



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Lasse Anttonen

T5-loisteputkien korvaaminen LED-valoputkilla toimistotiloissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

1.12.2019

Tekijä Otsikko	Lasse Anttonen T5-loisteputkien korvaaminen LED-valoputkilla toimistoti- loissa
Sivumäärä Aika	30 sivua + 1 liite 1.12.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Tapio Kallasjoki projektipäällikkö Antti Ketola
<p>Valonlähteiden kehittymisen myötä niiden valotehokkuus on parantunut huomattavasti vuosien saatossa. Varsinkin LED:ien kehitys on mahdollistanut merkittävien energiasäästöjen saavuttamisen uusimilla vanhoja valonlähteitä LED:eillä.</p> <p>Insinööriyössä tutkittiin yhdessä kohteessa LED-valoputkien soveltuvuutta T5-loisteputkien korvaajaksi vanhoissa valaisimissa. LED-valoputkien soveltuvuutta vanhoihin valaisimiin hankaloittaa se, että valaisimet on suunniteltu T5-loisteputkille, jolloin niiden heijastimia ja optiikkaa ei pystytä hyödyntämään samalla tavalla LED-valoputkilla.</p> <p>Työtä varten hankittiin T5-loisteputkilla varustettu valaisin ja loisteputken korvaava LED-valoputki. Valonlähteiden vertailu suoritettiin Granlund Oy:n tiloissa pienessä huoneessa. Työssä mitattiin valaistusvoimakkuuden, tehon, jännitteen, virran, luminanssin, CRI-arvon, spektrin ja tehokertoimen arvoja eri valonlähteillä sekä täytyvätkö valaistukselle asetettujen standardien arvot. Lisäksi työssä laskettiin valonlähteen vaihdon kustannuksia ja kannattavuutta.</p> <p>Insinööriyössä käytetyllä LED-valoputkella ei saavutettu T5-loisteputkella mitattuja arvoja, minkä lisäksi valoputken soveltuvuus vanhaan valaisimeen oli huono, sillä se aiheutti huomattavasti enemmän häikäisyä kuin T5-loisteputki. Tästä syystä mittauksissa käytettyä LED-valoputkea ei voi suositella asennettavaksi mittauksissa käytettyyn valaisimeen.</p>	
Avainsanat	valaistus, loistelamput, ledit

Author Title	Lasse Anttonen Replacement of T5-Fluorescent Lamps with LED Illuminating Tubes in Office Premises
Number of Pages Date	30 pages + 1 appendix 1 December 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and automation engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer Antti Ketola, Project Manager
<p>Light sources have developed during the past years and their luminous intensity has improved. Especially improvement of Light Emitting Diodes has enabled significant energy savings by replacing old light sources with LEDs.</p> <p>This final project investigates suitability of LED tubes to replace T5-fluorescent lamps in old luminaires. Old luminaires' reflectors and optics are often designed for T5-fluorescent lamps which makes it harder for LED tubes to exploit them.</p> <p>A luminaire which was equipped with T5-fluorescent lamps and compensatory LED tubes were acquired for this project. The comparison between the light sources was held in a small room at Granlund Oy's facilities. Luminous intensity, power output, voltage, current, luminance, CRI-value, spectrum and power factor were measured with both light sources. Values were compared with lighting standards. Fare for light source substitution and viability were also calculated in this project.</p> <p>LED tubes used in this project did not achieve the values measured with T5-fluorescent lamps. LED tube suitability for the old luminaire was also unsatisfactory because it did cause considerably more dazzling than T5-fluorescent lamps.</p>	
Keywords	Lighting, Fluorescent lamps, LEDs

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Valaistuksen termistöä	2
3	Valotekniset yksiköt ja määritelmät	4
4	Valaisimet ja valonlähteet	6
5	Loisteputkien uusiminen	8
6	Eri valonlähteillä suoritettut mittaukset	8
6.1	Mittalaitteet	8
6.2	Mittauksissa käytetyt loisteputket ja valaisinrunko	9
6.3	Mittaustulokset	10
7	Energiasäästö	26
8	Yhteenveto	28
	Lähteet	29

Liitteet

Liite 1. Motiva Valtti-valaistuslaskenta

Lyhenteet

CFI	Colour Fidelity Index. Väripuhtausindeksi.
CRI	Colour rendering index. Värintoistoindeksi.
HE	High Efficiency. Korkea hyötysuhde.
HF	High Frequency. Suurtaajuinen. Liitäntälaitteen malli.
LED	Light Emitting Diode. Hohtodiodi.

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on tutkia LED-valoputkien soveltuvuutta T5-loisteputkien korvaajiksi vanhoissa valaisimissa. Työ tehtiin osana Granlund Oy:n projektia, jossa kartoitettiin toimistotilan valaistuksen uusimisen tarvetta ja kannattavuutta. Alustavina vaihtoehtoina on uusia nykyiset T5-loisteputket LED-valoputkilla tai uusia koko valaisimet ja samalla niiden ohjausjärjestelmä. Näistä vaihtoehdoista valonlähteiden uusiminen on huomattavasti halvempi vaihtoehto, ja tässä työssä onkin perehdytty tähän vaihtoehtoon.

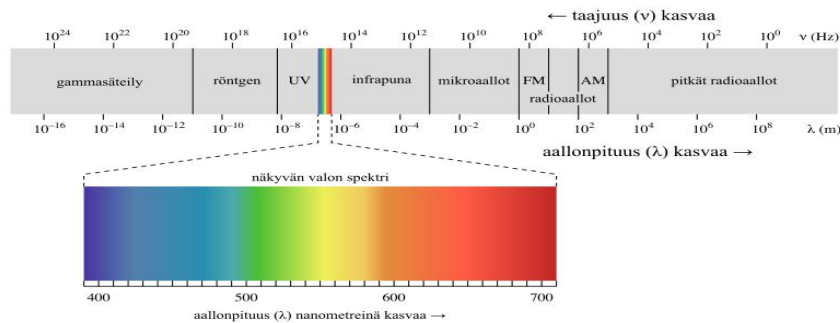
Granlund Oy on vuonna 1960 perustettu kiinteistö- ja rakennusalan asiantuntijakonserni. Sen tärkeimpänä tavoitteena on parantaa kiinteistöjen toimivuutta, älykkyyttä ja samalla ihmisten hyvinvointia rakennetussa ympäristössä.

Insinööriyön tavoitteena on esittää LED-valoputkien vaihtamisen kannattavuutta koskevia laskelmia ja havaintoja. Työssä tehtyjä mittauksia varten hankittiin tutkittavan kohteen toimistotiloissa yleisimmin käytetty valaisin nykyisillä T5-loisteputkilla ja uudet korvaavat LED-valoputket. Lisäksi mittauksia varten varattiin tila Granlund Oy:n tiloista ja tarvittavat mittalaitteet. Mittausten tavoitteena on vertailla eri valonlähteiden energiakustannuksia ja soveltuvuutta nykyiseen valaisimeen.

2 Valaistuksen termistöä

Säteily

Silmän havaitsema valo on sähkömagneettista säteilyä, joka havaitaan eri aallonpituuksilla erilaisina väreinä. Ihmissilmä pystyy havaitsemaan säteilyä aallonpituuksilla 380 - 780 nm. Tällä välillä tapahtuvaa säteilyä kutsutaankin näkyväksi valoksi, joka on esitetty tarkemmin kuvassa 1. Näkyvää valoa pidemmät aallonpituudet ovat IR-säteilyä ja lyhyemmät UV-säteilyä. [1; 2.]



Kuva 1. Näkyvän valon spektri [3].

Häikäisy

Häikäisyllä tarkoitetaan tunnetta, joka syntyy, kun näkökentässä on kirkkaita valonlähteitä tai suuria luminanssi eroja. Häikäisy on jaettu kahteen eri alaluokkaan, jotka ovat kiusahäikäisy ja estohäikäisy. Kiusahäikäisy on epämiellyttävä tunne, joka ei välttämättä heikennä näkemistä. Kiusahäikäisyä mitataan UGR-arvolla. Estohäikäisyssä häikäisevästä valonlähteestä silmään tuleva valo muodostaa verkkokalvolla olevan kuvan päälle harsoluminanssin, joka haittaa näkemistä. [1; 4.]

Luminanssikontrasti

Luminanssikontrastit aiheutuvat erilaisten pintojen heijastussuhteen ja valon seurauksena. Vaaleilla pinnoilla on hyvä heijastussuhde, minkä takia ne heijastavat valoa paljon ja tummilla pinnoilla huono heijastussuhde saa valon heijastumaan huonosti. Valon osuessa pintaan, silmä havaitsee erilaisia luminanssikontrasteja pinnan heijastussuhteen ja valon määrän perusteella. Näiden luminanssikontrastien avulla aivot pystyvät muodostamaan kuvia. [1.]

Spektri

Valo voidaan jakaa komponentteihin aallonpituuden mukaan. Tätä kutsutaan spektriksi eli kirjoksi. Ihmissilmä näkee spektrin komponentit erilaisina väreinä, koska eri aallonpituudet vaikuttavat eri tavalla kolmeen tappisoluun. [1; 5.]

Muodonanto

Muodonanto on valaistuksen laatuun liittyvä ominaisuus, joka määräytyy sylinterivalaistusvoimakkuuden ja horisontaalisen valaistusvoimakkuuden suhteesta. Tämän suhteen ollessa sopiva, varjot muodostuvat selkeästi ja kappaleiden muodot on helppo havaita. [1.]

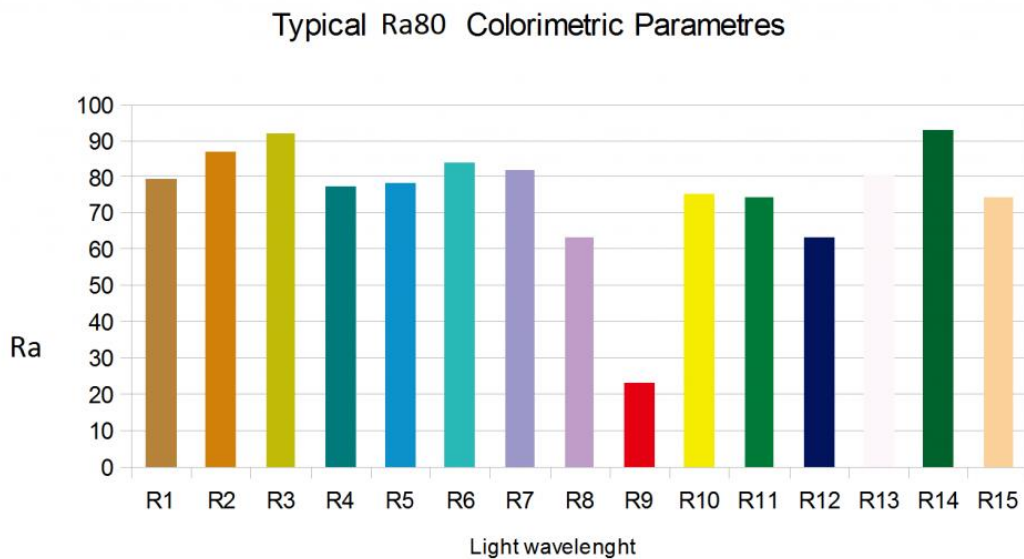
Kontrastiherkkyys

Harmaa-asteikon kontrastit muodostuvat eri tavoin valoa heijastavista pinnoista. Ihmisen kykyä erottaa tämän asteikon eri sävyjä kutsutaan kontrastiherkkydeksi. Kontrastiherkkyden ollessa huono, pienien kontrastien erottaminen on vaikeaa. [1.]

