatiin selville, miltä kulkuväylä eri tilanteissa oikeasti näyttää. Toisin sanoen esimerkiksi sään mukaan vaihtelevan maasta heijastuvan valon määrä kohti katselijaa saadaan selvitettyä luminanssimittausten avulla.

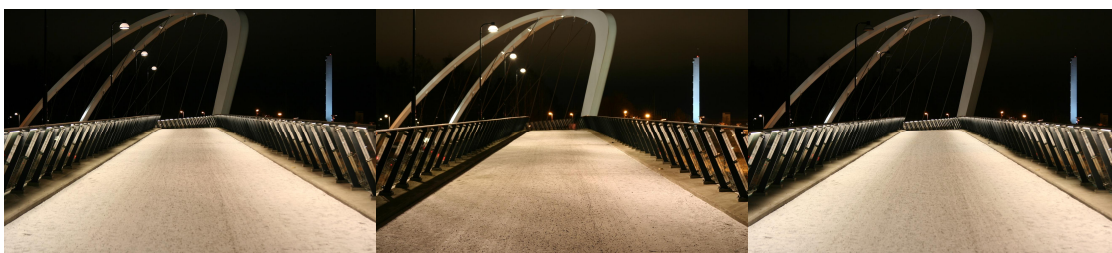
### 6.2.1 Luminanssimittaukset

Luminanssimittaukset toteutettiin luminanssit kuvantavalla kameralla. Luminanssimittauksia tehtiin neljänä eri iltana, joista yhden illan kuvat päätettiin hylätä epäonnistuneiden otosten vuoksi. Kuvia otettiin sillan kulkuväylän ollessa kuiva, märkä ja luminen. Kuvia kulkuväylästä otettiin kahdesta eri suunnasta, kahdella eri valotuksella sekä muutamalla eri etäisyydellä, 150 cm:n korkeudelta. Kuvia otettiin väylän kumpaankin kulkusuuntaan, koska mittausalueella väylä ei ole täysin vaakatasossa. Tästä johtuen valaistuksien maan kautta tulevat heijastukset saapuvat kameraan eri kulmista.

Luminanssimittauksissa selvitettiin mittausalueen luminanssien minimi-, maksimi- ja keskiarvo, yleistasaisuus sekä pitkittäistasaisuus. Yleistasaisuus kertoo yleisellä tasolla luminanssien vaihtelusta tienpinnalla ja ilmaisee kuinka hyvin tienpinta toimii taustana tiemerkitöjen, esteiden ja kohteiden näkemiselle. Pitkittäistasaisuus kertoo tienpinnalla erottuvan, toistuvan valaisimista johtuvan tumman ja vaalean alueen välisen suhteen. Mitä lähempänä suhdeluku on yhtä, sen parempi pitkittäistasaisuus on.

#### Luminen kulkuväylä

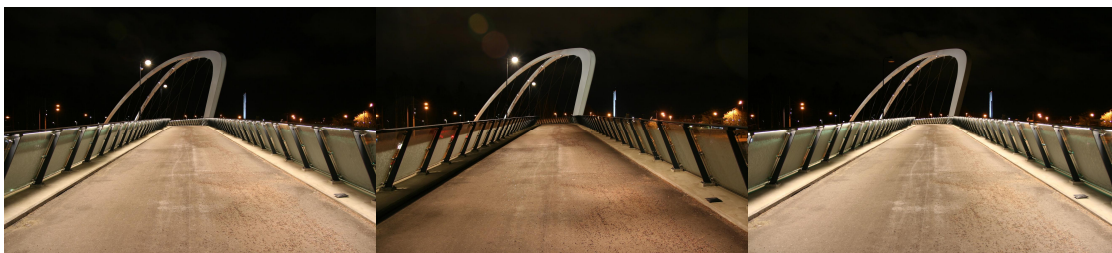
8.12.2013 otettiin lumisen kulkuväylän kuvat (kuva 15). Sää oli  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pilvinen ja sateeton. Kulkuväylä oli hiekoitettu, mutta sen päälle oli satanut lunta samana päivänä. Kulkuväylän pinta ei ollut täysin valkoinen väylällä kulkeneiden ihmisten jättämien jälkien vuoksi. Jos lunta ei olisi satanut hiekoituksen päälle, väylä olisi huomattavasti tummempi. Koska lumisen tilanteen kuvat olivat ensimmäiset mittaukset, kuvia otettiin usealta eri etäisyydeltä. Vasta, kun niitä jälkepäin analysoitiin, huomattiin, että kuvat kannattaa ottaa mittausalueen lähietäisyydeltä. Tämän vuoksi lumisen tilanteen kuvat ovat hieman eri kohdasta otettuja kuin kuivan ja märän tilanteen.



Kuva 15. Kuvat lumiselta kulkuväylältä; vasemmalla pylväs- ja kaidevalaistus, keskellä pylväsvalaistus, oikealla kaidevalaistus

#### Kuiva kulkuväylä

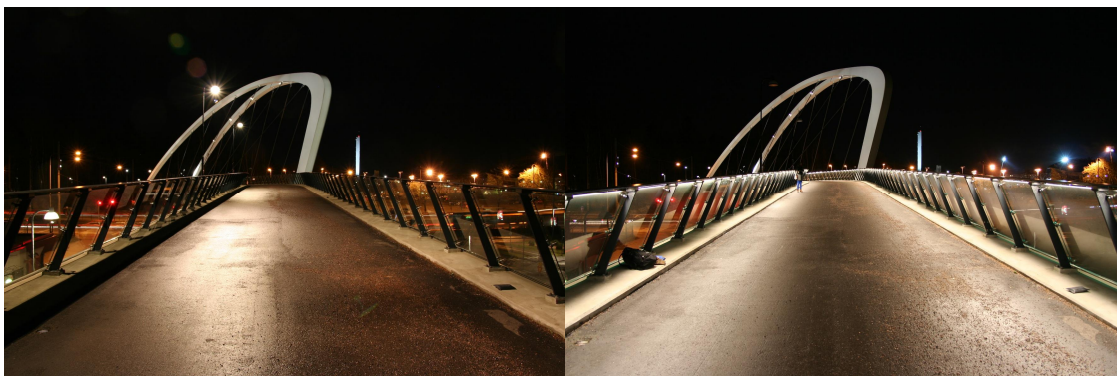
Kuivan kulkuväylän kuvat otettiin 14.12.2013 (kuva 16, ks. seur. s.), jolloin sää oli  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pilvinen ja sateeton. Kulkuväylä oli hiekoitettu ja sen keskikohta oli hieman huurteessa. Huurteiset kohdat näkyvät selvästi otetuissa kuvissa.



Kuva 16. Kuvat kuivalta kulkuväylältä; vasemmalla pylväs- ja kaidevalaistus, keskellä pylväsvalaistus, oikealla kaidevalaistus

### Märkä kulkuväylä

Märän tilanteen kuvat otettiin 17.12.2013 samassa yhteydessä kyselyn kanssa (kuva 17). Sää oli +2 °C, puolipilvinen ja hiukan kostea. Kulkuväylän hiekoituksesta johtuen sen pintaan tuli luminanssieroja, jotka voi erottaa kuvissa. Inhimillisen virheen vuoksi märästä tilanteesta jäi ottamatta kuva, jossa kummatkin valaistukset olivat samaan aikaan päällä. Tämä tilanne tehtiin jälkikäteen ohjelmallisesti, yhdistämällä kuvat pylväsvalaistuksesta ja kaidevalaistuksesta toisiinsa. Tämän jälkeen yhdistetystä kuvasta pystyttiin kirjaamaan mittauspisteistä saadut arvot muiden mittausten tavoin.



Kuva 17. Kuvat märältä kulkuväylältä; vasemmalla pylväsvalaistus, oikealla kaidevalaistus

Riippumatta vallitsevasta säätilasta, kuvista 15 - 17 voidaan havaita, kuinka pylväsvalaistuksella kulkuväylän vasempaan laitaan tulee todella voimakas varjo. Varjo johtuu pylväsvalaisimen alla olevasta leveästä käsijohteesta. Tämän vuoksi reunapalkin pykälää on vaikea hahmottaa. Näin ollen varjo saattaa aiheuttaa loukkaantumisriskin, jos esimerkiksi juoksee väylän reunassa.

## 6.2.2 Luminanssimittausten tulokset

Mittauksista saadut luminanssikuvat ja mittausarvot ovat kokonaisuudessaan liitteessä 1, luminanssikuvat mittausalueesta.

Kevyen liikenteen väylille ei ole määritelty vaadittuja luminanssiarvoja. Tässä osiossa saatuja tuloksia verrataan tie- ja katuvalaistuksessa vaadittuihin arvoihin. Taulukossa 5 ovat tie- ja katuvalaistuksessa käytettävien AL-luokkien valaistustekniset arvot.

Taulukko 5. AL-luokat (Tievalaistuksen suunnittelu 2006: 17)

Luokka	Kuivan ja märän ajoradan luminanssi			
	Kuiva			Märkä
	$L_m$	$U_o$	$U_l$	$U_o$
	cd/m <sup>2</sup>	min	min	min
AL1	2,0	0,4	0,6	0,15
AL2	1,5	0,4	0,6	0,15
AL3	1,0	0,4	0,6	0,15
AL4a	1,0	0,4	0,4	0,15
AL4b	0,75	0,4	0,4	0,15
AL5	0,5	0,4	0,4	0,15

### Kuiva kulkuväylä

Verrattaessa kuivalla säällä otettuja luminanssiarvoja toisiinsa huomataan, että kaidevalaistuksen keskimääräinen luminanssitaso on voimakkuudeltaan yli kaksinkertainen pylväsvalaistukseen verrattuna (liite 1, s. 2 - 5). Kun verrataan luminanssitasoja AL-luokkiin, huomataan, että pylväsvalaistus täyttäisi luokan AL2-vaatimukset, mutta sen yleistasaisuus ja toinen pitkittäistasaisuus jää vajavaiseksi. Kaidevalaistuksen luminanssitasot ovat taas niin suuret, että niitä ei voi verrata AL-luokkiin. Kaidevalaistuksen yleis- ja varsinkin pitkittäistasaisuus on hyvää luokkaa.

Koekohteen varsinaista valaistusta (pylväs- ja kaidevalaistus) tarkasteltaessa luminanssitasot ovat korkeat, ja yleistasaisuus vielä parempi kuin kaidevalaistuksella (liite 1, s. 6 - 7). Pitkittäistasaisuuksissa pylväiden puoleinen kaista lähentelee jopa arvoa 0,9, kun taas toisella kaistalla pylväsvalaistus laskee kaidevalaistuksen pitkittäistasaisuutta. Kun kulkuväylän pinta oli kuiva, ei katsomissuunnalla ollut merkittävää vaikutusta tuloksiin.



## Märkä kulkuväylä

Märän säätilan vallitessa luminanssierot eri valaistuksilla olivat suurimmat verrattuna muihin säätiloihin. Kuten liitteen 1 sivuista 8, 10 ja 11 näkyy, pylvästä maan kautta heijastuva valopisteen aiheuttama luminanssi on jopa yli 15-kertainen verrattuna sen lähiympäristön luminansseihin. Pinnan luminanssikontrasti aiheuttaa lievää harmia näkemiselle.

Kuivalla säällä yleistasaisuus on selvästi parempi kaidevalaistuksella ( $U_0=0,562$ ) kuin pylväsvalaistuksella ( $U_0=0,282$ ). Ero on pienempi, kun tienpinta on märkä (kaidevalaistus  $U_0=0,253$ , pylväsvalaistus  $U_0=0,116$ ). Tämä johtuu siitä, että pylväsvalaistuksen voimakas valopisteen heijastuma nostaa pylväsvalaistuksen yleistasaisuuden keskiarvoa. (Liite 1, s. 2, 3, 8 - 9.) Ero on selkeä varsinkin silloin, kun katsesuunta on etelään. Etelään päin kuljettaessa kulkuväylä on loivasti nouseva, jolloin pylväsvalaisimen ja kulkuväylän välinen kulma on suurempi kuin pohjoiseen päin kuljettaessa. Tästä johtuen juuri etelään päin kuljettaessa pylväsvalaistuksesta aiheutuu suurempaa heijastumista maan kautta (liite 1, s. 8 ja 10).

Kun vertaillaan valaistuksia AL-luokkiin pelkän luminanssin perusteella, pylväsvalaistuksen yleistasaisuus ei täytä AL-luokkien vaatimia arvoja (liite 1, s. 8 ja 10). Kaidevalaistus (liite 1, s. 9 ja 12) taas on ylimitoitettu luminanssitasoja tarkasteltaessa, mutta täyttää yleistasaisuuteen vaaditut arvot hyvin. Käytettäessä kumpaakin valaistusta, yleistasaisuus kasvaa kaidevalaistustakin paremmaksi, mutta luminanssitasot ovat varsin korkealla (liite 1, s. 13 - 14).

## Luminen kulkuväylä

Kun kulkuväylä on luminen, ensimmäinen selkeä ero muihin tilanteisiin nähden on luminanssitasojen suuruus. Pelkän kaidevalaistuksen ollessa päällä keskimääräinen luminanssi on  $21,5 \text{ cd/m}^2$ :n tasolla. Se on yli nelinkertainen kuivaan kulkuväylän pintaan verrattuna (liite 1, s. 3 ja 16).

AL-luokissa lumisesta tienpinnasta ei ole erillistä taulukkoa. Se on ilmeistä, kun ajatellaan sitä, kuinka paljon lunta yleensä tienpinnoilla on. Tie- ja katuverkostossa tienpinta pääosin aurataan lumesta ja tietyillä lämpötiloilla suolataan, jolloin tienpinta on yleensä märkä. Lisäksi lumi voi olla puhtaudeltaan monen tasoista, mikä myös vaikuttaa sen

pintakirkkauteen. Luminanssitason ollessa niin suurina, että niitä ei voi karkeastikaan verrata AL-luokkiin, voidaan keskittyä kulkuväylän tasaisuuksiin.

Kaidevalaistuksen pitkittäistasaisuus on mittauksien parasta luokkaa, yli 0,9 (liite 1, s. 16 ja 18). Koska sen luminanssitaso ei yletä tasaisesti kulkuväylän keskelle asti, on sen yleistasaisuus huonompaa kuin pylväsvalaistuksella (liite 1, s. 15 ja 17). Tämän vuoksi valaistuksen ollessa yhtä aikaa päällä yleistasaisuus huononee kuivaan kulkuväylään verrattuna. Vertaa liitteen 1 sivuja 19 - 20 sivuihin 6 - 7.

### 6.3 Häikäisy koekohteessa

Tässä työssä oli tarkoitus mitata myös pylväs- ja kaidevalaistuksen aiheuttamaa häikäisyä. Häikäisy on ilmiö, joka vaikeuttaa yksityiskohtien näkemistä tai aiheuttaa epä-mukavuutta näkemisessä (Ahponen ym. 1996: 71).

Häikäisyarvojen selvittämiseksi koekohteesta otettiin kuvia luminanssit kuvantavalla kameralla, jossa oli kalansilmäobjektiivi. Kuvia ei kuitenkaan pystytty analysoimaan riittäväällä tarkkuudella analysoimiseen käytettävän ohjelmiston puutteiden vuoksi. Häikäisyä käsitellään tässä työssä silmämääräisesti arvioiden luvuissa 7.3 ja 8.5.

### 6.4 Värilämpötila ja värintoisto koekohteessa

Värilämpötilalla ilmaistaan valaisevasta valonlähteestä tulevaa sävyä. Arvot ilmoitetaan kelvineinä (K). Värilämpötilan määrittelemisen lämpötila-asteikon mukaan johtuu siitä, että niin sanottua mustaa kappaletta (eli Planckin säteilyn lähde) kuumennettaessa sen hehkuman värisävy muuttuu. (Ahponen ym. 1996: 46) Matalilla lämpötiloilla värisävy on lämmin punertava, korkeilla kylmä sinertävä, näiden välissä se on neutraali valkoinen. Värisävyn määrittelyyn on käytetty siis kappaleen säteilylämpötilaa. Värilämpötilan avulla voidaan kuvata valaistuksen tuottamaa värivaikutelmaa taulukon 6 (ks. seur. s.) mukaisesti.

Taulukko 6. Värivaikutelma väriämpötilan mukaan (Valaistussuositukset. Ulkotyö- ja piha-alueet 1990: 29)

Värivaikutelma	Väriämpötila
Lämmin	<3 300 K
Neutraali	3 300-5 300 K
Kylmä	>5 300 K

Mittausten avulla haluttiin verrata saatuja arvoja suunnitteluvaiheessa määriteltyihin arvoihin. Väriämpötilojen selvittäminen oli kiinnostavaa myös siksi, että valaistuksien väriämpötilat herättävät mielipiteitä väylien käyttäjissä. Väriämpötilojen miellyttävyydestä kysyttiin myös luvussa 7.4.

Värintoisto ilmaisee sen, kuinka hyvin mitattava valonlähde toistaa värit verrattavaan valonlähteeseen nähden. Yleinen värintoistoindeksi on  $R_a$ -indeksi. Siinä alle 5 000 K:n valonlähteitä verrataan Planckin säteilijään. Väriämpötilaltaan yli 5 000 K:n valonlähteiden värintoistoa verrataan päivänvaloon.  $R_a$ -indeksin määrittämiseen käytetään kahdeksaa eri testiväripintaa. (Ahponen ym. 1996: 49.) Väriämpötilan ja värintoiston mittaamiseen on olemassa siihen tarkoitettuja mittareita. Koska LEDit yleistyvät ja niiden spektrijakauma voi olla hyvinkin vaihteleva, tullaan värintoiston määrittelyä uudistamaan tulevaisuudessa.

#### Väriämpötilan ja värintoiston mittaukset ja tulokset

Valaistuksien väriämpötila ja värintoisto mitattiin 16.1.2014. Mittaukset tehtiin vaak- ja pystysuuntaan. Vaakamittaus tehtiin maanpinnasta ylöspäin ja pystymittaus 150 cm:n korkeudelta kulkuväylän suuntaisesti etelään päin. Väriämpötilat ja värintoisto olivat eri valaistuksilla taulukon 7 mukaiset.

Taulukko 7. Värintoiston ja väriämpötilan mittaustulokset

	Väriämpötila (K)		Värintoistoindeksi ( $R_a$ )	
	Vaaka	Pysty	Vaaka	Pysty
Pylväs+kaide	2936	2937	86	86
Pylväs	2747	2703	88	88
Kaide	3090	3019	85	83

Kaidevalaistuksen valaisinvalmistajan antamat arvot pitävät hyvin paikkansa. Niiden mukaan väriämpötila on 3 000K ja värintoistoindeksi  $R_a$  80. Väriämpötila oli lähellä totuutta ja värintoistoindeksi hiukan luvattua parempi. Pylväsvalaistukselle ei oltu

suunnitteluvaiheessa määritelty värilämpötila- ja värintoistoindeksiarvoja, mutta valaisimissa on selvästi käytetty värilämpötilaltaan 2 700 - 2 800 K:n valonlähteitä, joiden arvot pitävät hyvin paikkansa.

## 6.5 Muodonanto koekohteessa

Jo ennen mittausten aloittamista eräs pohdittava asia oli, miten kaidevalaistus mahdollistaa kasvojen tunnistamisen ja vaikuttaa turvallisuuden tunteeseen pimeällä. Mittausten alettua oli selvää, että tämä on yksi tärkeimmistä selvitettävistä asioista.

Tiehallinnon tievalaistuksen suunnittelu -ohjeistuksessa (2006) neuvotaan käyttämään vaakatason valaistusvoimakkuuden määrittelyn lisäksi puolisynterivalaistusvoimakkuutta, jos tahdotaan vähentää alueen turvattomuuden tunnetta. Vaatimukset puolisynterivalaistusvoimakkuuksille eri valaistusluokilla löytyvät standardin SFS-EN 13201-2 taulukosta 5. Taulukon puolisynterivalaistusvoimakkuudet K1- ja K2-luokille ovat 10 lx ja 7,5 lx.

Muodonannon arvioimiseen kulkuväylillä voidaan käyttää myös muun muassa vektori-skalaarisuhteen laskemista. Puolisynterivalaistusvoimakkuutta käytetään muodonannon ja vektori-skalaarisuhdetta puolestaan kolmiulotteisten kohteiden hahmottamisen arvioimiseen.

Puolisynterivalaistusvoimakkuus voidaan mitata valaistusvoimakkuusmittarilla, johon on liitetty mittausta varten suunniteltu valokenno. Se voidaan laskea myös tavallisella valaistusvoimakkuusmittarilla siten, että otetaan pystytason valaistusvoimakkuus neljästä eri suunnasta, minkä jälkeen hyödynnetään kaavaa 1.

$$\begin{aligned} & \text{Puolisynterivalaistusvoimakkuus } E_{sc} & (1) \\ E_{sc} & \approx 0,57E_{eteen} + 0,25E_{oikealle} + 0,25E_{vasemmalle} - 0,07E_{taakse} \end{aligned}$$

Vektori-skalaarisuhteenkin mittaamiseen on erikoismittareita, mutta riittävä tarkkuus voidaan mitata myös tavallisella valaistusvoimakkuusmittarilla. Suhteen laskemiseen tarvitaan valaistusvoimakkuus mittauspisteestä kuuteen suuntaan: ylös, alas, eteen, taakse sekä kummallekin sivulle. Suhteen laskemiseen tarvitaan kaavat 2 ja 3 (ks. seur. s.).

$$\text{Valaistusvoimakkuusvektorin itseisarvo } |\vec{E}| \quad (2)$$

$$|\vec{E}| = \sqrt{(E_{ylös} - E_{alas})^2 + (E_{oikealle} - E_{vasemmalle})^2 + (E_{eteen} - E_{taakse})^2}$$

$$\text{Skalaarivalaistusvoimakkuus } E_s \quad (3)$$

$$E_s = \frac{E_{ylös} + E_{alas} + E_{oikealle} + E_{vasemmalle} + E_{eteen} + E_{taakse}}{6}$$

Eri valaistuksien mitatut valaistusvoimakkuudet eri suuntiin ovat taulukossa 8. Mittaukset tehtiin 16.1.2014. Kulkuväylä oli luminen, mutta hiekoitettu. Mittaukset tehtiin ainoastaan kerran jokaisella valaistuksella, mittausalueen keskikohdasta, 150 cm:n korkeudelta.

