



**TEKNIikka JA LIIKENNE**

**Sähkötekniikka**

**Sähkövoimatekniikka**

**INSINÖÖRITYÖ**

**LÄMPÖTILAKERTOIMEN MÄÄRITYS ULKOVALAISTUSLASKENNASSA**

**Työn tekijä: Olli Oksanen**  
**Työn ohjaajat: Marko Martikainen**  
**Tapio Kallasjoki**

**Työ hyväksytty: \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . 2009**

**Tapio Kallasjoki**  
**lehtori**



## **ALKULAUSE**

Tämä insinööri työ tehtiin Oy OSRAM Ab:n Vantaan yksikölle. Haluan kiittää ensisijaisesti projektissa mukana olleita työni ohjaaja lehtori diplomi-insinööri Tapio Kallasjokea, työni valvoja myyntipäällikkö diplomi-insinööri Marko Martikaista sekä ennen kaikkea isääni, valaistus- ja valaisinsuunnittelija professori Julle Oksasta henkisestä tuesta ja avustuksesta.

Insinööri työni on opiskeluni huipentuma, jota en olisi saanut aikaiseksi ilman perheeni ja ystävieni tukea. Kiitos kuuluu siis myös opettajilleni, perheelleni ja ystäväilleni.

Espoossa 26.04.2009

Olli Oksanen

## TIIVISTELMÄ

<b>Työn tekijä:</b> Olli Oksanen	
<b>Työn nimi:</b> Lämpötilakertoimen määrittäminen ulkovalaistuslaskennassa	
<b>Päivämäärä:</b> 26.4.2009	<b>Sivumäärä:</b> 50 s. + 2 liitettä
<b>Koulutusohjelma:</b> Sähkötekniikka	<b>Suuntautumisvaihtoehto:</b> Sähkövoimatekniikka
Työn ohjaaja: Myyntipäällikkö diplomi-insinööri Marko Martikainen Työn ohjaaja: Lehtori diplomi-insinööri Tapio Kallasjoki	
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Osram Oy:lle Vantaan toimipisteelle. Työssä tutkittiin ulkokäyttöön kehitettyjä yksikanta- ja kaksikantaloistelamppuja ja niiden käyttäytymistä valaisimisessa. Työssä perehdyttiin lämpötilan vaihtelun aiheuttamaan valovirran alenemaan, jota ei usenkaan oteta huomioon suunnittelussa. Tavoitteena oli määrittää mahdollinen lämpötilakerroin valovirran alenemalle kylmissä olosuhteissa, jotta saataisiin suunnitteluvaiheessa mahdollisimman realistinen kuva käytännön valaistustasosta.</p> <p>Pohjatietoina työssä käytettiin lähinnä Osramin tuoteluetteloita sekä Philipsin lampuopasta. Käytännön mittaukset tehtiin ulkokäyttöön kehitetyille yksikantaloistelampulle valaisimen prototyypin käyttäen. Prototyypin materiaali poikkesi tuotantoversion materiaalista. Mittauksien perusteella pystyttiin tutkimaan, miten valaisin vaikuttaa kyseisen yksikantaloistelampun valovirtaan. Tämän jälkeen voitiin mittaustulosten ja valaisinmateriaalien lämmönjohtavuuksien perusteella laskea, miten kyseinen valonlähde käyttäytyisi tuotantoversiossa. Vertailun kannalta mittaukset tehtiin myös vastaavalla yleiskäyttöön tarkoitettulla yksikantaloistelampulla.</p> <p>Laskelmien perusteella voitiin määrittää lämpötilakertoimet tutkittaville loistelampuille valaisimien tuotantoversioita käytettäessä. Tämän jälkeen voitiin tehdä esimerkkilaskelma ja verrata laskettuja arvoja suosituksiin.</p> <p>Ulkokäyttöön kehitettyjen loistelamppujen asema ulkovalaistuksessa tulee vahvistumaan, sillä Euroopan komission asettama energiatehokkuusdirektiivi tulee kieltämään suuren osan ulkokäytön valonlähteistä. Koska ulkokäyttöön kehitettyihin loistelamppuihin aletaan kiinnittämään enemmän huomiota, niin valaisimien suunnittelun ja valaistuslaskennan merkitys korostuvat. Insinöörityöni on viesti valaisinvalmistajille, jonka perusteella pitäisi kiinnittää enemmän huomiota valaisinten lämmönjohtavuuteen. Määritetyt kylmien olosuhteiden lämpötilakertoimet tulisi ottaa huomioon valaistuslaskelmia tehtäessä.</p>	
<b>Avainsanat:</b> Lämpötilakerroin, valaistuslaskenta, valovirta	

## ABSTRACT

**Name:** Olli Oksanen

**Title:** The Determination of Temperature Coefficient

**Date:** 26 April 2009

**Number of pages:** 50+2

**Department:**  
Electrical Engineering

**Study Programme:**  
Power Systems

Supervisor: Marko Martikainen, Sales Manager, M.Sc. (engineering)

Supervisor: Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer, M.Sc. (engineering)

This graduate study was carried out for Osram Oy. The purpose was to examine the behaviour of single and double base fluorescent lamps in different kind of luminaires for outdoor applications. An alteration in temperature affects the lumen package a lamp offers, but this fact is often neglected in the design process of luminaires. The goal of this study was to determine a possible coefficient for freezing temperatures, in other words a temperature coefficient for the decreased lumen package. This coefficient could be used in the design process in order to get as realistic picture from the level of lighting as possible.

This study is based on a desk research method and field study. The information sources used were mainly Osram catalogue and Philips lamp manual. The field study measurements were made for the single base fluorescent lamp by using a prototype of the luminaire. The material of this prototype luminaire differs from its product version. By using these measurement results, the impact of the luminaire on this lamps' lumen package was examined. After this it was possible to calculate, based on the measurement results and heat conducting qualities, how the lamps would behave in a product version of the luminaire. For comparison purposes the same measurements were made by using an equivalent single base fluorescent lamp made for general purposes.

Using these calculations, the temperature coefficients could be determined for the examined fluorescent lamps when using them in the product versions of luminaires. After this, it was possible to make sample lighting calculations and compare these values to the recommended ones.

Fluorescent lamps are probably going to be used increasingly more in outdoor lighting in the future. This is due to the new EuP directive, which prohibits a huge part of the lamp types used in outdoor lighting at the moment. This is going to draw interest towards fluorescent lamps, and therefore the significance of the design and lighting calculations is going to increase. This engineering study sends a message to the producers of luminaries proposing that, when planning luminaries, more attention should be paid to the heat conduction properties of the luminaire material. Similarly, temperature coefficients should be observed in lighting calculations.

**Keywords:** Temperature coefficient, lighting calculation, lumen package



# SISÄLLYS

## ALKULAUSE

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>VALONLÄHTEET ULKOKÄYTTÖÖN</b>	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>Olemassa olevat valonlähteet ulkokäyttöön</b>	<b>2</b>
2.1.1	<i>Monimetallilamppu</i>	2
2.1.2	<i>Suurpainenatriumlamppu</i>	4
2.1.3	<i>Pienpainenatriumlamppu</i>	5
2.1.4	<i>Elohopealamppu/suurpaine-elohopealamppu</i>	5
<b>2.2</b>	<b>Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2005/32/EY</b>	<b>6</b>
2.2.1	<i>Eri vaiheiden vaatimukset</i>	7
2.2.2	<i>Lamppujen valotehokkuusvaatimukset taulukoittain</i>	8
<b>2.3</b>	<b>Markkinoilta poistuvat valonlähteet</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>LOISTELAMPPU ULKOVALAISTUKSEN VALONLÄHTEENÄ</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>Loistelampun toimintaperiaate</b>	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>Osram Dulux L SP -yksikantaloistelamppu</b>	<b>14</b>
<b>3.3</b>	<b>Lumilux T5 HO Constant -kaksikantaloistelamppu</b>	<b>17</b>
3.3.1	<i>Lumilux T5 HO Constant -lamppu ominaisuudet ja valontuotto</i>	17
3.3.2	<i>Osram QT Intelligent –liitäntälaitte</i>	18
3.3.3	<i>Suojakotelo elektroniselle liitäntälaitteelle</i>	19
<b>4</b>	<b>ILMASTO</b>	<b>20</b>
<b>4.1</b>	<b>Lämpötila Suomessa</b>	<b>20</b>
<b>4.2</b>	<b>Kuukausien keskilämpötilat</b>	<b>21</b>
<b>4.3</b>	<b>Auringon lasku- ja nousuajat</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>MITTAUKSET</b>	<b>23</b>
<b>5.1</b>	<b>Taustatietoa mittauksista</b>	<b>23</b>
5.1.1	<i>Plane</i>	24
5.1.2	<i>Dulux L</i>	25
<b>5.2</b>	<b>Graafiset kuvaajat tehdyistä mittauksista</b>	<b>26</b>
5.2.1	<i>Mittaukset pakkasella (-20,5 °C)</i>	26
5.2.2	<i>Mittaukset huoneen lämmössä (+20,5 °C)</i>	27
<b>5.3</b>	<b>Tulosten analysointi</b>	<b>27</b>

5.3.1	<i>Graafinen analysointi</i>	28
5.3.2	<i>Laskennallinen analysointi</i>	32
<b>5.4</b>	<b>Lämpötilakerroin Dulux L ja L SP</b>	<b>39</b>
5.4.1	<i>Lämpötilakerroin Dulux L SP</i>	39
5.4.2	<i>Lämpötilakerroin Dulux L</i>	39
<b>6</b>	<b>LÄMPÖTILAKERROIN LUMILUX T5 HO CONSTANT</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>VALAISTUSLASKENTAESIMERKKI PUISTOON</b>	<b>42</b>
7.1	Tulokset kun ei lämpötilakerrointa	44
7.2	Tulokset kun lämpötila 0 °C ja lämpötilakerroin 0,85	44
7.3	Tulokset kun lämpötila -5 °C ja lämpötilakerroin 0,60	45
7.4	Tulokset kun lämpötila -10 °C ja lämpötilakerroin 0,40	46
<b>8</b>	<b>YHTEENVETO</b>	<b>47</b>
	<b>VIITELUETTELO</b>	<b>49</b>

## 1 JOHDANTO

Yhtenä nykyajan suurimpana ja ajankohtaisena haasteena pidetään kasvi-huonekaasujen ja energian kulutuksen vähentämistä. Euroopan unionissa on asetettu EuP-puitedirektiivi, joka määrittelee energiaa käyttävien tuotteiden suunnittelun ja tuotekehityksen ekologiset vaatimukset. EU:n jäsenvaltioiden tuli saattaa EuP-direktiivi kansalliseen lainsäädäntöön 11.8.2007 mennessä. Vaatimukset koskevat kaikkia EU:n jäsenmaita ilman kansallista lainsäädäntöä. [1.]

Euroopan komissio on antanut 18.3.2009 asetuksen (EY) N:o 245/2009, jonka nojalla hyväksytään Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2005/32/EY täytäntöönpano ja kumotaan direktiivi 2000/55/EY. Asetus antaa rajoituksia mm. loistelampuille ja suurpainepurkauslampuille. Asetuksen seurauksena valonlähteet, joilla ei ole tarpeeksi hyvää valotehokkuutta poistuvat markkinoilta asteittain. Näihin lukeutuvat muun muassa hehkulamput ja elohopealamput. Etenkin ulkovalaistuksen kannalta elohopealamppujen kieltäminen on merkittävä, sillä näitä paljon. Yksinomaan Helsingin kaupungilla on ulkoilalueillaan noin 81 000 valopistettä, joista noin 47 000 on elohopealampuilla toimivia valaisimia. [2; 3.]

Valaistuksen osuus koko energiakäytöstä EU:n alueella on noin 19 %, joka vastaa energiakulutukselta noin 1 650 TWh. Tämä tuottaa 1 900 miljoonaa tonnia hiilidioksidipäästöjä. Korvaamalla vanhat valonlähteet uusilla olemassa olevilla valonlähteillä voidaan energiatehokkuutta parantaa 30 %. Tätäkin parempaan tulokseen päästään oikeanlaisella valaistussuunnittelulla ja valaistuksen säädöllä. [4.]

Työn tarkoituksena on tutkia ulkokäyttöön kehitettyjen loistelamppujen sopivuutta ulkovalaistuskäyttöön. Loistelampputekniikalla saavutetaan suuri hyötysuhde, mikä parantaa energiatehokkuutta. Loistelamppujen pitkä elinikä puolestaan vähentää huollon tarvetta ja täten vähentää huoltokustannuksia. Loistelampun valontuotto on riippuvainen lämpötilasta, eikä tätä useinkaan huomioida valaistussuunnittelussa. Tämän huomioiminen olisi kuitenkin oleellista alueilla, joissa ei valaistuksen kannalta olla optimaalisessa ilmastossa, joka olisi +25 astetta. Tutkimukseni ydin on määrittellä suunnittelussa käytettävä mahdollinen lämpötilakerroin loistelampuille.

## 2 VALONLÄHTEET ULKOKÄYTTÖÖN

Tässä luvussa tarkastellaan purkauslamppuja ulkokäytössä ja purkauslamp-puihin kohdistuvia säädöksiä.

### 2.1 Olemassa olevat valonlähteet ulkokäyttöön

Purkauslamput ovat energiatehokkaita valonlähteitä, joiden elinikä on pitkä, yleensä yli 10 000 tuntia. Toimiakseen purkauslamput vaativat niille suunnitellut liitäntälaitteet. Useat lampputyypit vaativat lisäksi erillisen sytytinlaitteen. Lähes kaikki purkauslamput sisältävät ympäristölle haitallisia aineita, joita ovat elohopea, natrium, antimonia ja lyijy. Tästä huolimatta on laskettu, että ne ovat erittäin energiatehokkaina ympäristön kannalta paras vaihtoehto. [5, s. 158.]

Purkauslamppujen suuri valontuotto perustuu lampun sisällä palavaan pieneen valokaareen, joka mahdollistaa lampun pienen fyysisen koon. Valokaari palaa kahden elektrodin välillä, joka saa purkausputkessa olevat täytösaineet hehkumaan ja säteilemään valoa. Valoa tuottavan alueen koko on halkaisijaltaan noin 2,5 cm. Tämän takia valon suuntaaminen valaisimessa on tehokasta. [6, kpl. 5, s. 2.]

Suurpaineiset purkauslamput soveltuvat erityisesti ratkaisuihin, joissa tarvitaan pienikokoisia, pitkäikäisiä ja korkean valontuoton omaavia lamppuja. Purkauslamppuja löytyy sekä ulko- että sisäkäyttöön. Lamput voidaan jakaa omiin pääryhmiin: monimetallilamput, suurpainenatriumlamput ja elohopealamput. Lisäksi joissain ulkovalaistuskohteissa, joissa ei ole erityisiä vaatimuksia värinoston suhteen, käytetään pienpainenatriumlamppuja. [5, s. 158 - 159.]

#### 2.1.1 Monimetallilamppu

Monimetallilamppujen valontuotto perustuu valokaareen, joka palaa metalli- ja halogeeniyhdisteiden höyryssä. Valokaaren pienen koon ansiosta valoa voidaan suunnata valaisimen heijastimen avulla tarkasti. Monimetallilamppujen purkausputkia valmistetaan kahdenlaisesta materiaalista: kvartsilasista ja keraamisesta materiaalista. Keraaminen materiaali sallii suuremman kuormituksen, jonka tuloksena on suurempi valovirta, parempi värinosto ja värisävyjen pysyvyys. Keraamisesta materiaalista tehdyt lamput ovat myös hy-

vin stabiileja, eikä yksittäisten lamppujen välillä ole värieroja. Valon värisävy ei muutu eliniän aikana kuten kvartsilasisilla purkausputkilla. Pyöreä purkausputken rakenne edesauttaa parempaan valontuottoon, värintoistoon sekä värisävyjen pysyvyyteen. [6, kpl. 5, s. 2.]



*Kuva 1. HCL-TT 70W/830 WDL PB E27 FS1 OSRAM*

Kuvassa 1 on esimerkkinä keraaminen kierrekantainen monimetallilamppu (kanta E27). Kyseinen lampun nimellinen teho on 70 W ja sen valovirta on 7 000 lm. Lampun valotehokkuus on 97 lm/W. Valotehokkuus poikkeaa valovirran ja nimellisen tehon suorasta suhteesta, koska valotehokkuus mitataan rakenteellisen tehon suhteessa, joka on 72 W. Väriämpötila on 3 000 K, värintoistoindeksi on 86 ja keskimääräinen elinikä noin 15 000 h. Lamppu on kehitetty korvaamaan vastaavan tehoiset suurpainenatriumlamput, jotka toimivat samoilla sytytinlaitteilla ja kuristimilla. Käyttökohteita ovat julkisivu-, teollisuus-, katu- ja puistovalaistus. [6, kpl. 5, s. 15.]



*Kuva 2. Monimetallilampuilla valaistuja kohteita*

### 2.1.2 Suurpainenatriumlamppu

Suurpainenatriumlamppujen valontuotto perustuu natriumhöyryssä tapahtuvaan kaasupurkaukseen. Suurpainenatriumlamput antavat kellertävää valoa. Näillä lamput voidaan saavuttaa jopa 150 lm/W valotehokkuus, mutta yleisimmin 70 - 130 lm/W. Tärkeimpiä ominaisuuksia ovat korkea valotehokkuus ja pitkä elinikä; normaalissa katuvalaistuksessa jopa 4 vuotta. [6, kpl. 5, s. 3.]



*Kuva 3. NAV-E 70W/E 4Y E27 RWL1 OSRAM*

Kuvassa 3 on esimerkkinä kierrekantainen suurpainenatriumlamppu (kanta E27). Kyseinen lamppu on teholtaan 70 W ja tuottaa 5 600 lm valoa. Tällöin valotehokkuus on 80 lm/W. Värilämpötila on 2 000 K, värintoistoindeksi  $\leq 25$  ja keskimääräinen elinikä noin 28 000 h. Lampulla on noin 25 % pitempi polttoikä kuin tavallisilla NAV-suurpainenatriumlampuilla. Käyttökohteina ovat katuvalaistus ja raskas teollisuus. [6, kpl. 5, s. 20.]



*Kuva 4. Suurpainenatriumlampuilla valaistu kohde*

### 2.1.3 Pienpainenatriumlamppu

Pienpainenatriumlamppu on vanhin natriumlamppu. Se antaa keltaista valoa ja sen värintoistokyky on erittäin huono. Sitä vastoin sen valotehokkuus on suuri, jopa 180 lm/W. Pienpainenatriumlamppua on käytetty lähinnä tievalaistukseen, mutta sen on korvannut suurpainenatriumlamppu. [5, s. 159.]



Kuva 5. SOX-E 66W BY22D FLH1 OSRAM

Kuva 5 esittää BY22d-kantaista pienpainenatriumlamppua. Kyseinen lamppu on teholtaan 66 W ja tuottaa 10 700 lm valoa. Tällöin valotehokkuus on 162 lm/W. Keskimääräinen elinikä noin 16 000 h. Näiden lamppujen värinointo on niin huono, ettei valaistuksessa kyetä erottamaan värejä lainkaan. Käyttökohteita ovat moottoriteiden, tunneleiden ja pysäköintitalojen valaistus. [6, kpl. 5, s. 24.]