Värinäkökohdat

Värinäkökohdat määräytyvät värivaikutelman ja värintoistokyvyn perusteella. Värivaikutelma kuvaa valon näkyvää väriä eli ekvivalenttista lämpötilaa. Värivaikutelma on nykyään tärkeässä roolissa esimerkiksi työpaikkojen valaistusta suunniteltaessa, sillä valon ekvivalenttisella lämpötilalla pystytään vaikuttamaan ihmisen vireystilaan ja tätä kautta

tuottavuuteen. Värintoisto kuvaa, kuinka oikein värit toistuvat. Sitä kuvaamaan on kehitetty R_a -arvo, josta käytetään myös nimitystä CRI-arvo. R_a -arvo lasketaan väri-indeksistä 1—8 ja sen asteikko on nolasta sataan. Täydentävänä mittarina voidaan käyttää CRI1—15-asteikkoa, johon lasketaan väri-indeksit 1—14, jolloin saadaan tarkempi lukema valonlähteen värintoistosta. Lisäksi vuonna 2017 on julkaistu CFI-arvo, jossa testivärejä on 99. Tällä hetkellä CFI-arvo on tarkoitettu tarkkaan tieteelliseen tutkimustyöhön, sillä valaistusteollisuus ei halua luopua vanhasta värintoistoindeksistä. Kuvassa 2 on esitetty väri-indeksit 1—15 ja niiden kuvaamat värit. [1; 6; 7.]



Kuva 2. Väri-indeksit 1—15 [7].

3 Valotekniset yksiköt ja määritelmät

Valovirta

Valovirran yksikkö on luumen (lm), ja sitä käytetään ilmaisemaan lamppujen valontuottoa. Valonlähteen säteilyteho painotettuna tappisolujen silmänherkkyydellä ilmaisee valonlähteen kyvyn tuottaa näkyvän valon säteilytehoa, eli kuinka paljon näkyvää valoa valonlähde pystyy tuottamaan kokonaisuudessaan. [1; 8; 9.]

Luminanssi

Luminanssin yksikkö on cd/m² (kandelaa neliometriä kohden), ja sitä käytetään ilmaisemaan valaisevan pinnan valovoimaa projektiopinta-alayksikköä kohden. Luminanssin suuruuteen vaikuttavat pinnan heijastussuhde, valaistusvoimakkuus ja valon tulokulma. Tummilla pinnoilla luminanssi on pienempi kuin vaaleilla pinnoilla, niiden huonomman heijastussuhteen vaikutuksesta. Lisäksi luminanssiin vaikuttaa pinnan materiaali. Peilipinnoilla luminanssi vaihtelee sen mukaan, mistä suunnasta pintaa katsotaan ja mistä kulmasta valo osuu pintaan. Hajaheijastavilla pinnoilla luminanssi pysyy vakiona, katsoipa sitä mistä suunnasta tahansa. [1; 10.]

Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuuden yksikkö on luks, joka on lumenia pinta-alayksikköä kohden ja se kuvaa valovirran määrää pinta-alalla. Valaistusvoimakkuuden tunnus on E. Valaistusvoimakkuus on tärkeässä roolissa erityisesti tarkkaa näkemistä vaativissa tehtävissä, sillä ilman riittävää valaistusvoimakkuutta näkeminen hankaloituu. Näkemiseen vaikuttaa myös valaistusvoimakkuuden tasaisuus, joka saadaan minimivalaistusvoimakkuuden suhteesta keskimääräiseen valaistusvoimakkuuteen. Valaistusvoimakkuuden tasaisuuden tunnuksina käytetään U:ta ja U₀:aa. [1.]

Heijastumissuhde

Heijastumissuhteella p ilmaistaan, kuinka suuren osan tulleesta valovirrasta pinta heijastaa takaisin. Siihen vaikuttaa pinnan värin lisäksi valon tulosuunta ja pinnan heijastuspektri. Vaaleiden värien heijastumissuhde on parempi, kuin tummien värien, minkä takia tiloihin, joissa on tummat pinnat, tarvitaan valaisimista enemmän valovirtaa, jotta saavutetaan sama valaistustaso kuin vaaleilla pinnoilla. [1; 11.]

Häikäisyarvo

Häikäisyä mitataan usein UGR-arvolla (Unified Glare Rating), joka ilmaisee kiusahäikäisyyden määrän eri kulmista katsottuna. UGR-arvo voidaan laskea kaavalla 1. [1.]

$$UGR=8 \cdot \lg \left(\frac{0,25}{L_b} \cdot \sum \frac{L^2 \cdot \omega}{p^2} \right) \quad (1)$$

L_b on keskimääräinen taustaluminanssi

L on valaisimen valaisevien osien luminanssi havannoitsijaa kohti

ω on avaruuskulma, jossa häikäisylähde näkyy

p on sijaintikerroin.

4 Valaisimet ja valonlähteet

T5-loisteputket_b

T5-loisteputket ovat matalapaineisia purkauslamppuja, jotka tarvitsevat toimiakseen elektronisen liitännälaitteen, jossa perinteinen kuristin ja sytytin on korvattu elektronisilla komponenteilla. Niiden toiminta perustuu siihen, että sähköpurkauksessa lampun päissä sijaitsevista elektrodeista vapautuvat elektronit törmäilevät elohopea-atomien elektroneihin. Tällöin elohopea-atomien elektronit virittyvät eri energiatasoon ja niiden palatessa takaisin alempaan energiatasoon, ne vapauttavat energiaa UV-säteilyn muodossa. Putken sisäpinnassa on fluoresoivaa materiaalia, joka muuttaa UV-säteilyn näkyväksi valoksi. [12.]

Elektroninen liitännälaitte

Elektronisen liitännälaitteen toimintaperiaate on samankaltainen, kuin magneettisella kuristimella. Elektronisessa liitännälaitteessa perinteinen sytytin, kuristin ja kompensointikondensaattori on korvattu elektronisilla komponenteilla ja ne ovat kaikki liitännälaitteessa. Elektronisilla liitännälaitteilla saadaan etuja magneettiseen kuristimeen nähden, joita ovat korkeampi hyötysuhde ja valotehokkuus, loisteputkien värinä saadaan katoamaan huomattavasti korkeamman taajuuden ansiosta ja lamppujen elinikää saadaan pidennettyä. [13.]

LED-valoputket

LED:in toiminta perustuu siinä oleviin p- ja n-tyyppin puolijohteisiin. N-tyyppin puolijohteissa on ylimääräisiä elektroneja ja p-tyyppin puolijohteissa elektronivajaus. N-tyyppin elektronien täyttäessä p-tyyppin elektroni vajauksesta johtuvat aukot, vapautuu energiaa, josta saadaan valoa. [14.]

LED-valoputkia löytyy magneettisella kuristimella ja elektronisella liitäntälaitteella varustettuihin valaisimiin. Elektronisella liitäntälaitteella varustettuihin valaisimiin valoputket sopivat sellaisinaan, mutta magneettisella kuristimella varustettuihin valaisimiin joudutaan vaihtamaan sytytin, joka sopii LED-valoputkelle. Tällä hetkelle LED-valoputkia käytetään pääasiassa T8- ja T5-loisteputkien korvaajina, mutta markkinoilla on myös valoputkia yksikantaloistelampuille. Valoputkien pintamateriaaleina käytetään kirkkaita tai himmeitä materiaaleja. [15; 16.]

Korvaaville LED-valoputkille on annettu määräyksiä sääntelykomitean eli komitean, joka antaa lausunnon täytäntöönpanotoimenpiteistä, toimesta 12.7.2012. Niissä sanotaan, että jos valmistaja ilmoittaa valoputken korvaavan jonkin tietyn loistelampun on valoputken täytettävä seuraavat kriteerit: valovoima ei saa poiketa yli 25 prosenttia keskimääräisestä valovoima-arvosta mistään suunnasta mitattuna, valovirran oltava vähintään yhtä suuri, kuin loistelampun, jonka sen ilmoitetaan korvaavan ja valoputken teho ei saa ylittää loistelampun tehoa. [15; 16.]

Valaisimet

Valaisimia on monia erilaisia ja ne on suunniteltu erilaisiin käyttötarkoituksiin ja erilaisille valonlähteille. Valaisimessa heijastimien tehtävänä on heijastaa valonlähteen säteilemää valoa haluttuihin suuntiin. Niillä saadaan suunnattua valoa tasaisemmin ja katsojan kannalta paremmasta kulmasta, jolloin valonlähteen häikäisyä saadaan kontrolloitua paremmin. Valaisimessa voi myös olla erilliset häikäisysuojat, joilla häikäisy saadaan minimoitua. [17.]

5 Loisteputkien uusiminen

Loisteputkia uusittaessa tavoitteena on usein energiatehokkaampi valaistus, jonka avulla saadaan aikaan kustannussäästöjä. Tällöin ratkaisuksi valitaankin usein LED-valoputki. LED-valoputken uusiminen perinteisen loisteputken tilalle ei kuitenkaan välttämättä onnistu suoraan, vaan joissain tapauksissa valaisimeen tulee tehdä erillisiä muutostöitä. Valaisimet, joissa on magneettinen kuristin, eivät sovellu suoraan LED-valoputkiin vaan niihin tulee uusia liitäntälaitte tai retrofit mallisia LED valonlähteitä käytettäessä sytytin. Elektronisella liitäntälaitteella varustetuissa valaisimissa retrofit-malliset valoputket käyvät suoraan valaisimeen. Mikäli valaisimeen tehdään muutostöitä, esimerkiksi poistetaan magneettinen kuristin tai kompensointikondensaattori, alkuperäisen valmistajan vastuu lakkaa ja siirtyy muutostöiden tekijälle. Syy magneettisen kuristimen poiston taustalla on usein tehohäviöiden vähentäminen ja kompensointikondensaattorin poistolla tavoitellaan parempaa tehokerrointa. Muutostöiden seurauksena valaisimelle on suoritettava käyttöönottomittaukset ja muut varmistukset, sekä ne tulee merkitä arvokilvellä, josta käy ilmi muutostyön suorittaja ja yhteystiedot. [15; 16.]

Ennen kaikkien loisteputkien uusintaa on myös järkevää tehdä malliasennuksia, joilla voidaan testata uusien LED-valoputkien soveltuvuutta valaisinrunkoon. Valaisinrunkojen heijastimet ja häikäisyuojat on suunniteltu toimimaan alkuperäisellä valonlähteellä, minkä takia uudella putkella varustettu valaisin voi jakaa valoa huonosti tai aiheuttaa häikäisyä. Muuttuneen valonjaon seurauksena valaistuksen tasaisuus muuttuu, katto- ja seinäpinnat saattavat jäädä pimeiksi ylävalokomponentin mahdollisen häviämisen seurauksena, epäsymmetrinen valonjako saattaa muuttua symmetrisemmäksi ja valaisimen ulkonäkö muuttuu. [15; 16.]

6 Eri valonlähteillä suoritettut mittaukset

6.1 Mittalaitteet

Konica Minolta CL-70F valaistusvärimittarilla mitattiin valaistuksen spektri, Ra-arvo ja väriämpötila.

Hioki 3196 Power Quality Analyzer tehoanalysaattorilla mitattiin valaisimen ottama virta, jännite ja teho.

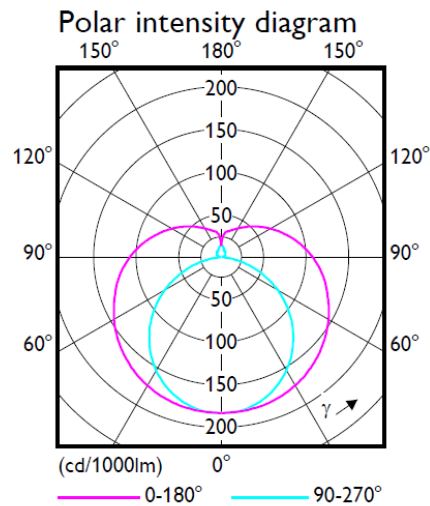
Minolta Luminance Meter LS-10C luminanssimittarilla mitattiin luminansseja.

Hagner Digital Luxmeter valaistusvoimakkuusmittarilla mitattiin valaistusvoimakkuuksia.