Taulukko 8. Muodonannon selvittämiseen tarvittavat valaistusvoimakkuusmittausarvot

Valaistusvoimakkuudet			
	Pylväs+kaide	Pylväs	Kaide
Etelään	28,4	9,1	19,1
Länteen	22,9	6,3	16,7
Pohjoiseen	23,1	6,2	14,5
Itään	65,2	47	15,7
Ylös	57,6	56,4	0,1
Alas	41,1	14,6	31,8

Mitattujen arvojen mukaan eri valaistuksille saatiin seuraavat puolisyylinterivalaistusvoimakkuus- ja vektori-skalaarisuhdearvot:

*Pylväs- ja kaidevalaistus etelään*

$$E_{sc} \approx 0,57 \cdot 28,4 \text{ lx} + 0,25 \cdot 22,9 \text{ lx} + 0,25 \cdot 65,2 \text{ lx} - 0,07 \cdot 23,1 \text{ lx} \approx \mathbf{36,6 \text{ lx}}$$

$$|\vec{E}| = \sqrt{(57,6 \text{ lx} - 41,1 \text{ lx})^2 + (22,9 \text{ lx} - 65,2 \text{ lx})^2 + (28,4 \text{ lx} - 23,1 \text{ lx})^2} \approx 45,7 \text{ lx}$$

$$E_s = \frac{57,6 \text{ lx} + 41,1 \text{ lx} + 22,9 \text{ lx} + 65,2 \text{ lx} + 28,4 \text{ lx} + 23,1 \text{ lx}}{6} \approx 39,7 \text{ lx}$$

$$\frac{|\vec{E}|}{E_s} \approx \mathbf{1,15}$$

*Pylväs- ja kaidevalaistus pohjoiseen*

$$E_{sc} \approx 0,57 \cdot 23,1 \text{ lx} + 0,25 \cdot 65,2 \text{ lx} + 0,25 \cdot 22,9 \text{ lx} - 0,07 \cdot 28,4 \text{ lx} \approx \mathbf{33,2 \text{ lx}}$$

$$\frac{|\vec{E}|}{E_s} \approx \mathbf{1,15}$$

*Pylväsvalaistus etelään*

$$E_{sc} \approx 0,57 \cdot 9,1 \text{ lx} + 0,25 \cdot 6,3 \text{ lx} + 0,25 \cdot 47 \text{ lx} - 0,07 \cdot 6,2 \text{ lx} \approx \mathbf{18,1 \text{ lx}}$$

$$|\bar{E}| = \sqrt{(56,4 \text{ lx} - 14,6 \text{ lx})^2 + (6,3 \text{ lx} - 47 \text{ lx})^2 + (9,1 \text{ lx} - 6,2 \text{ lx})^2} = 58,4 \text{ lx}$$

$$E_s = \frac{56,4 \text{ lx} + 14,6 \text{ lx} + 6,3 \text{ lx} + 47 \text{ lx} + 9,1 \text{ lx} + 6,2 \text{ lx}}{6} = 23,3 \text{ lx}$$

$$\frac{|\bar{E}|}{E_s} \approx \mathbf{2,51}$$

*Pylväsvalaistus pohjoiseen*

$$E_{sc} \approx 0,57 \cdot 6,2 \text{ lx} + 0,25 \cdot 47 \text{ lx} + 0,25 \cdot 6,3 \text{ lx} - 0,07 \cdot 9,1 \text{ lx} \approx \mathbf{16,2 \text{ lx}}$$

$$\frac{|\bar{E}|}{E_s} \approx \mathbf{2,51}$$

*Kaidevalaistus etelään*

$$E_{sc} \approx 0,57 \cdot 19,1 \text{ lx} + 0,25 \cdot 16,7 \text{ lx} + 0,25 \cdot 15,7 \text{ lx} - 0,07 \cdot 14,5 \text{ lx} \approx \mathbf{18,0 \text{ lx}}$$

$$|\bar{E}| = \sqrt{(0,1 \text{ lx} - 31,8 \text{ lx})^2 + (16,7 \text{ lx} - 15,7 \text{ lx})^2 + (19,1 \text{ lx} - 14,5 \text{ lx})^2} = 32,0 \text{ lx}$$

$$E_s = \frac{0,1 \text{ lx} + 31,8 \text{ lx} + 16,7 \text{ lx} + 15,7 \text{ lx} + 19,1 \text{ lx} + 14,5 \text{ lx}}{6} = 16,3 \text{ lx}$$

$$\frac{|\bar{E}|}{E_s} \approx \frac{32,0 \text{ lx}}{16,3 \text{ lx}} = \mathbf{1,96}$$

*Kaidevalaistus pohjoiseen*

$$E_{sc} \approx 0,57 \cdot 14,5 \text{ lx} + 0,25 \cdot 15,7 \text{ lx} + 0,25 \cdot 16,7 \text{ lx} - 0,07 \cdot 19,1 \text{ lx} \approx \mathbf{16,2 \text{ lx}}$$

$$\frac{|\bar{E}|}{E_s} \approx \frac{32,0 \text{ lx}}{16,3 \text{ lx}} = \mathbf{1,96}$$

Taulukko 9. Puolisylinterivalaistusvoimakkuudet ( $E_{sc}$ ) ja vektori-skalaarisuhteet ( $|\bar{E}|/E_s$ )

	$E_{sc}$	$ \bar{E} /E_s$
Pylväs+kaide etelään	36,6 lx	1,15
Pylväs+kaide pohjoiseen	33,2 lx	1,15
Pylväs etelään	18,1 lx	2,51
Pylväs pohjoiseen	16,2 lx	2,51
Kaide etelään	18,0 lx	1,96
Kaide pohjoiseen	15,0 lx	1,96

Saatuja puolisylinterivalaistusvoimakkuus- ja vektori-skalaarisuhdearvoja on ongelmallista verrata taulukoihin 10 ja 11 (ks. s. 31 ja 32). Menetelmät ovat oikeita muodonannon numeeriseen mittaukseen, mutta yksittäisiä mittauspisteitä mittausalueella olisi

kannattanut olla useampia. Kun verrataan menetelmillä saatuja arvoja taulukoihin 10 ja 11, on huomattava, että valaistusvoimakkuus on vaadittuun valaistusluokkaan (K2) nähden tarpeettoman suuri kaikilla valaistuksilla. Siksi laskettuja muodonantoarvoja verrataan suhteellisesti laskettuihin puolisynterivalaistusvoimakkuusarvoihin.

Taulukko 10. Kevyen liikenteen väylien ja alueiden valaistusvaatimuksia (Valaistussuositukset. Ulkotyö- ja piha-alueet 1990: 26)

Valaistusluokka	Valaistusvoimakkuus						Kiusahäikäisy puistovalaisimia käytettäessä	
	Vaakataso		Puolisylinteri		Puolipallo			
	$E_h$ (lx)		$E_{sc}$ (lx) <sup>1)</sup>		$E_{hs}$ (lx) <sup>1)</sup>			
	Keski- arvo	Mini- mi	Keski- arvo	Mini- mi	Keski- arvo	Mini- mi	$h$ (m)	$LA^{0,25}$
K1	20	3	10...16	2,7	8...12	2		
K2	15	3	8...12	2,7	6...9	2	< 4,5	< 3000
K3	10	3	6...8	0,8	3...5	2	4,5...6	< 4000
K4	5	1	2...5	0,8	1...2,5	0,6	> 6	< 5000
K5	2	0,3	1...2	0,8	0,5...1	0,3		

Tarkastellessa taulukkoa 10 nähdään, että vaakatason valaistusvoimakkuuden ollessa 20 lx on suositeltava puolisynterivalaistusvoimakkuus 10 - 16 lx. Jos vaakatason valaistusvoimakkuus nostettaisiin pylväsvalaistuksen tasolle (27 lx), olisi suositeltava puolisynterivalaistusvoimakkuus 13,5 - 21,5 lx. Valaistusvoimakkuutta nostettaessa kaidevalaistuksen tasolle (85 lx), tulisi puolisynterivalaistusvoimakkuuden olla 42,5 - 68 lx:n välillä. Kuten saaduista arvoista (taulukko 9, ks. s 30) huomataan, on pylväsvalaistus (16 - 18 lx) on suositusarvojen sisällä, mutta kaidevalaistus (15 - 18 lx) jää huomattavasti suhteellisesta vertailutasosta. Mittausten mukaan voidaan siis todeta, että kaidevalaistuksella muodonanto 150 cm:n korkeudella on huonoa. Tämä vaikuttaa suuresti kasvojentunnistukseen.

Taulukko 11. Varjonmuodostuksen asteet eri vektori-skalaarisuhteen arvoilla (Ahponen ym. 1996: 151)

Vektori-skalaarisuhde ja varjonmuodostus	Valaistustulos	Valaistustapa
3,0 Hyvin voimakas	Voimakkaat kontrastit; yksityiskohdat varjossa eivät ole erotettavissa	Kohdevalaistus; suora auringonvalo
2,5 Voimakas	Huomattavan voimakkaasti suunnattu valaistus; sopiva näyttelyihin, yleensä liian kova ihmispiirteille	Valaisimien valonjako kapea, tumma lattia; ikkunat yhdellä seinällä, tummat huonepinnat
2,0 Kohtalaisen voimakas	Ihmisten piirteet näkyvät miellyttävästi muodollisessa tai muuten etäisessä keskinäisessä kanssakäymisessä	Valaisimien valonjako kapea, vaaleahko tai vaalea lattia; valaisimien valonjako keskilevää tai leveä, tumma lattia; ikkunat yhdellä seinällä, vaaleat huonepinnat
1,5 Kohtalaisen heikko	Ihmisten piirteet näkyvät miellyttävästi muodollisuuksista vapaassa tai muuten läheisessä keskinäisessä kanssakäymisessä	Valaisimien valonjako keskilevää tai leveä, vaalea lattia; ikkunat vastakkaisilla seinillä
1,0 Heikko	Hillityt kontrastit; pehmeä valaistusvaikutelma	Valaisimien valonjako keskilevää tai leveä, vaalea lattia; ikkunat vastakkaisilla seinillä
0,5 Hyvin heikko	Lattea, varjoton valaistus; valon pääasiallinen suunta ei ole erotettavissa	Valokatto tai epäsuora valaistus, vaaleat huonepinnat

Taulukon 11 mukaan pylväsvalaistuksella varjonmuodostus on mitatusta kohdasta liian kova ihmispiirteille. Kaidevalaistuksella ihmisten piirteet näkyvät taulukon mukaan miellyttävästi. Varjonmuodostus on siis valaistuksilla kohtalainen mitatuissa pisteissä. Vaikka kaidevalaistuksella varjonmuodostus onkin hyvä, ei siitä ole apua, jos katsekohde jää pimentoon.

## 6.6 Kasvojentunnistus koekohteessa

Pelkkää pylväsvalaistusta käytettäessä kohteen sijainnilla on suuri merkitys kasvojentunnistuksessa. Kuvan 18 (ks. seur. s.) vasemmassa laidassa henkilö on noin 5 m:n päässä pylväästä, jolloin valo lankeaa hyvin koko pystypinnalle valaisten myös kasvot hyvin. Kuvan oikeassa laidassa henkilö on juuri ohittanut pylvään, joten valo tulee miltei kohtisuoraa ylhäältä, eikä tällöin valaise kasvojen pystypintaa käytännössä ollenkaan. Näin kasvot jäävät varjoon ja kasvojentunnistus vaikeutuu hieman. Liikkuessa väylällä



pylväsvalaistuksen suuntaisesti pystypinnalle jäävä varjoinen kohta on vain hetkellinen, koska seuraava pylväs alkaa pian valaista pystypintaa.



Kuva 18. Kasvojentunnistus pylväsvalaistuksella; vasemmalla henkilö ennen pylvään ohittamista, oikealla ohittamisen jälkeen

Kuten kuvan 19 eri tilanteista huomaa, pelkällä kaidevalaistuksella henkilön etäisyys kaiteeseen nähden vaikuttaa todella suuresti kasvojentunnistukseen. Mitä lähempänä kulkuväylän keskikohtaa seistään, sitä parempaa kasvojentunnistus on. Se johtuu maan kautta heijastuvasta valosta. Tehtyjen laskelmien mukaan keskikohdassa ollessa varjonmuodostus on kohtalaisen voimakas, ja tällöin ihmisen piirteet näkyvät miellyttävästi.



Kuva 19. Kasvojentunnistus kaidevalaistuksella kulkuväylän ollessa luminen; vasemmalla henkilö on kaiteen vieressä, keskellä noin 1 m:n päässä ja oikealla 2,5 m:n päässä

## 7 Käyttäjäkysely

Käyttäjäkysely järjestettiin Auroransillalla 17.12.2013 klo 18. Kyselyn aikana ei satanut, mutta kulkuväylän pinta oli märkä ja lämpötila +2 °C. Tiedote kyselystä lähetettiin sähköisesti yli 1 500 henkilölle, mutta paikalle saapui vain kahdeksan vastaajaa. Vastaajista puolet oli ohikulkijoita ja puolet alan asiantuntijoita tai alaa opiskelleita. Kaikki vastaajat olivat normaalipituisia aikuisia. Otoksen jäädessä vähäiseksi vastauksia voidaan pitää esimerkkeinä vastaajien arvioinnista, mutta niistä ei voi tehdä tilastollisia päätelmiä.

### 7.1 Tunnistettavuuden arviointi

Jo silmämääräisen arvioinnin perusteella oli selvää, että kaidevalaistuksella ei saataisi yhtä hyvää kasvojen tunnistusta aikaiseksi kuin pylväsvaistuksella. Kaidevalaistuksessa valon osoittaessa 130 cm:stä alaspäin kasvoihin saapuva valo tulee ainoastaan heijastuksena maan tai muiden pintojen kautta. Tällöin kasvojentunnistus onnistuu helpoiten maanpinnan ollessa lumina. Kyselyn perusteella päädyttiin samaan tulokseen.

Pylväsvaistuksella kasvojentunnistus on enemmän helppoa kuin vaikeaa, muttei täysin vaivatonta, mutta kaidevalaistuksen ollessa päällä on kasvojentunnistus huomattavan vaikeaa. Yksikään vastanneista ei arvioinut kasvonpiirteiden tunnistuksen olevan erityisen helppoa kummallakaan valaistuksella.

### 7.2 Valon määrä ja sen jakautumisen arviointi

Valon määrää on erittäin vaikeaa arvioida silmämääräisesti. Näkömukavuuden kannalta valoa toivotaan usein enemmän kuin näkyvyyden puolesta olisi välttämätöntä. Toisin sanoen valaistusvoimakkuuden noustessa tiettyä arvoa suuremmaksi ei sillä ole enää suurta vaikutusta havainnoinnin helpottamiseksi. Valon määrän lisäksi näkömukavuuteen vaikuttaa myös kontrasti. (Kallasjoki 2013). Kyselyssä kontrasti oli toissijaista pinnan valoisuuden ollessa tärkeämpänä tekijänä valon määrää arvioitaessa.

Kyselyyn vastanneista miltei kaikki olivat tyytyväisiä kyseisten valaistuksien voimakkuuksiin. Kaidevalaistuksessa vastaukset kallistuivat enemmän jopa hieman liialliseen

valaistukseen. Vapaassa kommentoinnissa mainittiin, että kaidevalaistus saattaa olla liian voimakas silloin, kun kulkuväylä on luminen.

Valon tasaisuus koettiin kummallakin valaistuksella hyväksi. Kaidevalaistus arvioitiin pituussuuntaisesti todella tasaiseksi, kun taas leveysuunnassa sen valovoima ei riittänyt kantamaan tasaisesti väylän puoliväliin asti. Pylväsvalaistus arvioitiin kokonaisuudessaan hiukan epätasaisemmaksi kuin kaidevalaistus.

Valaistuksien synnyttämät häiritsevät varjot todettiin harmittomiksi ja niiden syntyminen oli vähäistä tasaisen valaistuksen ansiosta. Häiritsevä varjo liitettiin huonoon kasvojen-tunnistukseen kaidevalaistuksella, koska kasvot ovat käytännössä varjossa sen vuoksi, että valo ei suuntaudu kasvoihin suoraan.

### 7.3 Häikäisyn arviointi

Häikäisyn arvioinnissa kaidevalaistus katsottiin hyväksi, eli sitä ei koettu häiritseväksi, mutta pylväsvalaistuksella vastaukset olivat hajanaisempia. Kulkuväylä ei ole kaltevuudeltaan täysin tasainen, vaan se laskee pohjoiseen päin noin 2 asteen kulmassa. Tällöin kuljettaessa etelään päin pylväissä olevat valaisimet häikäisevät helpommin kuin pohjoiseen päin mentäessä. Tämän vuoksi pylväsvalaistus sai negatiivisia arvioita.

Kaidevalaistuksen valonlähteet on sijoitettu kaiteiden alapintaan niin, että niitä ei näe katsojan silmien ollessa kaiteiden yläpuolella. Tästä johtuen suoraa häikäisyä ei kaidevalaistuksesta tule ollenkaan. Kaidevalaistuksella valonlähteen pinta on jakautunut isolle alueelle ja häikäisy maan kautta pienenee luminanssierojen jakautuessa suuremmalle alueelle.

### 7.4 Valon värin ja värintoiston arviointi

Kyselyyn vastanneita miellytti pylväsvalaistusta enemmän kaidevalaistuksen värisävy. Se on hieman kylmempi kuin pylväsvalaistuksen. Miltei kaikki vastanneista pitivät kaidevalaistuksen sävyä miellyttävänä, kun taas pylväsvalaistuksen sävyn miellyttävyydellä oli enemmän hajontaa. Kaidevalaistuksen mitattu värisävy on noin 3 000 K ja pylväsvalaistuksen noin 2 700 K.

Värintoistosta kysyttiin sitä, kuinka ympäristön sekä ihon väri koetaan. Kaidevalaistuksella ympäristön värintoistosta pidettiin enemmän kuin pylväsvalaistuksella, mutta ihon värintoistossa valaistukset olivat melko tasavertaisia. Tämä on hiukan ristiriidassa mitattuihin tuloksiin nähden. Mitatuissa tuloksissa pylväsvalaistuksen  $R_a$ -indeksi oli 88 ja kaidevalaistuksen 84. Kaidevalaistuksen runsas valon määrä selittänee ristiriidan.

### 7.5 Valaistuksen sopiminen ympäristöönsä

Kun arvioitiin valaistuksien sopivuutta kohteeseen ja sen ympäristöön, kaidevalaistus sai positiivisia arvioita ja pylväsvalaistus neutraaleja. Kaidevalaistuksesta annettiin vapaita kommentteja, joissa sitä kuvailtiin tyylikkääksi.

### 7.6 Sanallisia käyttäjäkommentteja

Kyselyn lopussa oli mahdollisuus kommentoida koealueen valaistuksia vapaamuotoisesti. Miltei kaikki vastaukset olivat samasta aiheesta. Kaidevalaistuksesta pidettiin, mutta sen kasvojentunnistus heikensi toimivuutta. Kaidevalaistuksella toteutettu valaistus sai aikaan oudon tunnelman, koska se valaisi ainoastaan kehon alaosan. Vapaassa kommentoinnissa ei mainittu pylväsvalaistusta ollenkaan.

LEDit muuten kivemmat, mutta valoa kaipaisi korkeammalle, että erottaisi kasvot paremmin!

Kaidevalaistus on tyylikkäämpi.

LED on miellyttävämpi.

Kaidevalaistus on muuten hyvä, mutta kasvot ei näy. Se voi myös häikäistä pieniä lapsia.

Kaidevalaistus tuo oudon tunnelman.

Kaidevalaistus jättää päät varjoon, se on hiukan pelottavaa.

Poikkeuksellisen tyylikäs, lisää samanlaisia!

Kasvojentunnistus on hankalaa pelkän kaidevalaistuksen ollessa päällä.

Kaidevalaistus muodostaa väylän, jolla on hyvä suunnistaa ja liikkua.

Kaidevalaistus tarvitsee täydentävää valaistusta.

## 8 Esteettömyysneuvojan haastattelu

Tässä insinööriyössä haluttiin ottaa kantaa valaistukseen myös heikkonäköisten näkökulmasta. Suomessa on noin 80 000 näkövammaista, joista heikkonäköisiä on noin 70 000 (Ojamo 2013: 11). On tärkeää, että esteettömyysasiat otetaan huomioon myös ulkovalaistuksia suunniteltaessa. Esteetön valaistus on osa esteetöntä ympäristöä, joka auttaa parantamaan julkisten tilojen ja kulkuväylien käyttöä kaikkien käyttäjien keskuudessa, ja se on miltei välttämätöntä monille ihmisryhmille. Esteettömällä ympäristöllä on suuri merkitys näkövammaisen henkilön omatoimiseen liikkumiseen. (Kohti esteetöntä liikkumista 2003: 44.)

Hyvän valaistuksen avulla voidaan saada ympäristöön selkeitä ohjaavia elementtejä, selkeyttää kontrasteja sekä vähentää häikäisyä. Sopiva valaistus näkövammaisille on useimmiten samanlainen, mikä soveltuisi normaalinäköisillekin. Valaistuksessa olevat epäkohdat vain haittaavat näkövammaisia enemmän kuin normaalinäköisiä. Häikäisyä ja valon vähäisyydestä voi olla todellista haittaa näkövammaiselle, vaikka valaistus olisi hyvä normaalinäköiselle, jopa niin, että hän menettää toimintakykynsä. (Heikkonäköiset ja valaistus: 2014.)

Näkövammaisten keskusliiton esteettömyysneuvojaa Juha Seppälää haastateltiin koe-kohteessa kaide- ja pylväsvalaistuksen ollen erikseen päällä sekä kumpienkin ollessa samanaikaisesti päällä. Tämän osion raportointi perustuu Juha Seppälän haastatteluun, ellei muuta mainita. Haastattelu järjestettiin 18.12.2013.

### 8.1 Näkövammaisten toimintakyvyn arviointi

Seppälän mukaan henkilökohtainen näkökyky voi poiketa suurestikin näkövammaisten keskuudessa. Joillakin näkövammaisilla saattaa olla näönjäanteitä sen verran, että heillä on valontajua, jolloin näkökykyään voi hyödyntää suunnistautumiseen valaistuksen avulla. Käytännössä katsoen silloin on sokea, mutta pystyy suunnistautumaan valopisteiden avulla.

Yleensä silmäsairaudet heikentävät värien erottelukykyä. Se tarkoittaa sitä, että kyetäkseen erottamaan katselukohteen värejä, täytyisi kohteen värikylläisyyksien olla voimakkaampia. Hyvä värintoisto hyödyttää niitä näkövammaisia, joilla on silmissään vielä

värienerottelukykyä. Jos väreillä ei ole informaatioarvoa, värintoistolla ei niinkään ole väliä, toteaa Seppälä.