Kuva 6. Pienpainenatriumlampuilla valaistu kohde

### 2.1.4 Elohopealamppu/suurpaine-elohopealamppu

Elohopealamppujen toiminta perustuu purkauskaareen, joka palaa elohopeahöyryssä. Tästä syntyy näkyvää valoa ja UV-säteilyä. UV-säteily muute-

taan kuvun sisäpinnalla olevan loisteaineen avulla näkyväksi valoksi, jolloin säteilyn spektri laajenee punaisiin aallonpituuksiin. Elohopealamput antavat hieman sinertävän valonvärin. Elohopealamppuja käytetään lähinnä tie-, katu- ja puistovalaisuksessa. Näitä voidaan käyttää myös tehdashallien valaistukseen. Lamppujen keskimääräinen elinikä on pitkä, mutta aikaa myöten valontuotto huononee samoin kuin värinointokyky. [6, kpl. 5, s. 3.]



*Kuva 7. HQL 80W 4Y E27 RWL1 OSRAM*

Kuva 7 esittää E27 –kantaista elohopealamppua. Kyseinen lamppu on tehoaan 80 W ja tuottaa 4 000 lm valoa. Tällöin valotehokkuus on 50 lm/W. Väriämpötila on 3 400 K, värinointindeksi 60 ja keskimääräinen elinikä on noin 25 000 h. Lamppu on yleiskäyttöinen perusmalli, joka on kehitetty katu- ja sisävalaistukseen. [6, kpl. 5, s. 25.]

## **2.2 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2005/32/EY**

Direktiivin 2005/32/EY [7] nojalla komissio asettaa ekologista suunnittelua koskevia vaatimuksia eli ekosuunnitteluvaatimuksia energiaa käyttäville tuotteille, jotka edustavat merkittävää myyntivolyymiä, kauppaa ja aiheuttavat merkittävän ympäristövaikutuksen, joihin liittyy merkittäviä mahdollisuuksia ympäristövaikutusten parantamiseen ilman, että siitä aiheutuu kohtuuttomia kustannuksia. [7, s. 2.]

Ekosuunnitteluvaatimukset lamppujen tehokkuuksille jaetaan kolmeen eri vaiheeseen, joista ensimmäinen vaihe astuu voimaan vuoden kuluttua asetuksen voimaantulosta. Tämä koskee vain loistelamppuja. Toinen vaihe astuu voimaan kolmen vuoden kuluttua asetuksen voimaantulosta, joka koskee kaksikantaloistelamppuja ja suurpaineipurkauslamppuja. Kolmas vaihe astuu voimaan kahdeksan vuoden kuluttua tämän asetuksen voimaantulosta ja se koskee loistelamppuja ilman sisäistä virranrajoitinta ja monimetallilamppuja. [7, s. 15, 20, 22.]



Vaikka ensimmäinen vaihe ei täysin koske ulkovalaistusta, on rajoitukset silti syytä ottaa esille. Loistelampuilla toteutettua valaistusta tullaan todennäköisesti lisäämään lähinnä kevyen liikenteen väylillä ja puistoissa.

### 2.2.1 Eri vaiheiden vaatimukset

Tässä kappaleessa perehdytään eri vaiheisiin liittyviin vaatimuksiin.

#### *Ensimmäisen vaiheen vaatimukset*

Kaksikantaisilla loistelampuilla, joiden läpimitta on 16 mm ja 26 mm on oltava vähintään taulukossa 1 määritetyt valotehokkuuden mitoitusarvot 25 °C:ssa. Jos nimellisteho poikkeaa taulukossa 1 mainituista, lampujen valotehokkuuden on vastattava lähimpää tehon arvoa. Jos nimellisteho on yhtä kaukana kahdesta lähimmästä taulukossa annetusta tehoarvosta, lampun valotehokkuuden on vastattava korkeampaa arvoa. Jos nimellisteho on korkeampi kuin korkein taulukossa annettu arvo, lampun valotehokkuuden on vastattava korkeinta arvoa. [7, s. 15.]

Yksikantaisilla loistelampuilla on oltava taulukoissa 2 - 5 olevat valotehokkuuden mitoitusarvot 25 °C:ssa. Jos nimellisteho tai lampun muoto poikkeaa taulukoissa 2 - 5 mainituista, lampun valotehokkuuden on vastattava lähimpää tehon arvoa ja lähinnä vastaavaa muotoa. Jos nimellisteho on yhtä kaukana kahdesta lähimmästä taulukossa annetusta tehoarvosta, lampun valotehokkuuden on vastattava korkeampaa arvoa. Jos nimellisteho on korkeampi kuin korkein taulukossa annettu arvo, lampun valotehokkuuden on vastattava korkeinta arvoa. [7, s. 16.]

Mikäli valonlähteet eivät vastaa vaatimuksia, joudutaan direktiiveihin tekemään korjaus tai valonlähteitä täytyy parantaa.

#### *Toisen vaiheen vaatimukset*

Kolmen vuoden kuluttua tämän asetuksen voimaantulosta seuraavia tehokkuusvaatimuksia sovelletaan suurpainepurkauslamppuihin. [7, s. 20.]

Suurpainepurkauslamppujen, joissa  $T_c \geq 5000$  K tai joissa on ulkovaippa, on täytettävä taulukoissa 7, 8 ja 9 määritellyt sovellettavat lampun tehokkuusvaatimukset vähintään 90-prosenttisesti. [7, s. 20.]

Suurpainenatriumlamput, joissa  $R_a \leq 60$ , on oltava vähintään taulukossa 7 esitetyt valotehokkuuden mitoitusarvot. Suurpainenatriumlampuilla, joissa  $R_a > 60$ , on oltava vähintään taulukossa 8 esitetyt valotehokkuuden mitoitusarvot. [7, s. 20 - 21.]

Monimetallilamput, joissa  $R_a \leq 80$ , on oltava vähintään taulukossa 8 esitetyt valotehokkuuden mitoitusarvot. [7, s. 21.]

#### *Kolmannen vaiheen vaatimukset*

Monimetallilampuilla on oltava vähintään taulukossa 10 esitetyt valotehokkuuden mitoitusarvot. [7, s. 22.]

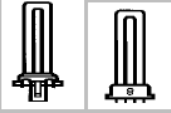
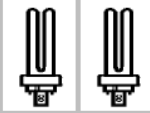
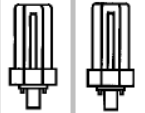
### 2.2.2 Lamppujen valotehokkuusvaatimukset taulukoittain

*Taulukko 1. Kaksikantaloistelamppujen mitoitusarvoja*

T8 (26 mm Ø)		T5 (16 mm Ø) Korkea hyötysuhde		T5 (16 mm Ø) Korkea teho	
Nimellisteho (W)	Valotehokkuuden mitoitusarvo (lm/W), 100 h:n alkuarvo	Nimellisteho (W)	Valotehokkuuden mitoitusarvo (lm/W), 100 h:n alkuarvo	Nimellisteho (W)	Valotehokkuuden mitoitusarvo (lm/W), 100 h:n alkuarvo
15	63	14	86	24	73
18	75	21	90	39	79
25	76	28	93	49	88
30	80	35	94	54	82
36	93			80	77
38	87				
58	90				
70	89				


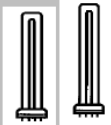
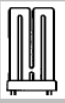
Yllä on T8- ja T5-kaksikantaloistelamppujen vähimmäistehokkuuden mitoitusarvot. [7, s. 16.]

Taulukko 2. Yksikantaloistelamppujen mitoitusarvoja

Pieni U-putki, kanta G23 (2 nastaa) tai 2G7 (4 nastaa)		Kaksi rinnakkaista putkea, kanta G24d (2 nastaa) tai G24q (4 nastaa)		Kolme rinnakkaista putkea, kanta GX24d (2 nastaa) tai GX24q (4 nastaa)	
					
Nimellisteho (W)	Valo- tehokkuuden mitoitussarvo (lm/W), 100 h:n alkuarvo	Nimellisteho (W)	Valo- tehokkuuden mitoitussarvo (lm/W), 100 h:n alkuarvo	Nimellisteho (W)	Valo- tehokkuuden mitoitussarvo (lm/W), 100 h:n alkuarvo
5	50	10	60	13	69
7	57	13	69	18	67
9	67	18	67	26	66
11	82	26	66	32	75
				42	76
				57	75
				70	74



Taulukossa 2 on sähkömagneettisen tai elektronisen virranrajoittimen kanssa käytettävien yksikantaloistelamppujen vähimmäistehokkuuden mitoitusarvot. [7, s. 17.]

Taulukko 3. Yksikantaloistelamppujen mitoitusarvoja

Neljä rinnakkaista putkea, kanta GX24q (4 nastaa)		Pitkä U-putki, kanta 2G11 (4 nastaa)		4 sauvaa yhdessä tasossa, kanta 2G10 (4 nastaa)	
					
Nimellisteho (W)	Valo- tehokkuuden mitoitussarvo (lm/W), 100 h:n alkuarvo	Nimellisteho (W)	Valo- tehokkuuden mitoitussarvo (lm/W), 100 h:n alkuarvo	Nimellisteho (W)	Valotehokkuuden mitoitussarvo (lm/W), 100 h:n alkuarvo
57	75	18	61	18	67
70	74	24	71	24	75
		36	78	34	82
				36	81
				40	83
				55	82
				80	75

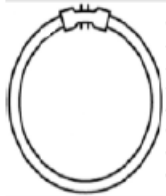
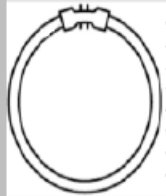
Taulukossa 3 on elektronisen virranrajoittimen kanssa käytettävien yksikan-  
taisten loistelamppujen vähimmäistehokkuuden mitoitusarvot. [7, s. 18.]

Taulukko 4. Nelikulmaisten tai yksikantaloistelamppujen mitoitusarvoja

Neliönmuotoinen putki yhdessä tasossa, kanta GR8 (2 nastaa), GR10q (4 nastaa) tai GRY10q3 (4 nastaa)		Neljä tai kolme rinnakkaista T5-putkea, kanta 2G8 (4 nastaa)	
			
Nimellisteho (W)	Valotehokkuuden mitoitusarvo (lm/W), 100 h:n alkuarvo	Nimellisteho (W)	Valotehokkuuden mitoitussarvo (lm/W), 100 h:n alkuarvo
10	65	60	67
16	66	82	75
21	64	85	71
28	73	120	75
38	71		
55	71		

Taulukossa 4 on nelikulmaisten tai suuritehoisten yksikantaloistelamppujen  
vähimmäistehokkuuden mitoitusarvot. [7, s. 19.]

Taulukko 5. Ympyrämuotoisten loistelamppujen mitoitusarvoja

Ympyrämuotoinen T9-putki, putken läpimitta 29 mm, kanta G10q		Ympyrämuotoinen T5-putki, putken läpimitta 16 mm, kanta 2GX13	
			
Nimellisteho (W)	Valotehokkuuden mitoitussarvo (lm/W), 100 h:n alkuarvo	Nimellisteho (W)	Valotehokkuuden mitoitussarvo (lm/W), 100 h:n alkuarvo
22	52	22	77
32	64	40	78
40	70	55	75
60	60	60	80

Taulukossa 5 on ympyrämuotoisten T9- ja T5-lamppujen vähimmäistehokkuuden mitoitusarvot. [7, s. 19.]

Sekä yksi- että kaksikaintaisiin loistelamppuihin on sovellettavat korjaukset, joissa valotehokkuus 25 °C:ssa voi olla edellisissä taulukoissa vaadittuja arvoja matalampi taulukossa 6 esitetyissä tapauksissa. [7, s. 20.]

*Taulukko 6. Vähennysprosentit vähimmäistehokkuuden mitoitusarvosta loistelamppuille, joilla on korkea väriämpötila, korkea värintoisto ja/tai ulkovaippa [7, s. 20]*

Lampun parametri	Vähennys valotehokkuudesta 25 °C:ssa
$T_c \geq 5000K$	- 10%
$95 > Ra > 90$	- 20%
$Ra > 95$	- 30%
Ulkovaippa	- 10%

Taulukossa 6 vähennykset ovat kumulatiivisia. Jos yksi- tai kaksikantaisten loistelamppujen optimilämpötila ei ole 25 °C, niiden on silti täytettävä optimilämpötilassaan edellisten taulukkojen mukaiset valotehokkuusvaatimukset. [7, s. 20.]

*Taulukko 7. Suurpainenatriumlamppujen vähimmäistehokkuuden mitoitusarvot [7, s. 21]*

Lampun nimellisteho [W]	Lampun tehokkuuden mitoitusarvo [lm/W] – Kirkkaat lamput	Lampun tehokkuuden mitoitusarvo [lm/W] – Muut kuin kirkkaat lamput
$W \leq 45$	$\geq 60$	$\geq 60$
$45 < W \leq 55$	$\geq 80$	$\geq 70$
$55 < W \leq 75$	$\geq 90$	$\geq 80$
$75 < W \leq 105$	$\geq 100$	$\geq 95$
$105 < W \leq 155$	$\geq 110$	$\geq 105$
$155 < W \leq 255$	$\geq 125$	$\geq 115$
$255 < W \leq 605$	$\geq 135$	$\geq 130$

Taulukossa 7 esitettyjä vaatimuksia sovelletaan jälkiasennettaviin suurpainenatriumlamppuihin, jotka on tarkoitettu käytettäviksi suurpainelohopealamppujen ohjauslaitteistossa, vasta kuusi vuotta tämän asetuksen voimaantulon jälkeen. [7, s. 21.]

Taulukko 8. Monimetallilamppujen vähimmäistehokkuuden mitoitusarvot [7, s. 21]

Lampun nimellisteho [W]	Lampun tehokkuuden mitoitusarvo [lm/W] – Kirkkaat lamput	Lampun tehokkuuden mitoitusarvo [lm/W] – Muut kuin kirkkaat lamput
$W \leq 55$	$\geq 60$	$\geq 60$
$55 < W \leq 75$	$\geq 75$	$\geq 70$
$75 < W \leq 105$	$\geq 80$	$\geq 75$
$105 < W \leq 155$	$\geq 80$	$\geq 75$
$155 < W \leq 255$	$\geq 80$	$\geq 75$
$255 < W \leq 405$	$\geq 85$	$\geq 75$

Kuuden vuoden kuluttua tämän asetuksen voimaantulosta muilla suurpainepurkauslamppuilla on oltava vähintään taulukossa 9 esitetyt valotehokkuuden mitoitusarvot. [4, s. 21.] Suurpainepurkauslamppuihin luetaan myös elohopealamppu, josta direktiivissä käytetään nimeä suurpainelohopealamppu.

Taulukko 9. Muiden suurpainepurkauslamppujen vähimmäistehokkuuden mitoitusarvot [7, s. 22]

Lampun nimellisteho [W]	Lampun tehokkuuden mitoitusarvo [lm/W]
$W \leq 40$	50
$40 < W \leq 50$	55
$50 < W \leq 70$	65
$70 < W \leq 125$	70
$125 < W$	75

Taulukko 10. Monimetallilamppujen vähimmäistehokkuuden mitoitusarvot (3.vaihe) [7, s. 22]

Lampun nimellisteho [W]	Lampun tehokkuuden mitoitusarvo [lm/W] – Kirkkaat lamput	Lampun tehokkuuden mitoitusarvo [lm/W] – Muut kuin kirkkaat lamput
$W \leq 55$	$\geq 70$	$\geq 65$
$55 < W \leq 75$	$\geq 80$	$\geq 75$
$75 < W \leq 105$	$\geq 85$	$\geq 80$
$105 < W \leq 155$	$\geq 85$	$\geq 80$
$155 < W \leq 255$	$\geq 85$	$\geq 80$
$255 < W \leq 405$	$\geq 90$	$\geq 85$

Lamppujen, joissa  $T_c \geq 5000$  K tai joissa on ulkovaippa, on täytettävä sovellettavat tehokkuusvaatimukset vähintään 90-prosenttisesti. [4, s. 22.]

### 2.3 Markkinoilta poistuvat valonlähteet

Elohopealamput ja elohopealamppujen tilalle suoraan asennettavat suurpainenatriumlamput poistuvat kokonaan. Suurpainenatriumlamput, joista valotehokkuudeltaa huonoimmat mallit poistuvat. Monimetallilamput ja loistelamput jäävät suurimmaksi osaksi edelleen käyttöön.

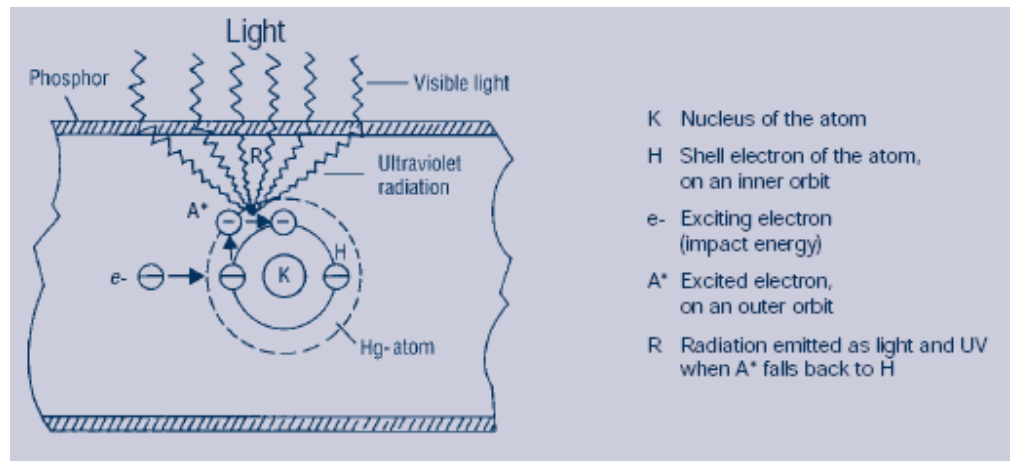
## 3 LOISTELAMPPU ULKOVALAISTUKSEN VALONLÄHTEENÄ

Loistelamppujen ulkokäytön mahdollistaa oikeanlainen elektroninen liitäntälaitte. Ulkokäyttöön suunniteltu elektroninen liitäntälaitte syyttää lampun luotettavasti myös alhaisissa lämpötiloissa. Valaisinta suunniteltaessa on syytä kiinnittää huomiota elektronisen liitäntälaitteen riittävään kosteuden suojaamiseen.

### 3.1 Loistelampun toimintaperiaate

Rakenteeltaan loistelamppu koostuu useasta komponentista, joihin lukeutuvat lasiputki, loisteaine, elektrodit, elohopeahöyry ja kanta.