6.2 Mittauksissa käytetyt loisteputket ja valaisinrunko

LED-valoputket

Mittauksissa käytettiin LED-valoputkina Philipsin MASTER LEDtube HF 1200mm HE 16,5W 840 T5 mallia, joka sopii mittauksissa käytettyyn valaisimeen sellaisenaan. Valonlähteen pintamateriaalina on himmeää materiaalia. Valmistajan mukaan valoputken tulisi korvata 28 W T5-loisteputki. Loisteputken valonjako suuntautuu kuvan 3 mukaisesti lähinnä alaspäin, minkä takia se ei hyödynnä valaisinrungon heijastuspintoja optimaalisella tavalla. [18.]



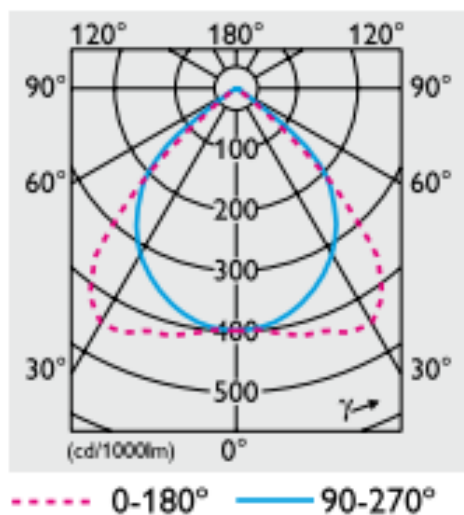
Kuva 3. Käytetyn LED-valoputken valonjako. C-tason 0-180 astetta valo osuu heijastimiin. [18].

T5-loisteputket

Mittauksissa käytettiin T5-loisteputkina valaisimen mukana tulleita Philipsin TL5 28W/830 HE-mallin loisteputkia. T5-loisteputki on ympärisäteilevä, joten sen valonjako suuntautuu tasaisesti kaikkiin suuntiin. [19.]

Valaisin

Mittauksissa käytettiin valaisimena Philipsin TBS 600 HF-P D7-60 PI-mallista valaisinta, jossa on elektroninen liitäntälaite. Mallissa on kaksi loisteputkea, joiden paikalle T5-loisteputket ja LED-valoputket asennettiin. Lisäksi valaisimessa on heijastinpinnat valaisimen sisällä ja irrotettava kasettiritilä häikäisyn estämiseksi. Kuvassa 4 on esitetty käytetyn valaisimen valonjako. [19.]



Kuva 4. Käytetyn valaisimen valonjako. [19].

6.3 Mittaustulokset

Mittausolosuhteet

Mittaukset suoritettiin huoneessa, jossa on vaaleat pinnat ja jonka korkeus on kolme metriä. Huoneen pituus on 6500 mm ja leveys 3500 mm. Valaisin oli asennettu 2600

mm:n korkeuteen. Mittausolosuhteet pyrittiin pitämään mahdollisimman samanlaisina eri mittauksien aikana, jotta tulokset olisivat mahdollisimman realistisia.

Valaistusvoimakkuus

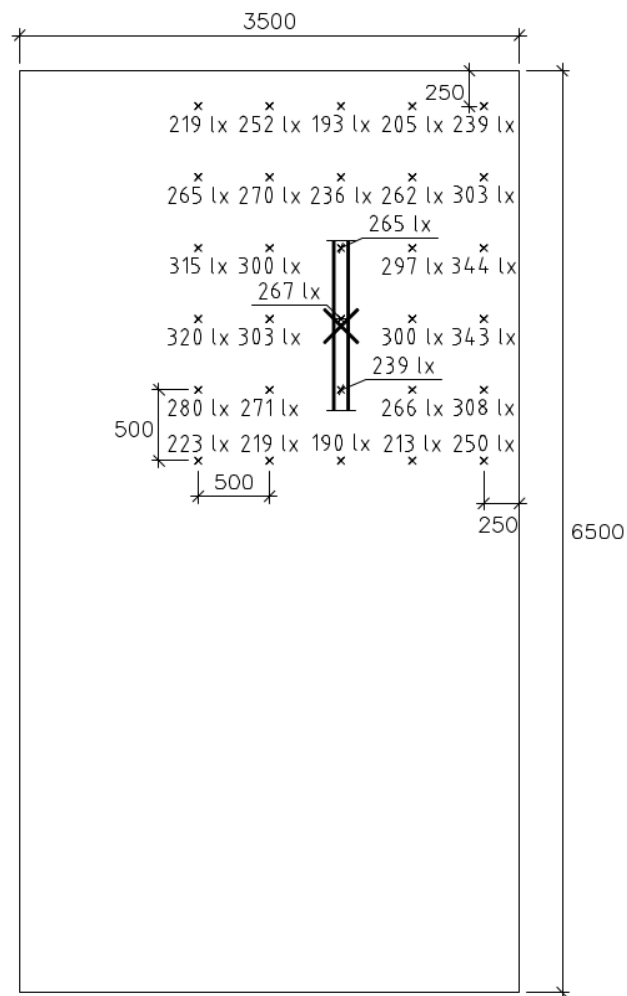
Valaistusvoimakkuutta mitattiin lattialta 30:stä eri pisteestä ja valaisimen alle sijoitetulta 800 mm korkealta pöydältä kuudesta eri pisteestä.

T5-loisteputkilla valaistusvoimakkuus oli suurempi, niin lattian tasossa, kuin pöydän päälläkin. Kuvista 5 ja 7 voidaan huomata, että lattian tasolla keskimääräinen valaistusvoimakkuus laski 27 luksia, kun T5-loisteputket korvattiin LED-valoputkilla. Kuvassa 10 on esitetty valaistusvoimakkuus lattialla valaisimen kanssa samassa linjassa mitatuista pisteistä kaaviona. Kuvista 6 ja 8 taas voidaan todeta, että pöydän tasolla keskimääräinen valaistusvoimakkuus laski 85 luksia. Lisäksi kuvassa 9 on esitetty valaistusvoimakkuus lattialla valaisimen linjassa. Valaistusvoimakkuuden kannalta kannattavampaa olisi näiden tulosten perusteella käyttää nykyisiä T5-loisteputkia.

SFS-EN 12464-1-standardissa annetaan toimistotilojen keskimääräisen valaistusvoimakkuuden arvoksi 500 luksia [20]. Arvot lasketaan työskentelytasolta, joka on yleensä noin 800 mm korkeudella. Kummillakaan valonlähteillä ei yksittäisellä valaisimella saavuteta tätä arvoa, mutta mittaustilanteen mukaisessa huoneessa on yleensä useita valaisimia, jolloin pinnoille tulee valoa myös lähellä sijaitsevista valaisimista. Tällöin molemmilla valonlähteillä vaaditut arvot saavutetaan suurella todennäköisyydellä. Lisäksi standardissa annetaan ohjearvot valaistuksen tasaisuudelle ja toimistotiloissa tämä arvo on 0,6. Valaistuksen tasaisuus voidaan laskea kaavalla 2. T5-loisteputkilla valaistusvoimakkuuden tasaisuus pöydän tasolla on 0,89 ja LED-valoputkilla 0,89. Molemmat valonlähteet täyttävät tämän ohjearvon.

$$\text{Tasaisuus} = \frac{\text{Pienin valaistusvoimakkuus } E_{\min}}{\text{Keskim.valaistusvoimakkuus } E_m} \quad (2)$$

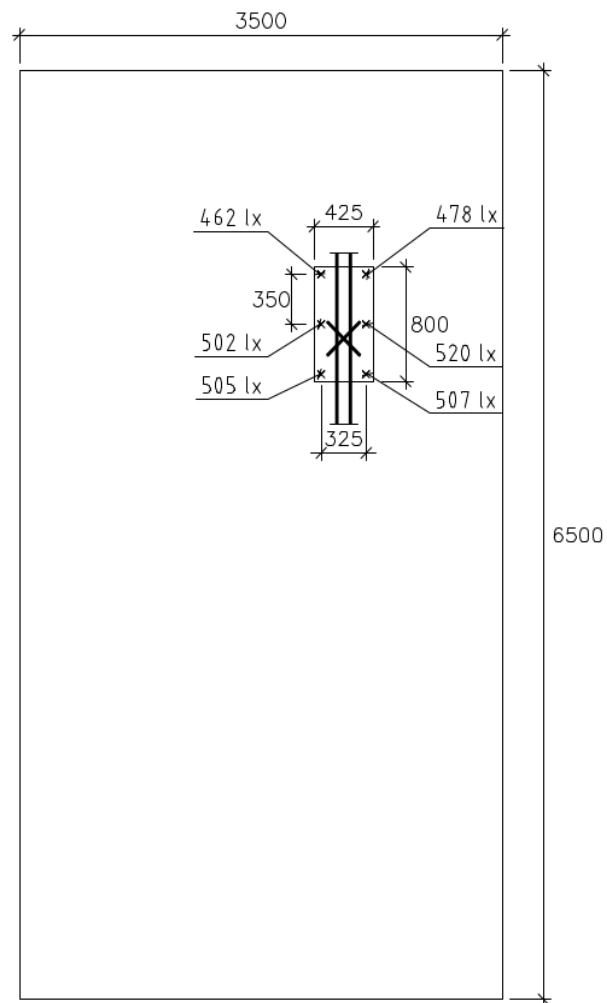
T5-loisteputket
 2x Philips TL5 28 W / 830 HE
 Valaistusvoimakkuus lattialla



Huoneen korkeus 3m
 Laskentapisteeet lattian tasossa
 Valaisimen asennuskorkeus on 2600 mm
 Keskimääräinen valaistusvoimakkuus = 265 lx

Kuva 5. Valaistusvoimakkuus lattialla T5-loisteputkilla.

T5-loisteputket
 2x Philips TL5 28 W / 830 HE
 Valaistusvoimakkuus pöydällä



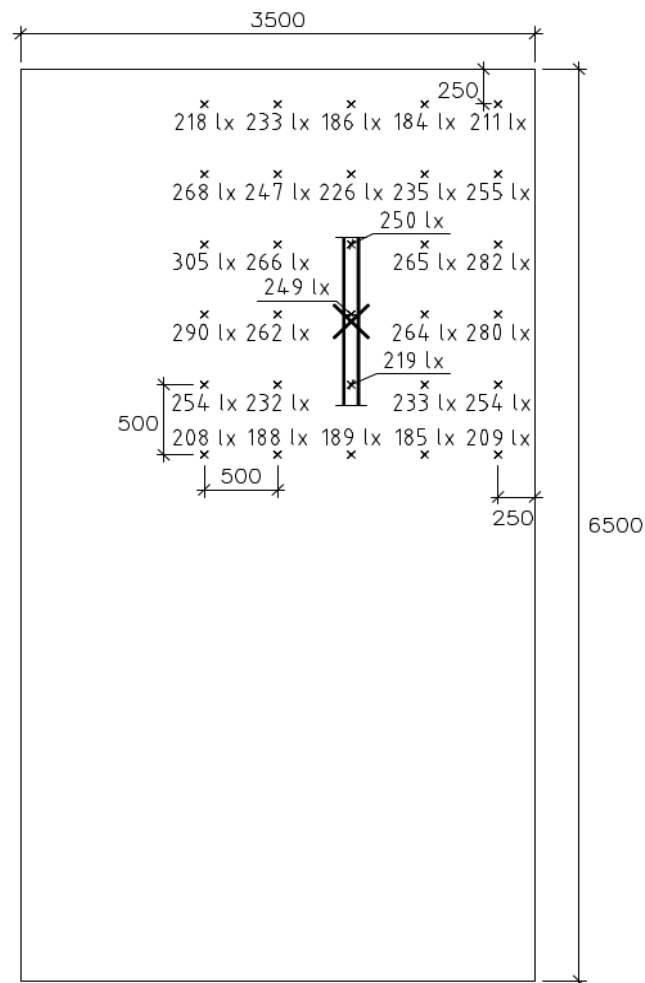
Huoneen korkeus 3m
 Laskentapisteet pöydän päällä, jonka korkeus on 800 mm
 Valaisimen asennuskorkeus on 2600 mm
 Keskimääräinen valaistusvoimakkuus = 496 lx

Kuva 6. Valaistusvoimakkuus pöydällä T5-loisteputkilla.