Nykyään on ulkovalaistukseen saatavilla paremman värintoiston omaavia valonlähteitä. Niitä tullaan tulevaisuudessa käyttämään enenevässä määrin LEDien yleistyessä ulkovalaistusmarkkinoilla (Martikainen 2014). Näiden haittapuolena on niiden spektrissä oleva sininen alue, joka siroaa helposti silmässä. Tämä siroaminen on silmäsairauksia sairastaville vielä kiusallisempaa kuin normaalisti näkeville.

## 8.2 Ohjaavuuden arviointi

Pylväsvalaistuksen ollessa käytössä valopisteet sekoittuvat, jos taustalla on useita valopisteitä. Tämän vuoksi koekohde saattaa olla huonosti näkevälle hahmottamaton alue, jossa hän ei näe haluttuja näkökohteita vaan ison määrän satunnaisia valopisteitä, Seppälä kuvailee. Koekohteen suoralla alueella ohjaavuus oli hyvä, mutta sillan rakenteen tullessa vastaan ja pylväiden loppuessa valaisimet vaihtuvat toisiin ja ovat kiinnitettyinä sillan rakenteisiin. Jotta ohjaavuus olisi hyvä koko matkalta, pisteiden olisi oltava loogisessa järjestyksessä kulkuväylän suuntaisesti.

Kaidevalaistus on Seppälän mukaan koko matkalta todella ohjaava ja sen ansiosta näkee selvästi myös sillan kaartumisen. Ei tarvitse olla kuin valontajua ja silti pystyisi liikkumaan väylän mukaan, kävelisi vain valoisaa ns. *palkkia* pitkin. Sillan kaartumisenkin pystyisi aistimaan, vaikka ei näkisi paljoa.

## 8.3 Valaistusvoimakkuuden arviointi

Seppälän mukaan pylväsvalaistuksella valaistusvoimakkuus oli miellyttävä ja suhteellisen tasainen. Haastateltaessa kulkuväylä oli lumeton. Jos kulkuväylällä olisi lunta, saattaisi tuntua, että valaistusta on liikaa. Tosin ulkovalaistuksessa valoa on harvemmin liikaa, kunhan se on suunnattu oikein ja häikäisemättömästi. Hyvin toteutettu ja runsas valon määrä on hyödyksi näkövammaisille. Miellyttävän voimakkuuden ja tasaisuuden ansiosta väylällä liikkuminen tuntui Seppälän mielestä turvalliselta. Vaikka valaistuksessa olisi katvealueita, ei niitä ulkovalaistuksessa ole niin helposti esteeksi kuin sisävalaistuksessa. Katvealuetta kohdattaessa varovaisuuskin toki lisääntyy valaistuksen puutteen vuoksi.

Seppälän mielestä kaidevalaistuksen valaistusvoimakkuus kulkuväylällä on erittäin tasainen, vielä pylväsvaiaistustakin tasaisempi. Valaistusvoimakkuuden määrän Seppälä arvioi pimeälle ja lumettomalle pinnalle sopivaksi, jopa erinomaiseksi, mutta ajateltaessa lumista tilannetta sen ei tarvitsisi olla niin voimakas.

#### 8.4 Tunnistettavuus näkövammaisten näkökulmasta

Tärkeintä tunnistettavuudessa on Seppälän mukaan esteiden ja kohteiden havainnointi. Kasvojentunnistettavuudella ei ole ulkovalaistuksessa niin suurta merkitystä, että näkövammaisten erikoistarpeita kannattaisi ottaa huomioon. Tärkeää on pystyä liikkumaan siten, että havaitsee esteet ja toiset kanssakulkijat, Seppälä sanoo. Optimoitua katuvalaistusta on miltei mahdotonta järjestää sellaisille henkilöille, joiden näkö- ja kontrastiherkkyys ovat selvästi alentuneet. Sisävalaistuksessa asiaan voidaan kiinnittää enemmän huomiota. Ulkona liikkuminen pimeään aikaan on huonosti näkeväälle ”rankka laji”, kuten Seppälä ilmaisee, mutta kaikki ovat tyytyväisiä, jos valaistuksen ohjaavuus on hyvä ja looginen.

Pylväsvaiaistuksella tunnistettavuus oli Seppälän mukaan normaalia tasoa. Esteille tai kohteille tuli sopivasti valoa sekä vertikaali- että horisontaaliakselilla. Kasvonpiirteiden tunnistus vaihteli kohteen sijainnin mukaan riippuen siitä, miten kaukana kohde on valaisimesta. Kohteen ollessa pylvään alla valoa ei pystypinnoille (kasvot) juuri pääse syntymään, mutta heti kun kohde liikkuu hiukan kauemmaksi pylvästä, kasvoille saadaan valoa ja tunnistus helpottuu. Ulkovalaistuksessa ilmeiden nyanssien näkeminen ei ole Seppälän mukaan olennaista näkövammaisille, joten standardien mukaiset vaatimukset ovat heille riittäviä.

Kaidevalaistuksella kulkuväylällä olevien esteiden tunnistus on helppoa runsaan ja tasan valaistusvoimakkuuden ansiosta. Kasvonpiirteiden tunnistus kuitenkin on todella vaikeaa, koska kasvot ovat kaiteiden yläpuolella ja tämän vuoksi jäävät varjoon. Tuntuu, että kasvoilla ei ole ollenkaan valoa, Seppälä toteaa.

#### 8.5 Häikäisyn merkitys

Pylväsvaiaistus ei ole paras mahdollinen häikäisysojaltaan. Sen tuottamaa häikäisyä Seppälä arvioi kiusahäikäisyksi. Valaisimen luminanssiero taustan tummuuteen

nähden aiheuttaa sen esiin tulemisen. Pylväsvalaistusta voisi parantaa häikäisysojilla, Seppälä ehdottaa.

Kaidevalaistus ei Seppälän mukaan häikäise lainkaan. Häikäisyn puolesta valaistus ”ei voisi olla parempi”, sillä se valaisee alueen, joka on kävelemisen kannalta kaikkein tärkein ja valopisteet jäävät silmien alapuolelle.

## 8.6 Yhteenveto arviointihaastattelusta

Tärkeimmät asiat, jotka haastattelussa tulivat ilmi, olivat valaistuksen vaikutus liikkumisen turvallisuuteen sekä sen helppouteen, näkövammaisen suunnistautuminen haluttuun kohteeseen käyttäen selkeitä kulkureittejä ja tiedettyjä valopisteitä sekä häikäisynestön parantaminen niin, että häikäisy ei häiritse ja takaa turvallisen liikkumisen.

Kaidevalaistus sopii Seppälän mielestä ympäristön valaistukseen todella hyvin. Se on poikkeava muusta ympäristössä olevasta valaistuksesta ja muodostaa selkeän väylän. Näkövammaiselle kaidevalaistus on erinomaisen hyvä, liikkumista ja suunnistautumista ajateltaessa, mutta yleisesti ihmisten tunnistamiseen se on huono. Kaidevalaistus on Seppälän mukaan esteettisesti hyvän näköinen. Seppälän näkemys on, että kaidevalaistus olisi kokonaisuudessaan loistava, jos sitä täydennettäisiin pylväsvalaistuksella. Lisäksi automaattinen valaistusvoimakkuuden säätö kulkuväylällä olevaan lumitilanteeseen nähden olisi hyvä.

Olen myyty kaidevalaistukselle. – – Tämä on kaunis ja toimiva. (Juha Seppälä)

Seppälä huomioi myös sillan valaistun kaaren, joka tekee sillasta tunnistettavan maamerkin. Kun siltaa vasta lähestyy kauempaa, sillan julkisivuvalaistus ja rakenteissa olevat valaisimet auttavat suunnistautumisessa.

## 9 Koekohteen valaistuksien kustannusvertailu

Kaide- ja pylväsvalaistuksien hankintakustannukset ovat toisiinsa nähden eri hintaluokkaa. Vaikka LEDien hinnat ovat tulleet selvästi alaspäin ja valotehokkuus parantunut, on niiden hinta/valotehokkuus -suhde tällä hetkellä tällaisessa kohteessa huonompi kuin pylväsvalaistuksen. Asia saattaa joskus olla toisin, jos käy niin kuten uskotaan ja



lasketaan kokonaiskustannuksia tulevaisuuden LEDeillä, jotka ovat pitkäikäisempiä, valotehokkaampia ja halvempia. Auroransillan tapauksessa LED-valaisimet täytyi lisäksi räätälöidä kohteeseen sopiviksi, koska sopivia valmistuotteita ei ollut tarjolla. (Puolakka ym. 2012: 14, Schneider 2013: 13.)

Kohteen ollessa jo valmis oli mahdollista selvittää valaistuksien hankintahinnat. Tässä työssä hankintahintoja ei käsitellä todellisina, vaan niitä verrataan suhteellisesti toisiinsa.

Ensin on verrattu pylväs- ja kaidevalaistuksien hankintahintoja koekohteen mittausalueella. Yhdellä pylväsvalaisimella saadaan valaistua koko mittausalue. Saman alueen valaisemiseen on käytetty 35 metriä kaidevalaistusta.

Mittausalueella kaidevalaistus on ollut hankintahinnaltaan noin 6,5 kertaa kalliimpi pylväsvalaistukseen verrattuna. Kaidevalaistuksen korkea hinta johtuu osittain siitä, että se on yksilöllisesti räätälöity kohteeseen.

Vertailussa täytyy muistaa huomioida myös se seikka, että kaidevalaistuksella tuotettu keskimääräinen valaistusvoimakkuus on yli kolminkertainen pylväsvalaistukseen verrattuna (taulukko 3, ks. s. 20). Auroransillalle on asennettu sekä kaide- että pylväsvalaistus, mikä johtune se siitä, että kaidevalaistuksesta on vielä niin niukasti käyttökokeuksia. Jos kaidevalaistus alkaa yleistyä ja sitä käytetään valmiiksi suunnitelluilla tuotteilla, sen hinta laskee varmasti.

### 9.1 Koekohteen valaistuksien käyttökustannukset

Valonlähteen koko elinkaaren energiankulutuksesta suurin osa, jopa yli 90 %, aiheutuu sen käytöstä (Puolakka ym. 2012: 6).

Seuraavaksi on verrattu valaistuksien tehonkulutuksia toisiinsa. Kaidevalaistuksen tehonkulutus on noin 8 W/m (ks. 5.1.2), joten mittausalueella 84,4 lx:n valaistusvoimakkuuden keskiarvolla koko tehonkulutus on 3,20 W/m<sup>2</sup>. Pylväsvalaistuksen vastaava luku 78 W:n kulutuksella (ks. 5.1.1) ja 27 lx:n valaistusvoimakkuuden keskiarvolla on noin 0,89 W/m<sup>2</sup>.

*Pylväsvalaistuksen tehotiheys mittausalueella*

$$\frac{78 \text{ W}}{87,5 \text{ m}^2} \approx 0,89 \dots \text{ W/m}^2$$

*Kaidevalaistuksen tehotiheys mittausalueella*

$$\frac{8 \text{ W/m} \cdot 35 \text{ m}}{87,5 \text{ m}^2} = 3,20 \text{ W/m}^2$$

LEDit on mahdollista himmentää valaistusvoimakkuudeltaan samalle tasolle kuin vastaavan alueen pylväsvalaistus. Hvvä asia LEDejä himmennettäessä on se, että yleensä niiden kuluttama teho laskee nopeammin kuin niiden tuottama valovirta, joten tehohyötysuhde kasvaa. Seuraavassa on kuitenkin oletettu, että LEDejä himmennettäessä teho-valovirtasuhte on täysin lineaarinen.

Koska LED-profiilien teho on 8 W/m ja profiileja on mittausalueella 35 m, on niiden kokonaiskulutus 280 W. Mittausalueelle saadaan 280 W:lla aikaiseksi 84,4 lx:n keskimääräinen valaistusvoimakkuus. Jos kaidevalaistus himmennettäisiin samalle tasolle kuin pylväsvalaistus (27 lx), ja sen valovirta laskisi tehoon nähden lineaarisesti, olisi sen kokonaiskulutus noin 89,57 W. Himmennetyt kaidevalaistuksen teho  $P_h$  saadaan verrannosta:

$$\frac{280 \text{ W}}{84,4 \text{ lx}} = \frac{P_h}{27 \text{ lx}} \Leftrightarrow P_h = \frac{280 \text{ W} \cdot 27 \text{ lx}}{84,4 \text{ lx}} \approx 89,57 \dots \text{ W}$$

Jos kaidevalaistuksella tuotetun keskimääräisen valaistusvoimakkuuden arvo laskettaisiin samalle tasolle kuin pylväsvalaistuksen keskimääräinen valaistusvoimakkuus, saataisiin kaidevalaistuksen tehonkulutuksen arvoksi noin 1,02 W/m<sup>2</sup> mittausalueen kokoisella alueella.

*Himmennetyt kaidevalaistuksen tehotiheys mittausalueella*

$$\frac{P_h}{87,5 \text{ m}^2} \approx 1,02 \dots \text{ W/m}^2$$

Voidaan siis todeta, että jos kaidevalaistus himmennetään mittausalueella samalle tasolle pylväsvalaistuksen kanssa, laskennallisesti se kuluttaisi noin 0,13 W/m<sup>2</sup> enemmän tehoa kuin pylväsvalaistus.

Jotta todellisia energiankulutuksia voidaan verrata toisiinsa, täytyy valaisimien polttoaika ottaa huomioon. Seuraavassa on laskettu energiankulutus 4 000 tunnin vuosittaisella polttoajalla. 4 000 tuntia on koekohteessa käytetyn valaistuksen arvioitu keskimääräinen polttoaika vuodessa.

Energiankulutus mittausalueella vuodessa eri valaistuksilla:

*Pylväsvalaistus*

$$4000 \text{ h} \cdot 0,89 \dots \text{ W/m}^2 \approx 3,57 \dots \text{ kWh/m}^2$$

*Kaidevalaistus*

$$4000 \text{ h} \cdot 3,20 \text{ W/m}^2 = 12,80 \text{ kWh/m}^2$$

*Himmennetty kaidevalaistus*

$$4000 \text{ h} \cdot 1,02 \dots \text{ W/m}^2 \approx 4,09 \dots \text{ kWh/m}^2$$

Sillan pituus on 165 m, joten LEDien vuotuinen energiankulutus koko sillan matkalta on noin 9,5-kertainen mittausalueeseen verrattuna. Jos valaistustapa olisi sama koko sillan pituudella, saadaan energiankulutuksiksi seuraavassa esitetyt luvut:

*Pylväsvalaistus*

$$9,5 \cdot 3,57 \dots \text{ kWh/m}^2 \approx 33,87 \text{ kWh/m}^2$$

*Kaidevalaistus*

$$9,5 \cdot 12,80 \text{ kWh/m}^2 = 121,60 \text{ kWh/m}^2$$

*Himmennetty kaidevalaistus*

$$9,5 \cdot 4,09 \dots \text{ kWh/m}^2 \approx 38,90 \text{ kWh/m}^2$$

## 9.2 Koekohteen valaistuksien kokonaiskustannukset

Kohteen valaistuksen kokonaiskustannukset saataisiin selville, jos laskettaisiin yhteen kohteen hankintakustannukset, energiakustannukset sekä huolto- ja korjauskustannukset. Kohteessa ei tällä hetkellä ole huoltosuunnitelmaa, mutta sitä tehdään parhaillaan (maaliskuu 2014). Ilkivaltaa kohteen pylväs- ja kaidevalaistus ei ole ensimmäisen käyttövuotensa aikana kohdannut (Rinne 2014). Näistä syistä johtuen huolto- ja korjauskustannuksia ei tässä työssä lasketa.

Valaistuksien vuotuisiksi energiakustannuksiksi Helsingin Energian ilmoittamalla 10 senttiä/kWh hinnalla saadaan seuraavaa, jos valaistustapa säilyisi samana koko sillan pituudella:

*Pylväsvalaistus*

$$78 W \cdot 9,5 \cdot 4000 h \cdot 10 \text{ snt/kWh} = 296,40 \text{ €}$$

*Kaidevalaistus*

$$8 W/m \cdot 35 m \cdot 9,5 \cdot 4000 h \cdot 10 \text{ snt/kWh} = 1064,00 \text{ €}$$

*Himmennetty kaidevalaistus*

$$P_h \cdot 9,5 \cdot 4000 h \cdot 10 \text{ snt/kWh} = 340,38 \text{ €}$$

Koekohteen kaidevalaistuksen energiakustannukset ovat yli 3,5-kertaiset perinteiseen pylväsvalaistukseen verrattuna. Jos kaidevalaistusta himmennettäisiin pylväsvalaistuksen tasolle, olisivat sen energiakustannukset noin 15 % suuremmat kuin pylväsvalaistuksen.

Jos tarkasteltaisiin sillan valaistuksien kustannuksia 10 vuoden ajanjaksolla pelkän hankintahinnan sekä nykyhetken energiankulutuksen ja -hinnan mukaisesti, ilman minikäänlaisia muutoksia ja huoltoja ym., kaidevalaistuksen kokonaiskustannukset olisivat miltei 5 kertaa kalliimpia kuin pylväsvalaistuksen. Jos verrattaisiin pylväsvalaistusta ja himmennettyä kaidevalaistusta toisiinsa samalla tavalla ja ajanjaksolla, kaidevalaistuksen kokonaiskustannukset olisivat noin 3 kertaa kalliimpia kuin pylväsvalaistuksen. Jos lasketaan muuten samalla tavalla, mutta ajanjaksoksi vaihdetaan LED-profiileille luvattu elinikä, vähintään 75 000 tuntia eli noin 19 vuotta, tavallisen kaidevalaistuksen kokonaiskustannukset olisivat yli nelinkertaiset ja himmennetyn yli kaksinkertaiset pylväsvalaistukseen verrattuna.

Todellisuudessa huoltokustannusten vuoksi ero pylväs- ja kaidevalaistuksen välillä voi muuttua kumpaan suuntaan tahansa. Pylväsvalaistuksen huoltokustannuksia pystytään arvioimaan kohtuullisen tarkasti, koska pylväsvalaistuksia on paljon ja niiden huollosta saatua runsasta tietoa voidaan käyttää hyväksi. Kaidevalaistuksen todellisista huoltokustannuksista tiedetään taas todella vähän, koska LED-valaistuksia on vielä niin harvassa ja niitä on käytetty niin vähän aikaa. Ei tiedetä, pitääkö LEDien arvioitu elinikä paikkansa ja kuinka niiden liitäntälaitteet kestävät pitkällä aikajaksolla. Myös muut ongelmat voivat tulla uusissa tuotteissa vastaan, kuten Pyhän Birgitan puistossa, jossa

osa valonlähteistä on menettänyt valotehokkuutensa. Tämän vuoksi olisi hyödyllistä, tulevaisuutta ajatellen, että uusien LEDien asennuksista ja niiden kustannuksista pidettäisiin tarkkaa kirjanpitoa. Tulevaisuudessa tietokantaa arvioituista käyttökustannuksista voidaan käyttää hyödyksi kokonaiskustannuslaskelmissa.

Voidaan siis todeta, että vertaillen pylväs- ja kaidevalaistuksien kokonaiskustannuksia toisiinsa hankintahinnalla on todella suuri merkitys kokonaisuudessa. Kun ajatellaan koekohteen valaistuksien energiankustannuksia koko kaupungin kattavaan katuvalaistusverkkoon nähden, ovat ne pieniä. Kustannuksia vertaillen kannattaa huomioida erikoisvalaistuksen toimivuutta ja ominaisuuksia sekä sen tuomaa tunnelmaa ja viihtyvyyttä kaupunkiympäristössä.

## **10 Johtopäätökset**

Mahdollisuudet kevyen liikenteen väylien valaisemiseen LEDeillä toimivaa kaidevalaistusta käyttäen ovat hyvät. LEDien valotehokkuus on riittävää ja niiden pieni koko on suureksi hyödyksi. Kaiteet ovat luonteva paikka sijoittaa valaisimia, nyt kun siihen on käypä tekniikka olemassa. Kaidevalaistukselle parhaita asennuskohteita ovat ennen kaikkea sellaiset paikat, joiden halutaan olevan esteettisiä ja päiväsaikaan vähäeleisiä. Hyvänä esimerkkinä ovat sillat, joiden arkkitehtuuria voidaan tukea, tuomatta siihen lainkaan ylimääräisiä, ehkä jopa sopimattomia valaisimia.

Työssä tehtyjen mittausten mukaan kaidevalaistuksen valaistustaso on runsas, mutta sen suuntaamista voisi vielä kehittää. Auroransillalla käytetyn kaidevalaistuksen tasaisuus on hyvää, mutta kasvojentunnistus vaikeaa, kun verrataan pylväsvalaistukseen. Selvimpinä valaistusteknisinä eroina pylväs- ja kaidevalaistuksella ovat kaidevalaistuksen korkeammat luminanssi- ja valaistusvoimakkuusarvot. Käytettävien kaidevalaistuksien valonjakojen optimointia asennettavaan kohteeseen tulisi parantaa, jotta LEDeistä saataisiin paras mahdollinen hyöty sekä valaistuksellisesti että energiatehokkaasti. Pelkkä kaidevalaistus täyttää standardin kevyen liikenteen väylille asettamat vaatimukset, mutta jos kohteessa vaaditaan myös parempaa kasvojentunnistamista, tarvitsee se rinnalleen lisävalaistusta.

Koekohteessa kaidevalaistuksen valaistusvoimakkuus on huomattavan suuri. Koska kyseessä on LEDit, joita on mahdollista himmentää kätevästi, voisi niiden himmennystä

tarvittavalle tasolle harkita vakavasti. Tällöin kaidevalaistuksen kuluttama teho laskisi ja siinä käytettävien LED-profiilien käyttöikä kasvaisi. Vaikka kaidevalaistuksen tuottama, tyylikkäänä pidetty visuaalinen ilme kulkuväylällä saattaisi laimentua valaistusta himmentämällä, kannattaisi sitä kokeilla. Räätelöimällä valaistusvoimakkuus sopivalle tasolle saataisiin toteutukselle kaikkia miellyttävä valaistus. Vaikka kaidevalaistusta himmennettäisiin, valonlähteen pintaluminanssi säilyisi ja valaistus näkyisi vielä valoviivana sillan alittavalle kadulle. Valoviiva vahvistaa sillan arkkitehtuurista ilmettä.

Käyttäjäkyselyssä keuhuttiin kaidevalaistuksen tapaa valaista ja sen mukanaan tuomaa ilmettä. Kasvoille tulevan vähäisen valon määrää moitittiin kasvojentunnistettavuuden jäädessä huonoksi. Mittauksien ja kyselyn tulokset tukivat toisiaan, mutta pientä ristiriitaa oli pylväsvalaistuksen tasaisuuden kokemisessa. Pylväsvalaistusta ei kyselyssä arvioitu niin epätasaiseksi kuin mitä luminanssimittaukset antavat ymmärtää. Esteettömyyttä ajateltaessa kaidevalaistuksella saatava ohjaavuus koettiin erityisen hyväksi, kuten myös sen tasaisuus ja häikäsemättömyys. Erityisryhmät, kuten näkövammaiset, eivät tarvitse erityisvalaistusta, vaan hyvin suunniteltu valaistus palvelee esteettömästi kaikkia.