Loistelamppujen valontuotto perustuu elohopeahöyryssä tapahtuvaan kaasupurkaukseen. Toisin sanoen lasiputken sisälle syötetään elektroneja, jotka yhdistyvät elohopea-atomeihin. Näiden atomien kuorilla elektronit aiheuttavat atomin virittymisen ja purkautumisen. Purkautuessaan atomi luovuttaa elektronin toiselle atomille ja reaktio jatkuu sarjassa koko putken pituudelta. Purkauksen yhteydessä syntyy UV-säteilyä, jonka aallonpituus lasiputken sisäpuolella olevassa loisteaineessa muuttuu näkyväksi valoksi. Elektronit saadaan lasiputkeen, kun sen päissä oleviin elektrodeihin syötetään tarpeeksi suuri jännite. [6, kpl. 4, s. 3.]



Kuva 8. Loistelampun toimintaperiaate [8, s. 9]

Paras hyötysuhde tavoitetaan kun lasiputkessa vallitsee oikeanlainen paine. Paine on riippuvainen lasiputken sisäpuolella vallitsevasta lämpötilasta, joka säätelee elohopeakaasun höyrystymistä. [8, s. 9.]

### 3.2 Osram Dulux L SP -yksikantaloistelamppu

Dulux L SP on ulkokäyttöön kehitetty yksikantaloistelamppu. Dulux L SP kuuluu Osramin Dulux -perheeseen. Valonlähde on kahtena eri tehona: Dulux L 18 SP (18 W) ja Dulux L 24 SP (24 W). Osram Dulux L 18 SP ja 24 SP malleissa erikoista on se, että ne saavuttavat suurimman valovirtansa lämpötilassa 5 °C, kun normaalisti loistelamppu saavuttaa suurimman valovirtansa lämpötilassa 25 °C. Lampun pyörästetty pää auttaa suurempaan valontuottoon. Normaalisti yksikantaloistelampun pää, toisin sanoen kulma, on niin sanottu kylmä piste. Tällä tarkoitetaan kohtaa lampussa, joka jää viileämmäksi kuin muu osa lampusta ja valontuotto on näin ollen vähäisempi. Kylmän pisteen lämpötila riippuu joissain määrin lampun asennosta, sekä ympäristön lämpötilasta. Hyvät olosuhteet lampun suorituskyvylle saavutetaan kun kylmien pisteiden lämpötilat ovat 40 - 50 °C. [6, kpl. 3, s. 3; 8, s. 9.]

#### *Osram Dulux L SP -lampun ominaisuudet ja valontuotto*

Seuraavaksi esitellään Dulux L SP:n fyysiset mitat ja ominaisuudet. Keskeisiin ominaisuuksiin lukeutuvat värilämpötila, nimellisteho, nimellinen valovirta, valontuotto suhteessa lämpötilaan, lämpenemisaika ja valontuoton heikkeneminen iän myötä.

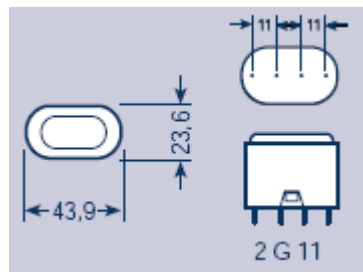


Fyysiset mitat:



Kuva 9. Lamppu sivuilta (mm) [8, s. 16]

Kuvassa 9 esitetyt leveys  $l$  ja paksuus  $d$  löytyvät taulukosta 11.



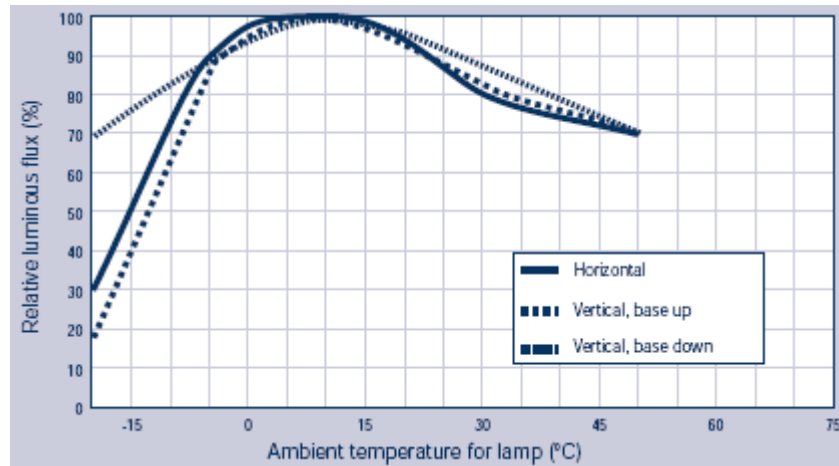
Kuva 10. Lampun kanta (mm) [8, s. 16]

Lampun taulukoidut ominaisuudet:

Taulukko 11. Dulux L SP -lampun ominaisuuksia [6, kpl. 3, s. 26]

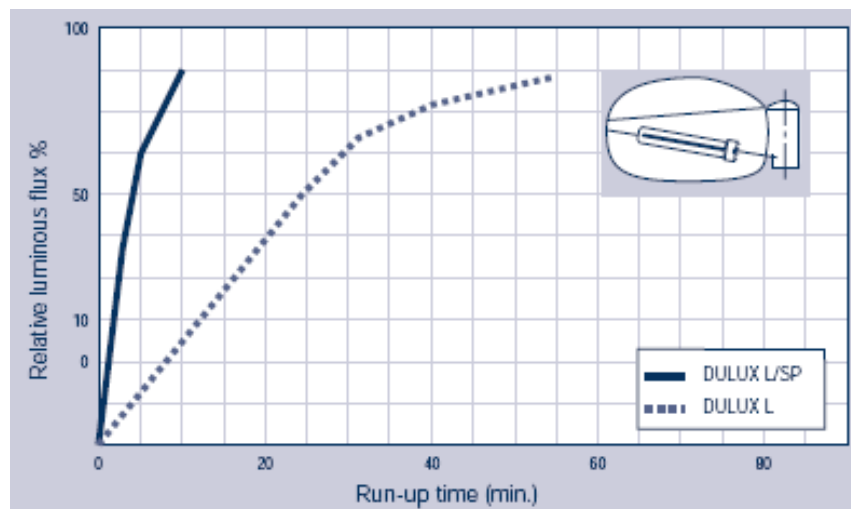
	Väriämpötila/K	P/W	Ra/%	Ø/lm	l/mm	d/mm
Dulux L 18 SP	3000	18	80-89	1200	209	17,5
Dulux L 24 SP	3000	24	80-89	1800	309	17,5

Valovirran määrä on mitattu 25 °C:n lämpötilassa. Taulukon mukaan lampujen valotehokkuudet ovat 75 lm/W (24 W) ja noin 67 lm/W (18 W). Nämä täyttävät kyseisten tehojen vaatimukset, joiden mukaan 24 W:n yksikantaloistelampuilla pitää olla 71 lm/W ja 18 W:n yksikantaloistelampuilla 67 lm/W. (Katso kohta 2.2.4. taulukko 3.)



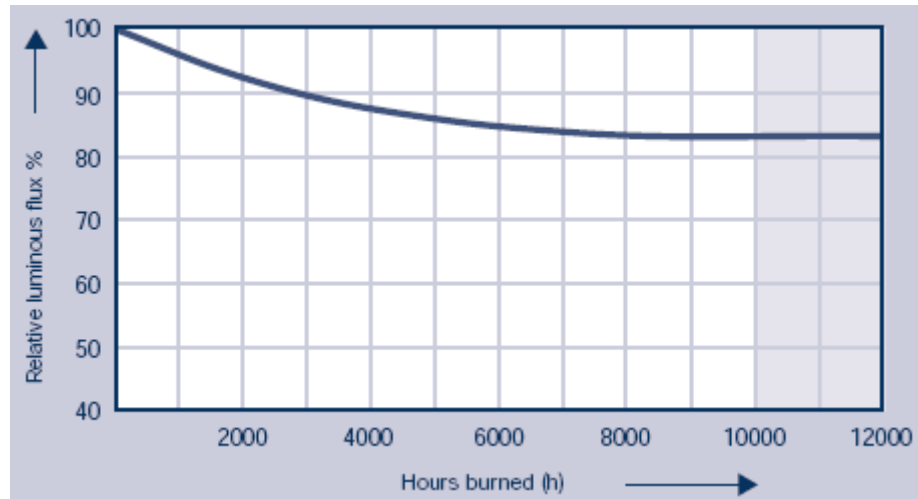
Kaavio 1. Dulux L SP prosentuaalinen valontuotto lämpötilan funktiona [8, s. 48]

Seuraavassa kaaviossa y-akseli kuvaa prosentuaalista valovirtaa ja x-akseli aikaa (min).



Kaavio 2. Lämpenemisaika ympäristön lämpötilan ollessa -5 °C [8, s. 43]

Lamppu on lämmennyt kun se saavuttaa 90 % valon tuotosta. Katkoviivalla on merkitty Dulux L, joka edustaa vastaavanlaista tavanomaista yksikanta-loistelamppua, kun taas yhtenäisellä viivalla on merkitty Dulux L SP. Kuvajasta nähdään, että kylmemmille lämpötiloille suunniteltu Dulux L SP lämpeene nopeammin alhaisilla lämpötiloilla. Kyseisessä mittauksessa lamppu on pinta-asennetussa valaisimessa 9,5 asteen kulmassa [8, s. 43].



Kaavio 3. Valontuoton heikkeneminen ajan funktiona (h) [8, s. 32]

Kaaviossa 3 y-akseli kuvaa prosentuaalista valovirtaa ja x-akseli käyttötunteja.

### 3.3 Lumilux T5 HO Constant -kaksikantaloistelamppu

Osram Lumilux T5 HO Constant on kaksikantainen loistelamppu, joka on suunniteltu toimimaan kylmissä olosuhteissa. Lamput on käytetty amalgaamitekniikkaa, jolla tarkoitetaan elohopean yhdistämistä muiden metallien kanssa. Tämä tekniikka mahdollistaa sen, että lamppu saavuttaa vähintään 90 % maksimivalovirrastaan lämpötila-alueella 5 - 70 °C. Normaaleilla T5-lampuilla vastaava lämpötila-alue on 25 - 50 °C. [6, kpl. 4, s. 6.]

Ulkokäytössä on huomioitava elektronisen liitäntälaitteen asettamat rajoitukset syttymislämpötilan ja kosteussuojauksen osalta. Osram QT Intelligent-liitäntälaitteella alin syttyminen taataan -20 °C lämpötilassa. [6, kpl. 4, s. 6.]

#### 3.3.1 Lumilux T5 HO Constant -lamput ominaisuudet ja valontuotto

Taulukoidut ominaisuudet:

Taulukko 12. Lumilux T5 HO Constant ominaisuuksia [6, kpl. 4, s. 6]

	Väriämpötila/K	P/W	Ra/%	Ø/lm	l/mm
FQ 24 W/830	3000	24	80-89	1950	549
FQ 39 W/830	3000	39	80-89	3400	849
FQ 49 W/830	3000	49	80-89	4750	1449
FQ 54 W/830	3000	54	80-89	4850	1149
FQ 80 W/830	3000	80	80-89	6800	1449

Valovirran määrä on mitattu +25 °C:n lämpötilassa. Jokaista tehoa on saatavissa väriämpötiloina 3 000, 4 000 ja 5 000 K. Keskimääräinen elinikä elektronista liitäntälaitetta käytettäessä on noin 24 000 h. Valonlähde on menettänyt noin 20 % valovirrastaan 18 000 käyttötunnin jälkeen. [6, kpl. 4, s. 6.]

Taulukko 13. Lumilux T5 HO Constant valotehokkuudet [6, kpl. 4, s. 6]

	P/W	Ø/lm	Valotehokkuus lm/W	Vaadittu valotehokkuus lm/W
FQ 24 W/830	24	1950	81	73
FQ 39 W/830	39	3400	87	79
FQ 49 W/830	49	4750	97	88
FQ 54 W/830	54	4850	90	82
FQ 80 W/830	80	6800	85	77

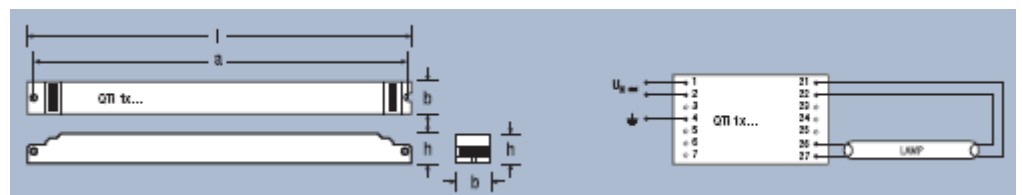
### 3.3.2 Osram QT Intelligent –liitäntälaitte

Taulukossa 14 on liitäntälaitteen ominaisuudet yhdelle kaksikantaiselle loistelampulle.

Taulukko 14. Liitäntälaitte yhdelle lampulle. Ominaisuuksia. [9, s. 2]

	P/W	I/A	$\lambda$	$\Sigma P/W$	Ø/lm
Qti 1x14/24/21/39	1x24	0,13	0,98	27	1750
	1x39	0,19	0,98	43	3100
Qti 1x28/54	1x54	0,27	0,99	61	4450
Qti 1x35/49/80	1x49	0,25	0,98	55	4300
	1x80	0,40	0,98	91	6150

Kyseiset ominaisuudet ovat vain HO-lampuille. Liitäntälaitte käy myös HE-lampuille, joiden ominaisuudet ovat jätetty taulukosta pois.



Kuva 11. Liitäntälaitte [9, s. 2]

Kuvassa 11 on liitäntälaitteen kytkentäkaavio ja mittapiirros, jonka mitat löytyvät taulukosta 15.

Taulukko 15. Liitäntälaitteen mitat [9, s. 2]

l/mm	b/mm	h/mm	a/mm	Käyttölämpötila/°C
360	30	21	20	-20 - (+50)
360	30	21	20	-20 - (+50)
360	30	21	20	-20 - (+50)
360	30	21	20	-20 - (+50)
360	30	21	20	-20 - (+50)

Taulukossa 16 on liitäntälaitteen ominaisuuden kahdelle kaksikantaiselle loistelampulle.

Taulukko 16. Liitäntälaite kahdelle lampulle. Ominaisuuksia. [9, s. 2]

	P/W	I/A	$\lambda$	$\Sigma P/W$	$\varnothing/lm$
Qti 2x14/24/21/39	2x24	0,24	0,98	54	2x1750
	2x39	0,39	0,98	88	2x3100
Qti 2x28/54	2x54	0,53	0,99	119	2x4450
Qti 2x35/49	2x49	0,48	0,98	110	2x4300
Qti 2x35/49/80	2x49	0,46	0,97	101	2x4300
	2x80	0,74	0,99	165	2x6150

Taulukon 16 ominaisuudet ovat vain HO-lampuille. Liitäntälaite käy myös HE-lampuille, joiden ominaisuudet on jätetty taulukosta pois.



Kuva 12. Liitäntälaite kahdelle lampulle [9, s. 2]

Kuvassa 12 on liitäntälaitteen kytkentäkaavio ja mittapiirros, jonka mitat löytyvät taulukosta 17.

Taulukko 17. Mitat kahden lampun liitäntälaitteelle [9, s. 2]

l/mm	b/mm	h/mm	a/mm	Käyttölämpötila/°C
423	30	21	415	-20 - (+50)
423	30	21	415	-20 - (+50)
423	30	21	415	-20 - (+50)
423	30	21	415	-20 - (+50)
423	30	21	415	-20 - (+50)
423	30	21	415	-20 - (+50)

### 3.3.3 Suojakotelo elektroniselle liitäntälaitteelle

Liitäntälaitetta käytettäessä ulkotiloissa on ongelmaksi todettu kosteus, joka tuhoaa liitäntälaitteen ajan myötä. Tätä varten on kehitetty liitäntälaitteelle

suojakotelo, joka suojaa kosteudelta. Koteloinnin tiiveysluokitus on IP67 ja liitäntälaitteen lämpötila nousee vain 5 °C. [6, kpl. 11, s. 55.]

Taulukko 18. Liitäntälaittekoteloiden mitat [6, kpl. 11, s. 55]

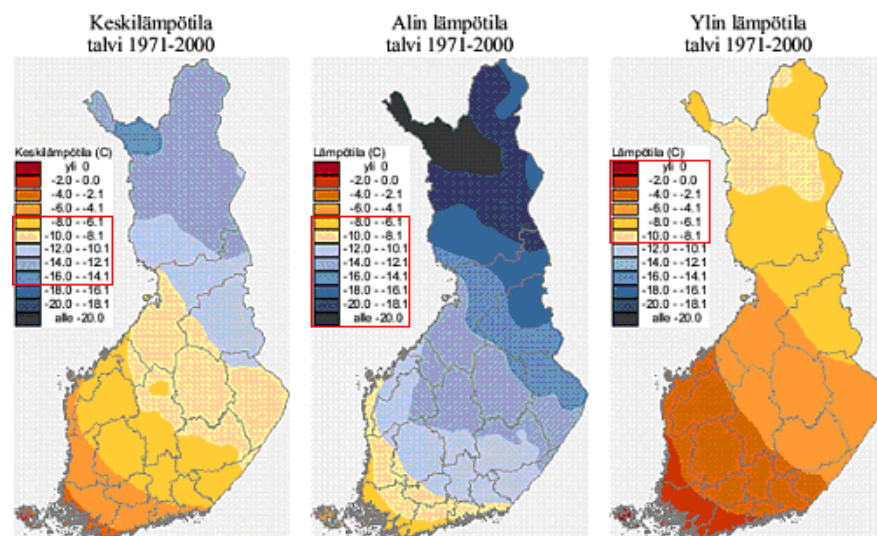
Liitäntälaittekotelo	Koko/mm
OUT KIT 30 short	360x30x30
OUT KIT 21 short	360x30x21
OUT KIT 30 long	423x30x30
OUT KIT 21 long	423x30x21

Kotelo on suunniteltu toimimaan lämpötiloissa -25 - +50 °C.

## 4 ILMASTO

Koska valon tuotto on riippuvainen lämpötilasta, on ilmasto-oloihin syytä perehtyä. Analysointia on hyvä tehdä yleisellä tasolla, niin että tuloksia voidaan hyödyntää eri ilmasto-olosuhteissa. Tarkastelussa merkittävintä on hämärät ajat, koska tällöin tarvitaan valaistusta. Etenkin Suomessa näitä ovat lähinnä syksy, talvi ja kevät. Näinä vuoden aikoina valaistukselta myös odotetaan paljon, sillä ajat ovat synkkiä ja kylmiä. Tarkastelussa keskitetään huomio enemmänkin Suomen ilmaston lämpötiloihin, joita voi soveltaa myös muissa pohjoismaissa.

### 4.1 Lämpötila Suomessa



Kuva 13. Lämpötilojen keskiarvokartat 1971 - 2000 [10]

Kuvassa 13 olevissa kartoissa esitetään aluearvoja. Kartat perustuvat havaintoasemien mittausarvoista laskettuihin keskiarvoihin. Tarkasteltavan suureen arvot ovat interpoloidut 10 km x 10 km hilapisteikköön, joissa interpoloidut lämpötilat ovat näiden alueiden keskiarvoja. Analyysissä on käytetty tasoitusta 30 km tarkkuudella. [10.]