LED-loisteputket

2x Philips Master LEDTUBE 1200 mm HF HE 16,5 W 840 T5

Valaistusvoimakkuus lattialla



Huoneen korkeus 3m

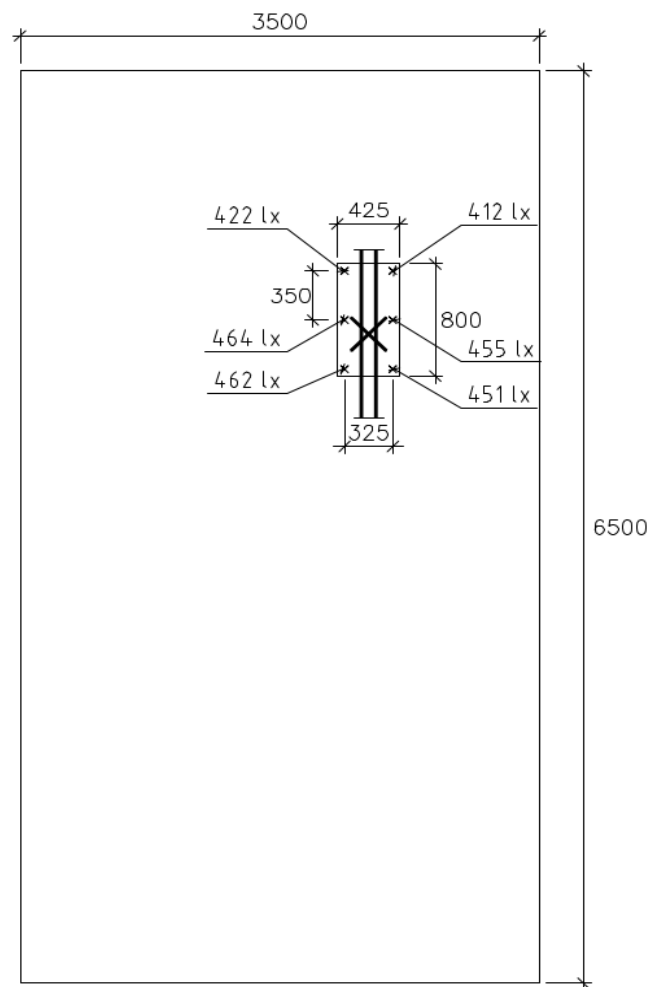
Laskentapisteeet lattian tasossa

Valaisimen asennuskorkeus on 2600 mm

Keskimääräinen valaistusvoimakkuus = 238 lx

Kuva 7. Valaistusvoimakkuus lattialla LED-valoputkilla.

LED-loisteputket
 2x Philips Master LEDTUBE 1200 mm HF HE 16,5 W 840 T5
 Valaistusvoimakkuus pöydällä



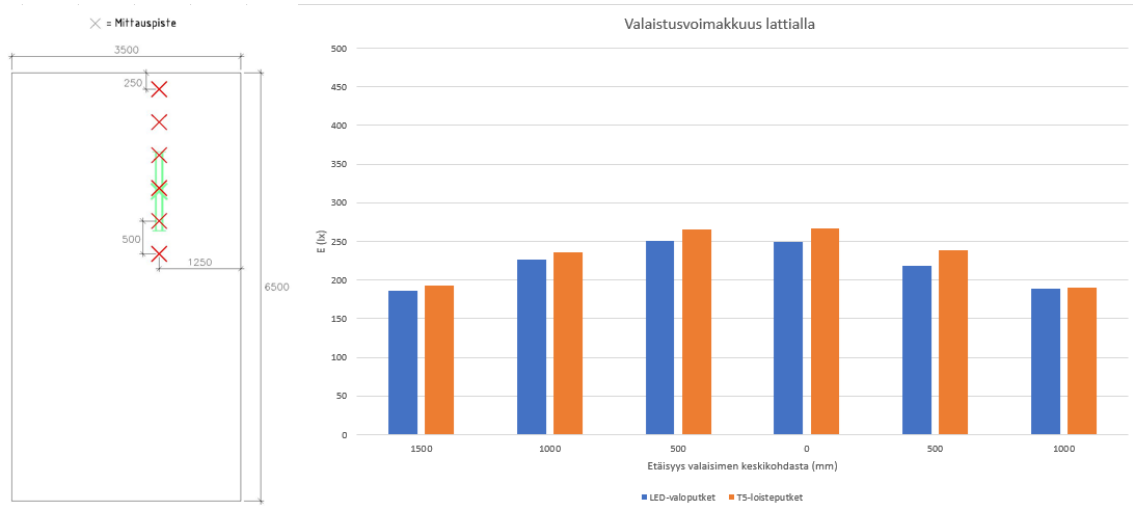
Huoneen korkeus 3m

Laskentapisteet pöydän päällä, jonka korkeus on 800 mm

Valaisimen asennuskorkeus on 2600 mm

Keskimääräinen valaistusvoimakkuus = 411 lx

Kuva 8. Valaistusvoimakkuus pöydällä LED-valoputkilla.

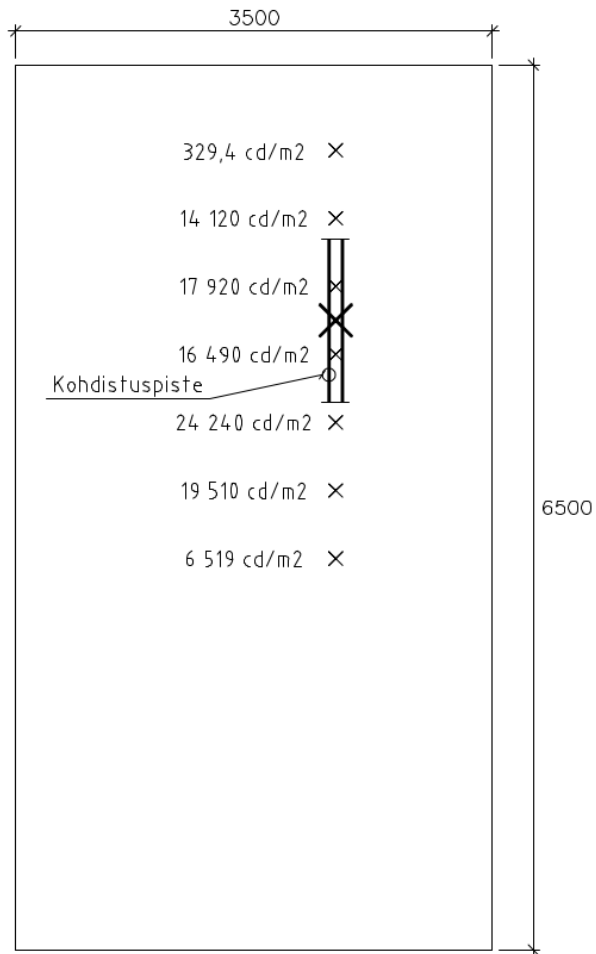


Kuva 9. Valaistusvoimakkuus lattialla valaisimen linjassa.

Luminanssi

Luminanssia mitattiin seitsemästä eri kohdasta kohdistamalla mittari loisteputkeen. Kuvista 10 ja 11 käy ilmi, että T5-loisteputkilla luminanssi on pienempi kuin LED-valoputkilla, minkä pystyi myös havaitsemaan silmämääräisesti, sillä LED-valoputket aiheuttivat huomattavasti enemmän häikäisyä.

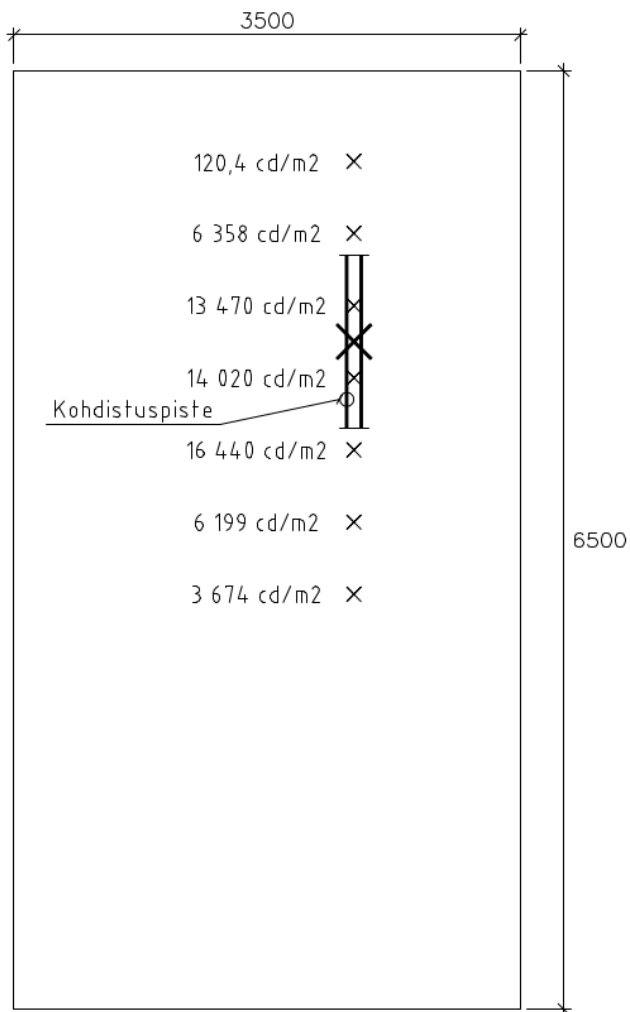
LED-loisteputket
 2x Philips Master LEDTUBE 1200 mm HF HE 16,5 W 840 T5
 Luminanssi



Huoneen korkeus 3m
 Mitattu noin 1800 mm korkeudelta
 Valaisimen asennuskorkeus on 2600 mm
 Mittauspisteiden keskimääräinen luminanssi = 14 161 cd/m^2

Kuva 10. Loisteputkia kohti mitattu luminanssi LED-valoputkilla.

T5-loisteputket
 2x Philips TL5 28 W / 830 HE
 Luminanssi

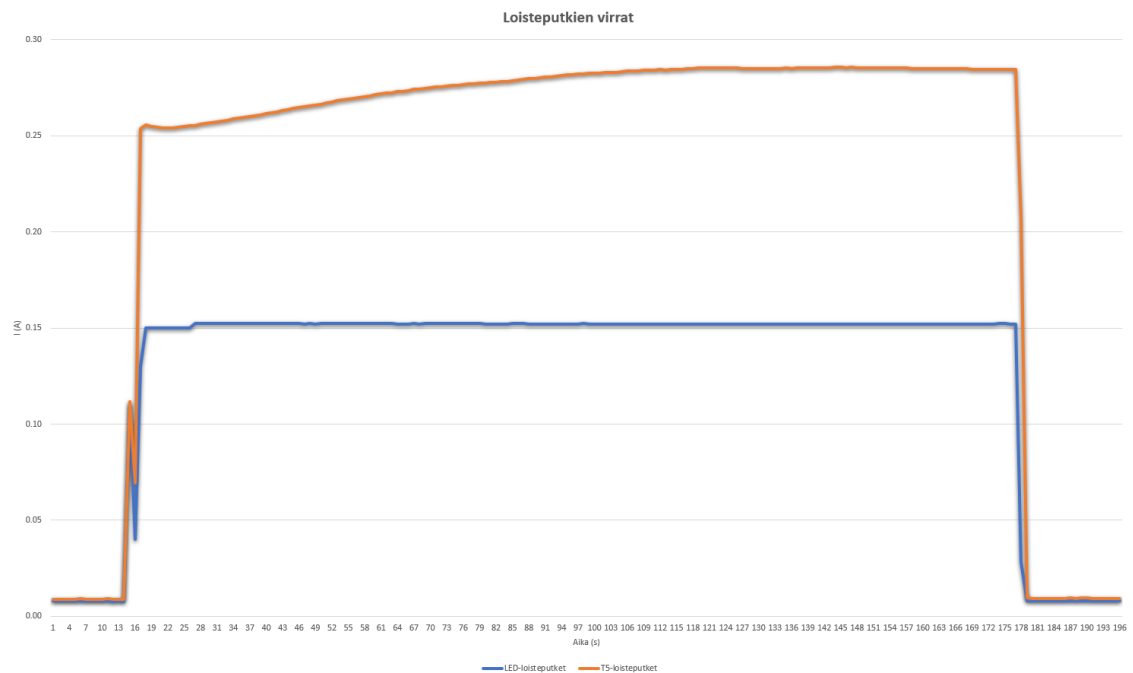


Huoneen korkeus 3m
 Mitattu noin 1800 mm korkeudelta
 Valaisimen asennuskorkeus on 2600 mm
 Mittauspisteiden keskimääräinen luminanssi = 8 612 cd/m²

Kuva 11. Loisteputkia kohti mitattu luminanssi T5-loisteputkilla.