Kun verrataan pylvä- ja kaidevalaistuksen kokonaiskustannuksia, on hankintahinnalla suuri merkitys. Erityisesti kaidevalaistuksen hankintakustannukset ovat nykyisin korkeat. LEDien käyttökustannuksia voitaisiin laskea niitä himmentämällä. Todellisuudessa himmennyksestä johtuvat energiasäästöt olisivat luultavasti suurempia kuin tämän työn kustannusvertailussa on laskettu: valaistustason voisi määritellä tarkasti halutulle tasolle ja hyödyntää myös valaistuksen ohjattavuutta esimerkiksi laskemalla valaistustasoa yöaikaan. Huoltokustannuksia on koekohteessa erittäin vaikeaa arvioida, koska LEDien käyttö ulkovalaistuksessa on vielä uutta. Jatkossa kannattaa hyödyntää kirjanpitoa ylläpitokustannuksista.

Tämän työn perusteella kaidevalaistus on toimiva vaihtoehto siihen sopivissa kohteissa. Jatkossa sitä voisi käyttää nykyistä laajemmin siltojen lisäksi muissakin kohteissa, joissa kaide on jo valmiiksi: esimerkiksi portaissa ja luiskissa.

Vaikka kaidevalaistuksen kokonaiskustannukset ovat perinteiseen valaistustapaan verrattuna vielä kalliit, kannattaa huomioida tällaisen erikoisvalaistuksen muut arvot. Esteettömyyden kaltaisten hyötyjen lisäksi kaidevalaistus tuo ympäristöön parhaimmillaan tunnelmaa ja viihtyisyyttä, ja se korostaa kohteiden arkkitehtuuria. Toivottavasti

erikoisvalaistuksien, kuten kaidevalaistuksien, kehittelyä ja hyödyntämistä jatketaan myös tulevaisuudessa esimerkiksi uusien kaupunginosien suunnittelun yhteydessä.

## Lähteet

Ahponen, Veikko, Kasurinen, Esko & Timonen, Tapani. 1996. Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto. Espoo: Sähköinfo Oy.

Arola, Jukka. 2013. Valaistuksen tuomat mahdollisuudet energiankulutuksen alentamisessa. Verkkojulkaisu.  
<[http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/66619/Lopputyo\\_Jukka\\_Arola.pdf?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/66619/Lopputyo_Jukka_Arola.pdf?sequence=1)>. Luettu 4.2.2014.

EcoDesign-direktiivi. 2013. Verkkodokumentti. Motiva.  
<<http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit/ecodesign-direktiivi>>. Luettu 22.1.2014.

Heikkonäköiset ja valaistus. 2014. Verkkodokumentti. Näkövammaisten Keskusliitto ry.  
<<http://www.nkl.fi/fi/etusivu/esteettomyysratkaisut/ymparisto/heikkonako>>. Luettu 4.2.2014.

Kallasjoki, Tapio. 2011. Valaistus ja energia. Luentomateriaali.

Kallasjoki, Tapio. 2012. Valaistustekniikan perusteita. Luentomateriaali.

Kallasjoki, Tapio. 2013. Valo ja näkeminen. Luentomateriaali.

Kohti esteetöntä liikkumista. 2003. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö, Ohjelmia ja strategioita 2/2003.  
<<http://www.transportal.fi/hankkeet/elsa/strategia/pdf/esteettomyysstrategia.pdf>>. Luettu 4.2.2014.

Markkanen, Olli. 2014. Yksikön päällikkö, HelenUlkovalaistus, Helsinki. Keskustelu 12.3.2014.

Martikainen, Marko. 2014. Valonlähteet. Verkkoluento. Osa 1:  
<<http://www.youtube.com/watch?v=BUoMNTmQi5s&feature=youtu.be>>, Osa 2  
<<http://www.youtube.com/watch?v=QMxQxsdKYvQ&feature=youtu.be>>. Katsottu 6.2.2014.

Ojamo, Matti. 2013. Näkövammarekisterin vuosikirja 2012. Helsinki: Terveystieteiden tutkimuskeskus ja Näkövammaisten Keskusliitto ry.  
<[http://www.nkl.fi/index.php?\\_\\_file\\_display\\_id=7892](http://www.nkl.fi/index.php?__file_display_id=7892)>. Luettu 22.1.2014.

Puolakka, Marjukka, Rantakallio, Antti, Tähkämö, Leena, Viitanen, Janne, Ylinen, Anne, Halonen, Liisa. 2012. LEDit ja aurinkosähkö - Energiatehokas ja kestävä ratkaisu. Espoo: Aalto-yliopiston julkaisusarja TIEDE + TEKNOLOGIA 6/2012.



Rantakallio, Antti & Ylinen, Anne. 2011. Elohopealamput pois - mitä tilalle ja millä hinnalla?. Verkkodokumentti.  
<[http://lightinglab.fi/ekovalo/News/3\\_ylinen\\_rantakallio\\_elohopealamput\\_pois.pdf](http://lightinglab.fi/ekovalo/News/3_ylinen_rantakallio_elohopealamput_pois.pdf)> Luettu 14.3.2014.

Rinne, Teemu. 2014. Rakennuttajapäällikkö, HelenUlkovalaistus. Helsinki. Keskustelu 18.2.2014.

Schneider, Tom. 2013. Auroransilta loistaa. Valo 1/2013, s. 10-13.

Tien suuntauksen suunnittelu. 2013. Helsinki: Liikennevirasto.

Tievalaistuksen suunnittelu. 2006. Helsinki: Tiehallinto.

Valaistussuositukset. Ulkotyö- ja piha-alueet. 1990. Helsinki: Suomen Valoteknillinen Seura r.y:n julkaisuja nro 10–1990.

Valaistustekniikan käsikirja III. 1985. Helsinki: Sähköurakoitsijaliiton Koulutus ja Kustannus Oy.

Valot varjot vaarat. 2013. Helsinki: Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisuja 2013:13.

Vesanto, Tuula. 2014. Myyntipäällikkö, Oy MGT-Meltron Ltd, Helsinki. Sähköpostikeskustelu 24.2.2014.

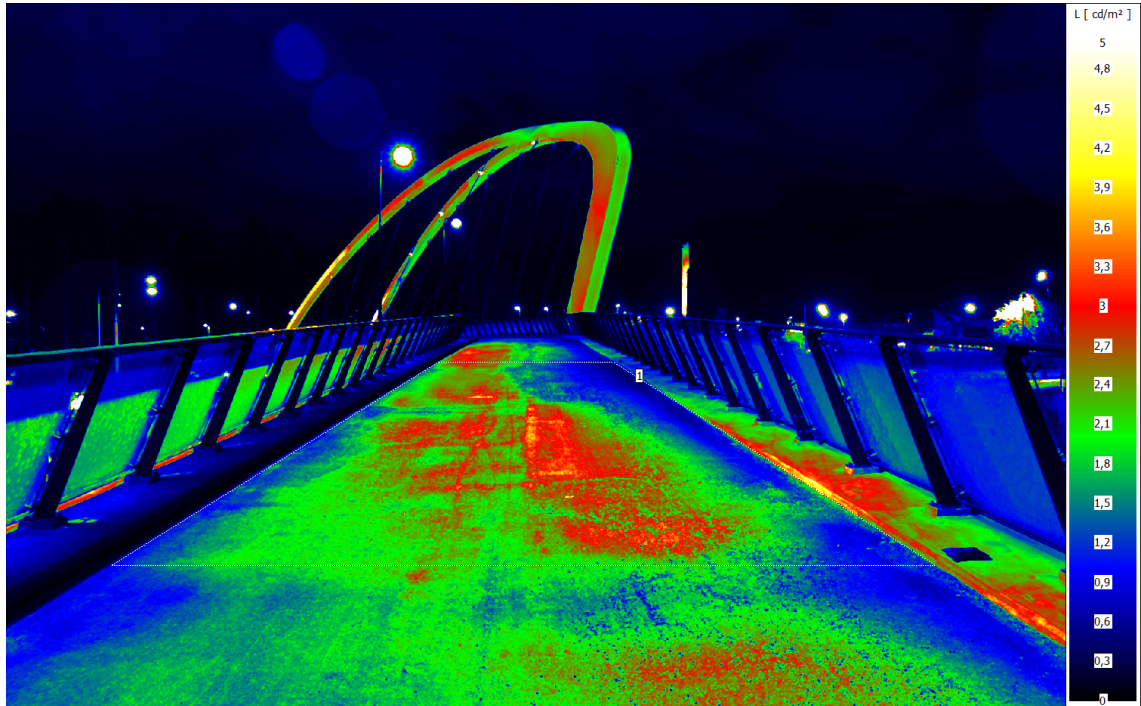
## Luminanssikuvat mittausalueesta

Tämä liite sisältää luminanssimittauksessa käytetyn kameran ottamia kuvia, jotka on käsitelty TechnoTeamin Labsoft ohjelmalla sellaisiksi, että niitä pystyy analysoimaan toisiinsa nähden. Liitteessä olevat kuvat ovat taulukon 1 mukaisessa järjestyksessä. Sivut 10 ja 11 ovat samat, mutta sivun 11 arvoasteikko on tarkastelun helpottamiseksi pienempi.

Taulukko 1. Listaus luminanssikuvista

Luminanssimittausten kuvat			Sivu
Kuiva	Etelään	Pylväs	2
Kuiva	Etelään	Kaide	3
Kuiva	Pohjoiseen	Pylväs	4
Kuiva	Pohjoiseen	Kaide	5
Kuiva	Etelään	Molemmat	6
Kuiva	Pohjoiseen	Molemmat	7
Märkä	Etelään	Pylväs	8
Märkä	Etelään	Kaide	9
Märkä	Pohjoiseen	Pylväs	10
Märkä	Pohjoiseen	Pylväs	11
Märkä	Pohjoiseen	Kaide	12
Märkä	Etelään	Molemmat	13
Märkä	Pohjoiseen	Molemmat	14
Luminen	Etelään	Pylväs	15
Luminen	Etelään	Kaide	16
Luminen	Pohjoiseen	Pylväs	17
Luminen	Pohjoiseen	Kaide	18
Luminen	Etelään	Molemmat	19
Luminen	Pohjoiseen	Molemmat	20

Luminanssiarvot pylväsvalaistuksella. Tienpinta: kuiva, suunta: etelä.



Kuva 1. Koekohteen luminanssiarvot asteikolla 0 - 5 cd/m<sup>2</sup>

Taulukko 2. Mittausalueen arvot.

	min	max	U <sub>l</sub>
R01	1,60	2,57	<b>0,620</b>
R02	2,08	2,71	<b>0,766</b>
R03	1,49	2,63	<b>0,567</b>
R04	1,32	3,35	<b>0,394</b>
R05	0,95	2,81	<b>0,338</b>
R06	0,53	1,28	<b>0,413</b>
		min	0,53
		max	3,35
		ka	1,87
		<b>U<sub>o</sub></b>	<b>0,282</b>

R01-R06 = mittauspisteiden pystyrit

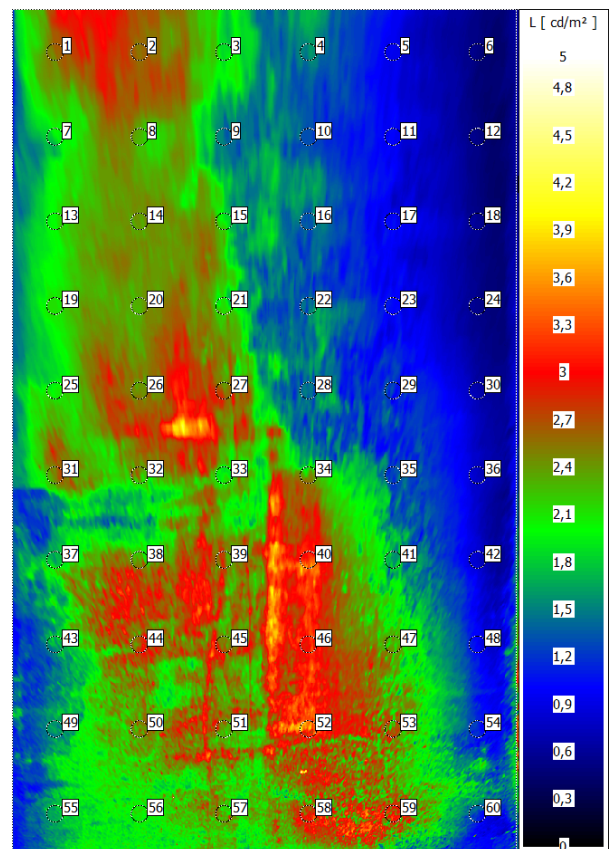
U<sub>l</sub> = pitkittäistasaisuus

min = pienin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

max = suurin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

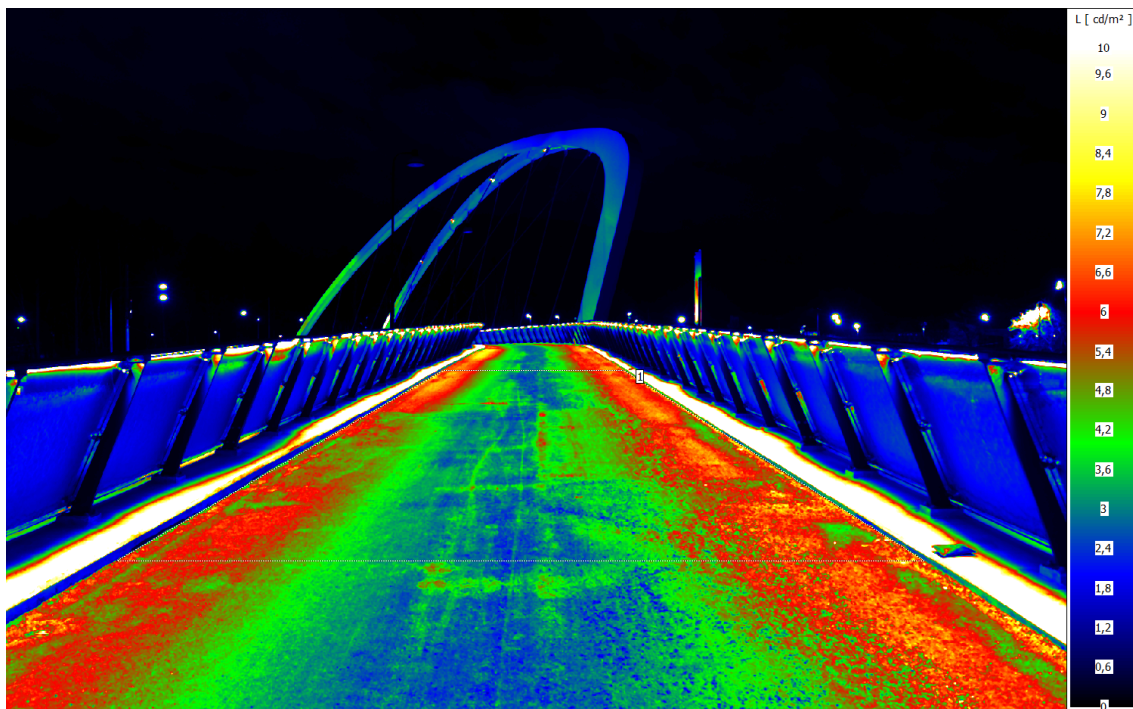
ka = mittauspisteiden keskiarvo (cd/m<sup>2</sup>)

U<sub>o</sub> = yleistasaisuus



Kuva 2. Mittausalueen luminanssiarvot asteikolla 0 - 5 cd/m<sup>2</sup>

Luminanssiarvot kaidevalaistuksella. Tienpinta: kuiva, suunta: etelä.



Kuva 3. Koekohteen luminanssiarvot asteikolla 0 - 10 cd/m<sup>2</sup>

Taulukko 3. Mittausalueen arvot.

	min	max	U <sub>l</sub>
R01	4,96	7,52	<b>0,659</b>
R02	3,87	4,67	<b>0,828</b>
R03	2,73	3,92	<b>0,697</b>
R04	2,84	4,55	<b>0,624</b>
R05	4,64	5,43	<b>0,856</b>
R06	5,48	7,13	<b>0,768</b>
		min	2,73
		max	7,52
		ka	4,86
		<b>U<sub>o</sub></b>	<b>0,562</b>

R01-R06 = mittauspisteiden pystyrit

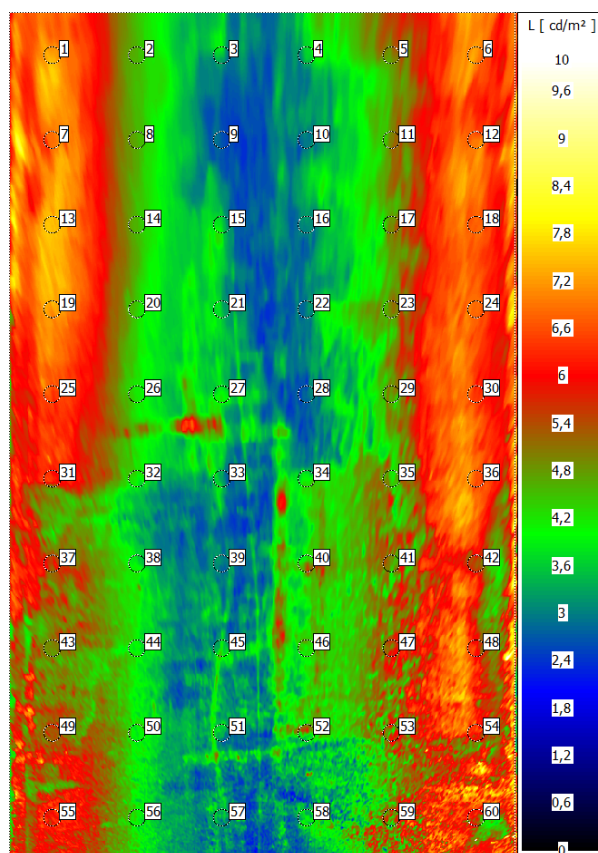
U<sub>l</sub> = pitkittäistasaisuus

min = pienin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

max = suurin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

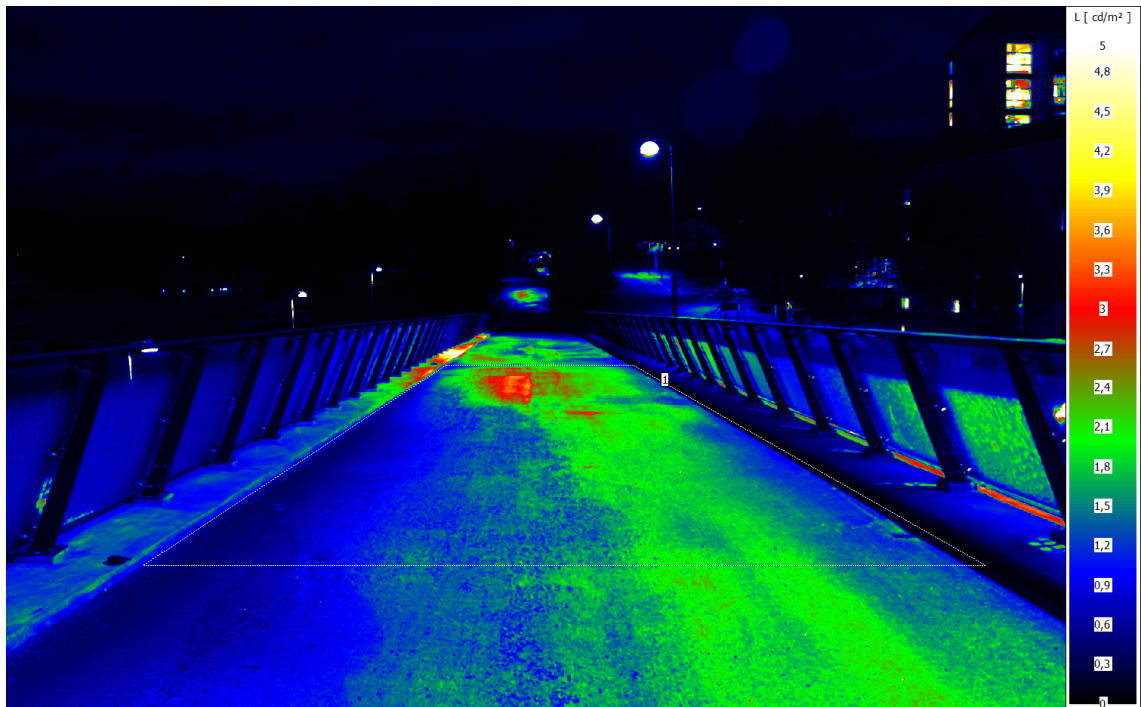
ka = mittauspisteiden keskiarvo (cd/m<sup>2</sup>)

U<sub>o</sub> = yleistasaisuus



Kuva 4. Mittausalueen luminanssiarvot asteikolla 0 - 10 cd/m<sup>2</sup>

Luminanssiarvot pylväsvalaistuksella. Tienpinta: kuiva, suunta: pohjoinen.