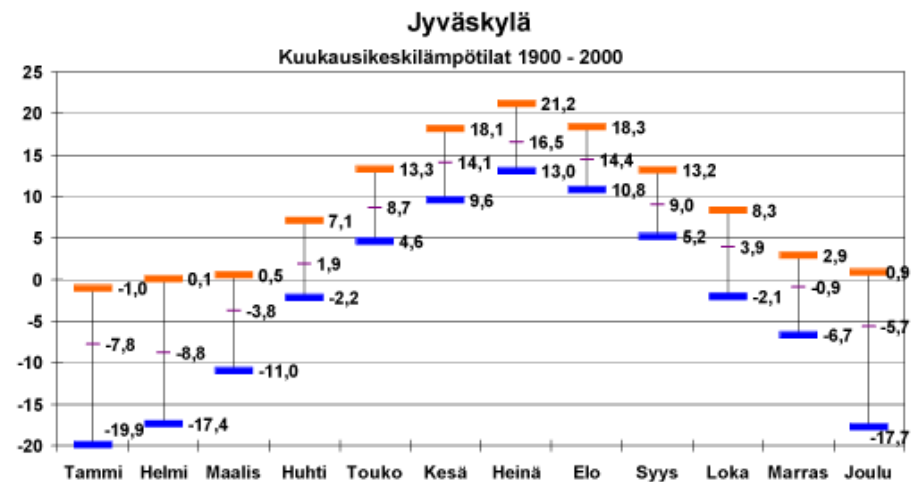
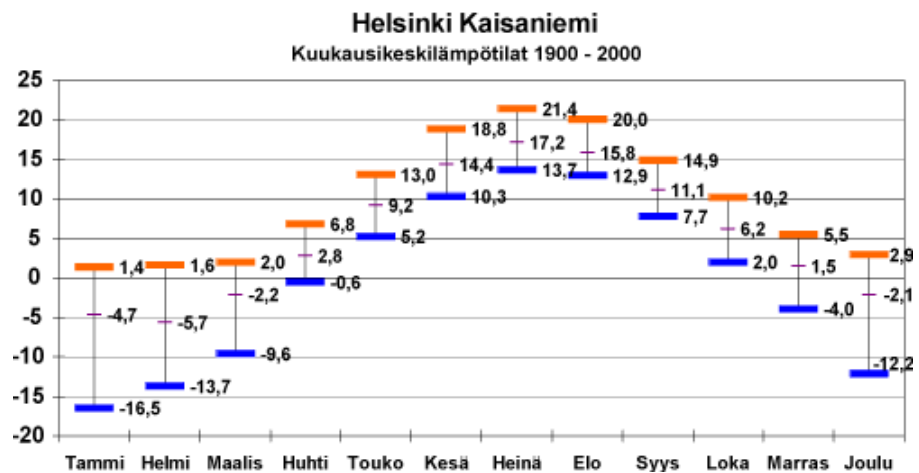
Taulukko 19. Keskimääräiset lämpötilat

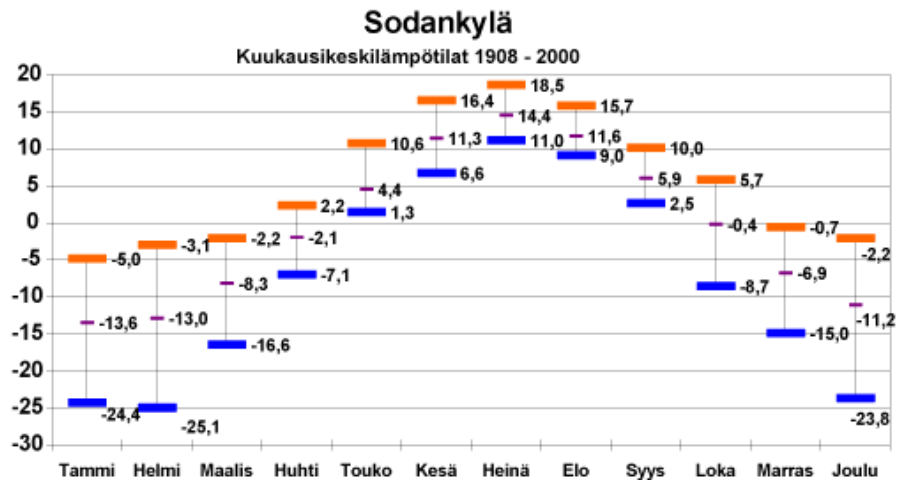
	Enintään/°C	Enintään/°C
Ylin lämpötila	> 0,0	-10,0
Keskilämpötila	-5,0	-16,0
Alin lämpötila	-5,0	< -20,0

Eli karkeasti hahmoteltuna keskimääräinen lämpötila Suomessa on ollut -5 °C ja -20 °C välillä.

## 4.2 Kuukausien keskilämpötilat

Kuukausikeskilämpötilojen ääriarvot ajalta 1900/1908 - 2000 [11]:





Kunkin kuukauden noin sadan vuoden keskilämpötila on lilaviivalla keskivaiheilla [11]. Kaavioista nähdään, että syyskuusta toukokuuhun lämpötilat ovat vaihdelleet hyvinkin paljon. Eivätkä nämäkään anna kokonaiskuvaa tilanteesta, sillä kun aurinko on laskenut niin ilma viilenee. Eli ilta- ja yölämpötilat ovat vuorokauden keskimääräistä lämpötilaa alhaisempia.

### 4.3 Auringon lasku- ja nousuajat

Taulukko 20. Nousu- ja laskuajat kuukausittain [12]

Kuukausi	Auringon nousu	Auringon lasku
Syyskuu	6.15 - 7.23	20.24 - 18.56
Lokakuu	7.26 - 7.41	18.53 - 16.26
Marraskuu	7.43 - 8.54	16.24 - 15.23
Joulukuu	8.57 - 9.24	15.22 - 15.22
Tammikuu	9.24 - 8.37	15.24 - 16.31
Helmikuu	8.35 - 7.22	16.34 - 17.45
Maaliskuu	7.19 - 6.48	17.47 - 20.02
Huhtikuu	6.45 - 5.20	20.04 - 21.17
Toukokuu	5.17 - 4.09	21.19 - 22.28

Taulukosta 20 nähdään, että synkimmät kuukaudet ovat marraskuu, joulukuu ja tammikuu. Näinä aikoina hämärää tulee jo kolmen aikoihin päivällä ja aurinko nousee vasta kahdeksan yhdeksän aikaan aamulla. Näinä aikoina, jolloin ihmiset liikkuvat eniten, valaistuksella on keskeinen merkitys. Hämärää on kuitenkin suurimman osan päivästä, jolloin vuorokauden keskilämpötila kuvannee sopivalla tarkkuudella lämpötilaa hämärällä.

Lämpötiloja on kuitenkin hankala määrittää tunneittain, sillä lämpötila vaihtelee hyvin nopeasti riippuen useista eri tekijöistä. Vuosittain lämpötila voi olla hyvinkin erilainen samana ajankohtana. Tämän perusteella onkin hyvä mää-



rittää lämpötilat vuorokauden keskimääräisen lämpötilan mukaan. Pakkasiltoina lämpötila voi kuitenkin laskea -20 asteiseksi, joka voidaan nähdä yllä olevista kaavioista.

## 5 MITTAUKSET

Tässä kappaleessa käsittelemme mittausten taustatietoja, analysoidaan tuloksia ja määritetään mahdolliset lämpötilakertoimet.

### 5.1 Taustatietoa mittauksista

Mittauksien tarkoitus on selvittää, miten yleiskäyttöön tarkoitettu Dulux L 24W ja ulkokäyttöön kehitetty Dulux L 24W SP käyttäytyvät eri lämpötiloissa Plane-nimisessä valaisimessa. Valaisin tukee muodoltaan Osramin tutkimusta, jossa todetaan valonlähteiden olevan parhaimmillaan kapeissa valaisimissa, joissa on korkea sisäinen lämpötila. Mitattava valaisin on prototyyppi, joka vastaa mitoiltaan tuotantoversiota. Ainoana poikkeuksena on valaisimen materiaali, joka mittauksissa on lasikuituvahvisteinen polykarbonaatti. Tuotantoversiossa valaisin on alumiinia. Tuotantoversiota ei valitettavasti saada mittauksiin, sillä sitä ei ole vielä tehty. Lasikuituvahvisteisen polykarbonaatti toimii hyvänä lämmöneristeenä, kun taas alumiini johtaa lämpöä hyvin.

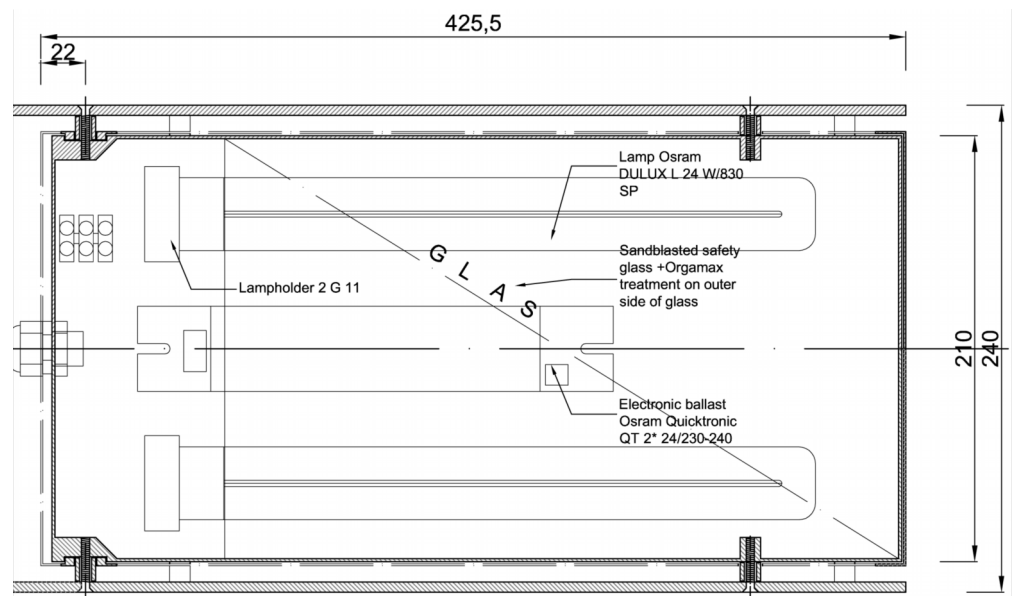
Mittauksissa mitataan valaistusvoimakkuutta tietyin väliajoin siten, että saadaan valaistusvoimakkuuden prosentuaalinen kasvu ajan funktiona. Prosentuaalinen valaistusvoimakkuus vastaa prosentuaalista valovirtaa. Täten tuloksia on helppo verrata valonlähteiden valovirtaan ilman valaisinta.

Mittaukset suoritetaan 23,5 sekä -20,5 asteisissa lämpötiloissa. Mittaukset huoneenlämmössä (23,5 °C) tehdään vertailun vuoksi. Mittaukset suoritetaan yleiskäyttöön tarkoitettulla yksikantaloistelampulla (Dulux L) ja ulkokäyttöön kehitetyllä yksikantaloistelampulla (Dulux L SP). Näin voimme vertailla näiden kahden valonlähteen eroja. Pakkasolosuhteiden mittaus toteutetaan Valion pakastamossa, jossa lämpötila on stabiili (-20,5 °C).

Mittausvälineinä ovat kello, luksimittari, lämpötilamittari ja n. 30 cm:n pituinen putki. Putken tarkoitus on minimoida luksimittarin kennoon kohdistuvat ympäristössä mahdollisesti tapahtuvat valaistusvoimakkuuden vaihtelut. Mittaus tapahtuu 40 cm korkeudella maasta, eli luksimittarin kennon ja valaisimen etäisyys on 40 cm.

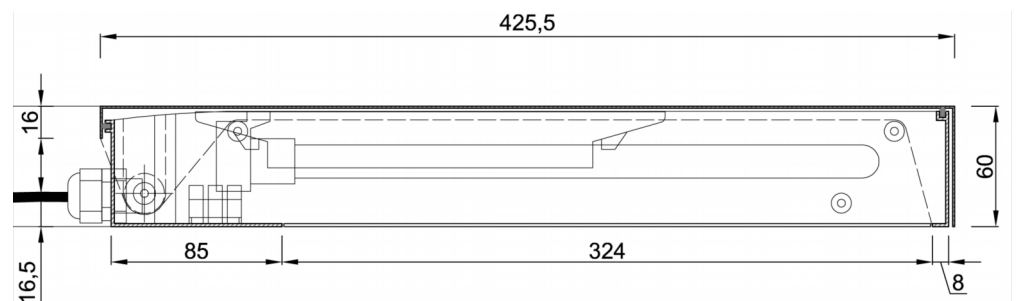
### 5.1.1 Plane

Plane on tutkittava valaisin, jonka mitat löytyvät kuvista 14 ja 15. Plane on Italialaisen valaisintehtaan, iGuzzinin, kehittämä valaisin.



Kuva 14. Mittapiirros valaisimen päältä (mm) [13]

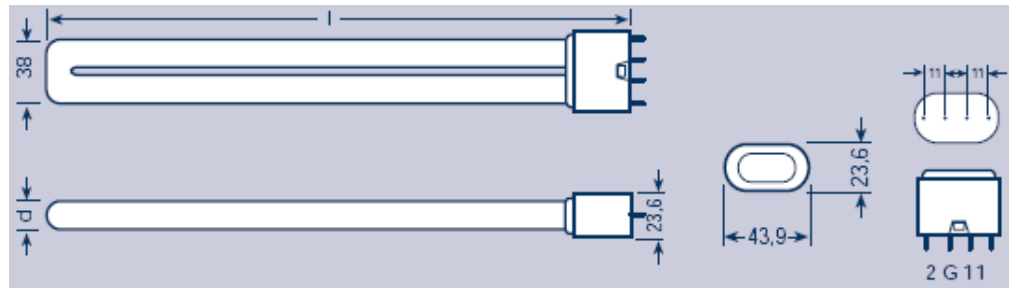
Valaisimen alaosa on suurimmaksi osaksi kummassakin, prototyypissä että tuotantoversiossa, lasia.



Kuva 15. Mittapiirros valaisimen sivulta (mm) [13]

### 5.1.2 Dulux L

Mittauksissa käytetään vertailun vuoksi yleiseen käyttöön tarkoitettua yksikantaloistelamppua, joka on fyysisiltä mitoiltaan ja teholtaan Dulux L SP:tä vastaava. Eroina ovat lampun päät, joista toinen Dulux L SP on pyörästetty ja Dulux L on normaali kanttimaisempi pää. Dulux L -malli on myös 8 mm pitempi ja sitä on saatavilla 18, 24, 36, 40, 55 ja 85 W:n tehoisina.



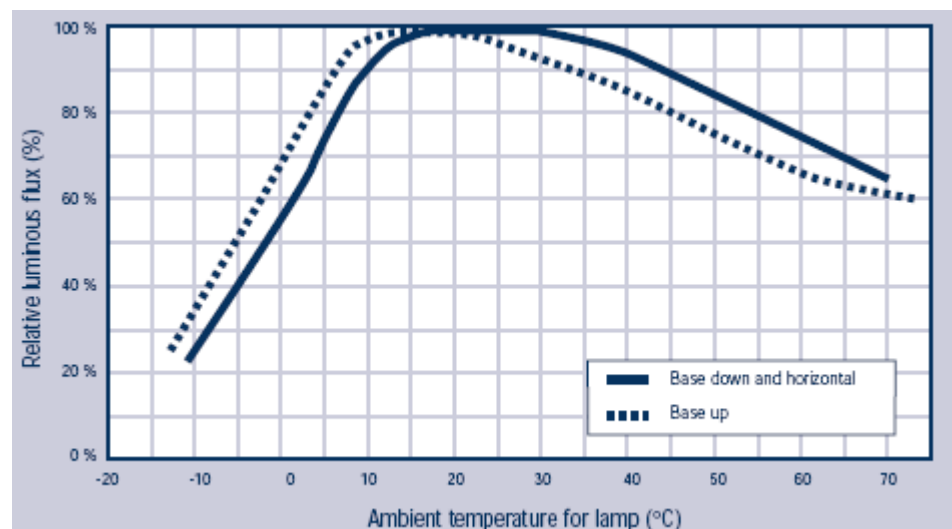
Kuva 16. Dulux L -yksikantaloistelampun mitat (mm) [8, s. 16]

Kuvassa 16 on Dulux L -yksikantaloistelampun mittapiirros. Osa mitoista löytyy taulukosta 21.

Taulukko 21. Mitattavan Dulux L pistokantaloistelampun ominaisuuksia [8, s. 16 - 18]

	Väriämpötila/K	P/W	Ra/%	Ø/lm	l/mm	d/mm
Dulux L 24 SP	3000	24	80-89	1800	317	17,5

Seuraavassa kaaviossa y-akseli kuvaa prosentuaalista valovirtaa ja x-akseli lämpötilaa (°C).



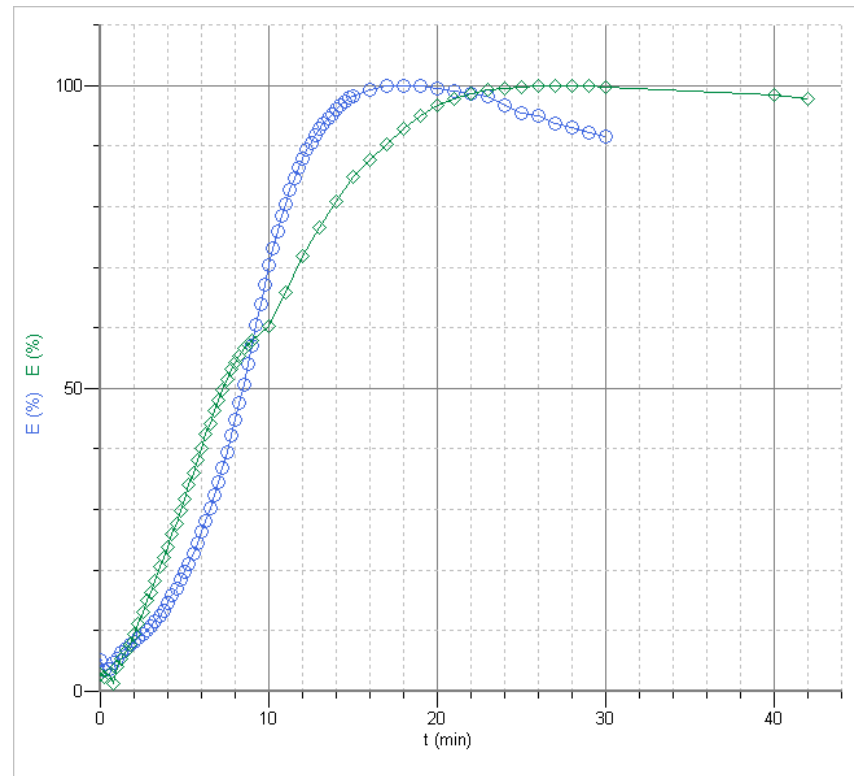
Kaavio 4. Dulux L -yksikantaloistelampun valon tuotto lämpötilan funktiona [8, s. 47]

Kaavio 4 pätee myös yleisesti Osram Dulux -sarjalle.