Virta

Virtojen mittaamiseen käytettiin Hiokin tehoanalysaattoria, jolla suoritettiin 196 sekunnin mittaus kummillakin loisteputkilla. Kuvasta 12 voidaan nähdä, että molemmilla loisteputkilla tapahtuu virrassa äkillinen nousu ja lasku 15 sekunnin kohdalla, jolloin valaisimeen kytkettiin sähkö. Virran nousu on todellisuudessa suurempi kuin käyrissä näkyvä nousu, sillä nousu on hyvin nopea, eikä sitä havaita sekunnin välein tehtävällä mittauksella. Kuvasta 12 voidaan myös huomata, että T5-loisteputkilla kestää noin 100 sekuntia ennen kuin virta on saavuttanut lopullisen arvonsa. LED-valoputkilla taas virta saavuttaa välittömästi lopullisen arvonsa. LED-valoputkilla virta oli 100 sekunnin lämpenemisen jälkeen 0.14 milliampeeria pienempi, kuin T5-loisteputkilla. T5-loisteputket ottavat siis lähes kaksinkertaisen virran verrattuna LED-valoputkiin.

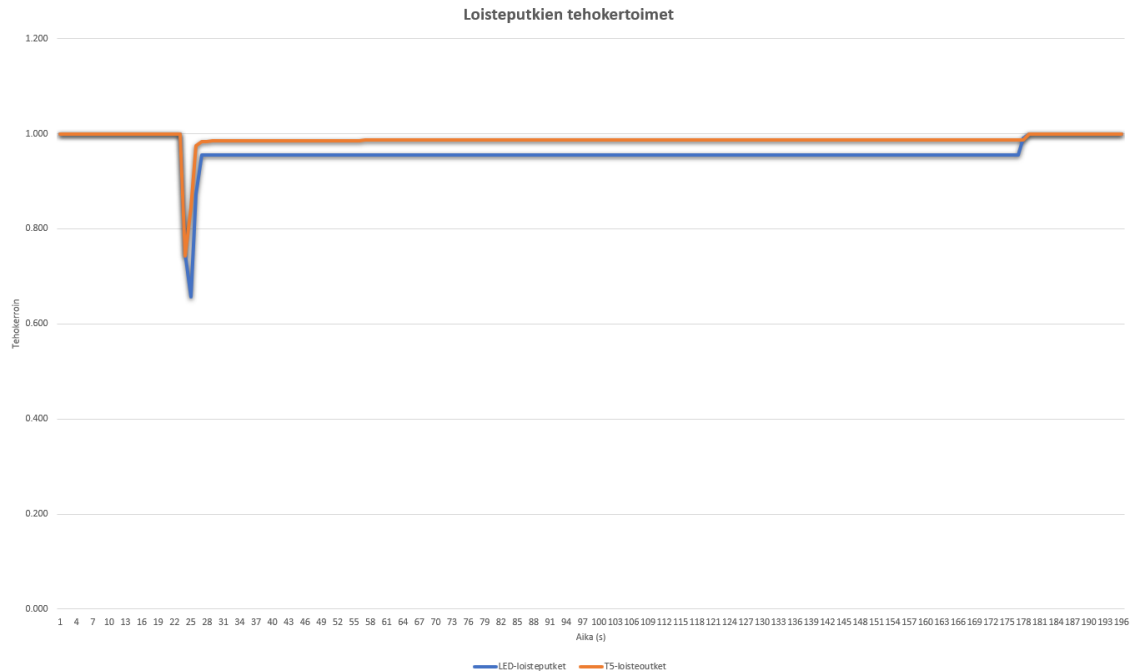


Kuva 12. Valaisimen virta.

Tehokerroin

Tehokertoimien mittaamiseen käytettiin Hiokin tehoanalysaattoria, jolla suoritettiin 196 sekunnin mittaus kummillakin loisteputkilla. Kuvan 13 loisteputkien tehokertoimien käyristä käy ilmi, että T5-loisteputkien tehokerroin on parempi kuin LED-valoputkilla. Tämä

selittyy sillä, että LED-valoputkilla loistehon osuus valaisimen ottamasta kokonaistehosta on prosentuaalisesti pienempi kuin T5-loisteputkilla.



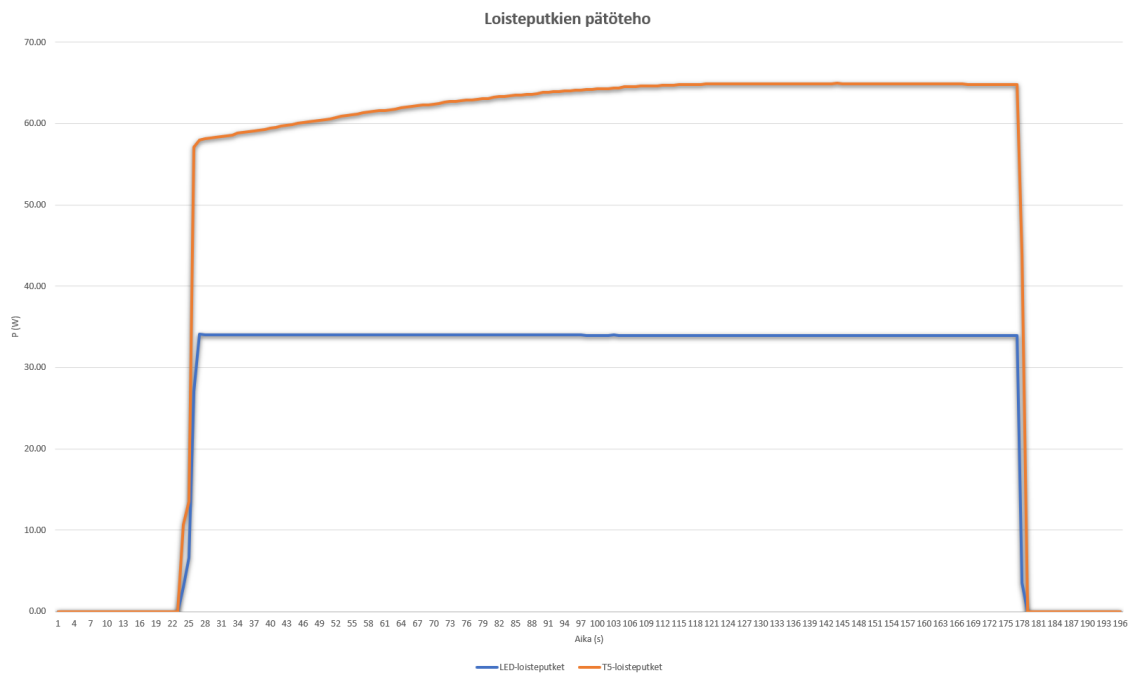
Kuva 13. Valaisimen tehokerroin.

Pätöteho

Pätötehojen mittaamiseen käytettiin Hiokin tehoanalysointia, jolla suoritettiin 196 sekunnin mittaus kummillakin loisteputkilla. Kuvasta 14 voidaan nähdä, että pätötehojen käyrät muistuttavat kuvan 12 mukaisin virran käyriä. Tämä johtuu siitä, että jännite ja tehokerroin pysyvät lähes vakioina, kun loisteputket ovat päällä, mutta virran arvot muuttuvat. Kaavalla 3 voidaan laskea pätöteho arvo tietystä pisteestä, mistä käy ilmi, että jännitteen ja tehokertoimen pysyessä vakiona, virran arvo on ainoa muuttuja.

$$P = U \cdot I \cdot \cos \phi \quad (3)$$

U on jännite
I on virta
 $\cos \phi$ on tehokerroin



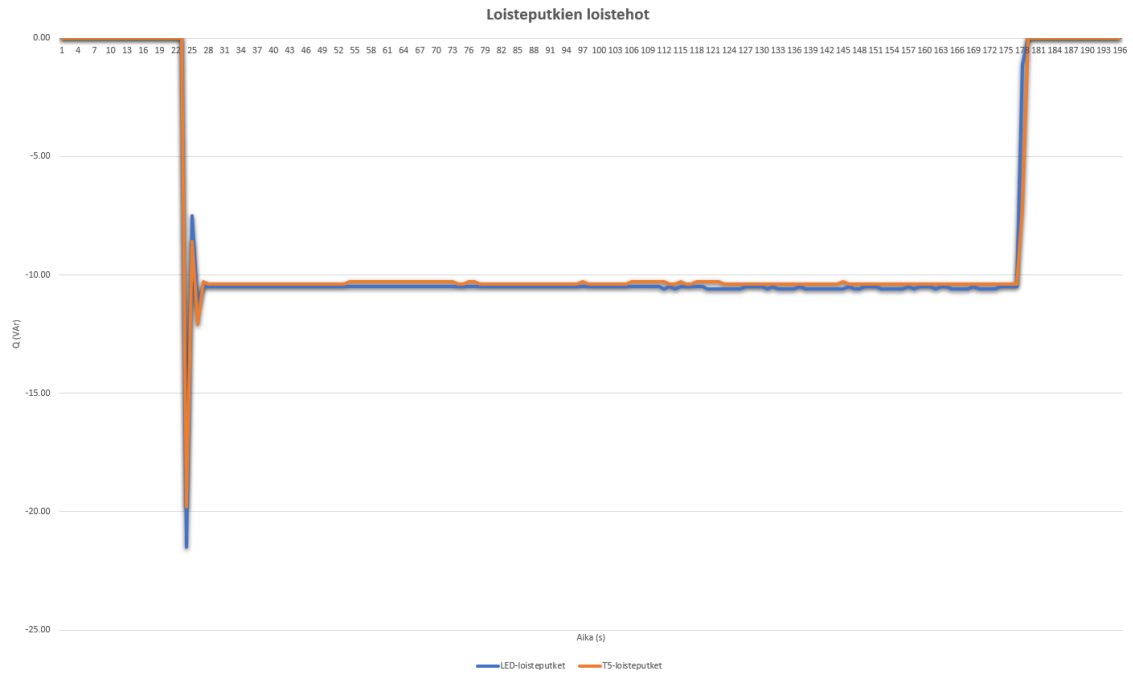
Kuva 14. Valaisimen pätöteho.

Loisteho

Loistehojen mittaamiseen käytettiin Hiokin tehoanalysaattoria, jolla suoritettiin 196 sekunnin mittaus kummillakin loisteputkilla. Kuvan 15 loisteputkien loistehojen käyrissä näkyy loisteputkien syttymisen yhteydessä liitälaitteen aiheuttama loistehon nousu. Loistehon arvo voidaan laskea kaavalla 4.

$$Q = UI \sin(\phi). \quad (4)$$

U on jännite
I on virta
 $\sin(\phi)$ on jännitteen ja virran välinen vaihe ero sinin tulona



Kuva 15. Valaisimen loisteho.