Kuva 5. Koekohteen luminanssiarvot asteikolla 0 - 5 cd/m<sup>2</sup>

Taulukko 4. Mittausalueen arvot.

	min	max	U <sub>l</sub>
R01	0,48	1,77	<b>0,271</b>
R02	1,02	2,54	<b>0,402</b>
R03	1,34	3,29	<b>0,407</b>
R04	1,66	2,57	<b>0,648</b>
R05	1,74	2,17	<b>0,803</b>
R06	1,20	1,69	<b>0,708</b>
		min	0,48
		max	3,29
		ka	1,74
		<b>U<sub>o</sub></b>	<b>0,276</b>

R01-R06 = mittauspisteiden pystyrit

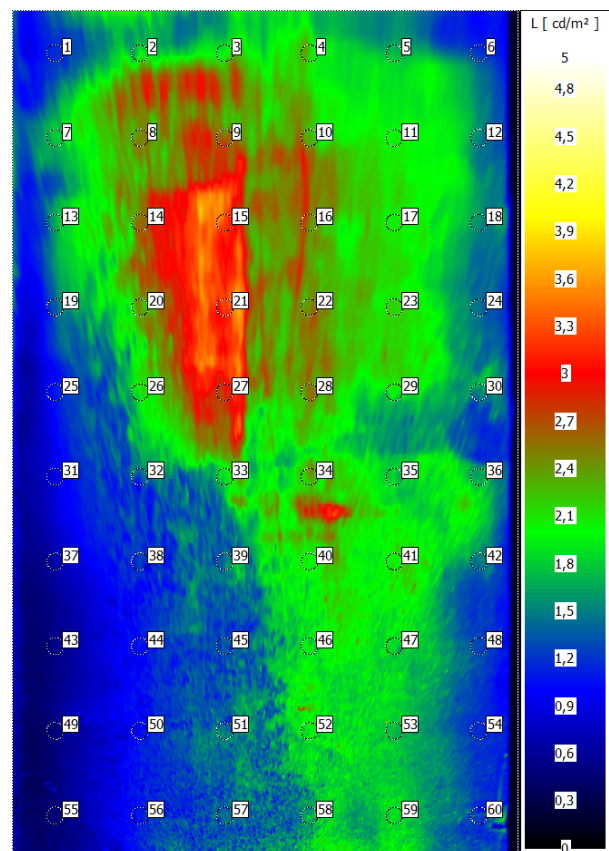
U<sub>l</sub> = pitkittäistasaisuus

min = pienin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

max = suurin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

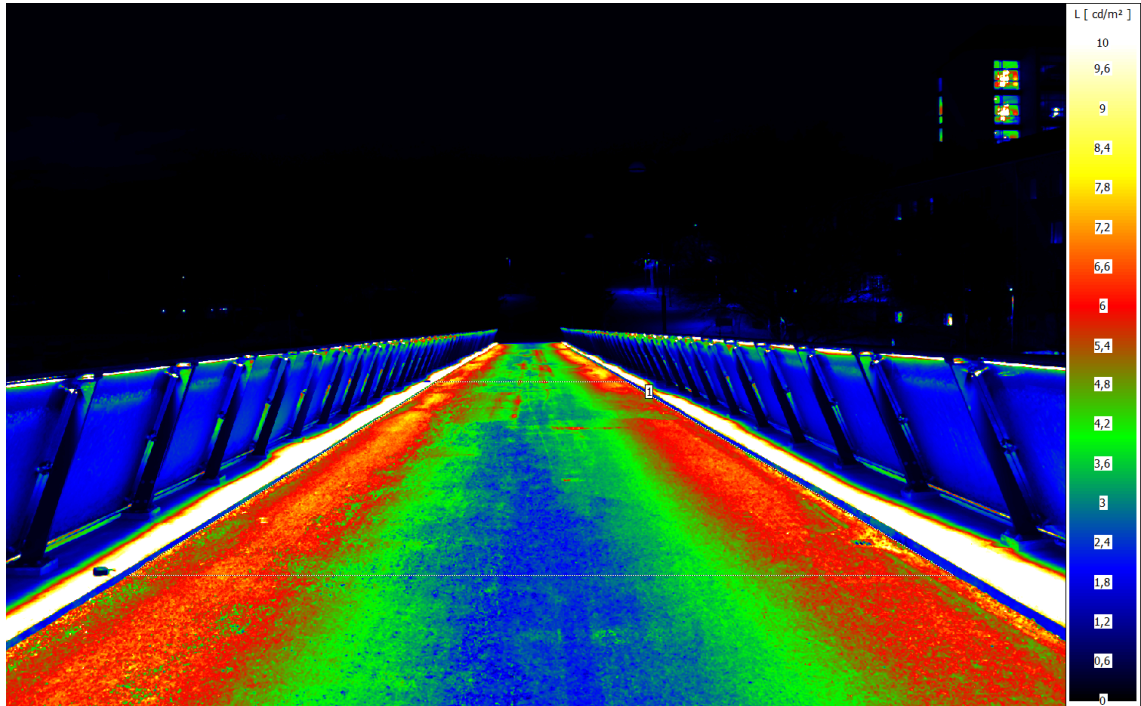
ka = mittauspisteiden keskiarvo (cd/m<sup>2</sup>)

U<sub>o</sub> = yleistasaisuus



Kuva 6. Mittausalueen luminanssiarvot asteikolla 0 - 5 cd/m<sup>2</sup>

Luminanssiarvot kaidevalaistuksella. Tienpinta: kuiva, suunta: pohjoinen.



Kuva 7. Koekohteen luminanssiarvot asteikolla 0 - 10 cd/m<sup>2</sup>

Taulukko 5. Mittausalueen arvot.

	min	max	U <sub>l</sub>
R01	5,93	7,57	<b>0,783</b>
R02	4,32	5,17	<b>0,837</b>
R03	2,92	4,60	<b>0,636</b>
R04	2,78	4,01	<b>0,693</b>
R05	3,86	4,78	<b>0,807</b>
R06	5,20	7,24	<b>0,718</b>
		min	2,78
		max	7,57
		ka	4,92
		<b>U<sub>o</sub></b>	<b>0,566</b>

R01-R06 = mittauspisteiden pystyrit

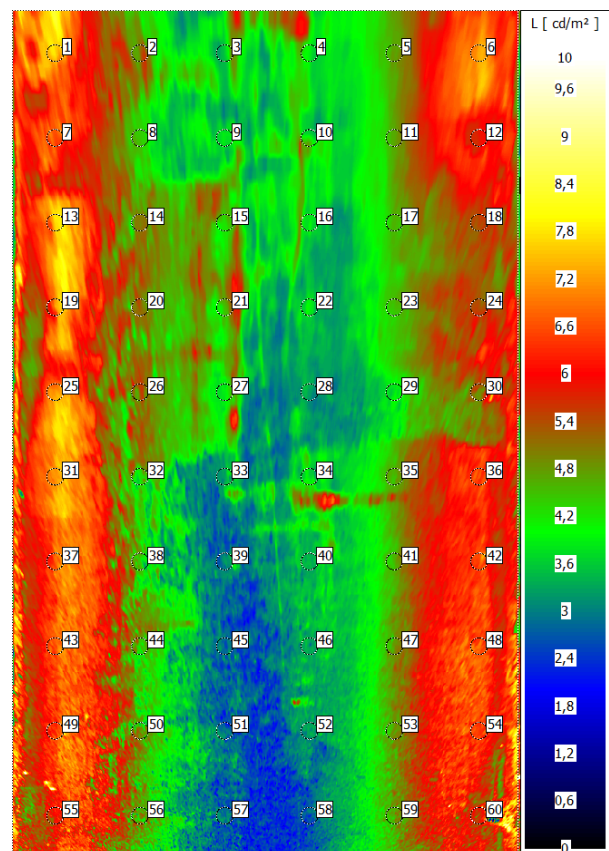
U<sub>l</sub> = pitkittäistasaisuus

min = pienin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

max = suurin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

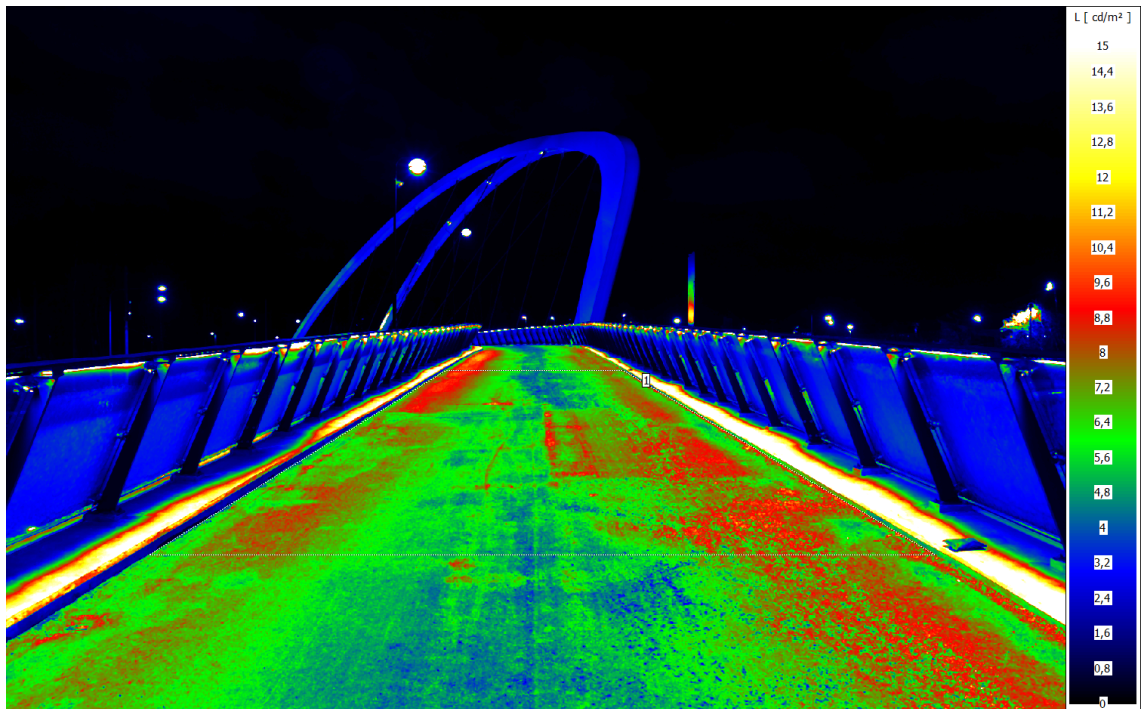
ka = mittauspisteiden keskiarvo (cd/m<sup>2</sup>)

U<sub>o</sub> = yleistasaisuus



Kuva 8. Mittausalueen luminanssiarvot asteikolla 0 - 10 cd/m<sup>2</sup>

Luminanssiarvot pylväs- ja kaidevalaistuksella. Tienpinta: kuiva, suunta: etelä.



Kuva 9. Koekohteen luminanssiarvot asteikolla 0 - 15 cd/m<sup>2</sup>

Taulukko 6. Mittausalueen arvot.

	min	max	U <sub>l</sub>
R01	6,65	9,53	<b>0,698</b>
R02	6,37	7,42	<b>0,858</b>
R03	4,45	6,60	<b>0,674</b>
R04	4,37	8,26	<b>0,529</b>
R05	5,81	8,19	<b>0,709</b>
R06	6,50	7,76	<b>0,838</b>
	min	4,37	
	max	9,53	
	ka	6,86	
	<b>U<sub>o</sub></b>	<b>0,637</b>	

R01-R06 = mittauspisteiden pystyrit

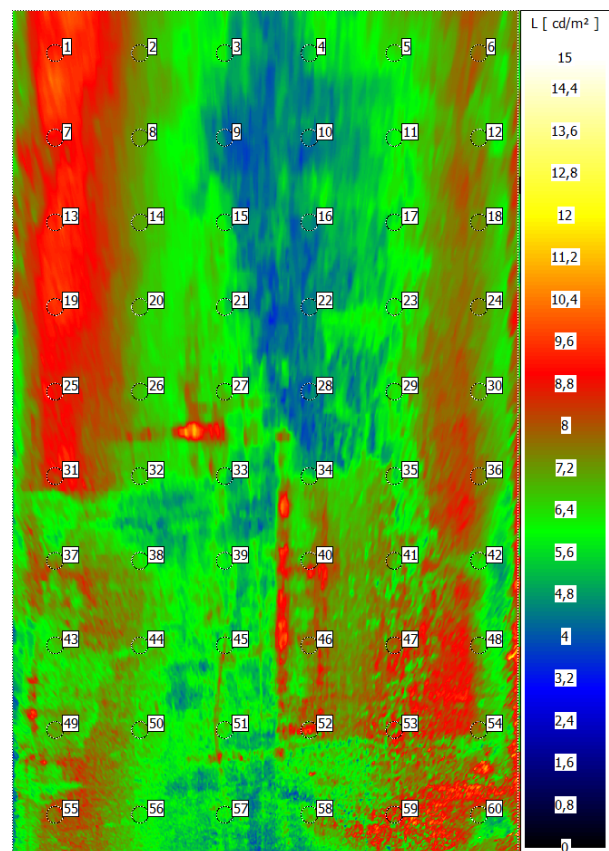
U<sub>l</sub> = pitkittäistasaisuus

min = pienin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

max = suurin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

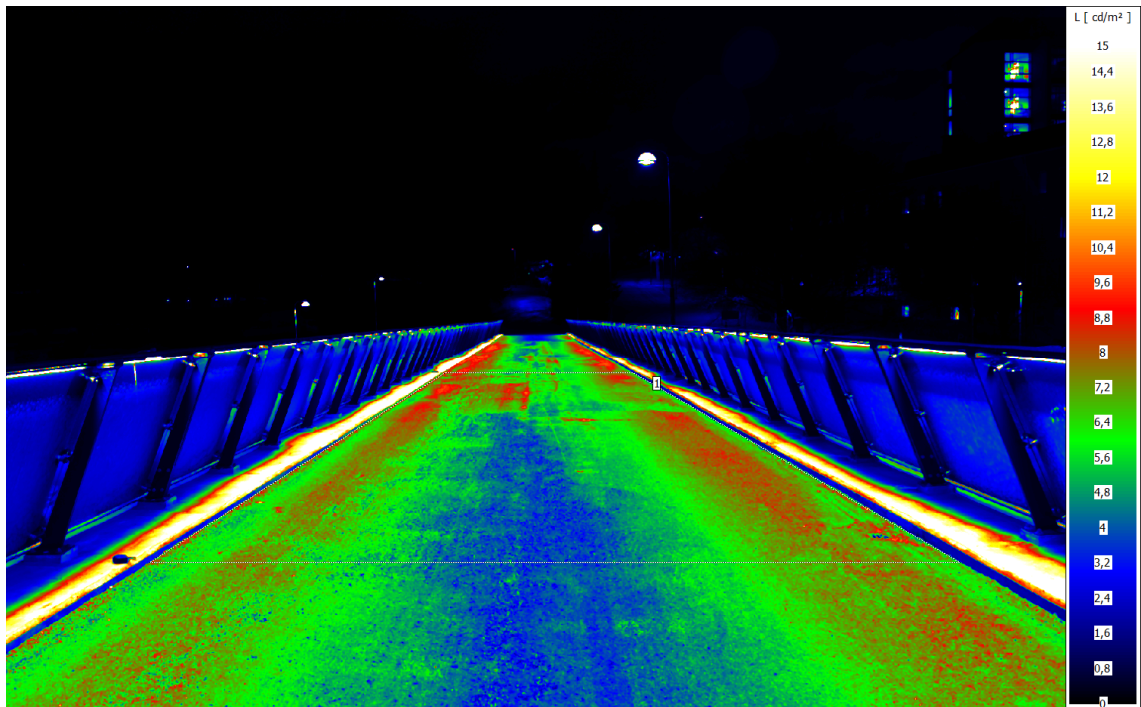
ka = mittauspisteiden keskiarvo (cd/m<sup>2</sup>)

U<sub>o</sub> = yleistasaisuus



Kuva 10. Mittausalueen luminanssiarvot asteikolla 0 - 15 cd/m<sup>2</sup>

Luminanssiarvot pylväs- ja kaidevalaistuksella. Tienpinta: kuiva, suunta: pohjoinen.



Kuva 11. Koekohteen luminanssiarvot asteikolla 0 - 15 cd/m<sup>2</sup>

Taulukko 7. Mittausalueen arvot.

	min	max	U <sub>l</sub>
R01	6,48	9,13	<b>0,710</b>
R02	5,62	7,52	<b>0,747</b>
R03	4,10	8,11	<b>0,506</b>
R04	4,29	6,90	<b>0,622</b>
R05	6,07	6,80	<b>0,893</b>
R06	6,85	8,29	<b>0,827</b>
	min	4,10	
	max	9,13	
	ka	6,69	
	<b>U<sub>o</sub></b>	<b>0,613</b>	

R01-R06 = mittauspisteiden pystyivät

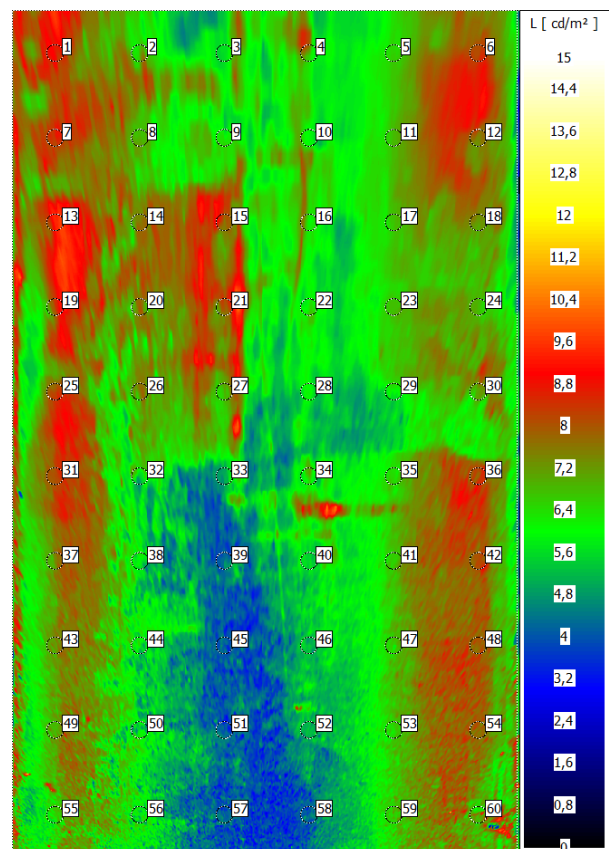
U<sub>l</sub> = pitkittäistasaisuus

min = pienin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

max = suurin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

ka = mittauspisteiden keskiarvo (cd/m<sup>2</sup>)

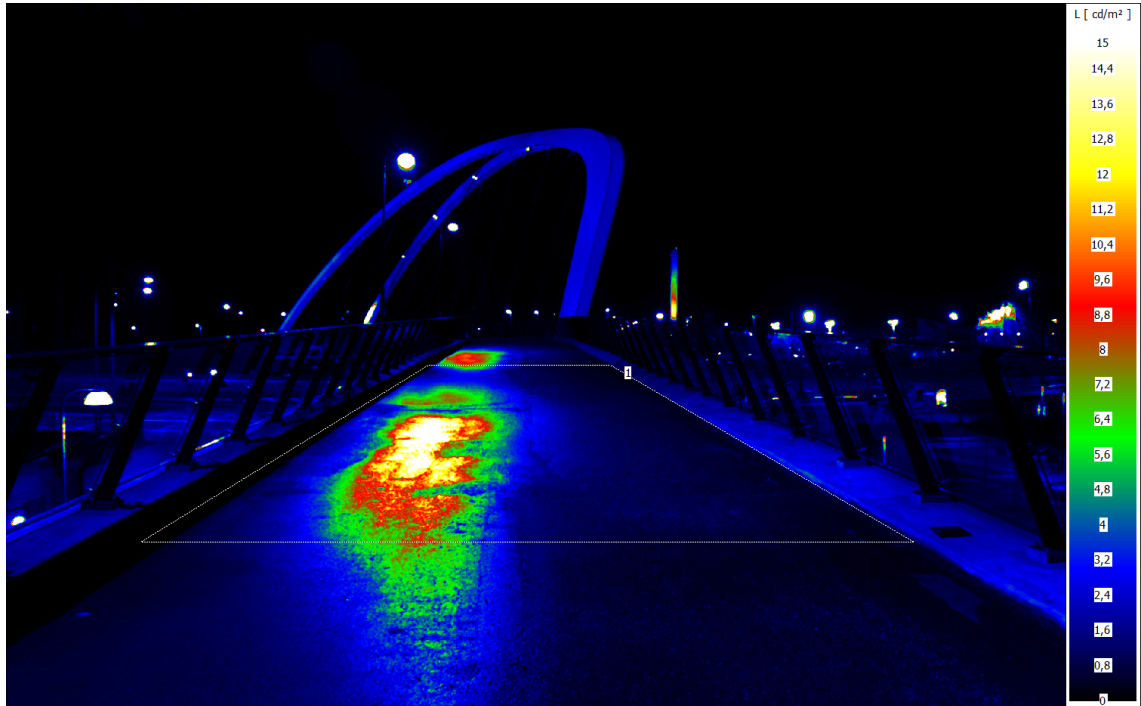
U<sub>o</sub> = yleistasaisuus



Kuva 12. Mittausalueen luminanssiarvot asteikolla 0 - 15 cd/m<sup>2</sup>



Luminanssiarvot pylväsvalaistuksella. Tienpinta: märkä, suunta: etelä.