## 5.2 Graafiset kuvaajat tehdyistä mittauksista

Kappaleessa 5.2 tehdään mittaustuloksista graafiset kuvaajat. Nämä helpottavat ja selkeyttävät tuloksien tarkastelua. Mittaustulokset, katso liite 1.

### 5.2.1 Mittaukset pakkasella (-20,5 °C)



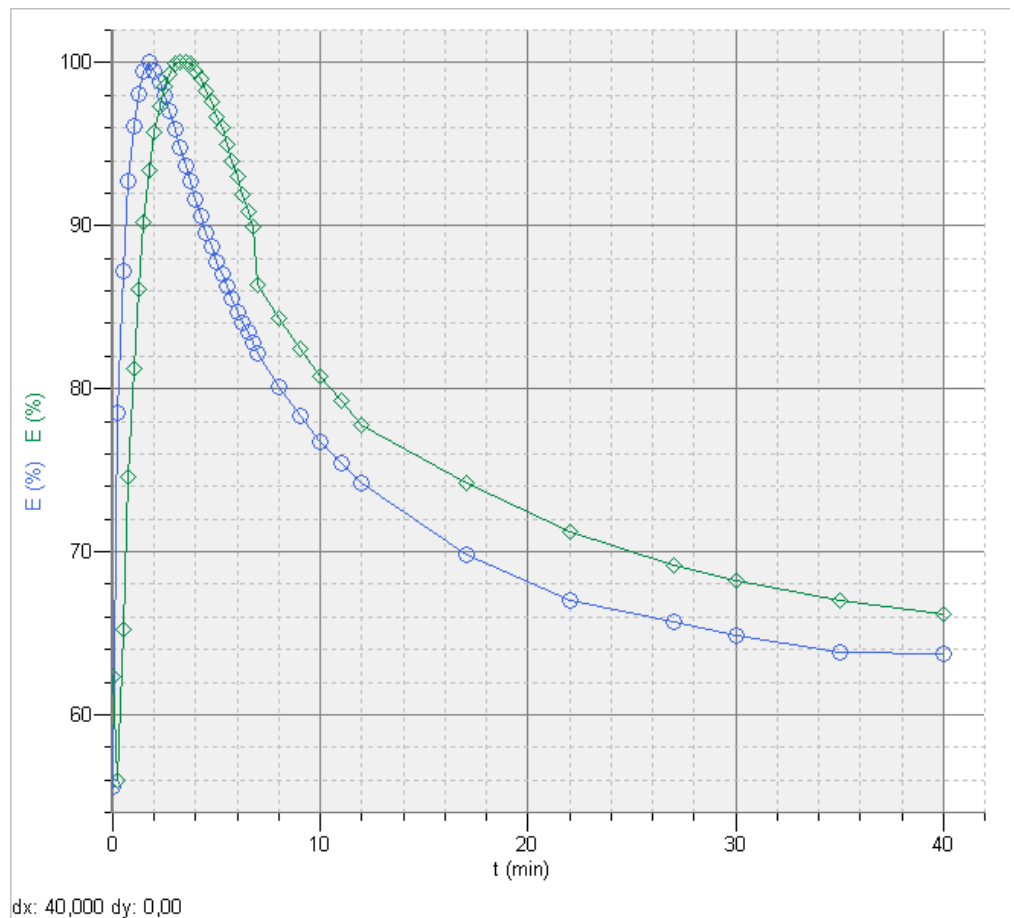
Kaavio 5. Suhteellinen valovoimakkuus ajan funktiona

Sininen väri: Dulux L SP.

Vihreä väri: Dulux L.

Kaaviossa 5 Dulux L SP on merkitty sinisellä viivalla ja Dulux L vihreällä viivalla. Kaavioon perehdytään tarkemmin kohdassa 5.3.1 kaaviossa 7.

### 5.2.2 Mittaukset huoneen lämmössä (+20,5 °C)



Kaavio 6. Suhteellinen valovoimakkuus ajan funktiona

Sininen väri: Dulux L SP.

Vihreä väri: Dulux L.

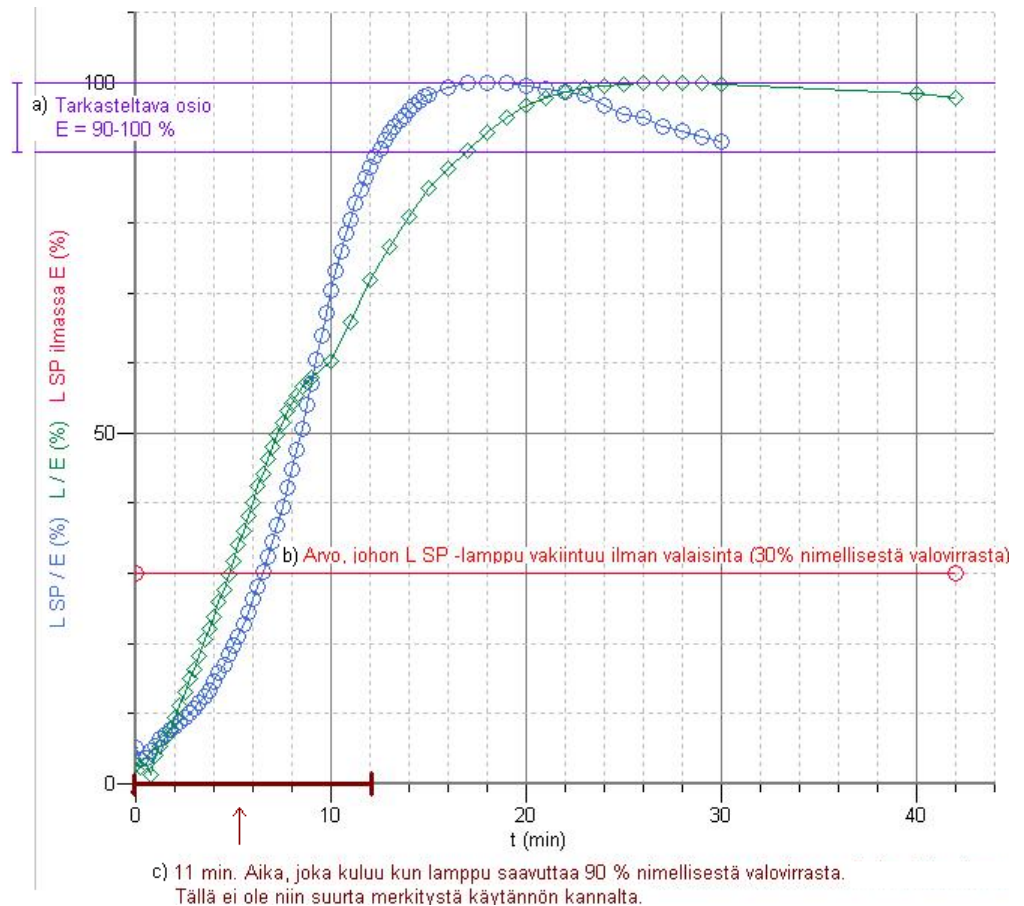
Kaaviossa 6 Dulux L SP on merkitty sinisellä viivalla ja Dulux L vihreällä viivalla. Kaavioon perehdytään tarkemmin kohdassa 5.3.1 kaaviossa 10.

### 5.3 Tulosten analysointi

Mittaustulokset osoittavat, että ulkokäyttöön suunniteltu yksikantaloistelamppu Dulux L SP saavuttaa nopeammin valontuoton huipun ja myös heikkenee nopeammin kuin Dulux L. Mittaus tukee taulukoituja tietoja, joiden perusteella Dulux L SP saavuttaa nimellisen valontuottonsa lämpötilassa 5,0 - 15,0 °C ja Dulux L lämpötilassa 17,5 - 30,0 °C. On siis johdonmukaista, että mittauksissa valonlähteet käyttäytyvät tällä tavoin. Valaisimen sisälämpötila lämpeenee jopa niin tehokkaasti, että Dulux L SP -yksikantaloistelampulle optimaalinen lämpötila ylittyy, jolloin valovirta pienenee. Kuten kaavio 5 osoittaa, Du-

lux L säilyttää valovirtansa paremmin, joka kertoo että valaisimen sisällä oleva lämpötila on optimaalisempi Dulux L -yksikantaloistelampulle. Tämän perusteella voimme päätellä, että Dulux L SP toimisi lähempänä nimellistä valovirtaansa, mikäli valaisimen materiaalilla olisi parempi lämmönjohtavuus.

### 5.3.1 Graafinen analysointi



Kaavio 7. Mittaustulosten analysointi ympäristön lämpötilan ollessa  $-20,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

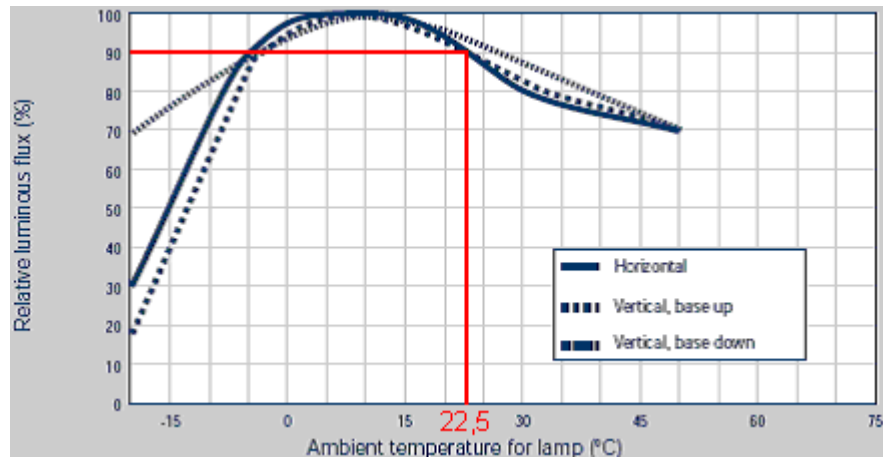
Yllä olevaan kaavioon kuuluu kolme eri aluetta: a, b ja c.

a) Tarkasteltava osio, jossa valovirta on saavuttanut 90 % nimellisestä arvostaan. 10 % valontuoton alenemalla ei ole merkitystä, toisin sanoen se ei vaikuta ratkaisevasti ulkovalaistuksessa. Kaaviosta näkee myös sen, että lämpötila nousee valaisimessa sen verran, että mitattavien valonlähteiden optimaalinen lämpötila ylittyy hieman.

b) 30 %:n kohdalle on piirretty viiva hahmottamaan lampun suhteellista valovirtaa ilman valaisinta. Tämä arvo on kaaviosta 1, joka on lampun maksimi-valovirta lampun ollessa vaakasuorassa  $-20$  asteen pakkasessa kun lamppu on saavuttanut stabiloidun toimitilan.

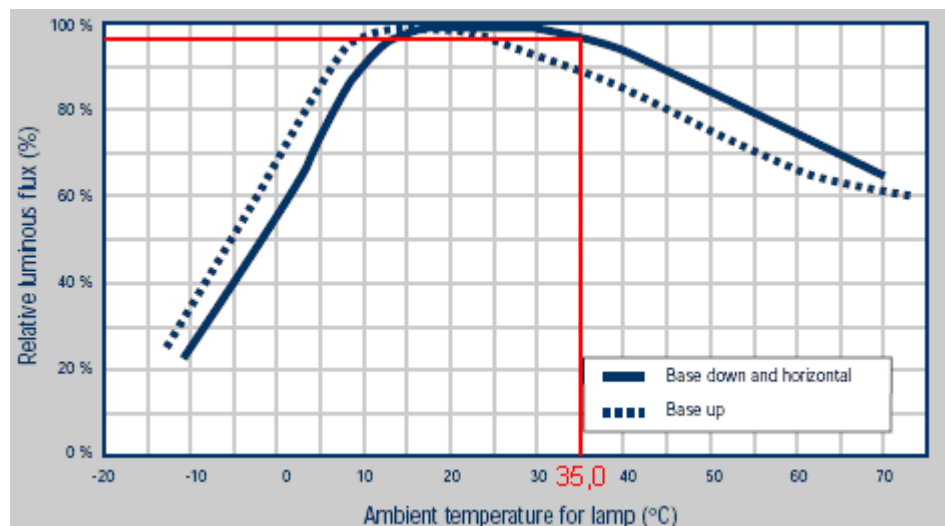
c) Aika (11 min), jolloin lamppu on kunnolla syttynyt. Tällä ajalla ei ole merkitystä ulkovalaistuksessa.

Kaaviosta 7 voimme katsoa sen prosentuaalisen arvon, johon valovirta on stabiloitunut, joka on Dulux L SP -yksikantaloistelampulla noin 90 %. Vastaavalla Dulux L -yksikantaloistelampulla valovirta on noin 97 % huippuarvostaan. Tämän jälkeen voidaan katsoa kaavioista 8 ja 9 prosentuaalista valovirtaa vastaavan valonlähteen välittömän ympäristön lämpötila.



*Kaavio 8. Dulux L SP yksikantaloistelampun välittömän ympäristön lämpötila*

Kaaviosta 8 saadaan Dulux L SP -yksikantaloistelampun ympäristön lämpötilaksi noin 22,5 °C.

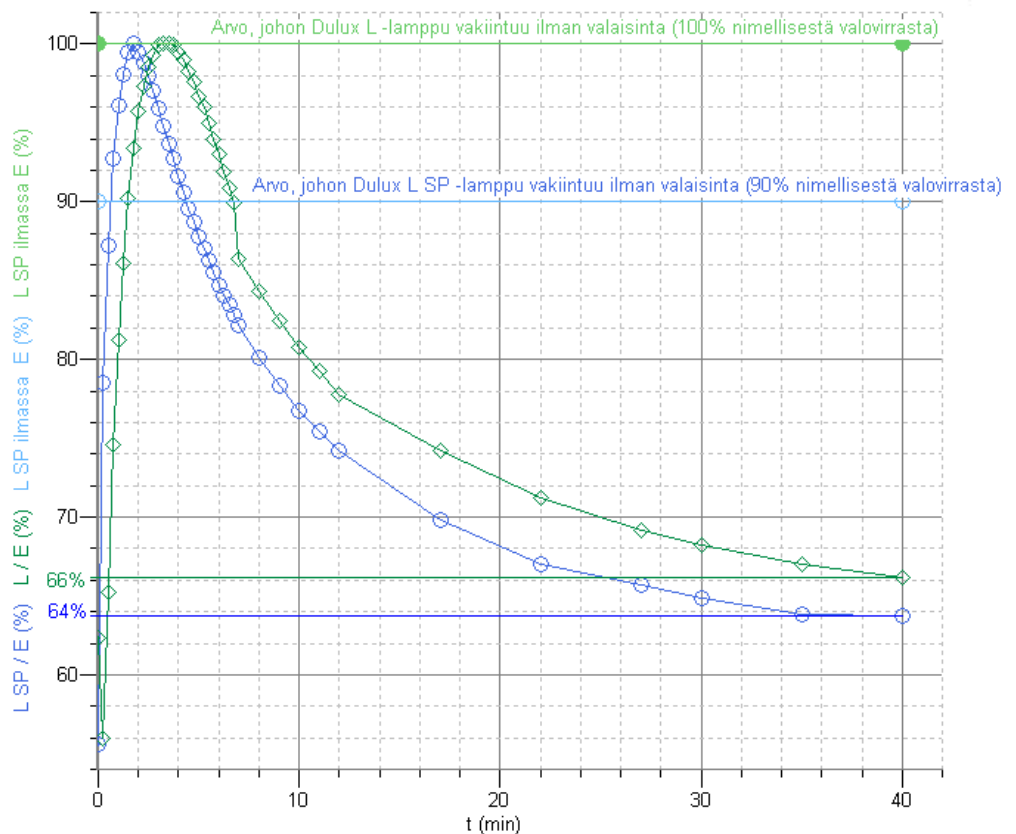


*Kaavio 9. Dulux L yksikantaloistelampun välittömän ympäristön lämpötila*

Kaaviosta 9 saadaan Dulux L -yksikantaloistelampun ympäristön lämpötilaksi noin 35,0 °C.

Dulux L SP:n valontuotto on huipussaan, kun sen välittömän ympäristön lämpötila on 5 - 15 °C. Voimme päätellä, että lämmön eristys valaisimessa on liian suuri optimaalisen valontuoton kannalta valaisimen ympäristön lämpötilan ollessa -20 astetta. Kun valaisimen ympäristön lämpötila kohoaa, kohoaa myös valaisimen sisällä oleva lämpötila. Mikäli tilannetta katsotaan pohjoismaisen ilmaston kannalta, jossa lämpötila harvemmin laskee alle -20 asteen, niin valaisin eristää liikaa. Mikäli lämpötila olisi -10 astetta, joka on todennäköisempi lämpötila pimeille ja kylmille vuodenajoille, niin vähemmän eristävä materiaali olisi parempi vaihtoehto. Tällöin valaisin luovuttaisi nopeammin lämpöä ympäristöön ja valaisimen sisäinen lämpötila ei nousisi niin, että valovirta laskee. Optimaalinen ratkaisu löytyisi, mikäli valaisimen sisäiseksi lämpötilaksi saataisiin -10 asteen pakkasella 5 - 15 -asteiseksi.

Tilannetta voidaan katsastella myös päinvastaisessa olosuhteessa, jossa ympäristön lämpötila on 23,5 astetta. Tämä vastaa lämpimien ilmastojen pimeää tai hämärää aikaa, jolloin ulkovalaistusta tarvitaan.