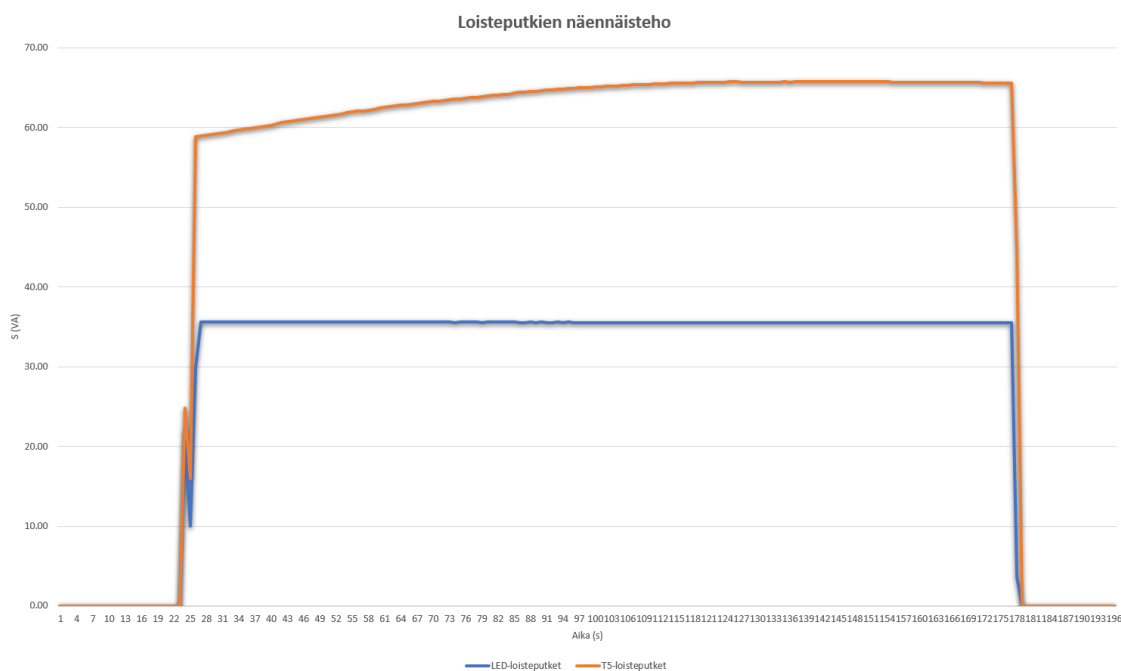
Näennäisteho

Näennäistehojen mittaamiseen käytettiin Hiokin tehoanalysaattoria, jolla suoritettiin 196 sekunnin mittaus kummillakin loisteputkilla. Näennäisteho voidaan laskea kaavalla 5 eli summaamalla pätötehon ja loistehon arvot. Kuvasta 16 nähdään, että näennäistehon käyrät muistuttavat kuvan 14 pätötehojen käyriä, sillä loisteho on lähes identtistä molemmilla loisteputkilla.

$$S^2 = P^2 + Q^2. \quad (5)$$

P on teho

Q on loisteho



Kuva 16. Valaisimen näennäisteho.

Liitäntälaitteen teho

Liitäntälaitteen ottama teho voidaan laskea kuvan 14 käyrien avulla, kun tiedetään loisteputkien ottama teho. Valaisimen teho T5-loisteputkilla on noin 65 W, joista loisteputkien osuus on 56 W. Näin ollen liitäntälaitteen ottamaksi tehoksi jää 9 W. LED-valoputkilla taas valaisimen ottama teho on noin 34 W, joista LED-valoputkien osuus on 33 W, jolloin liitäntälaitteen ottamaksi tehoksi jää 1 W. LED-valoputkilla saadaan siis liitäntälaitteen ottamaa tehoa pienennettyä noin 8 W.

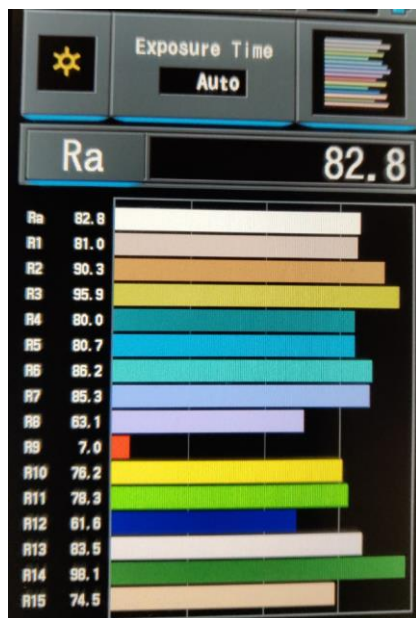
CRI- ja Ra-arvot

Ra-arvoja mitattiin suoraan valaisimen alapuolelta kohdistamalla mittari valaisinta kohti. T5-loisteputkilla Ra-arvoksi saatiin 82,4 ja LED-valoputkilla 82,8. Laajennettu CRI-arvo väri-indekseistä 1—15 saadaan laskemalla väri-indeksit 1—15 yhteen ja jakamalla niiden summa viidellätoista. T5-loisteputkien laajennetuksi CRI-arvoksi saatiin 78,9 ja LED-valoputkien 81,6. Molemmista tuloksista selkeästi heikoiten toistuu väri-indeksi 9, joka kuvaa punaista väriä. Kuvissa 17 ja 18 on esitetty tulokset graafisesti.

Standardissa SFS-EN12464-1 annetaan toimistotilojen R_a -arvolle vaatimukseksi 80 [20]. Kuvista 19 ja 20 huomataan, että mittauksissa käytetyt valonlähteet täyttävät tämän arvon.



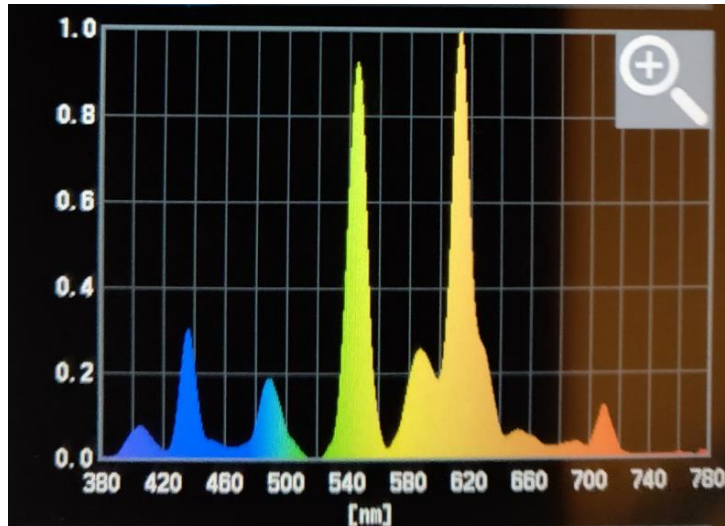
Kuva 17. T5-loisteputkien CRI- ja R_a -arvot.



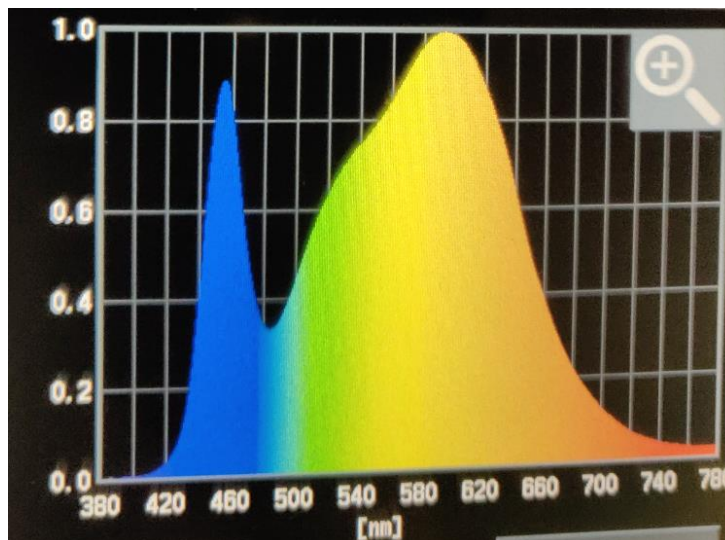
Kuva 18. LED-valoputkien CRI- ja R_a -arvot.

Spektri

Spektriä mitattiin suoraan valaisimen alapuolelta kohdistamalla mittari valaisinta kohti. Mittaustuloksista käy ilmi, että LED-valoputkien spektri on huomattavasti runsaampi kuin T5-loisteputkien. Spektrijakaumista voidaan myös päätellä, että LED-valoputkien väri-
lämpötila on korkeampi kuin T5-loisteputkien, sillä aallonpituudella 460 nm toistuvan si-
nisen värisen valon arvo on suurempi. Kuvissa 19 ja 20 on esitetty tulokset graafisesti.



Kuva 19. T5-loisteputkien Spektri.



Kuva 20. LED-valoputkien spektri.

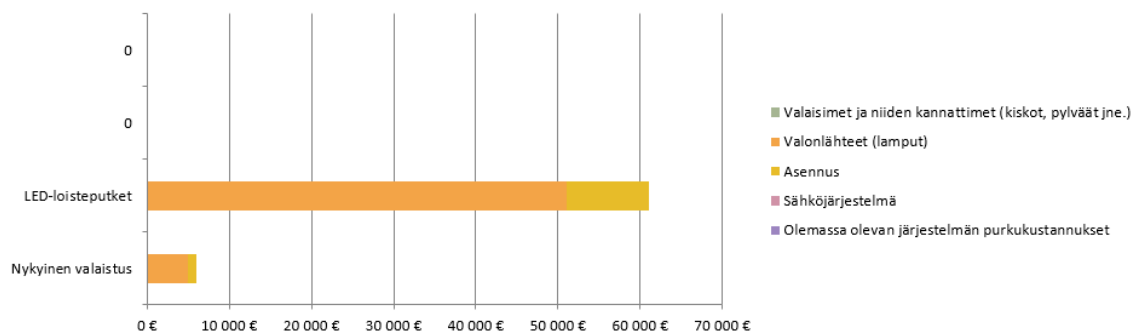
Väriämpötila

Väriämpötilaa mitattiin Konica Minolta CL-70F-valaistusvärimittarilla valaisimen alle sijoitetulta pöydältä. Mittaus suoritettiin kummillakin loisteputkilla. T5-loisteputkien valmistajan ilmoittama väriämpötila on 3000 K ja mitattu arvo 3042 K. LED-valoputkilla valmistajan ilmoittama väriämpötila on 4000 K ja mitattu arvo 3929 K.

7 Energiasäästö

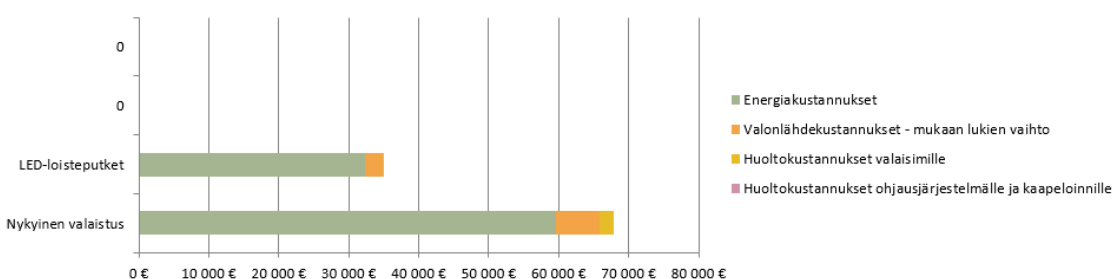
Valaisimien uusimisen taustalla on usein energiasäästöjen tavoittelu ja sitä kautta myös valaistuksen kustannuksien leikkaaminen. Tässä kappaleessa käydään läpi mittauksissa käytettyjen loisteputkien vuosittaisia energian kulutuksia ja kustannuksia sekä valonlähteiden vaihtamisella LED-valoputkiin saavutettuja säästöjä. Laskelma on tehty kymmenen vuoden ajalle. Sähkön hintana on käytetty 8snt/kWh ja vuotuisena käyttötuntimääränä 2600 tuntia. Uusittavien valaisimien määränä on käytetty 1856 valaisinta, joissa on kaksi loisteputkea. Laskelmat on tehty Motivan valaistusratkaisujen elinkaarikustannuslaskenta taulukon avulla. [1 liite.]