Kuva 13. Koekohteen luminanssiarvot asteikolla 0 - 15 cd/m<sup>2</sup>

Taulukko 8. Mittausalueen arvot.

	min	max	U <sub>l</sub>
R01	1,23	4,78	<b>0,258</b>
R02	2,88	14,96	<b>0,192</b>
R03	1,68	6,61	<b>0,255</b>
R04	0,94	2,37	<b>0,397</b>
R05	0,59	0,95	<b>0,614</b>
R06	0,34	0,60	<b>0,562</b>
		min	0,34
		max	14,96
		ka	2,90
		<b>U<sub>o</sub></b>	<b>0,116</b>

R01-R06 = mittauspisteiden pystyryvit

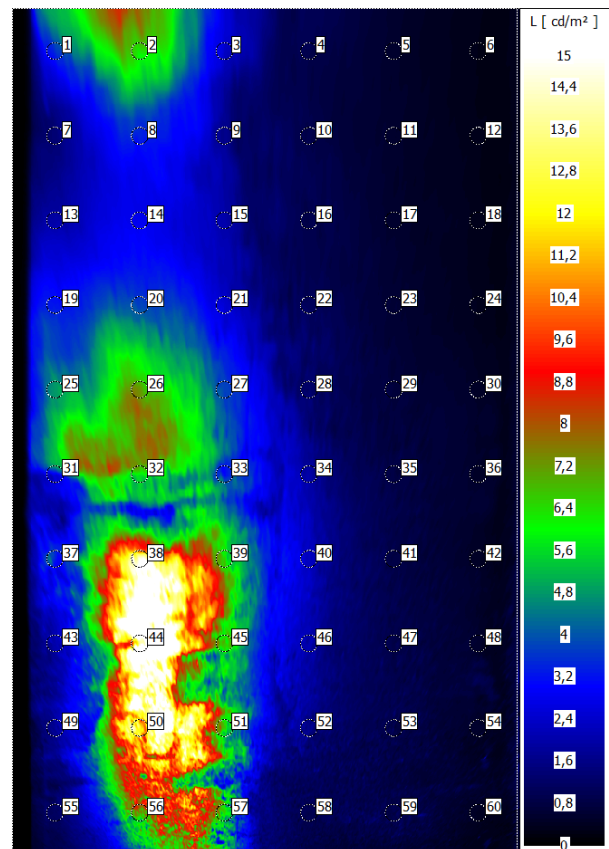
U<sub>l</sub> = pitkittäistasaisuus

min = pienin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

max = suurin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

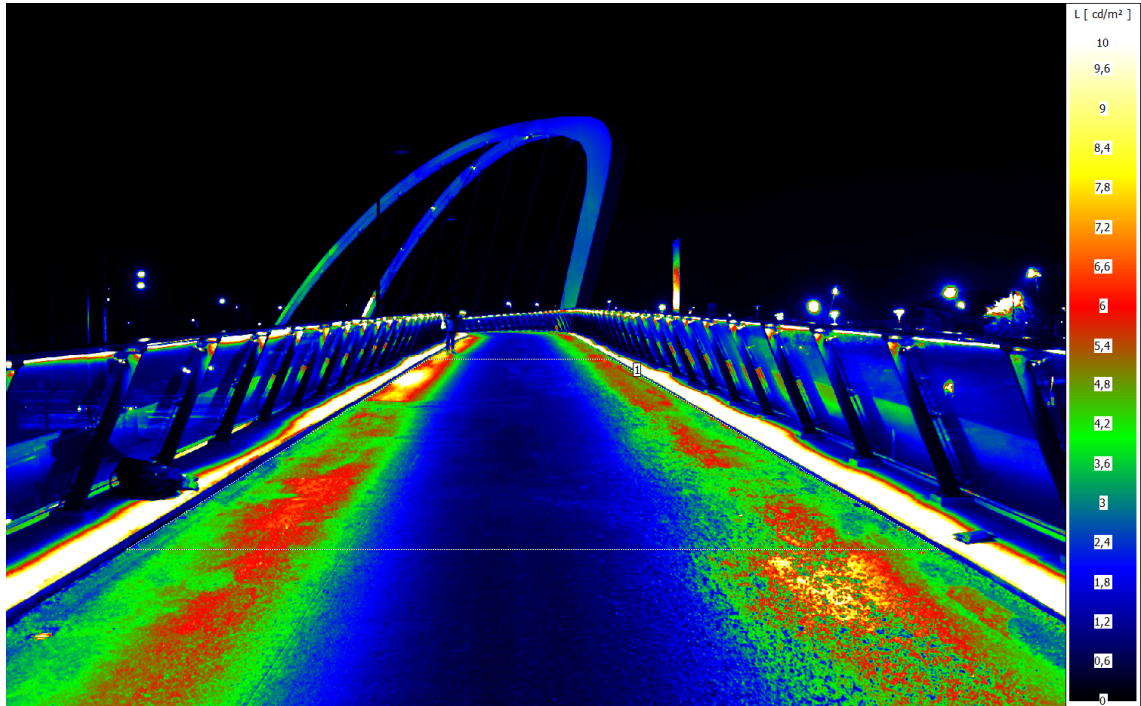
ka = mittauspisteiden keskiarvo (cd/m<sup>2</sup>)

U<sub>o</sub> = yleistasaisuus



Kuva 14. Mittausalueen luminanssiarvot asteikolla 0 - 15 cd/m<sup>2</sup>

Luminanssiarvot kaidevalaistuksella. Tienpinta: märkä, suunta: etelä.



Kuva 15. Koekohteen luminanssiarvot asteikolla 0 - 10 cd/m<sup>2</sup>

Taulukko 9. Mittausalueen arvot.

	min	max	U <sub>l</sub>
R01	4,55	11,34	<b>0,401</b>
R02	2,21	3,61	<b>0,611</b>
R03	0,84	1,48	<b>0,566</b>
R04	1,10	1,65	<b>0,669</b>
R05	2,76	3,44	<b>0,802</b>
R06	4,30	6,02	<b>0,714</b>
		min	0,84
		max	11,34
		ka	3,32
		<b>U<sub>o</sub></b>	<b>0,253</b>

R01-R06 = mittauspisteiden pystyvirvit

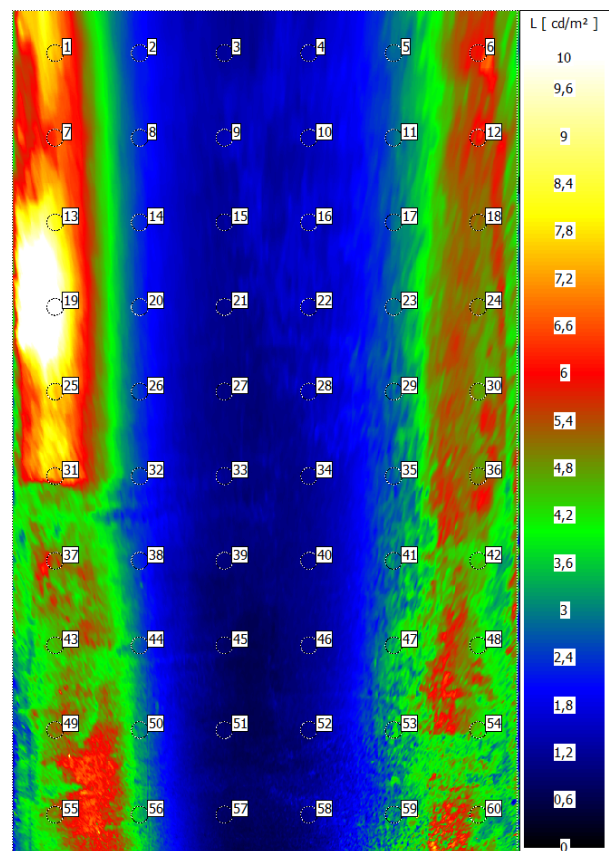
U<sub>l</sub> = pitkittäistasaisuus

min = pienin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

max = suurin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

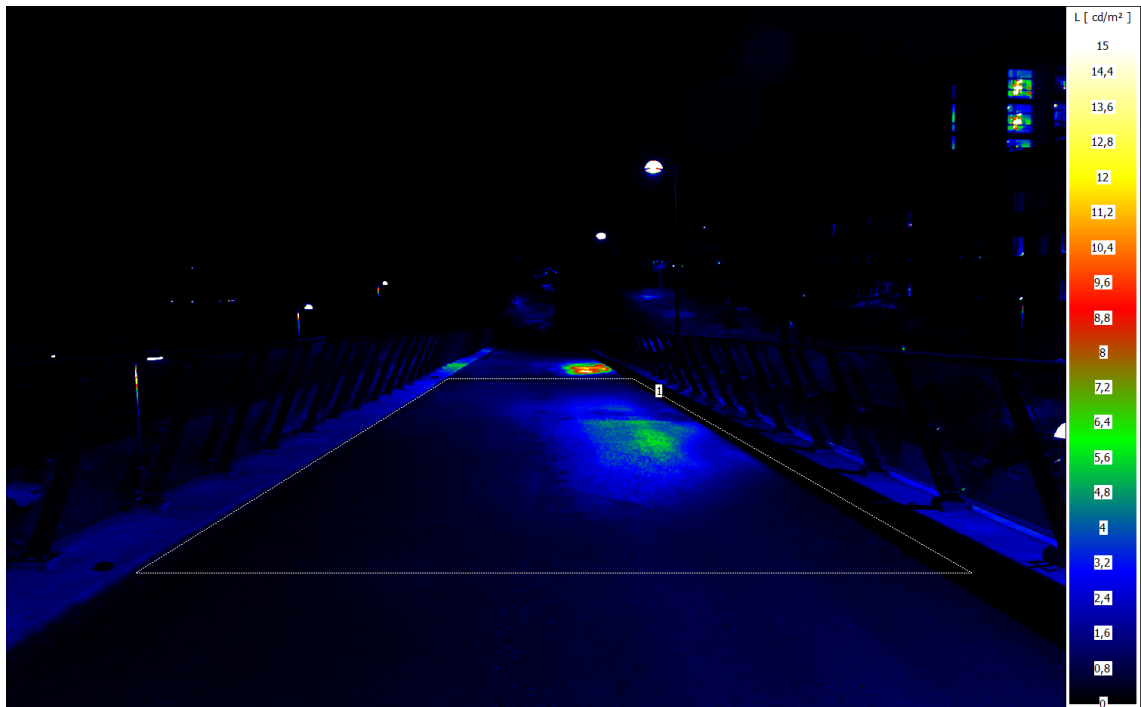
ka = mittauspisteiden keskiarvo (cd/m<sup>2</sup>)

U<sub>o</sub> = yleistasaisuus



Kuva 16. Mittausalueen luminanssiarvot asteikolla 0 - 10 cd/m<sup>2</sup>

Luminanssiarvot pylväsvalaistuksella. Tienpinta: märkä, suunta: pohjoinen.



Kuva 17. Koekohteen luminanssiarvot asteikolla 0 - 15 cd/m<sup>2</sup>

Taulukko 10. Mittausalueen arvot.

	min	max	U <sub>l</sub>
R01	0,19	0,99	<b>0,195</b>
R02	0,36	1,25	<b>0,286</b>
R03	0,55	1,93	<b>0,286</b>
R04	0,75	2,81	<b>0,268</b>
R05	0,80	4,92	<b>0,162</b>
R06	0,50	3,02	<b>0,165</b>
	min	0,19	
	max	4,92	
	ka	1,39	
	<b>U<sub>o</sub></b>	<b>0,140</b>	

R01-R06 = mittauspisteiden pystyriivit

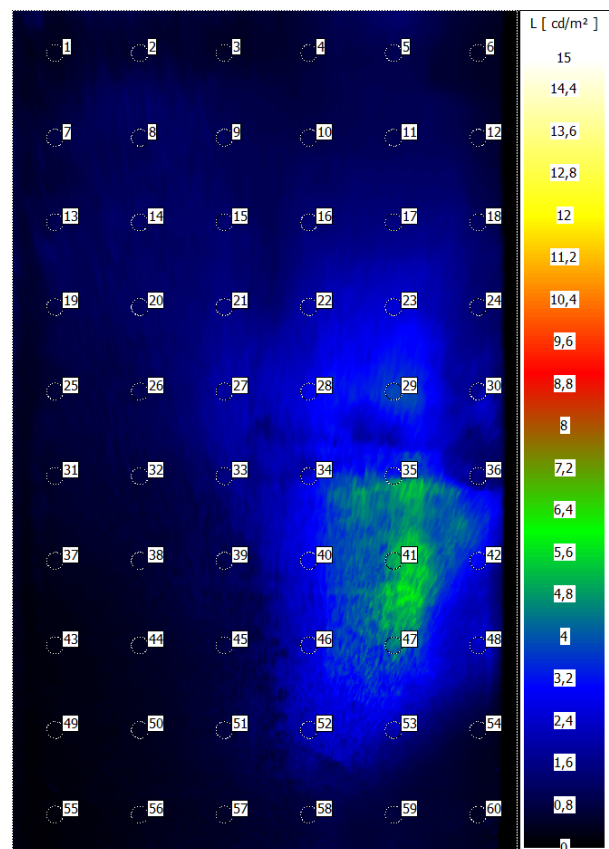
U<sub>l</sub> = pitkittäistasaisuus

min = pienin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

max = suurin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

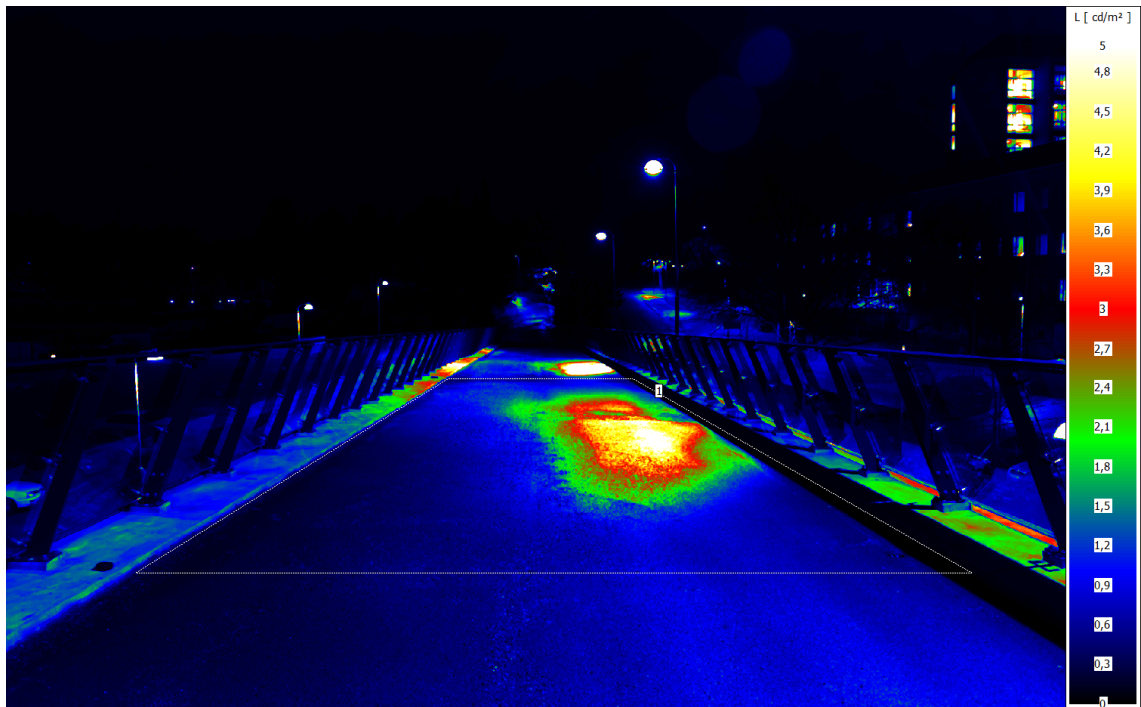
ka = mittauspisteiden keskiarvo (cd/m<sup>2</sup>)

U<sub>o</sub> = yleistasaisuus



Kuva 18. Mittausalueen luminanssiarvot asteikolla 0 - 15 cd/m<sup>2</sup>

Luminanssiarvot pylväsvalaistuksella. Tienpinta: märkä, suunta: pohjoinen.



Kuva 19. Koekohteen luminanssiarvot asteikolla 0 - 5  $\text{cd/m}^2$

Taulukko 11. Mittausalueen arvot.

	min	max	$U_l$
R01	0,19	0,99	<b>0,195</b>
R02	0,36	1,25	<b>0,286</b>
R03	0,55	1,93	<b>0,286</b>
R04	0,75	2,81	<b>0,268</b>
R05	0,80	4,92	<b>0,162</b>
R06	0,50	3,02	<b>0,165</b>
	min	0,19	
	max	4,92	
	ka	1,39	
	<b>U<sub>o</sub></b>	<b>0,140</b>	

R01-R06 = mittauspisteiden pystyrit

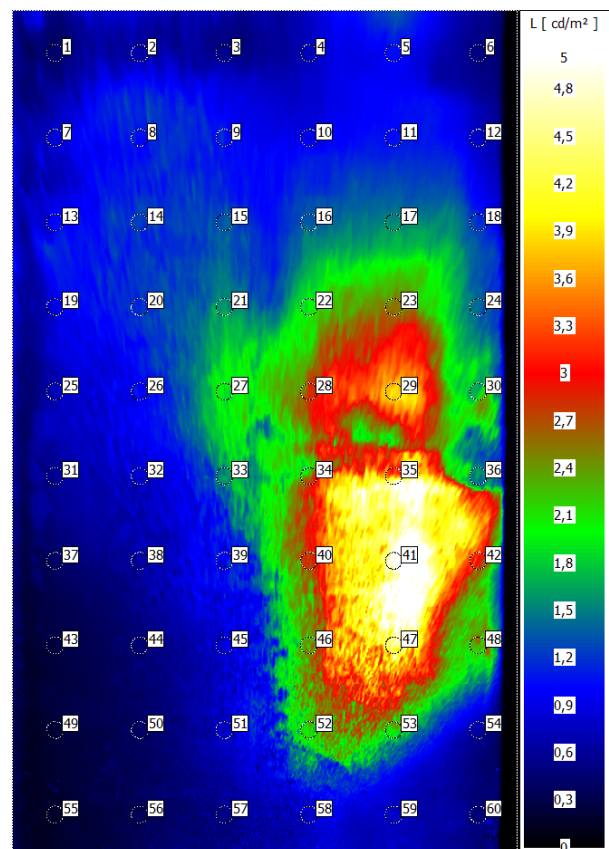
$U_l$  = pitkittäistasaisuus

min = pienin mittausarvo ( $\text{cd/m}^2$ )

max = suurin mittausarvo ( $\text{cd/m}^2$ )

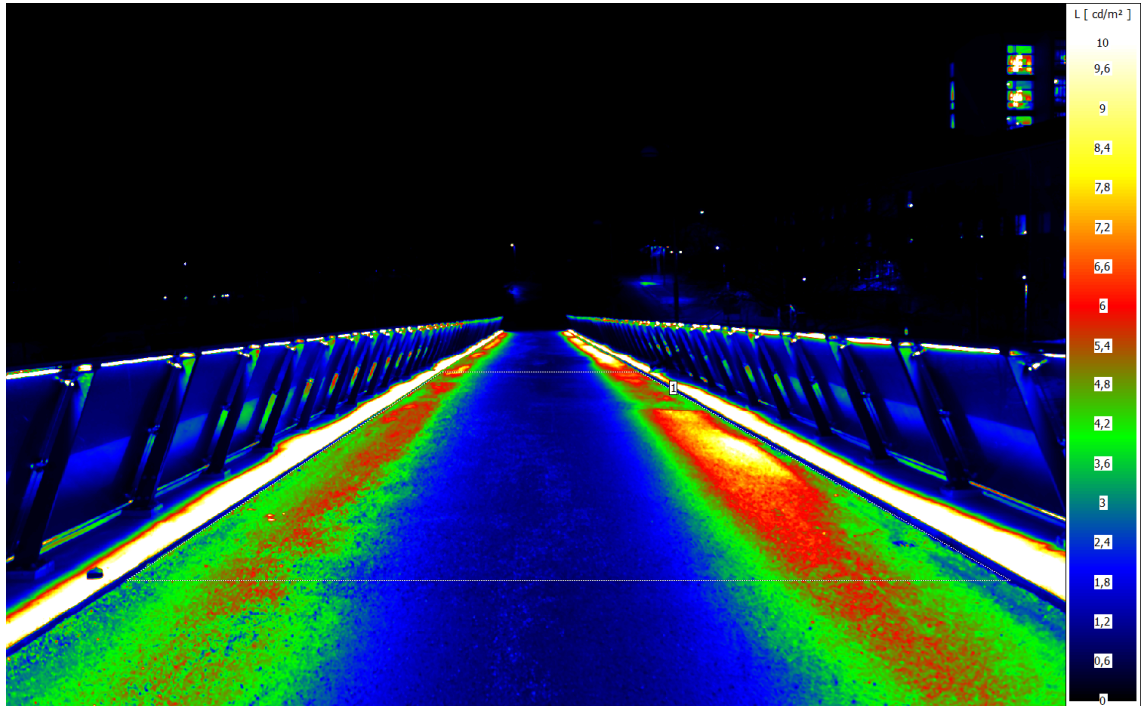
ka = mittauspisteiden keskiarvo ( $\text{cd/m}^2$ )

$U_o$  = yleistasaisuus



Kuva 20. Mittausalueen luminanssiarvot asteikolla 0 - 5  $\text{cd/m}^2$

Luminanssiarvot kaidevalaistuksella. Tienpinta: märkä, suunta: pohjoinen.



Kuva 21. Koekohteen luminanssiarvot asteikolla 0 - 10 cd/m<sup>2</sup>

Taulukko 12. Mittausalueen arvot.

	min	max	U <sub>l</sub>
R01	4,41	6,28	<b>0,702</b>
R02	2,35	2,99	<b>0,786</b>
R03	1,04	1,42	<b>0,730</b>
R04	0,90	1,37	<b>0,655</b>
R05	2,49	4,84	<b>0,514</b>
R06	4,19	9,56	<b>0,439</b>
		min	0,90
		max	9,56
		ka	3,33
		<b>U<sub>o</sub></b>	<b>0,270</b>

R01-R06 = mittauspisteiden pystyrit

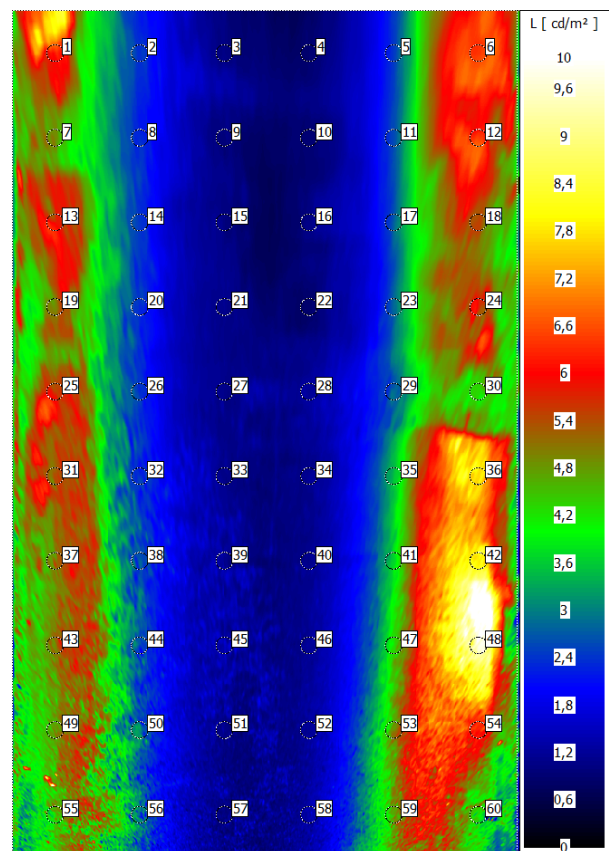
U<sub>l</sub> = pitkittäistasaisuus

min = pienin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

max = suurin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

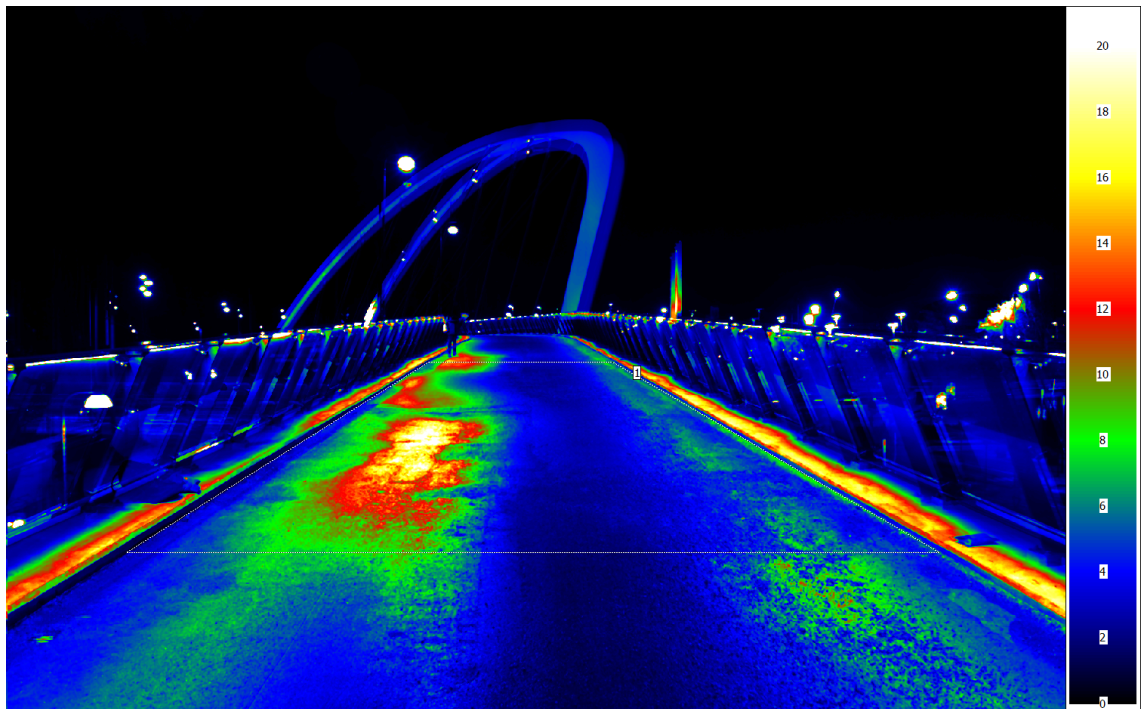
ka = mittauspisteiden keskiarvo (cd/m<sup>2</sup>)

U<sub>o</sub> = yleistasaisuus



Kuva 22. Mittausalueen luminanssiarvot asteikolla 0 - 10 cd/m<sup>2</sup>

Luminanssiarvot pylväs- ja kaidevalaistuksella. Tienpinta: märkä, suunta: etelä.