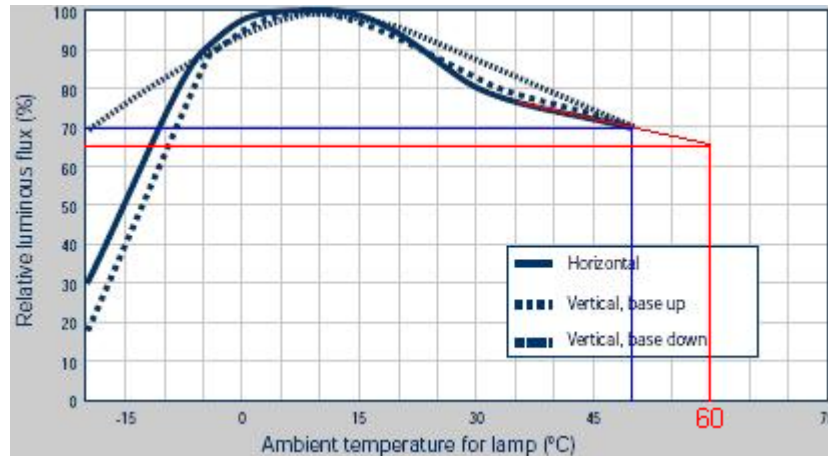


Kaavio 10. Mittaustulosten analysointi ympäristön lämpötilan ollessa 23,5 °C

Dulux L SP -pistokantaloistelampun ympäristön lämpötilaa arvioitaessa joudutaan arvioimaan, mitä lämpötilaa vastaa 64 % valovirran arvo, sillä Osram



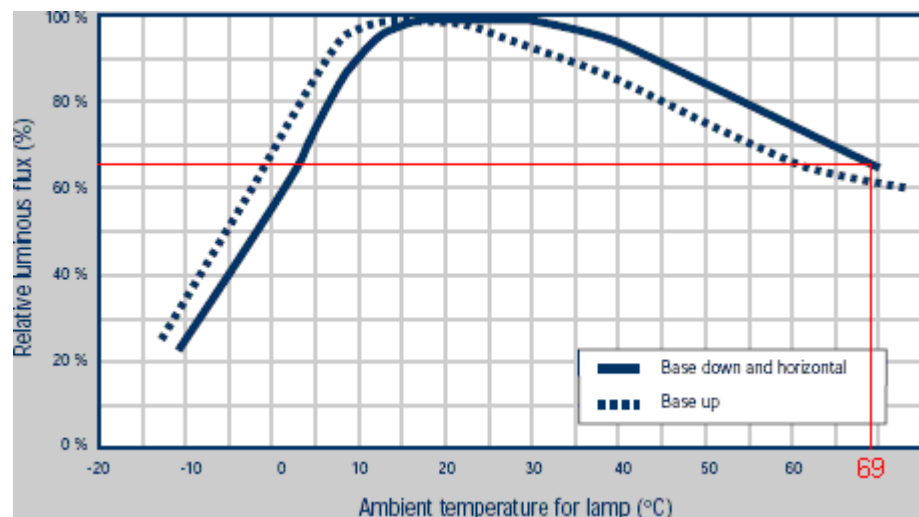
ei ole mitannut tätä vastaavaa lämpötilaa. Riittävällä tarkkuudella arvio saadaan kun piirretään jatkoa funktiolle. Kyseessä on kuitenkin vain noin 6 % lasku. Kuvaajaan on piirretty kaksi viivaa, joista toinen näyttää 70 % valovirtaa vastaavan lampun ympäristön lämpötilan ja toinen saman 64 % valovirtaa vastaavana.



Kaavio 11. Dulux L SP :n suhteellinen valovirta ympäristön lämpötilan funktiona

Kaaviosta 11 näemme, että Dulux L SP -yksikantaloistelampun ympäristön lämpötila on noin 60 °C suhteellisen valovirran ollessa 64 %.

Dulux L -yksikantaloistelampun ympäristön lämpötila suhteellisen valovirran ollessa 66 % nähdään kaaviosta 12.



Kaavio 12. Dulux L :n suhteellinen valovirta ympäristön lämpötilan funktiona

Kaaviosta 12 näemme, Dulux L yksikantaloistelampun ympäristön lämpötila on noin 69 °C suhteellisen valovirran ollessa 66 %.

### 5.3.2 Laskennallinen analysointi

Tuloksia voidaan analysoida myös laskennallisesti. Valonlähde pyrkii nimitäin lämmittämään valaisinta ja ympäristö jäädyttämään tätä. Valaisimen kuori muodostaa siis seinämän, eli rajapinnan lämpöeroille. Tämän rajapinnan läpi tapahtuu lämmön johtumista, jolloin lämpötilaerot pyrkivät tasoittumaan. Lämpöenergian siirtymistä rajapinnan läpi ajan funktiona kutsutaan lämpövirraksi.

Lämpövirta voidaan seuraavanlaisella kaavalla [14, s. 449]:

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} \quad (1)$$

$$[\Phi] = \frac{[Q]}{[t]} = \frac{J}{s} = W$$

jossa  $\Delta t = t_2 - t_1 =$  aika, jona lämpötila siirtyy

$Q =$  lämpöenergian määrä.

Lämpövirta ilmaisee energian siirtymisnopeuden, joten sitä voidaan kutsua myös lämpötehoksi [14, s. 449].

Laskennallinen analysointi perustuu seuraavaan lainattuun kappaleeseen.

”Joissakin teknisissä sovelluksissa lämpövirta synnytetään tietoisesti, toisissa lämmön siirtyminen taas pyritään estämään sopivien eristeiden avulla. Jotta osattaisiin valita oikeat materiaalit ja mitoittaa ainekerrokset sovelluksen kannalta mielekkäällä tavalla, on tiedettävä, millä eri tavoilla lämpö kyseisessä tilanteessa siirtyy ja mistä tekijöistä lämpövirta riippuu. Lämpönsiirtymistapoja ovat konvektio, johtuminen ja säteily. Usein ne esiintyvät kaikki yhtä aikaa.” [14, s. 450.]

Konvektiolla tarkoitetaan lämmön siirtymistä jonkin liikkuvan aineen mukana. Valaisimessa kuuma lamppu lämmittää ilmaa, jonka seurauksena valaisimen sisällä syntyy pieniä ilmavirtoja. Tämä liikkuva ilmassa kuljettaa lämpöä kohti valaisimen viileämpiä osia, eli valaisimen rajapintoja. Kun ilmassa kohtaa valaisimen sisäkuoren rajapinnan, alkaa lämpö johtumaan. Johtumisella tarkoitetaan sitä, että energiaa siirtyy aineen rakenneosien välisissä törmäyksissä. Tässä tapauksessa lämpö johtuu valaisimen kuoren sisä- ja ulkokuoren välillä sisäkuorelta ulkokuorelle. Kolmas lämpönsiirtymistapa on

vähemmän havaittavissa oleva lämpösäteily. Lämpösäteily on sähkömagneettista aaltoa, joka ei vaadi väliainetta. [14, s. 450 - 451.]

Mittauksia analysoitaessa painotetaan valaisimen läpi kulkevaa lämpöenergiaa. Valaisimen sisällä tapahtuva konvektio jätetään matemaattisesti sen suuremmin tarkastelematta. Myös lämpösäteilyä esiintyy kokeessa. Lämpösäteily absorboituu valaisimen sisäpintaan ja vastaavasti ulkopinta säteilee energiaa "eteenpäin". Lämpösäteilyn laskeminen on kuitenkin hankalaa, sillä se edellyttää rajapintojen lämpötilojen ja niiden emissiivisyyksien tietämistä. Säteilyvoimakkuus kasvaa jyrkästi lämpötilan funktiona, joka osaltaan myös hankaloittaa lämpösäteilyn määrän arviointia.

Valaisimen rakenteissa siirtyvää energiaa voidaan laskennallisesti määrittää lähinnä lämmön johtumisen avulla. Jotta näitä voitaisiin laskea, täytyy ensiksi tietää valaisimen pintojen yhteenlaskettu pinta-ala.

Valaisimen pintojen pinta-ala, A:

$$\begin{aligned} A &= \text{"päälliskansi"} + \text{reunat} + \text{päädyt} \\ &= 0,4255m \cdot 0,2100m + 2 \cdot 0,4255m \cdot 0,0600m + 2 \cdot 0,2100m \cdot 0,0600m \\ &\approx 0,1656m^2 \end{aligned}$$

Pinta-alassa ei ole huomioitu alakantta, eli lasilevyä, joka on valaisinmateriaalista riippumaton. Joten vertaillen valaisinmateriaaleja keskenään, lasilevyä ei periaatteessa tarvitse huomioida.

Valaisimen läpäisevä lämpövirta voidaan laskea seuraavanlaisella kaavalla [14, s. 455]:

$$\Phi = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Theta_{12}}{d} \quad (2)$$

jossa

$$[\Phi] = W = \text{lämmön johtuminen}$$

$$[\lambda] = \frac{W}{m^{\circ}C} = \text{valaisimen materiaalin lämmönjohtavuus}$$

$$[A] = m^2 = \text{valaisimen pintojen pinta-ala}$$

$$[\Theta_{12}] = [t_1] - [t_2] = ^\circ C = \text{sisälämpötila} - \text{ulkolämpötila}$$

$$[d] = m = \text{valaisimen "seinämän" paksuus}$$

Tämä on yksiköissä [14, s. 455]:

$$\Phi = [\lambda] \cdot [A] \cdot \frac{[\Theta_{12}]}{[d]} = \frac{W}{m^\circ C} \cdot m^2 \cdot \frac{^\circ C}{m} = W$$

Kun  $t_1 > t_2$  niin lämpöä siirtyy sisäpuolelta ulkopuolelle. Dynaamisessa tasapainossa mikään seinämän osa ei lämpene eikä jäähy. Lämpöä ei kulu eikä synny seinämän sisällä, joten lämpövirta on yhtä suuri kaikissa poikkeileikkauksissa. Seinän läpäisevä lämpövirta on siis suoraan verrannollinen pintojen väliseen lämpötilaeroon ja seinämän pinta-alaan sekä kääntäen verrannollinen seinämän paksuuteen. [14, s. 455.]

Jotta valaisimen läpäisevä lämpövirta voidaan laskea, on tiedettävä prototyypin ja varsinaisen tuotantoon tarkoitetun version materiaalien lämmönjohtavuudet.

Taulukko 22. Valaisinmateriaalien lämmönjohtavuudet [15, s. 79; 16, s. 177]

Valaisin/materiaali	Lämmönjohtavuus/(W/m°C)
Prototyyppi/lasikuitulujitettu polykarbonaatti	0,22
Tuotantoversio/alumiini	217,00

Lasketaan lasikuitulujitetun polykarbonaattivalaisimen läpäisevä lämpövirta pakkasessa (kun,  $t_2 = -20,5$  °C).

Dulux L SP ( $t_1 = 22,5$  °C, kaavio 8):

$$\Phi_{\text{Polykarb.}} = 0,22 \cdot 0,1656m^2 \cdot \frac{(22,5 - (-20,5))^\circ C}{0,005m} = 313,3152W$$

Dulux L ( $t_1 = 35,0$  °C, kaavio 9):

$$\Phi_{\text{Polykarb.}} = 0,22 \cdot 0,1656m^2 \cdot \frac{(35,0 - (-20,5))^\circ C}{0,005m} = 404,3952W$$

Lasketaan lasikuitulujitetun polykarbonaattivalaisimen läpäisevä lämpövirta kun ympäristön lämpötila ( $t_2$ ) on 23,5 °C.

Dulux L SP ( $t_1 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ , kaavio 11):

$$\Phi_{\text{Polykarb}} = 0,22 \cdot 0,1656 \text{ m}^2 \cdot \frac{(60 - 23,5)^\circ\text{C}}{0,005 \text{ m}} = 265,9536 \text{ W}$$

Dulux L ( $t_1 = 69 \text{ }^\circ\text{C}$ , kaavio 12):

$$\Phi_{\text{Polykarb}} = 0,22 \cdot 0,1656 \text{ m}^2 \cdot \frac{(69 - 23,5)^\circ\text{C}}{0,005 \text{ m}} = 331,5312 \text{ W}$$

Lasketaan, mitä olisi alumiinisen tuotantoversiovalaisimen läpäisevä lämpövirta pakkasessa vastaavissa oloissa lämpötilan ( $t_2$ ) ollessa  $-20,5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Dulux L SP ( $t_1 = 22,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ):

$$\Phi_{\text{Alumiini}} = 217,00 \cdot 0,1656 \text{ m}^2 \cdot \frac{(22,5 - (-20,5))^\circ\text{C}}{0,005 \text{ m}} = 309,043 \text{ kW}$$

Dulux L ( $t_1 = 35,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ):

$$\Phi_{\text{Alumiini}} = 217,00 \cdot 0,1656 \text{ m}^2 \cdot \frac{(35,0 - (-20,5))^\circ\text{C}}{0,005 \text{ m}} = 398,881 \text{ kW}$$

Lasketaan, mitä olisi alumiinisen tuotantoversiovalaisimen läpäisevä lämpövirta vastaavissa oloissa lämpötilan ( $t_2$ ) ollessa  $23,5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Dulux L SP ( $t_1 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ ):

$$\Phi_{\text{Alumiini}} = 217,00 \cdot 0,1656 \text{ m}^2 \cdot \frac{(60 - 23,5)^\circ\text{C}}{0,005 \text{ m}} = 262,327 \text{ kW}$$

Dulux L ( $t_1 = 69 \text{ }^\circ\text{C}$ ):

$$\Phi_{\text{Alumiini}} = 217,00 \cdot 0,1656 \text{ m}^2 \cdot \frac{(69 - 23,5)^\circ\text{C}}{0,005 \text{ m}} = 327,010 \text{ kW}$$

Taulukko 23. Yhteenvedo laskelmista

Valonlähde	$t_2/^\circ\text{C}$	Lasik.polyk. ( $\Phi/W$ )	Alumiini ( $\Phi/W$ )
L SP	-20,5	313,0	309 000,0
L	-20,5	404,0	399 000,0
L SP	23,5	266,0	262 000,0
L	23,5	332,0	327 000,0

Laskelmista voidaan päätellä, kuinka paljon parempi lämmönjohte alumiini on verrattuna lasikuituvahvisteiseen polykarbonaattiin. Lämmönjohtavuuden perusteella alumiini johtaa 986 kertaa paremmin lämpöä kuin lasikuituvahvisteinen polykarbonaatti.

Alumiinin ja lasikuituvahvisteisen polykarbonaatin lämmönjohtavuuksien suhde lasketaan kaavalla 3:

$$\lambda_{\text{alumiini}} / \lambda_{\text{lasik.polyk.}} = \frac{217,00 \frac{W}{m^{\circ}C}}{0,22 \frac{W}{m^{\circ}C}} \approx 986,364 \quad (3)$$

Kaavalla 3 laskettu suhde voidaan todeta myös laskelmalla lämpövirtojen suhde. Tämän pitäisi olla yhtä suuri. Pyöristysvirheet voivat aiheuttaa poikkeamia.

*Taulukko 24. Laskettujen lämpövirtojen suhde*

Valonlähde	$t_2/^{\circ}C$	$\Phi_{\text{alumiini}}/\Phi_{\text{lasik.polyk.}}$
L SP	-20,5	987
L	-20,5	988
L SP	23,5	985
L	23,5	985

Laskettujen tulosten perusteella voimme approksimoida valaisimen sisällä olevaa lämpötilaa kun käytetään alumiinista rakennetta. Teorian mukaan alumiini johtaa tuhatkertaisesti enemmän lämpöä, kuin lasikuituvahvisteinen polykarbonaatti. Tämän perusteella valaisimen sisälämpötilankin pitäisi lähempänä ulkoista lämpötilaa.

Sisäinen lämpötila saadaan kaavasta:

$$\Phi = \lambda \cdot A \cdot \frac{t_1 - t_2}{d} \quad (4)$$

$$t_1 = \frac{\Phi \cdot d}{\lambda \cdot A} + t_2$$

Lämmönjohtavuutena käytämme tietenkin alumiinin lämmönjohtavuutta. Jos lämmön energian siirtymisnopeus toisin sanoen lämpöteho vastaa samaa kuin prototyyppiä käytettäessä, voidaan laskea alumiinisen valaisimen sisälämpötila.

Alumiinisen valaisimen sisälämpötila ulkolämpötilan ( $t_2$ ) ollessa  $-20,5\text{ °C}$ .

Dulux L SP:

$$t_1 = \frac{\Phi \cdot d}{\lambda \cdot A} + t_2 = \frac{313,3152W \cdot 0,005m}{217,00 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot 0,1656m^2} + (-20,5^{\circ}C) \approx -20,456^{\circ}C$$

Dulux L:

$$t_1 = \frac{\Phi \cdot d}{\lambda \cdot A} + t_2 = \frac{404,3952W \cdot 0,005m}{217,00 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot 0,1656m^2} + (-20,5^{\circ}C) \approx -20,444^{\circ}C$$

Alumiinisen valaisimen sisälämpötila ulkolämpötilan ( $t_2$ ) ollessa  $23,5\text{ °C}$ .

Dulux L SP:

$$t_1 = \frac{\Phi \cdot d}{\lambda \cdot A} + t_2 = \frac{265,9536W \cdot 0,005m}{217,00 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot 0,1656m^2} + 23,5^{\circ}C \approx 23,537^{\circ}C$$

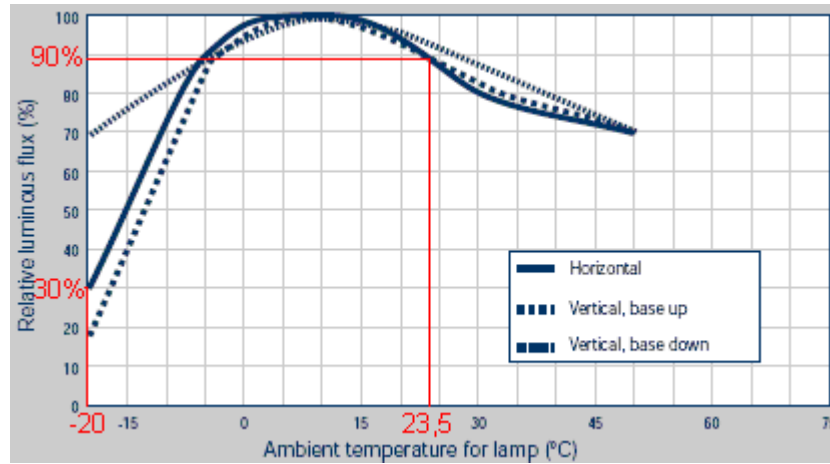
Dulux L:

$$t_1 = \frac{\Phi \cdot d}{\lambda \cdot A} + t_2 = \frac{331,5312W \cdot 0,005m}{217,00 \frac{W}{m^{\circ}C} \cdot 0,1656m^2} + 23,5^{\circ}C \approx 23,546^{\circ}C$$

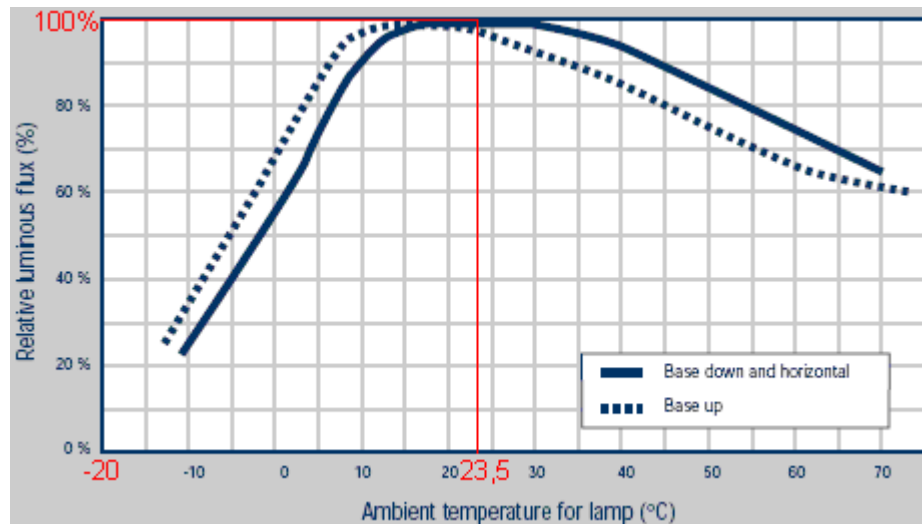
Taulukko 25. Yhteenveto laskelmista (alumiini)

Valonlähde	$t_2/^{\circ}C$	Alumiini ( $t_1/^{\circ}C$ )	Erotus ( $ t_2-t_1 /^{\circ}C$ )
L SP	-20,5	-20,456	0,044
L	-20,5	-20,444	0,056
L SP	23,5	23,537	0,037
L	23,5	23,546	0,046

Näistä arvoista voimme katsoa sisäisen lämpötilan perusteella valonlähteiden prosentuaaliset valontuotot.