Uudelle valaistukselle uusimisen investointikustannuksiin on laskettu LED-valoputket ja niiden asennus. Kustannuksia valaistuksen uusimiselle LED-valoputkilla tulisi noin 61 000 euroa. Nykyiselle valaistukselle investointikustannuksiin on laskettu palaneiden loisteputkien vaihto ja loisteputkien hankinta varastoon, joihin joutuisi investoimaan noin 6 000 euroa. Kuvassa 21 on esitetty graafisesti investointikustannukset.



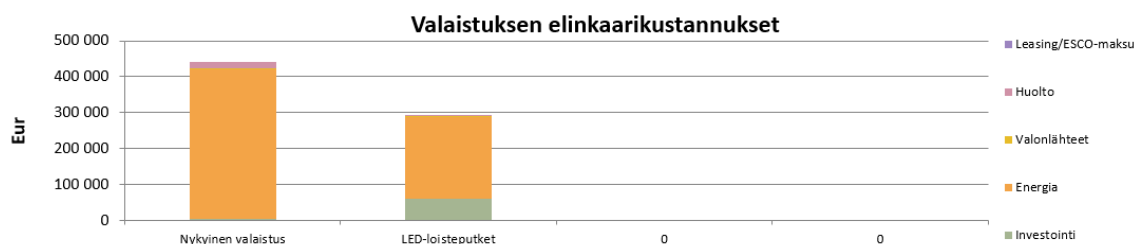
Kuva 21. investointikustannukset.

Vuosittaiset käyttökustannukset koostuvat pääosin energiakustannuksista. LED-valoputkilla energiakustannuksissa säästöjä saadaan noin 27 000 euroa vuodessa. Nykyiset loisteputket ovat myös todennäköisesti käyttöikänsä loppupäässä, mikä tarkoittaa sitä, että putkia joudutaan vuosittain uusimaan huomattavasti suurempi määrä kuin uusia LED-valoputkia. Tässä laskelmassa uusilla putkilla huoltokustannuksissa ja valonlähteiden vaihdossa säästöjä saataisiin noin 5 500 euroa vuodessa. Tästä aiheutuvat kustannukset riippuvat kuitenkin pitkälti käytetyistä loisteputkista ja niiden hinnoista. Kuvassa 22 on esitetty vuotuiset käyttökustannukset.

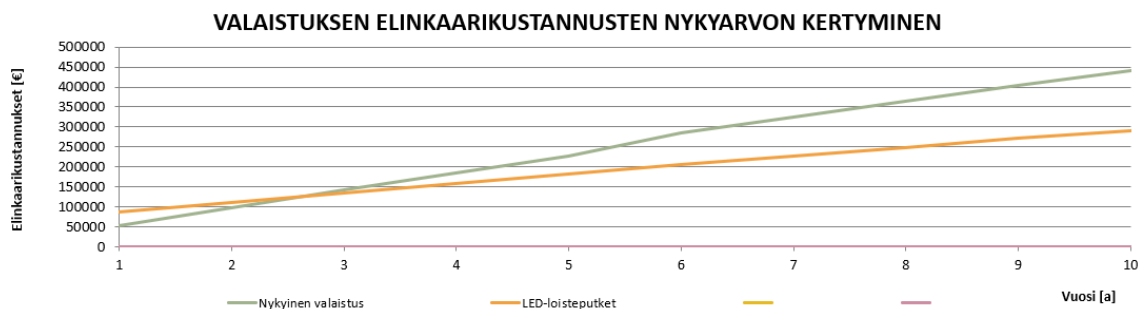


Kuva 22. vuotuiset käyttökustannukset.

Valaistuksen elinkaarikustannukset kymmenen vuoden ajalta koostuvat myös suurimaksi osaksi energiakustannuksista. Uusilla LED-valoputkilla kymmenen vuoden aikaiset kustannukset ovat noin 290 000 euroa ja nykyisillä T5-loisteputkilla 440 000 euroa. Kuvassa 23 on esitetty nykyisen valaistuksen ja LED-valoputkien kustannukset kymmenen vuoden ajalta. LED-valoputkilla saatujen energiasäästöjen ansiosta niiden takaisinmaksuaika on vain kolme vuotta, mikä käy ilmi kuvasta 24.



Kuva 23. valaistuksen elinkaarikustannukset.



Kuva 24. valaistuksen elinkaarikustannusten nykyarvon kertyminen.

8 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli saada käsitys LED-valoputkien soveltuvuudesta mittauksissa käytettyyn valaisimeen. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi hankittiin haluttu valaisin, jossa on valmiiksi asennettuna T5-loisteputket, ja korvaavat LED-valoputket. Mittauksia suoritettiin samalla valaisimella molemmilla valonlähteillä ja tuloksia vertailtiin keskenään. Tehtyjen mittausten avulla saatiin LED-valoputkien vaihdosta seuraavia etuja ja haittoja.

Tutkittavassa toimistotilassa uusimalla T5-loisteputket LED-valoputkilla saataisiin merkittäviä kustannussäästöjä alentuneiden energiakustannusten seurauksena. Valaistusvoimakkuus työtasoilla ei laskisi merkittävästi ja uusilla LED-valoputkilla saavutettaisiin standardin SFS-EN 12464-1 valaistusvoimakkuudelle määritetyt arvot. Värinöistön kannalta LED-valoputkien vaihto ei aiheuta merkittäviä muutoksia. Liitäntälaitteen ottama teho alenee merkittävästi, mikä saattaa johtaa liitäntälaitteen pidempään käyttöikäen. LED-valoputkien vaihtoa ei voi kuitenkaan suositella, sillä vaihdon yhteydessä lisääntynyt häikäisy aiheuttaisi merkittävää haittaa toimistotiloissa työskenteleville henkilöille. Työn tulosten perusteella T5-loisteputkien uusintaa LED-valoputkilla ei voi suositella muihinkaan tiloihin, jossa häikäisy voisi aiheuttaa merkittävää haittaa, ellei valaisimelle suoriteta malliasennuksia ja todeta, että häikäisy ei lisäänty. T5-loisteputkien korvaaminen LED-valoputkilla tuo kuitenkin merkittäviä energiasäästöjä, minkä takia uusimista voisi suositella tiloihin, joissa valaisimissa on optiikkaa, joka hajottaa valon tasaisesti ja näin ollen ehkäisee häikäisyä.

Lähteet

- 1 Uusi valaistuskirja. 2010 Helsinki. Viherympäristöliitto ry.
- 2 Sähkömagneettinen säteily. 2014. Verkkoaineisto. Tieteen termipankki <http://tieteentermipankki.fi/wiki/Geofysiikka:s%C3%A4hk%C3%B6magneettinen_s%C3%A4teily>. 6.8.2014 Luettu 20.9.2019.
- 3 Sähkömagneettisen säteilyn spektri. 2011. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6magneettinen_s%C3%A4teily#/media/Tiedosto:EM_spectrum_fi.svg>. 13.2.2011. Luettu 20.9.2019.
- 4 Sisävalaistusstandardi, häikäisy. 2018. Verkkoaineisto. Ensto. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228462209986/1228462257834/1228462342838.html>>. 5.12.2008. Luettu 20.9.2019.
- 5 Valo ja spektri. 2005. Verkkoaineisto. Space fmi. <<https://space.fmi.fi/oppimateriaali/envisat/valonsade/spektri.html>>. 15.4.2005. Luettu 20.9.2019
- 6 Mitä eroa on CRI ja Ra-arvolla ledien värintoistossa. 2017. Verkkoaineisto. Sanna Salmela. <<https://ledstore.fi/blog/2017/04/28/mita-eroa-on-cri-ja-ra-arvolla/>>. 10.10.2017. Luettu 20.9.2019.
- 7 Valaistuksen kokonaisvaikutelma ja valon väri. 2019. Verkkoaineisto. Fagerhult. <<https://www.fagerhult.com/fi/osaamiskeskus/LED/Valaistuksen-kokonaisvaikutelma-ja-valon-vari/>>. Luettu 5.11.2019.
- 8 Perussuureet, valovirta. 2008. Verkkoaineisto. Ensto. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398034451/1228398095075.html>>. 26.11.2008. Luettu 20.9.2019.
- 9 ST 57.40 Valaistustekniikan perussuureet ja määritelmät. 2017. Verkkoaineisto. SähköSeveri. 25.4.2017. Luettu 17.10.2019.
- 10 Perussuureet, luminanssi. 2008. Verkkoaineisto. Ensto. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398034451/1228398134018.html>>. 9.12.2009. Luettu 20.9.2019.

- 11 Perussuureet, heijastumissuhde. 2008. Verkkoaineisto. Ensto. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398034451/1228398163914.html>>. 19.2.2009. Luettu 20.9.2019.
- 12 Loistelamput. 2008. Verkkoaineisto. Ensto. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228387387439/1228387481543/1228396910117.html>>. 19.2.2009. Luettu 24.9.2019.
- 13 Liitäntälaitteet. 2008. Verkkoaineisto. Ensto. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228387387439/1228387481543/1228396929344.html>>. 4.12.2008. Luettu 17.10.2019.
- 14 LED. 2009. Verkkoaineisto. Ensto. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228387387439/1233229692599/1233229715150.html>>. 29.1.2009. Luettu 17.10.2019.
- 15 Korvaavat valonlähteet loiste- ja elohopealampuille. 2017. STUL valaistuspäivä. Tapio Kallasjoki. 5.10.2017
- 16 LED-valoputket loisteputkien korvaajina. 2014. Verkkoaineisto. Tukes. <<https://docplayer.fi/862628-Led-valoputket-loisteputkien-korvaajina.html>>. 28.4.2014. Luettu 16.10.2019
- 17 Valaisinrakenteet. 2009. Verkkoaineisto. Ensto. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228387387439/1228466432236/1236795211032.html>>. 11.3.2009. Luettu 17.10.2019.
- 18 Master LEDtube HF 1200 mm HE 16,5W 840 T5. 2019. Verkkoaineisto. Philips. <https://www.lighting.philips.fi/prof/led-lamput-ja-led-valoputket/led-valoputket/master-ledtube-instantfit-hf-t5/929001391102_EU/product>. Luettu 14.10.2019.
- 19 Indoor luminaires. 2008. Verkkoaineisto. Philips. <http://www.alfaelektrik.com.tr/philips/Philips_Indoor.pdf>. Luettu 8.11.2019.
- 20 ST 58.02 Valaistuksen toteutus standardin SFS-EN 12464-1 mukaisesti. 2017. Verkkoaineisto. SähköSeveri. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228462209986/1228462257834/1228462320840.html>>. 28.3.2017. Luettu 17.10.2019.