Kuva 23. Koekohteen luminanssiarvot asteikolla 0 - 20 cd/m<sup>2</sup>

Taulukko 13. Mittausalueen arvot.

	min	max	U <sub>l</sub>
R01	6,14	14,05	<b>0,437</b>
R02	5,56	19,53	<b>0,285</b>
R03	2,98	7,37	<b>0,404</b>
R04	2,12	3,27	<b>0,649</b>
R05	3,14	4,26	<b>0,737</b>
R06	4,80	6,45	<b>0,745</b>
	min	2,12	
	max	19,53	
	ka	6,15	
	<b>U<sub>o</sub></b>	<b>0,345</b>	

R01-R06 = mittauspisteiden pystyrit

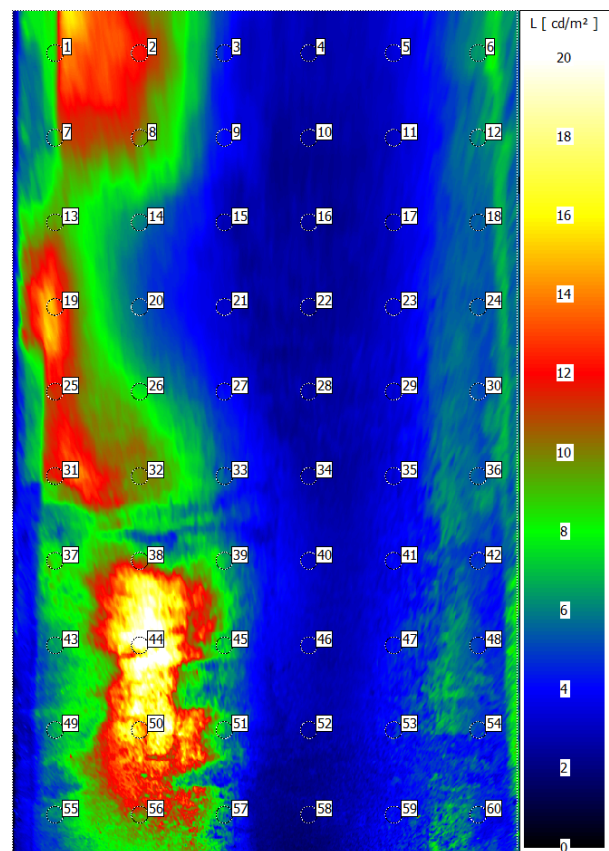
U<sub>l</sub> = pitkittäistasaisuus

min = pienin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

max = suurin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

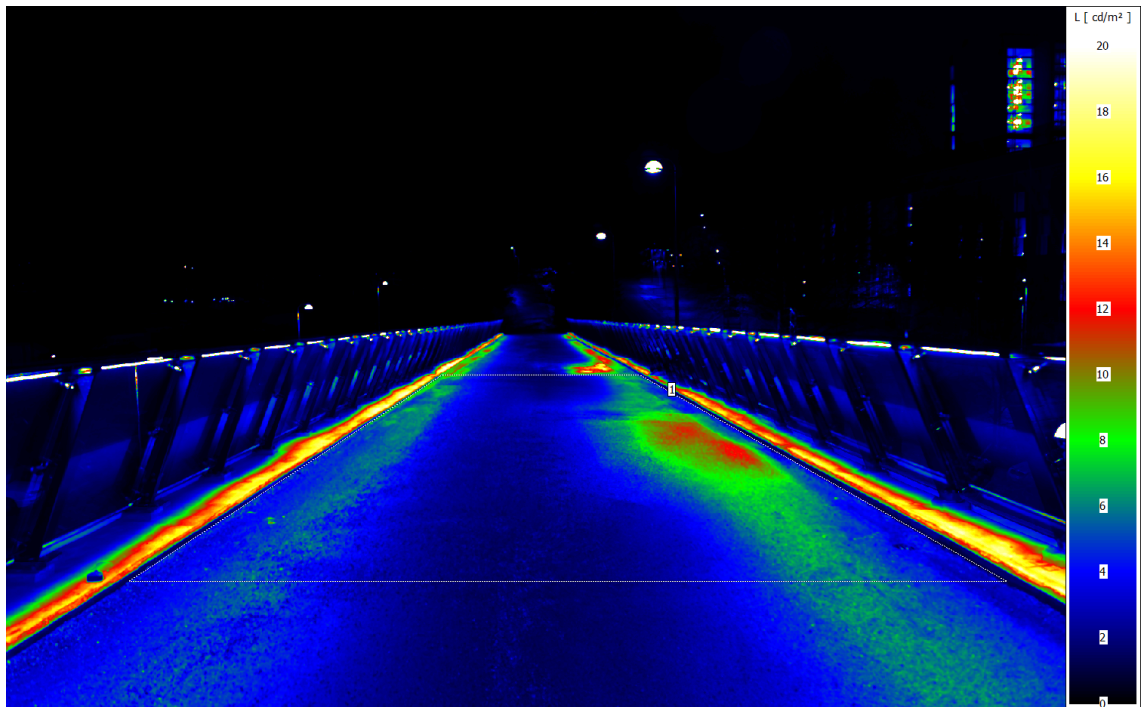
ka = mittauspisteiden keskiarvo (cd/m<sup>2</sup>)

U<sub>o</sub> = yleistasaisuus



Kuva 24. Mittausalueen luminanssiarvot asteikolla 0 - 20 cd/m<sup>2</sup>

Luminanssiarvot pylväs- ja kaidevalaistuksella. Tienpinta: märkä, suunta: pohjoiseen.



Kuva 25. Koekohteen luminanssiarvot asteikolla 0 - 20 cd/m<sup>2</sup>

Taulukko 14. Mittausalueen arvot.

	min	max	U <sub>l</sub>
R01	4,67	6,89	<b>0,679</b>
R02	3,18	3,63	<b>0,876</b>
R03	1,61	3,10	<b>0,521</b>
R04	1,78	4,15	<b>0,428</b>
R05	3,62	9,07	<b>0,399</b>
R06	4,84	11,35	<b>0,427</b>
	min	1,61	
	max	11,35	
	ka	4,59	
	<b>U<sub>o</sub></b>	<b>0,352</b>	

R01-R06 = mittauspisteiden pystyriivit

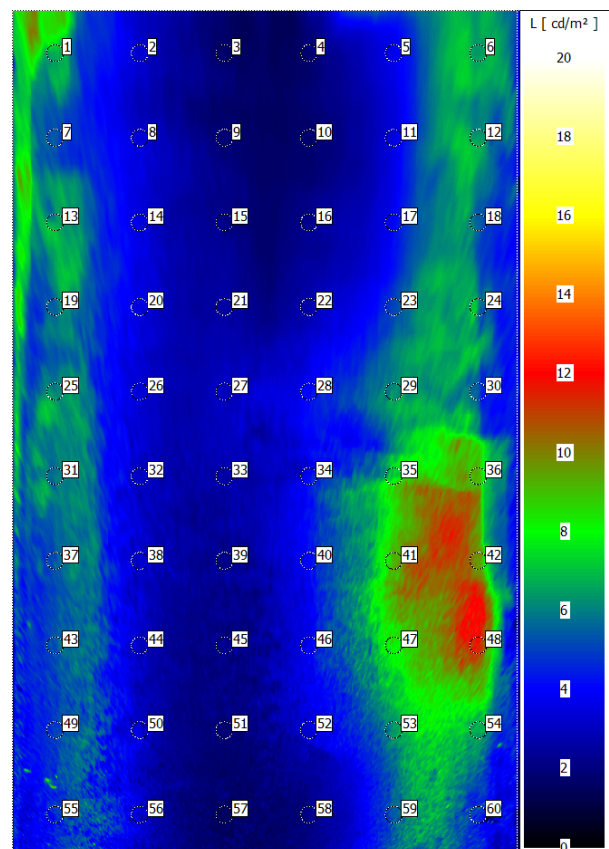
U<sub>l</sub> = pitkittäistasaisuus

min = pienin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

max = suurin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

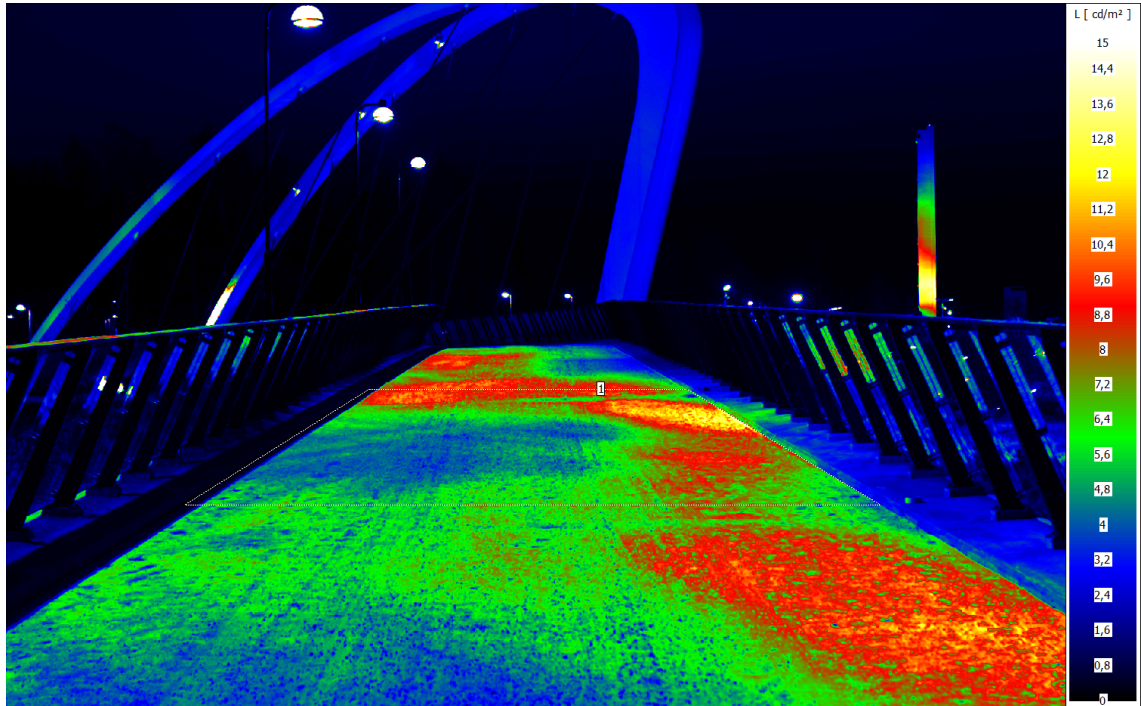
ka = mittauspisteiden keskiarvo (cd/m<sup>2</sup>)

U<sub>o</sub> = yleistasaisuus



Kuva 26. Mittausalueen luminanssiarvot asteikolla 0 - 20 cd/m<sup>2</sup>

Luminanssiarvot pylväsvalaistuksella. Tienpinta: luminen, suunta: etelä.



Kuva 27. Koekohteen luminanssiarvot asteikolla 0 - 15 cd/m<sup>2</sup>

Taulukko 15. Mittausalueen arvot.

	min	max	U <sub>l</sub>
R01	4,03	9,89	<b>0,408</b>
R02	4,13	9,74	<b>0,424</b>
R03	4,36	9,40	<b>0,464</b>
R04	4,37	8,63	<b>0,506</b>
R05	6,46	11,28	<b>0,573</b>
R06	5,99	12,51	<b>0,479</b>
	min	4,03	
	max	12,51	
	ka	6,94	
	<b>U<sub>o</sub></b>	<b>0,581</b>	

R01-R06 = mittauspisteiden pystyivät

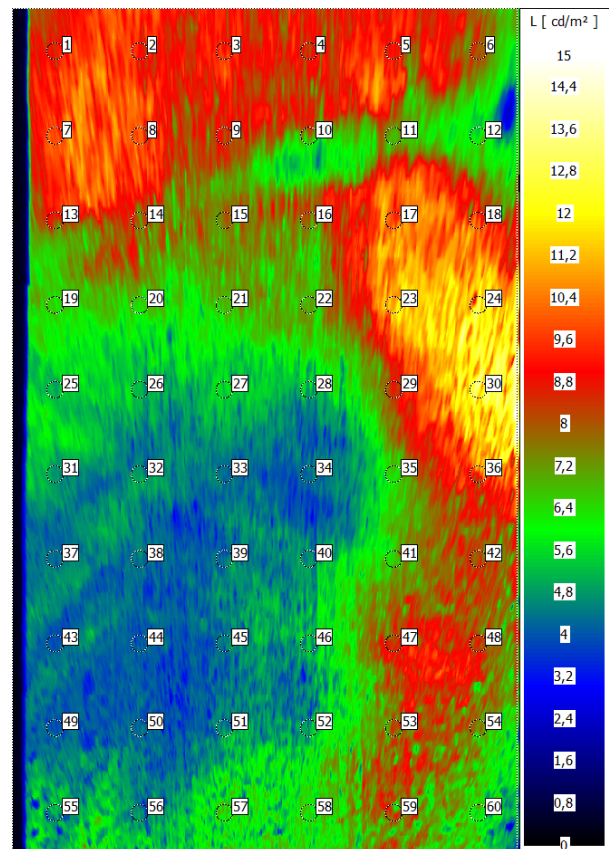
U<sub>l</sub> = pitkittäistasaisuus

min = pienin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

max = suurin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

ka = mittauspisteiden keskiarvo (cd/m<sup>2</sup>)

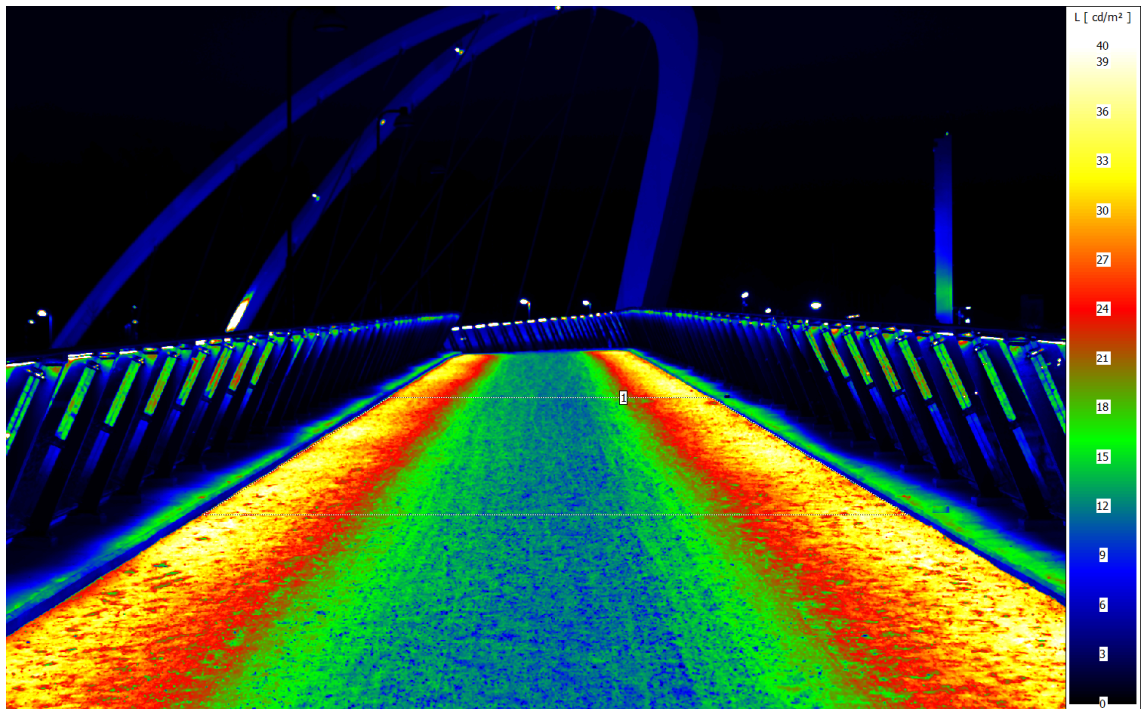
U<sub>o</sub> = yleistasaisuus



Kuva 28. Mittausalueen luminanssiarvot asteikolla 0 - 15 cd/m<sup>2</sup>



Luminanssiarvot kaidevalaistuksella. Tienpinta: luminen, suunta: etelä.



Kuva 29. Koekohteen luminanssiarvot asteikolla 0 - 40 cd/m<sup>2</sup>

Taulukko 16. Mittausalueen arvot.

	min	max	U <sub>l</sub>
R01	30,32	34,40	<b>0,881</b>
R02	16,72	18,26	<b>0,916</b>
R03	12,54	13,41	<b>0,935</b>
R04	11,46	12,78	<b>0,897</b>
R05	19,90	21,93	<b>0,907</b>
R06	31,39	36,89	<b>0,851</b>
	min	11,46	
	max	36,89	
	ka	21,50	
	<b>U<sub>o</sub></b>	<b>0,533</b>	

R01-R06 = mittauspisteiden pystyryvit

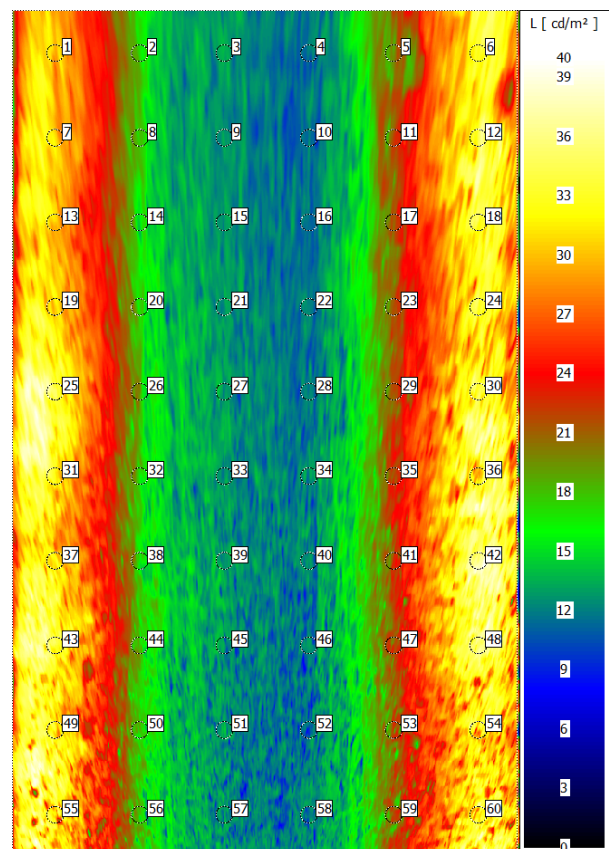
U<sub>l</sub> = pitkittäistasaisuus

min = pienin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

max = suurin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

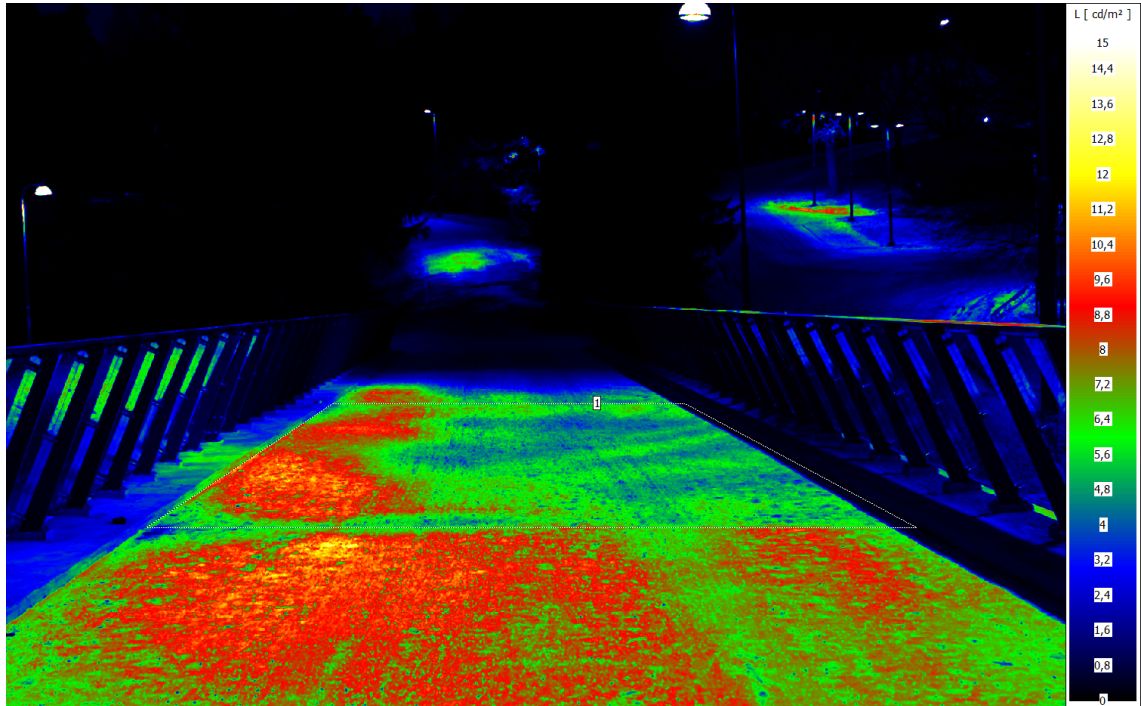
ka = mittauspisteiden keskiarvo (cd/m<sup>2</sup>)

U<sub>o</sub> = yleistasaisuus



Kuva 30. Mittausalueen luminanssiarvot asteikolla 0 - 40 cd/m<sup>2</sup>

Luminanssiarvot pylväsvalaistuksella. Tienpinta: luminen, suunta: pohjoinen.