Kaavio 13. Dulux L SP valontuotto (%)



Kaavio 14. Dulux L valontuotto (%)

Kaavioista 13 ja 14 luetut arvot laitetaan helposti luettavaan muotoon taulukoon 26.

Taulukko 26. Laskettuja lämpötiloja vastaavat valovirrat (%)

Valonlähde	$t_2/^\circ\text{C}$	Alumiini ( $t_1/^\circ\text{C}$ )	Vastaava valovirta/%
L SP	-20,5	-20,456	n. 30
L	-20,5	-20,444	-
L SP	23,5	23,537	n. 90
L	23,5	23,546	n. 100

Alumiininen valaisin johtaa lämpöä niin tehokkaasti, että lämpötila on käytännössä lähes sama valaisimen sisä- ja ulkopuolella.



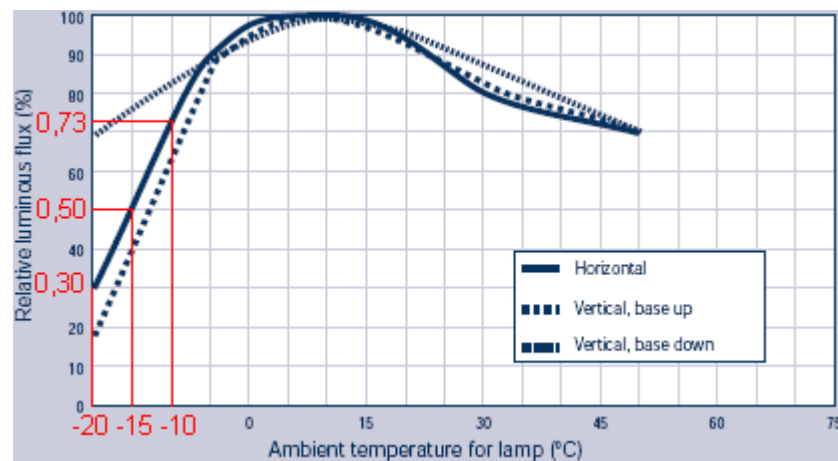
## 5.4 Lämpötilakerroin Dulux L ja L SP

Alumiinivalaisinta ja Dulux L SP -yksikantaloistelamppua käytettäessä on hyvä käyttää lämpötilakerrointa valaistuslaskennassa, mikäli valaisinta tarvitaan kylmemmällä säällä kuin -5 astetta, joka vastaa 90 % nimellisestä valovirrasta. Tämä antaa realistisemmän kuvan todellisesta valon määrästä.

Lämpötilakerroin on tässä tapauksessa helppo määrittää. Lämpötilakerroin saadaan nimittäin suoraan valonlähteen ominaiskäyrästä.

### 5.4.1 Lämpötilakerroin Dulux L SP

Dulux L SP -yksikantaloistelampun lämpötilakerroin voidaan asettaa 5 asteen välein. 5 asteen välein valovirta laskee 20 %, joka on valovirran kannalta merkittävä.



Kaavio 15. Lämpötilakerroin Dulux L SP

Kaaviosta 15 saadut lämpötilakertoimet laitetaan helposti luettavaan muotoon, taulukkoon 27.

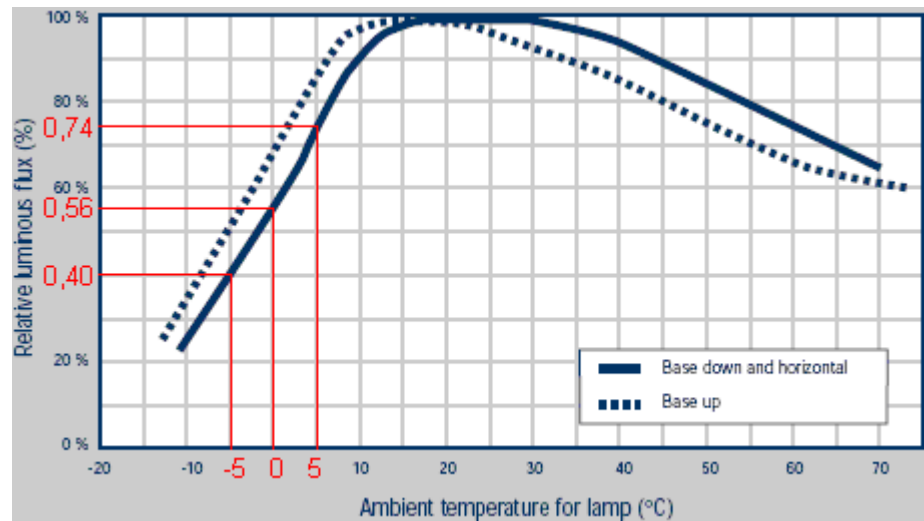
Taulukko 27. Pyöristetty lämpötilakerroin

Lämpötila/°C	Kerroin
-10,0	0,70
-15,0	0,50
-20,0	0,30

### 5.4.2 Lämpötilakerroin Dulux L

Dulux L -yksikantaloistelampun lämpötilakerroin voidaan asettaa myös 5 asteen välein. 5 asteen välein valovirta laskee noin 20 %, joka on valovirran

kannalta merkittävä. Yli 90 % virran alenema alkaa jo alle 10 asteessa. Eli kerroin määritetään alkaen +5 asteesta.



Kaavio 16. lämpötilakerroin Dulux L

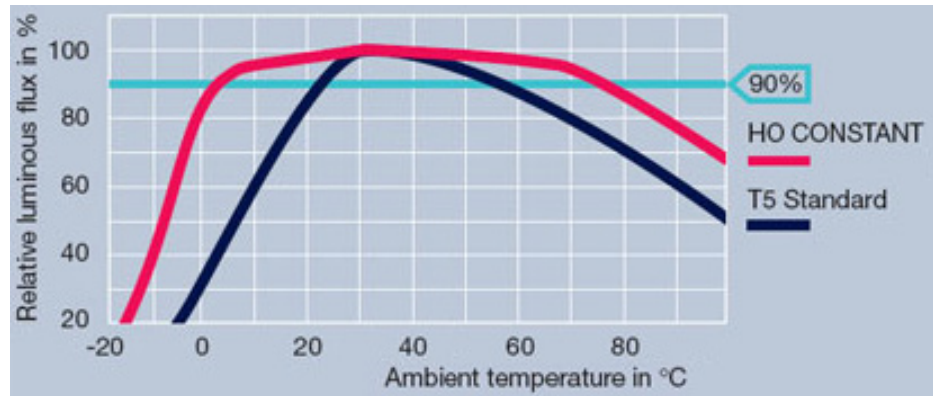
Kaaviosta 16 saadut lämpötilakertoimet laitetaan helposti luettavaan muotoon, taulukkoon 28.

Taulukko 28. Pyöristetty lämpötilakerroin

Lämpötila/°C	Kerroin
5,0	0,75
0,0	0,55
-5,0	0,40

## 6 LÄMPÖTILAKERROIN LUMILUX T5 HO CONSTANT

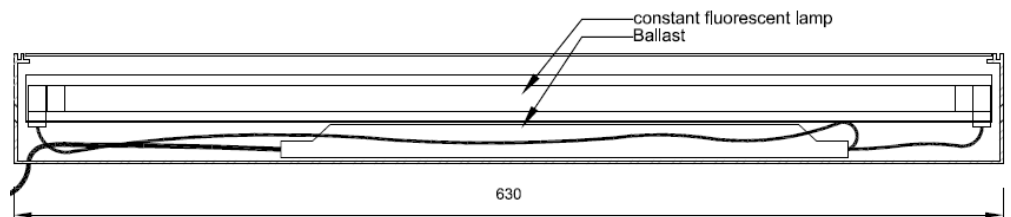
Kaksikantaloistelamppua Lumilux T5 HO Constant käytetään myös alumiini-valmisteisessa Tocatta-nimisessä valaisimessa. Koska valaisin on samaa materiaalia, yhtä kapea ja lämpöä johtava, voidaan todeta, että lämpötila valaisimen sisällä ja ulkona käyttäytyvät samalla lailla. Eli lämpötila valaisimen ulkopuolella on lähellä samaa.



Kaavio 17. Prosentuaalinen valovirta lämpötilan funktiona [17]

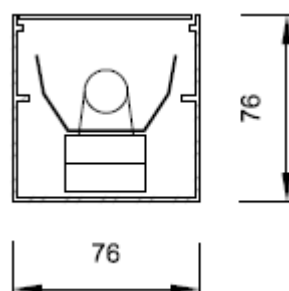
### Tocatta

Tocatta-valaisin on valaisintehtaan, Seluxin, valmistama valaisin. Tocatta-valaisimen mittapiirroukset näkyvät kuvissa 17 ja 18.



Kuva 17. Valaisimen fyysiset mitat sivulta (mm) [12, s. 10]

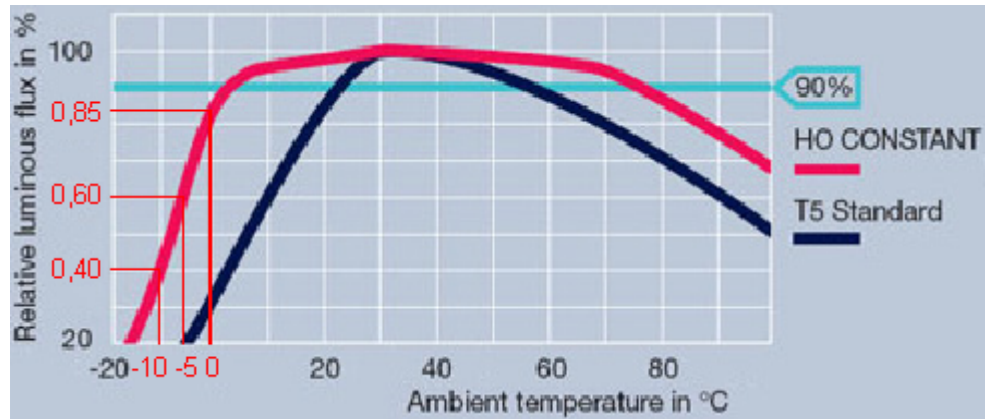
Kuva 17 esittää valaisinta, jossa on valonlähde, heijastin, liitännälaitte ja johdotuksia.



Kuva 18. Valaisimen fyysiset mitat päästä (mm) [12, s. 10]

### Lämpötilakerroin

Lämpötilakerroin voidaan määrittää suoraan Lumilux T5 HO Constant -kaksikantaloistelampun valontuoton ominaiskäyrästä. Kaavioon 18 on piirretty lämpötiloja vastaavat lämpötilakertoimet 5 asteen välein.



Kaavio 18. Lumilux T5 HO Constant lämpötilakerroin

Kaaviosta 18 saadut lämpötilakertoimet laitetaan helposti luettavaan muotoon, taulukkoon 29.

Taulukko 29. Lämpötilakerroin taulukoituna

Lämpötila/°C	Kerroin
0,0	0,85
-5,0	0,60
-10,0	0,40

## 7 VALAISTUSLASKENTAESIMERKKI PUISTOON

Lasketaan valaistus puistotielle, jonka leveys on noin 3 m. Kevyen liikenteen väylät luokitellaan vilkkauden, ajonopeuden ja tien leveyden mukaan.

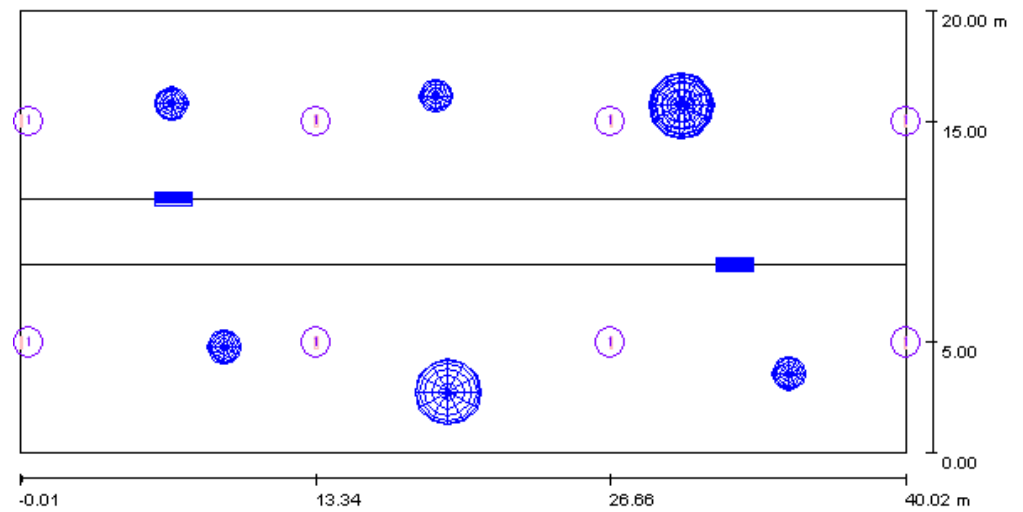
Taulukko 30. Kevyenliikenteen valaistusvoimakkuussuosituksen luokittain [18]

Luokka	Vaakatason valaistusvoimakkuus	
	Em <sup>1)</sup> 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

Taulukon 30 luokkaselitykset ovat liitteessä 1, sivulla 6.

Valaistuslaskenta toteutetaan DIALux –ohjelmaa käyttäen. Ohjelma on ammatti-piireissä yleisesti tunnettu yksinkertainen sisä- ja ulkovalaistuslaskentaan kehitetty ohjelma.

Kuva 19 esittää aluetta, jolle laskelma tehdään. Keskellä aluetta on 3 metriä leveä kävelytie, jonka ympärillä on nurmikkoa ja puita. Ykkösillä numeroidut ympyrät kuvaavat valaisimia.



Huoltokerroin: 0.80, ULR (Upward Light Ratio): 0.0%

*Kuva 19. Puistotie*

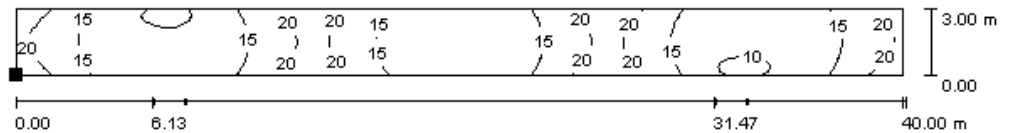
Taulukossa 31 on yhteenveto käytetyistä valaisimista, kunkin valaisimen tehosta sekä valovirrasta. Myös kokonaisteho ja -valovirta on ilmoitettu.

*Taulukko 31. Luettelo valaisimista*

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ [lm]	P [W]
1	8	(c) 2007 Semperlux Aktiengesellschaft Gasleuchte Berlin Version 3 Reflektor Gasleuchte Lampe Typ3 (1.000)	4850	54.0
Yhteensä:			38800	432.0

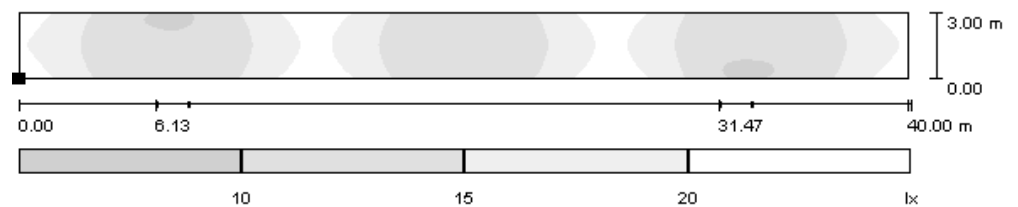
## 7.1 Tulokset kun ei lämpötilakerrointa

Laskelmissa valaisimessa on teholtaan 54 W Lumilux T5 HO Constant -kaksikantaloistelamppu, joka tuottaa valoa 4850 lm.



Kuva 20. Isolux-käyrät kävelytiellä

Kuvan 20 isolux-käyrät kuvaavat valaistustasoja ja niiden ulottuvuutta. Näitä käyriä voisi verrata maaston muodon kuvaamiseen tarkoitettuja korkeuskäyriä.



Kuva 21. Harmaa-asteikolla esitetyt valaistusvoimakkuudet

Kuvassa 21 esitetään sama asia kuin kuvassa 20, mutta valaistustasot ovat ilmaistu harmaan vaaleilla väreillä.

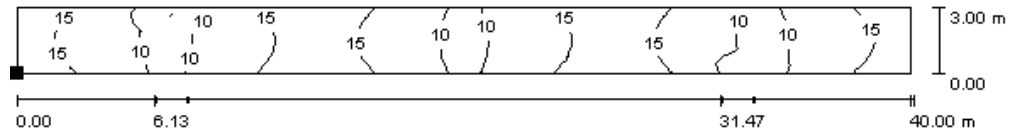
Taulukko 32. Valaistusvoimakkuusarvoja kävelytiellä

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
15	4.35	23	0.28	0.19

Keskimääräisen valaistusvoimakkuuden mukaan arvot käyvät mille tahansa kevyen liikenteen tielle. Pienin valaistusvoimakkuus jää 0,65 luxia liian alhaiseksi luokkaan K1. Laskelman mukaan arvot ovat sopivat kevyen liikenteen luokkiin 2-6. Mikäli halutaan valaistus luokkaan K1 sopivaksi, täytyy valaisinvälejä pienentää.

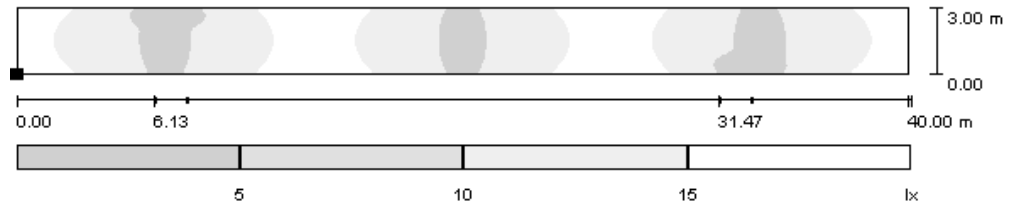
## 7.2 Tulokset kun lämpötila 0 °C ja lämpötilakerroin 0,85

Lämpötilakerroin vaikuttaa suoraan valonlähteen valon määrään:  
 $0,85 \cdot 4850 \text{ lm} = 4122,5 \text{ lm}$ .



Kuva 22. Isolux-käyrät kävelytiellä

Kuvan 22 isolux-käyrät poikkeavat alkuperäisistä laskelmista ilman lämpötilakerrointa noin 5 lx.