Motiva Valtti-valaistuslaskenta

Motiva Valtti-valaistuksen laskentatyökalun tulokset ja syötetyt arvot

Motiva		VALAISTUS TIEDO			
<small>Valtti-valaistuksen laskentatyökalu toimitetaan sellaisenaan ja käytettäväksi käyttöohjeen mukaiseen tarkoitukseen. Laskentatyökalun käyttö on käyttäjän vastuulla. Motiva ei myönnä sovellukseen liittyen mitään takuita tai takuuohjelmia. Motiva ei vastaa mistään suorasta tai epäsuorasta vahingosta, joka johtuu laskentaohjelman käytöstä. Käyttöohjeeseen tutustuminen ennen käyttöä on erittäin suositeltavaa.</small>					
VALAISTUSRATKAISUJEN ELINKAARIKUSTANNUSLASKENTA		Sisävalaistuslaskenta		Versio 1.0	
HANKKEEN KUVAUS:		Kirjoita tähän hankkeen nimi			
PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ:		XX.XX.2016			
ELINKAARIKUSTANNUSLASKENNAN LÄHTÖTIEDOT - MUUTA TARVITTAESSA					
Laskenta-aika	a		10		
Laskentakorko (tuottovaatimus, lainakorko)	%		4.00		
Vuotuinen energian hinnannousu	%		2.00		
Vuotuinen valonlähteiden hinnannousu	%		2.00		
Vuotuinen huoltokustannusten hinnannousu	%		2.00		
VALAISINTIEDOT - täytä nämä tiedot					
Vaihtoehdon nimi	-	Nykyinen valaistus	LED-loisteputket		
Valaisinmäärä	kpl	1856	1856		
Valonlähteiden lukumäärä/valaisin	kpl	3712	3712		
Teho/valonlähde mukaan lukien liitäntälaitteen häviöteho	W	0.03275	0.01775		
Valmistaja (ei vaikuta laskentaan)	-				
Takuuaika (ei vaikuta laskentaan)	Vuotia				
VALAISTUSTEKNISET TIEDOT (ei vaikuta laskentaan)					
Valaistusvoimakkuus työskentelyalueella, E_w / pintaluminanssi, L	-				
Valaistuslaskennassa käytetty huoltokerroin / alenemakerroin, MF	-				
Valonlähteen valovirran pysyvyytikerroin, LLMF	-				
Valonlähteiden eloonjäämiskerroin, LSF	-				
Valaisimen valovirran alenema, LMF	-				
Huonepintojen likaantumiskerroin, RSMF	-				
Valaistuksen tasaisuus, U_2	-				
Värintoistoindeksi, Ra	-				
Väriämpötila, K	-				
Häikäisyindeksi, UGR	-				
VALAISIMIEN KÄYTTÖIKÄ JA VALAISTUKSEN OHJAUS - täytä nämä tiedot					
Valonlähteen (lampun) elinikä	h	24 000	50 000	50 000	50 000
Hyväksyttävä valovirran alenema elinkaaren lopussa	%	30	30	20	20
Kerroin L, osuus alkuperäisestä valovirrasta käyttäjän lopussa	%	84	70	80	80
Kerroin C, osuus kuolleista valonlähteistä käyttäjän lopussa	%	50	50	2	2
Käyttöaika vuodessa tunteina valikosta tai itse annettuna	h/vuosi	2 600	2 600	876	876
Käyttötarkoituksuokkavalkko valaistuksen ohjausta varten	-	Olohuone	Olohuone	Olohuone	Olohuone
Valaistuksen ohjaustavasta riippuva käyttöaika (luku/valikko)	-	1.00	1.00	1.00	1.00
Valaisimien huoltoväli (esim. puhdistus)	vuotia	2	4	4	4

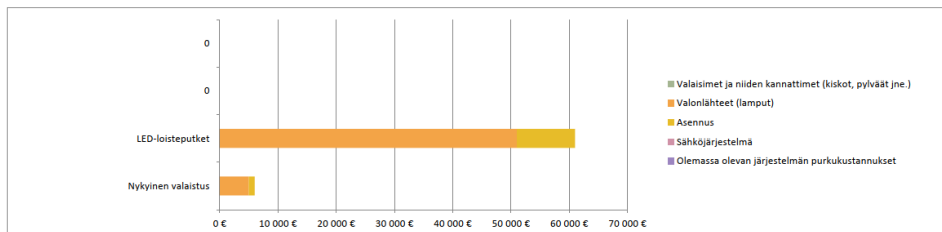
1(4)



Vahti -valaistuksen laskentatyökalu toimitetaan sellaisenaan ja käytettäväksi käyttöohjeen mukaiseen tarkoitukseseen. Laskentatyökalun käyttö on käyttäjän vastuulla. Motiva ei myönnä sovelukseen liittyen mitään takuita tai takuuehtoja. Motiva ei vastaa mistään suorasta tai epäsuorasta vahingosta, joka johtuu laskentaohjelman käytöstä. Käyttöohjeeseen tutustuminen ennen käyttöä on erittäin suositeltavaa.

Täytä joko 3 ensimmäistä riviä 55-57 TAI rivit 59-68. Jos syötät tietoa kaikille riville 55-68, niin vain 3 ylimmän rivin 55-57 sisältöä käytetään laskennassa.

INVESTOINTIKUSTANNUSTEN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT		Nykyinen valaistus	LED-loisteputket	0	0
Valaistuksen kokonaiskustannus	€	0	0		
Valonlähteiden (lampujen) kokonaiskustannus	€	5 000	51 000		
Asennuksen ja muun tekniikan kokonaiskustannus	€	1 000	10 000		
Valaisimen yksikköhinta	€/kpl				
Muut kustannukset valaisimista	€				
Valonlähteiden (lampujen, LED-modulien) yksikköhinta	€/kpl				
Materiaali- ja työskustannukset/valaisin	€/valaisin				
Valaistuksen ohjausjärjestelmä ja kaapelointi	€				
Käyttöönottokustannukset	€				
Muut kustannukset investointiin liittyen	€				
Sähkökeskukset	€				
Tehomaksut sähköliittymässä	€				
Olemassa olevan järjestelmän purkukustannukset	€				
INVESTOINTIKUSTANNUSTEN YHTENVETO		Nykyinen valaistus	LED-loisteputket	0	0
Valaisimet ja niiden kannattimet (kiskot, pylväät jne.)	€	0	0	0	0
Valonlähteet (lamput)	€	5 000	51 000	0	0
Asennus	€	1 000	10 000	0	0
Sähköjärjestelmä	€	0	0	0	0
Olemassa olevan järjestelmän purkukustannukset	€	0	0	0	0
INVESTOINTIKUSTANNUKSET YHTEENSÄ	€	6 000	61 000	0	0



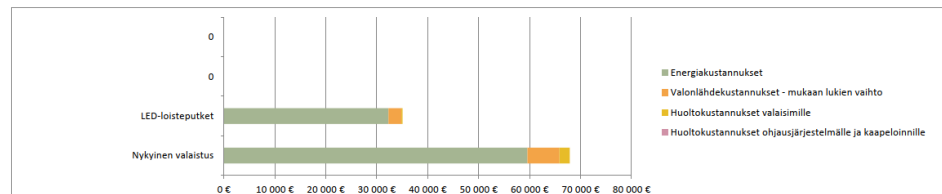
2(4)



Vahti -valaistuksen laskentatyökalu toimitetaan sellaisenaan ja käytettäväksi käyttöohjeen mukaiseen tarkoitukseseen. Laskentatyökalun käyttö on käyttäjän vastuulla. Motiva ei myönnä sovelukseen liittyen mitään takuita tai takuuehtoja. Motiva ei vastaa mistään suorasta tai epäsuorasta vahingosta, joka johtuu laskentaohjelman käytöstä. Käyttöohjeeseen tutustuminen ennen käyttöä on erittäin suositeltavaa.

KÄYTTÖKUSTANNUSTEN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT - täytäkää nämä tiedot

		Nykyinen valaistus	LED-loisteputket	0	0
Leasing / ESCO -maksu - jos tämä annetaan, muita kuluja ei lasketa	€/vuosi				
Sähköenergian hinta	€/kWh	0.08	0.08		
Tehomaksut sähkön siirrossa	€/vuosi	12656	6859		
Valonlähteet: vaihtokustannus massavaihdossa (valonlähde ja työ)	€/kpl	0	0		
Valonlähteet: vaihtokustannus yksittäisvaihdossa (valonlähde ja työ)	€/kpl	0	0		
Valaisimet: ennakoitu huoltokustannus huoltovälin lopussa	€/kpl	0	0		
Valaisimet ja kannattimet: vuosihuoltokustannus	€/kpl/vuosi	0	0		
Ohjaus- ja kaapelointi: ennakoitu huoltokustannus huoltovälille	€				
Ohjaus- ja kaapelointi: käyttöaika ennen huoltoa (huoltoväli)	vuosia				
Valaistuksen peruskorjaus, uusintainvestointi tms.: kustannus	€	20 000			
Valaistuksen peruskorjaus: käyttöaika ennen investointia	vuosia	5			
<i>Asennettu teho mukaan lukien lisäntalaitteet</i>	W	225 630	122 288	0	0
<i>Valaistuksen käyttöaika kerron aikaisemmin annettuna</i>	-	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>Laskettu energiankulutus / vuosi</i>	MWh/a	586.64	317.95	0.00	0.00
<i>Laskettu valonlähteiden (lampujen) vaihtoväli</i>	vuosia	17	19	57	57
<i>Aiemmin annettu valaisimien huoltoväli (puhdistus)</i>	vuosia	2	4	4	4
KÄYTTÖKUSTANNUSTEN YHTENVETO		Nykyinen valaistus	LED-loisteputket	0	0
Energiakustannukset	€/vuosi	59 587	32 295	0	0
Valonlähdekustannukset - mukaan lukien vaihto	€/vuosi	6 278	2 534	0	0
Huoltokustannukset valaisimille	€/vuosi	2 028	232	0	0
Huoltokustannukset ohjausjärjestelmälle ja kaapeloinnille	€/vuosi	0	0	0	0
Käyttökustannukset yhteensä	€/vuosi	67 893	35 061	0	0



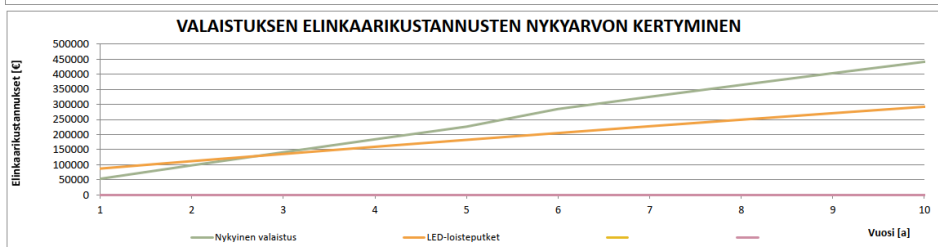
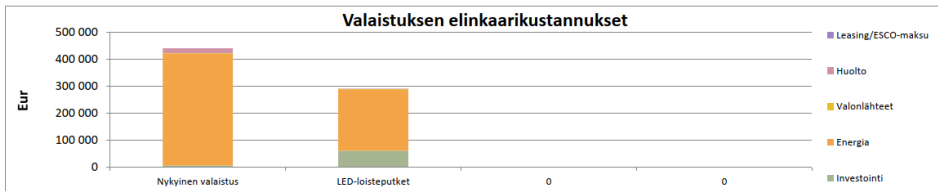
3(4)



Vahti -valaistuksen laskentayökalu toimitetaan sellaisenaan ja käytettäväksi käyttöohjeen mukaiseen tarkoitukseen. Laskentayökalun käyttö on käyttäjän vastuulla. Motiva ei myönnä sovellukseen liittyen mitään takuita tai takuuajtoja. Motiva ei vastaa mistään suorasta tai epäsuorasta vahingosta, joka johtuu laskentaohjelman käytöstä. Käyttöohjeeseen tutustuminen ennen käyttöä on erittäin suositeltavaa.

Valonlähdekustannusten nykyarvo					
Vaihtoehdon nimi		Nykyinen valaistus	LED-loisteputket	0	0
Investointikustannus yhteensä	€	6 000	61 000	0	0
Leasing / ESCO maksun nykyarvo	€	0	0	0	0
Energiakustannusten nykyarvo	€	415 951	225 439	0	0
Valonlähdekustannusten nykyarvo	€	1 764	3 175	0	0
Valaisimien huoltokustannusten nykyarvo	€	17 697	1 969	0	0
Ohjausjärjestelmien huoltokustannusten nykyarvo	€	0	0	0	0
Elinkaarikustannuksen nykyarvo	€	441 412	291 583	0	0

Nykyarvoilla laskettu takaisinmaksuaika elinkaarikustannuksiltaan kalleimpaan vaihtoehtoon verrattuna	vuosia	Suurin elinkaarikustannus	2	-	-
Sisäinen korkokanta vasemmanpuoleiseen tapaukseen verrattuna	vuosia	Tähän verrataan	59 %	ei voi laskea	ei voi laskea



4(4)