Kuva 31. Koekohteen luminanssiarvot asteikolla 0 - 15 cd/m<sup>2</sup>

Taulukko 17. Mittausalueen arvot.

	min	max	U <sub>l</sub>
R01	6,17	10,12	<b>0,610</b>
R02	6,16	9,67	<b>0,637</b>
R03	4,50	6,31	<b>0,714</b>
R04	4,30	6,43	<b>0,668</b>
R05	4,32	6,08	<b>0,711</b>
R06	4,37	5,84	<b>0,748</b>
	min	4,30	
	max	10,12	
	ka	6,19	
	<b>U<sub>o</sub></b>	<b>0,694</b>	

R01-R06 = mittauspisteiden pystyrit

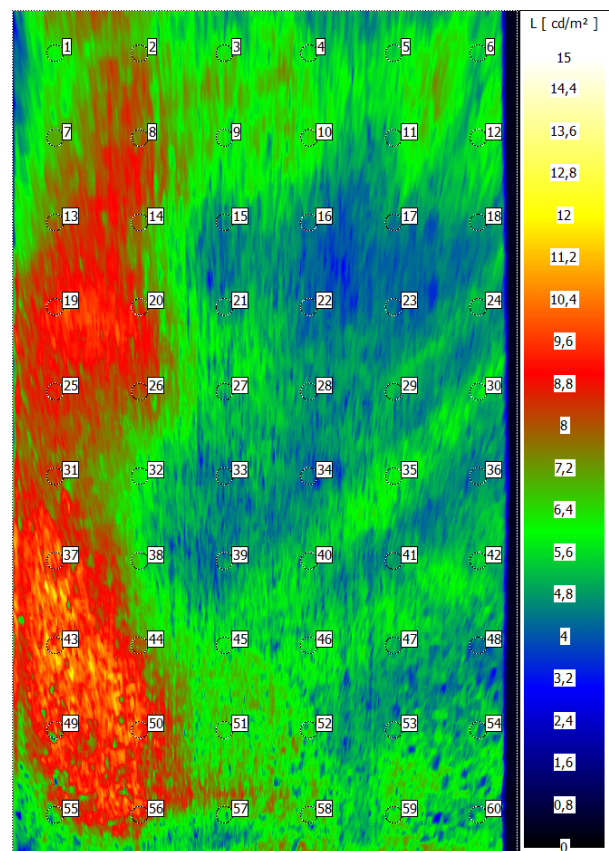
U<sub>l</sub> = pitkittäistasaisuus

min = pienin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

max = suurin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

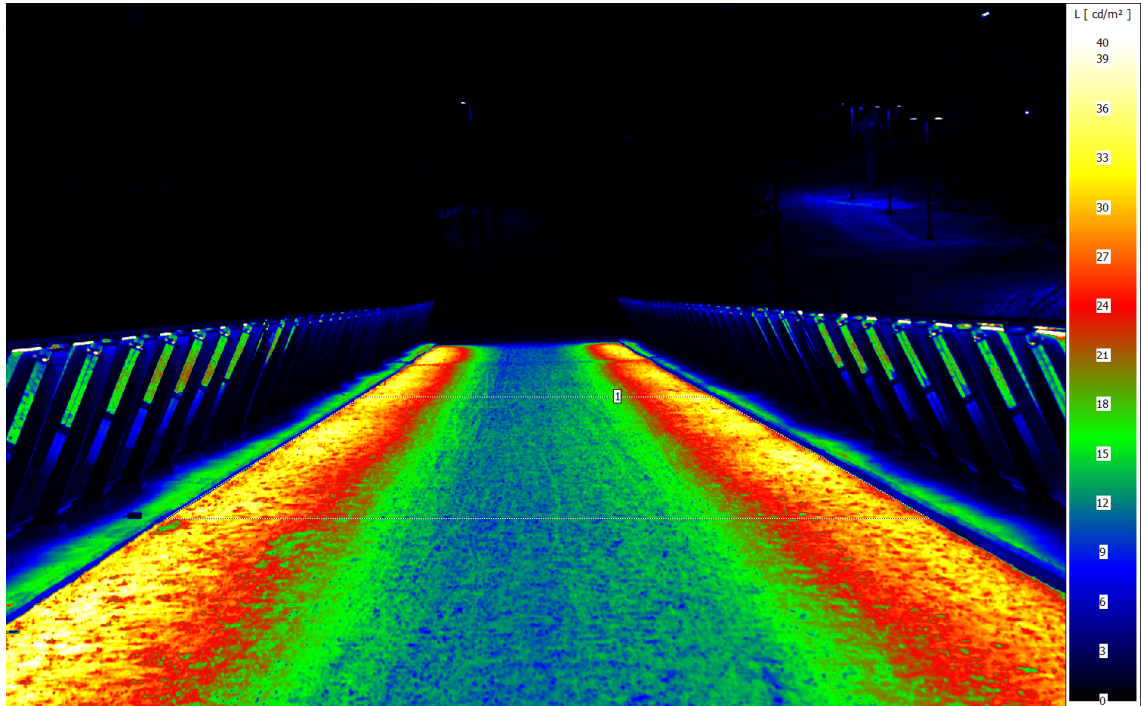
ka = mittauspisteiden keskiarvo (cd/m<sup>2</sup>)

U<sub>o</sub> = yleistasaisuus



Kuva 32. Mittausalueen luminanssiarvot asteikolla 0 - 15 cd/m<sup>2</sup>

Luminanssiarvot kaidevalaistuksella. Tienpinta: luminen, suunta: pohjoinen.



Kuva 33. Koekohteen luminanssiarvot asteikolla 0 - 40 cd/m<sup>2</sup>

Taulukko 18. Mittausalueen arvot.

	min	max	U <sub>l</sub>
R01	29,84	35,32	<b>0,845</b>
R02	17,76	19,36	<b>0,917</b>
R03	11,36	12,25	<b>0,927</b>
R04	12,63	13,62	<b>0,927</b>
R05	19,26	21,01	<b>0,917</b>
R06	29,42	34,88	<b>0,843</b>
	min	11,36	
	max	35,32	
	ka	21,38	
	<b>U<sub>o</sub></b>	<b>0,531</b>	

R01-R06 = mittauspisteiden pystyivät

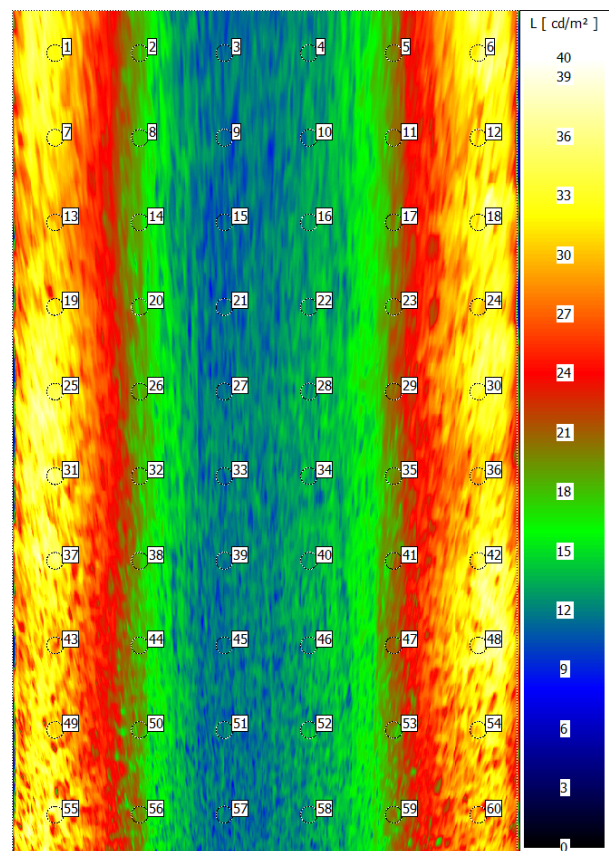
U<sub>l</sub> = pitkittäistasaisuus

min = pienin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

max = suurin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

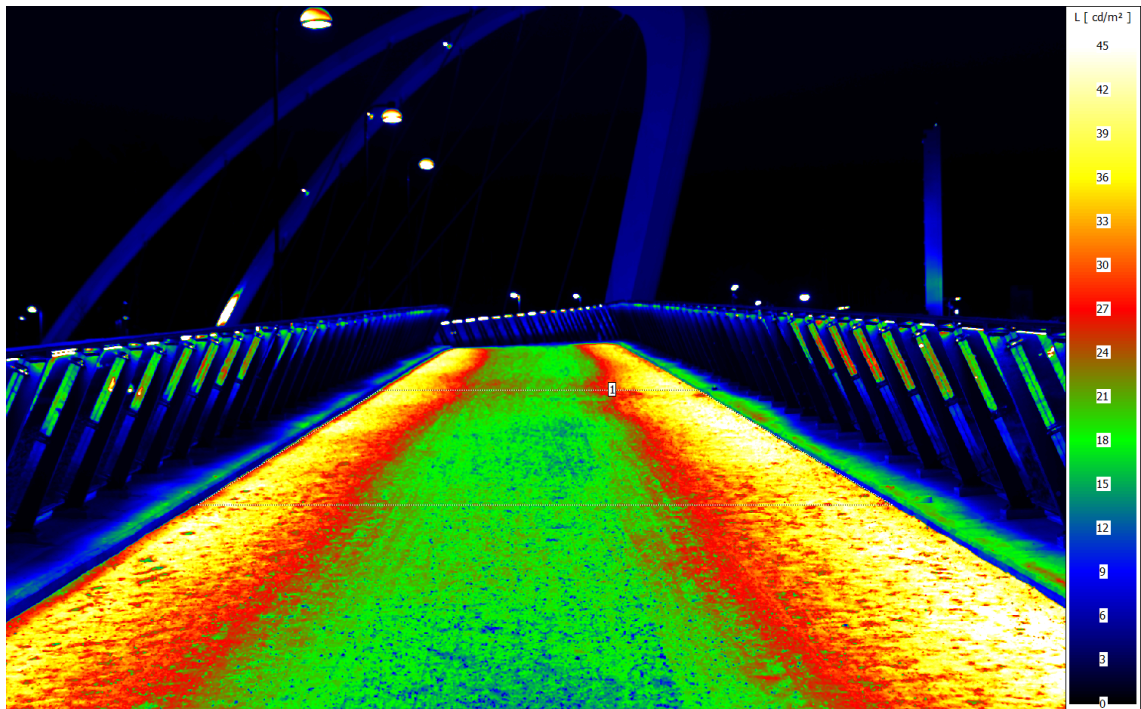
ka = mittauspisteiden keskiarvo (cd/m<sup>2</sup>)

U<sub>o</sub> = yleistasaisuus



Kuva 34. Mittausalueen luminanssiarvot asteikolla 0 - 40 cd/m<sup>2</sup>

Luminanssiarvot pylväs- ja kaidevalaistuksella. Tienpinta: lumininen, suunta: etelä.



Kuva 35. Koekohteen luminanssiarvot asteikolla 0 - 45 cd/m<sup>2</sup>

Taulukko 19. Mittausalueen arvot.

	min	max	U <sub>l</sub>
R01	32,89	39,60	<b>0,831</b>
R02	21,06	27,01	<b>0,780</b>
R03	17,27	23,16	<b>0,746</b>
R04	16,72	20,81	<b>0,803</b>
R05	27,96	31,99	<b>0,874</b>
R06	37,13	45,57	<b>0,815</b>
	min	16,72	
	max	45,57	
	ka	28,05	
	<b>U<sub>o</sub></b>	<b>0,596</b>	

R01-R06 = mittauspisteiden pystyriivit

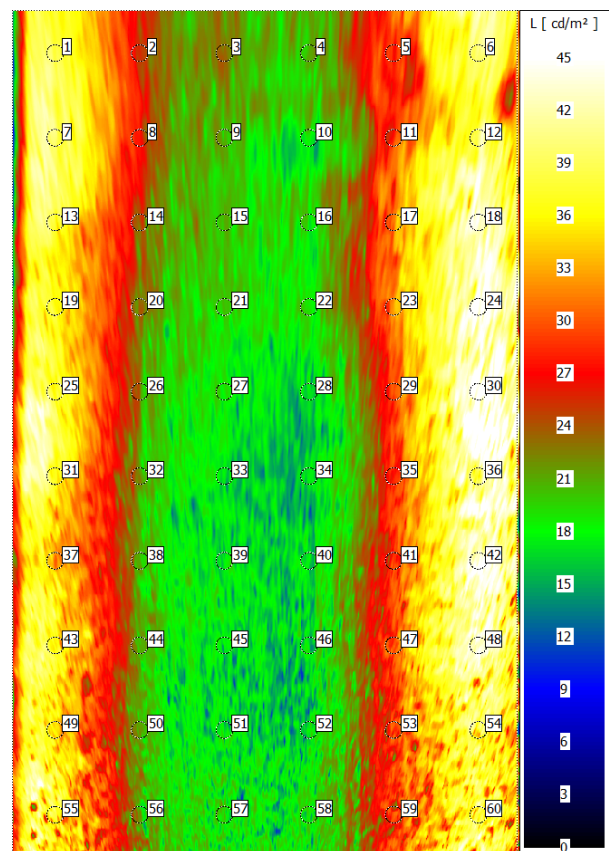
U<sub>l</sub> = pitkittäistasaisuus

min = pienin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

max = suurin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

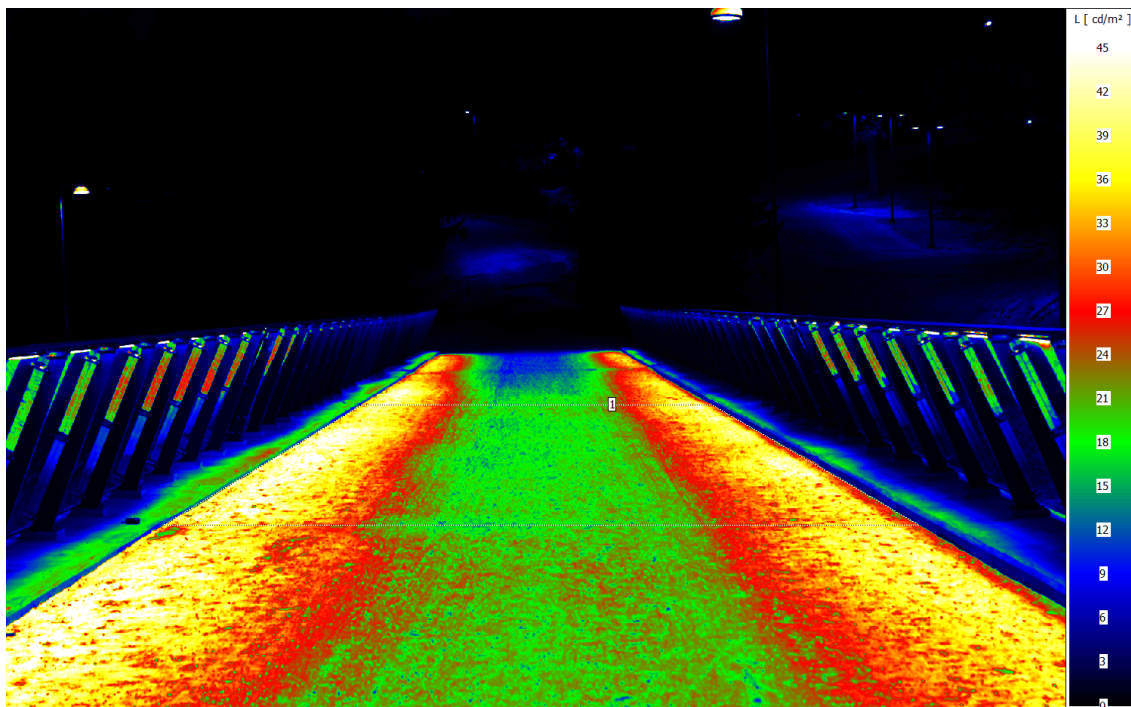
ka = mittauspisteiden keskiarvo (cd/m<sup>2</sup>)

U<sub>o</sub> = yleistasaisuus



Kuva 36. Mittausalueen luminanssiarvot asteikolla 0 - 45 cd/m<sup>2</sup>

Luminanssiarvot pylväs- ja kaidevalaistuksella. Tienpinta: luminen, suunta: pohjoinen.



Kuva 37. Koekohteen luminanssiarvot asteikolla 0 - 45 cd/m<sup>2</sup>

Taulukko 20. Mittausalueen arvot.

	min	max	U <sub>l</sub>
R01	38,97	46,62	<b>0,836</b>
R02	25,52	29,60	<b>0,862</b>
R03	16,34	19,85	<b>0,823</b>
R04	17,70	19,98	<b>0,886</b>
R05	24,12	27,38	<b>0,881</b>
R06	35,23	40,88	<b>0,862</b>
	min	16,34	
	max	46,62	
	ka	28,36	
	<b>U<sub>o</sub></b>	<b>0,576</b>	

R01-R06 = mittauspisteiden pystyrvit

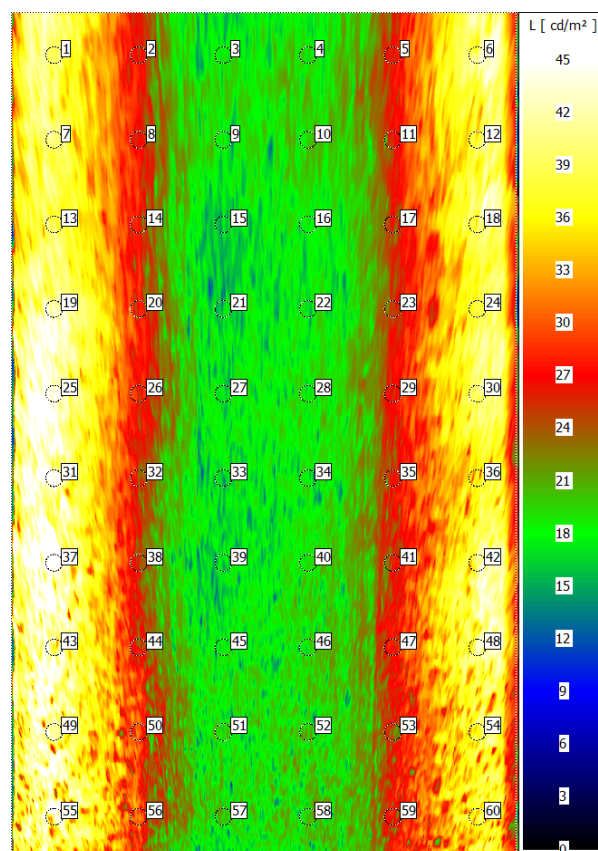
U<sub>l</sub> = pitkittäistasaisuus

min = pienin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

max = suurin mittausarvo (cd/m<sup>2</sup>)

ka = mittauspisteiden keskiarvo (cd/m<sup>2</sup>)

U<sub>o</sub> = yleistasaisuus



Kuva 38. Mittausalueen luminanssiarvot asteikolla 0 - 45 cd/m<sup>2</sup>

## Kaidevalaistuksen käyttömahdollisuudet - Käyttäjäkysely

Auroransilta, Helsinki, 17.12.2013 klo 18

Valitse vaihtoehto ja/tai vastaa kysymykseen

1. Olen...

- mies  
 nainen  
 suorittanut valaistusalan opintoja  
 valaistusalan ammattilainen  
 en ole alan opiskelija tai ammattilainen

2. Olen \_\_\_\_\_-vuotias

3. Minulla on tällä hetkellä silmälasit

- Kyllä  
 Ei

### Valaistus 1: pylväsvalaistus

4. Sillalla vastaantulevien henkilöiden kasvonpiirteiden tunnistus on vaikeaa       helppoa
5. Sillan kulkuväylällä valoa on liian vähän       liian paljon
6. Sillan kulkuväylä on valaistu pituussuunnassa erittäin epätasaisesti       erittäin tasaisesti
7. Sillan kulkuväylä on valaistu leveysuunnassa erittäin epätasaisesti       erittäin tasaisesti
8. Sillan kulkuväylän valaistuksesta syntyy häiritseviä varjoja ei lainkaan       erittäin paljon
9. Sillan kulkuväylän valaistus häikäisee ei lainkaan       erittäin paljon
10. Sillan kulkuväylän valaistuksen värisävy on epämiellyttävä       miellyttävä
11. Sillan kulkuväylän valaistus toistaa ympäristön värit epämiellyttävästi       miellyttävästi
12. Sillan kulkuväylän valaistus toistaa ihon värin epämiellyttävästi       miellyttävästi
13. Sillan kulkuväylän valaistus on tasapainossa ympäristön valaistuksen kanssa todella huonosti       todella hyvin

Käännä

## Valaistus 2: kaidevalaistus

14. Sillalla vastaantulevien henkilöiden kasvonpiirteiden tunnistus on vaikeaa       helppoa
15. Sillan kulkuväylällä valoa on liian vähän       liian paljon
16. Sillan kulkuväylä on valaistu pituussuunnassa erittäin epätasaisesti       erittäin tasaisesti
17. Sillan kulkuväylä on valaistu leveysuunnassa erittäin epätasaisesti       erittäin tasaisesti
18. Sillan kulkuväylän valaistuksesta syntyy häiritseviä varjoja ei lainkaan       erittäin paljon
19. Sillan kulkuväylän valaistus häikäisee ei lainkaan       erittäin paljon
20. Sillan kulkuväylän valaistuksen värisävy on epämiellyttävä       miellyttävä
21. Sillan kulkuväylän valaistus toistaa ympäristön värit epämiellyttävästi       miellyttävästi
22. Sillan kulkuväylän valaistus toistaa ihon värin epämiellyttävästi       miellyttävästi
23. Sillan kulkuväylän valaistus on tasapainossa ympäristön valaistuksen kanssa todella huonosti       todella hyvin

24. Vapaa kommentointi valaistuksista:

---

---

---

---

---

---

---

---