Kuva 23. Harmaa-asteikolla esitetyt valaistusvoimakkuudet

Myös kuvassa 23 huomataan eroja verrattaessa alkuperäisiin laskelmiin ilman lämpötilakerrointa.

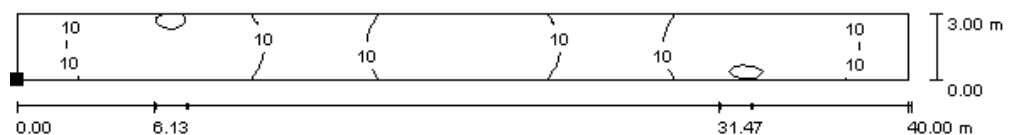
Taulukko 33. Valaistusvoimakkuusarvoja kävelytiellä

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
13	3.69	20	0.28	0.19

Valaistusvoimakkuuksien perusteella pysytään vielä samoissa luokissa kuin ilman lämpötilakerrointa. Tosin keskimääräinen valaistusvoimakkuus on lasketut 2 lx, mutta tällä ei ole käytännössä mitään vaikutusta.

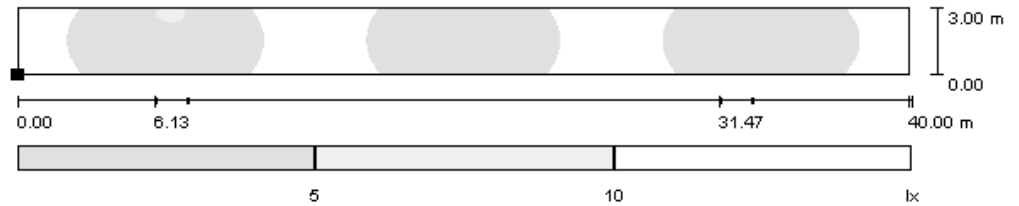
### 7.3 Tulokset kun lämpötila -5 °C ja lämpötilakerroin 0,60

Lämpötilakerroin vaikuttaa suoraan valonlähteen valon määrään:  
 $0,60 \cdot 4850lm = 2910lm$



Kuva 24. Isolux-käyrät kävelytiellä

Kuvan 24 isolux-käyrien erot näkyvät yhä selkeämmin alkuperäisiin laskelmiin verrattuna.



Kuva 25. Harmaa-asteikolla esitetyt valaistusvoimakkuudet

Myös kuvassa 25 huomataan eroja verrattaessa alkuperäisiin laskelmiin ilman lämpötilakerrointa.

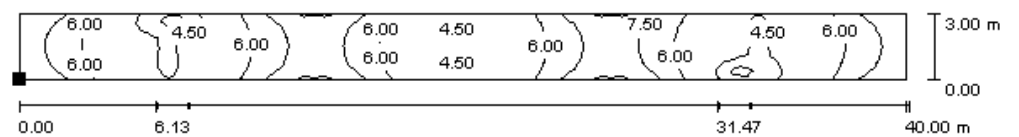
Taulukko 34. Valaistusvoimakkuusarvoja kävelytiellä

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
9.24	2.61	14	0.28	0.19

40 % valovirran alenemalla alkaa olemaan jo vaikutusta. Keskimääräisen ja pienimmän valaistusvoimakkuuden perusteella valaistus sopii tällöin kevyen liikenteen luokkiin 3-6.

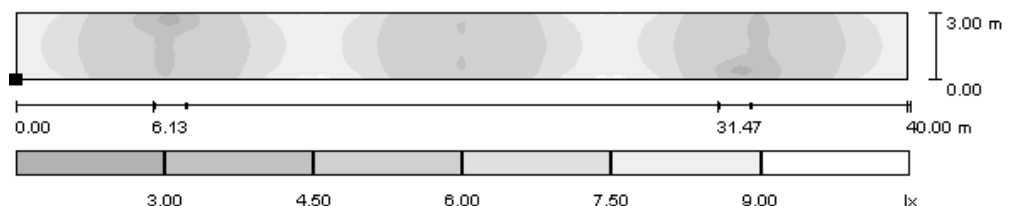
#### 7.4 Tulokset kun lämpötila -10 °C ja lämpötilakerroin 0,40

Lämpötilakerroin vaikuttaa suoraan valonlähteen valon määrään:  
 $0,40 \cdot 4850lm = 1940lm$



Kuva 26. Isolux-käyrät kävelytiellä

Kuvassa 26 arvot ovat selkeästi pienemmät kuin alkuperäisessä laskelmas-  
 sa ilman lämpötilakerrointa.



Kuva 27. Harmaa-asteikolla esitetyt valaistusvoimakkuudet



Kuvassa 27 hämärät alueet näyttävät lisääntyneen verrattuna alkuperäisiin laskelmiin ilman lämpötilakerrointa.

Taulukko 35. Valaistusvoimakkuusarvoja kävelytiellä

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
6.16	1.74	9.23	0.28	0.19

60 % valovirran alenema vaikuttaa laskelmiin siten, että keskimääräisen ja pienimmän valaistusvoimakkuuden perusteella valaistus sopii kevyen liikenteen luokkiin 4-6.

## 8 YHTEENVETO

Tässä kappaleessa tehdään yhteenvedot mittauksista ja valaistuslaskelmista. Kummatkin osiot käsitellään erikseen.

### *Mittaus*

Dulux L ja Dulux SP -yksikantaloistelamppujen välillä on eroa käytännössä suhteellisen vähän. Kummatkin testissä olleet 24 W:n valonlähteet tuottavat nimellisesti 1800 lm. Valaistusvoimakkuusmittauksissa Dulux L SP saavutti huippuarvokseen kummassakin mittauksessa noin 30 lx enemmän kuin Dulux L. Tämä on kuitenkin täysin merkityksetöntä, sillä 30 lx ero on merkityksettömän pieni. Se voi aiheutua mahdollisista mittausvälineiden eri asennoista tai vain mittaushetkestä. Suurin ja merkityksellisin ero on kuitenkin siinä, että nimelliset valovirrat saavutetaan eri lämpötiloilla, jonka totesimme jo mittaustuloksia analysoitaessa.

Herkästi lämpötilariippuvaisille loistelampuille valaisimen rakenteella ja materiaalilla on suuri merkitys. Tämä antaa valaisinvalmistajille haasteita. Valmistajien pitäisikin mieltiä markkinointialueita, joissa otetaan huomioon kyseisillä alueilla vallitsevat ilmasto-olosuhteet. Koska alumiini johtaa hyvin lämpöä, esimerkiksi työssä testattu valaisin sopii hyvin alueille, joiden lämpötila iltaisin ja öisin Dulux L SP yksikantaloistelamppua käytettäessä on noin -5 - 20 astetta. Tätä kylmemmille alueille voidaan kehittää valaisimen

sisälle esimerkiksi termokerros, joka eristäisi lämpöä valaisimen sisäpuolelle ja täten nostaisi valovirtaa.

### *Valaistuslaskelma*

Taulukoidaan eri kertoimilla lasketut arvot taulukkoon 36. Näin luvut ovat helposti verrattavissa keskenään.

*Taulukko 36. Yhteenveto*

Lämpötila/°C	Lämpötilakerroin	Lasketut arvot		
		Em/lx	Emin/lx	Emax/lx
>0	1,00	15,0	4,4	23,0
0	0,85	13,0	3,7	20,0
-5	0,60	9,2	2,6	14,0
-10	0,40	6,2	1,7	9,2

Laskelmien mukaan lämpötilakertoimella on merkitystä. Huonoimmassa tapauksessa valaistustaso voi olla jopa yli puolet alhaisempi kuin ilman lämpötilakerrointa laskettaessa. Kevyenliikenteen valaistussuositusten perusteella laskelma heittelee lämpötilakertoimesta riippuen luokissa K2 - K4. Lämpötilakertoimella on siis merkittävä vaikutus ulkovalaistuslaskennassa.

Huomioitavaa kuitenkin on se, että laskelmassa käytetty valaisin on täysin alumiinia. Mikäli valaisinvalmistaja kehittäisi valaisimen sisälle pienen termokerroksen, jolla optimoitaisiin valaisimen sisällä oleva lämpötila lämpötilaolosuhteiden mukaiseksi, välttyttäisiin lämpötilakertoimen käytöltä.

## VIITELUETTELO

- [1] Työ- ja elinkeinoministeriö, *EuP-direktiivi*. [verkkodokumentti. Viitattu 1.4.2009]. Saatavissa: <http://www.tem.fi/index.phtml?s=2422>
- [2] Suomen valoteknillinen seura, *EuP-direktiivi*, ajankohtaisseuranta. [verkkodokumentti. Viitattu 1.4.2009]. Saatavissa: <http://www.valosto.com/>
- [3] Helsingin Sanomat, *Helsinki joutuu vaihtamaan kaikki katulamput uusiin*. [verkkodokumentti. Viitattu 15.2.2009.]. Saatavissa: <http://www.hs.fi/kaupunki/artikkeli/Helsinki+joutuu+vaihtamaan+kaikki+katulamput+uusiin/113524355549>
- [4] Työ- ja elinkeinoministeriö, Heikki Väisänen: Ajankohtaista ministeriöstä. KETS/KEO yhdyshenkilötapaaminen, Sannäs: 25.11.2008.
- [5] Oy Philips Ab Valaistus: Philips Lamppuopas 2006/07.
- [6] Oy OSRAM Ab: Tuoteluettelo 2007/2008.
- [8] OSRAM: *Economical long-life light sources with plug-in bases, Compact fluorescent lamps Osram Dulux Technical Guide.pdf* 2003.
- [7] Euroopan yhteisöjen komissio: D001746/02. [verkkodokumentti. Viitattu 15.2.2009.]. Saatavissa: [http://www.valosto.com/tiedostot/Draft%20tertiary%20sector%20lighting%20products%20regulation\\_FI-kaannosluonnos.pdf](http://www.valosto.com/tiedostot/Draft%20tertiary%20sector%20lighting%20products%20regulation_FI-kaannosluonnos.pdf)
- [9] OSRAM: *Quicktronic Intelligent QT*i**. [verkkodokumentti.]. Saatavissa: [http://www.osram.com/\\_global/pdf/Professional/ECG\\_%26\\_LMS/ECG\\_for\\_FL\\_and\\_CFL/Product\\_flyer\\_QTi-low.pdf](http://www.osram.com/_global/pdf/Professional/ECG_%26_LMS/ECG_for_FL_and_CFL/Product_flyer_QTi-low.pdf)
- [10] Ilmatieteenlaitos: Ilmastotilastot, Keskiarvokartat 1971\_2000 – Talvi. Saatavissa: [http://www.fmi.fi/saa/tilastot\\_145.html](http://www.fmi.fi/saa/tilastot_145.html)
- [11] Ilmatieteenlaitos: Ilmastotilastot, Ilman lämpötila, Kuukausikeskilämpötilan vaihteluista. Saatavissa: [http://www.fmi.fi/saa/tilastot\\_4.html#5](http://www.fmi.fi/saa/tilastot_4.html#5)
- [12] Yliopiston almanakkatoimisto: Kalenteri vuodelle 2009. Saatavissa: <http://almanakka.helsinki.fi/>
- [13] Oksanen J., Walter O.: *Plane Design Proposal For Prototype Manufacturing Purposes. iGuzzini, Italia*. 2005.
- [14] Suvanto, Kari: *Tekniikan fysiikka 1*. Edita Prima Oy: Järvenpää: 2003.
- [15] Järvinen, Pasi: *Uusi muovitieto*. Muovifakta Oy: Sipoo. Saatavissa: [http://www.muovifakta.fi/UusiMuovitieto/pdf/Uusimuovitieto\\_PC.pdf](http://www.muovifakta.fi/UusiMuovitieto/pdf/Uusimuovitieto_PC.pdf)
- [16] Mäkelä M., Soininen L., Tuomola S. & Öistämö J.: *Tekniikan kaavasto*. Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka: Hämeenlinna: 2005.

- [17] OSRAM: *Lumilux T5 HO High Output Constant*. [verkkodokumentti.]. Saatavissa:  
[http://www.osram.com/osram\\_com/Professionals/General\\_Lighting/Fluorescent\\_lamps/Product\\_overview/T5\\_fluorescent\\_lamps/LUMILUX\\_T5\\_HO\\_HIGH\\_OUTPUT\\_CONSTANT/index.html](http://www.osram.com/osram_com/Professionals/General_Lighting/Fluorescent_lamps/Product_overview/T5_fluorescent_lamps/LUMILUX_T5_HO_HIGH_OUTPUT_CONSTANT/index.html)
- [18] Tiehallinto: *Tievalaistuksen suunnittelu 2006*.

## Mittaustulokset pakkasella

 $T_{\text{ympäristö}} = -20,5 \text{ °C}$ 

L SP		
t/min	E/lx	E/%
0	78	5,2
0,15	50	3,4
0,3	55	3,7
0,45	70	4,7
1	81	5,4
1,15	95	6,4
1,3	106	7,1
1,45	115	7,7
2	123	8,2
2,15	131	8,8
2,3	141	9,5
2,45	151	10,1
3	161	10,8
3,15	173	11,6
3,3	185	12,4
3,45	200	13,4
4	218	14,6
4,15	235	15,8
4,3	252	16,9
4,45	274	18,4
5	295	19,8
5,15	315	21,1
5,3	340	22,8
5,45	365	24,5
6	392	26,3
6,15	419	28,1
6,3	450	30,2
6,45	483	32,4
7	515	34,5
7,15	550	36,9
7,3	587	39,4
7,45	629	42,2
8	668	44,8
8,15	710	47,6
8,3	755	50,6
8,45	805	54,0
9	850	57,0
9,15	900	60,4
9,3	951	63,8
9,45	1000	67,1
10	1050	70,4
10,15	1090	73,1
10,3	1131	75,9
10,45	1170	78,5
11	1200	80,5

11,15	1235	82,8
11,3	1263	84,7
11,45	1290	86,5
12	1310	87,9
12,15	1333	89,4
12,3	1350	90,5
12,45	1369	91,8
13	1384	92,8
13,15	1397	93,7
13,3	1410	94,6
13,45	1420	95,2
14	1431	96,0
14,15	1440	96,6
14,3	1450	97,3
14,45	1460	97,9
15	1466	98,3
16	1481	99,3
17	1489	99,9
18	1491	100,0
19	1489	99,9
20	1484	99,5
21	1478	99,1
22	1470	98,6
23	1462	98,1
24	1443	96,8
25	1423	95,4
26	1416	95,0
27	1395	93,6
28	1388	93,1
29	1374	92,2
30	1365	91,5

L		
t/min	E/lx	E/%
0	40	2,7
0,15	35	2,4
0,3	41	2,8
0,45	19	1,3
1	60	4,1
1,15	77	5,3
1,3	97	6,7
1,45	114	7,8
2	137	9,4
2,15	162	11,1
2,3	189	13,0
2,45	219	15,0
3	238	16,3
3,15	265	18,2
3,3	300	20,6
3,45	322	22,1

4	347	23,8
4,15	377	25,9
4,3	404	27,7
4,45	433	29,7
5	462	31,7
5,15	495	34,0
5,3	527	36,1
5,45	555	38,1
6	585	40,1
6,15	618	42,4
6,3	645	44,2
6,45	675	46,3
7	700	48,0
7,15	725	49,7
7,3	750	51,4
7,45	775	53,2
8	791	54,3
8,15	806	55,3
8,3	825	56,6
8,45	835	57,3
9	843	57,8
10	879	60,3
11	959	65,8
12	1047	71,8
13	1115	76,5
14	1180	80,9
15	1238	84,9
16	1280	87,8
17	1315	90,2
18	1354	92,9
19	1383	94,9
20	1409	96,6
21	1425	97,7
22	1437	98,6
23	1446	99,2
24	1452	99,6
25	1455	99,8
26	1457	99,9
27	1458	100,0
28	1458	100,0
29	1456	99,9
30	1455	99,8
40	1434	98,4
42	1425	97,7

## Mittaustulokset huoneen lämmössä

 $T_{\text{ympäristö}} = 23,5 \text{ °C}$ 

L SP		
t/min	E/lx	E/%
0	850	55,6
0,15	1200	78,5
0,3	1333	87,2
0,45	1417	92,7
1	1470	96,1
1,15	1500	98,1
1,3	1522	99,5
1,45	1529	100,0
2	1522	99,5
2,15	1511	98,8
2,3	1498	98,0
2,45	1483	97,0
3	1466	95,9
3,15	1450	94,8
3,3	1432	93,7
3,45	1417	92,7
4	1400	91,6
4,15	1385	90,6
4,3	1370	89,6
4,45	1356	88,7
5	1343	87,8
5,15	1330	87,0
5,3	1319	86,3
5,45	1307	85,5
6	1295	84,7
6,15	1285	84,0
6,3	1276	83,5
6,45	1266	82,8
7	1257	82,2
8	1225	80,1
9	1197	78,3
10	1173	76,7
11	1153	75,4
12	1135	74,2
17	1068	69,8
22	1025	67,0
27	1005	65,7
30	992	64,9
35	976	63,8
40	974	63,7

L		
t/min	E/lx	E/%



0	935	62,3
0,15	841	56,0
0,3	980	65,2
0,45	1120	74,6
1	1220	81,2
1,15	1293	86,1
1,3	1355	90,2
1,45	1403	93,4
2	1438	95,7
2,15	1462	97,3
2,3	1480	98,5
2,45	1492	99,3
3	1500	99,9
3,15	1502	100,0
3,3	1502	100,0
3,45	1500	99,9
4	1494	99,5
4,15	1487	99,0
4,3	1477	98,3
4,45	1466	97,6
5	1453	96,7
5,15	1442	96,0
5,3	1427	95,0
5,45	1412	94,0
6	1397	93,0
6,15	1381	91,9
6,3	1366	90,9
6,45	1351	89,9
7	1298	86,4
8	1266	84,3
9	1238	82,4
10	1213	80,8
11	1191	79,3
12	1169	77,8
17	1114	74,2
22	1070	71,2
27	1039	69,2
30	1025	68,2
35	1007	67,0
40	995	66,2

## Tiehallinnon valaistusoppaan katuluokat: Selitykset taulukkoon 30

VÄYLÄ TAI ALUE	VALAISTUSLUOKKA	JALANKULKUALUEET	
KÄVELYKADUT		KESKUSTASSA, TORIT JA AUKIOT	K1,K2
Kaupungin keskusta			
- vain kevytliikenne	K2	PYSÄKÖINTIALUEET	
- huoltoajo sallittu	K1	- vilkkaat	K3
		- vähäliikenteiset	K4
Kaupungin muut alueet		ULKOILUTIET	
- vain kevytliikenne	K3	- puistokäytävät	K3
- huoltoajo sallittu	K2	- hiihtoladut, pururadat	K4
		ERILLISET KEVYEN LIIKENTEEN TIET	
Maaseututaajamat		- vilkkaat	K4
- vain kevytliikenne	K3, K4	- vähäliikenteiset	K6
- huoltoajo sallittu	K2		
HIDAS- JA PIHAKADUT			
- vilkkaat	K2		
- vähätoimintaiset	K4, K5		