

Miro Voutilainen

Selvitys T5-adapttereista ja led-putkista T8-loistelamppujen korvaajana

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

15.04.2013

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Miro Voutilainen Selvitys T5-adapttereista ja led-putkista T8-loistelamppujen korvaajana. 37 sivua + 5 liitettä 15.04.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Tapio Kallasjoki energia-asiantuntija Essi Välimäki
<p>Valonlähteiden kehittymisen myötä on tullut uusia vaihtoehtoja perinteisten ratkaisujen rinnalle. Yleisesti käytössä olevien T8-loistelamppujen tilalle on saatavissa T5-adapttereita ja led-putkia, joilla vanhaan valaisimeen saadaan asennettua modernimpi valonlähde.</p> <p>Tässä insinööriyössä on tutkittu, voidaanko näitä uusia valonlähteitä käyttää vanhoissa valaisimissa ilman monimutkaisia asennustöitä, täyttävätkö ne valaistukselle asetettuja standardeja, ja voidaanko niiden avulla pienentää energiankulutusta. Työ tehtiin Siemens Osakeyhtiölle.</p> <p>Näiden valaistusvaihtoehtojen vertailemiseksi hankittiin T5-adapttereita kolmelta eri valmistajalta ja yhden valmistajan led-putkia. Vertailu valonlähteille tehtiin Siemens Osakeyhtiön tiloissa, pienessä neuvotteluhuoneessa. Valonlähteiden välillä vertailtiin niiden kuluttamaa sähkötehoa, niiden tuottamaa valaistusvoimakkuutta ja valaistusvoimakkuuden tasaisuutta.</p> <p>Yksikään testatuista uusista valonlähteistä ei yltänyt T8-loistelampun testitilaan tuottamaan valaistusvoimakkuuteen. Jokainen vaihtoehto kuitenkin kulutti huomattavasti vähemmän sähköä, kuin T8-loistelamppu. Suhteutettaessa valaistusvoimakkuus kulutettuun sähkötehoon, yksi adapttereista ja led-putki olivat T8-loistelamppua parempia valontuottajia. Uusilla valonlähteillä saavutetaan myös pidempi lampunvaihtoväli, joka pienentää huoltokuluja.</p>	
Avainsanat	t5-adapteri, led-putki, energiankulutus, valaistusvoimakkuus

Author(s) Title Number of Pages Date	Miro Voutilainen T5 Adapter and Led Tube as a Replacement for T8 Fluorescent Lamp 37 + 5 appendices 15 April 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical engineering
Specialisation option	Electrical power engineering
Instructor(s)	Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer Essi Välimäki, Energy Specialist
<p>As the light sources have developed, some new alternatives have come to challenge the traditional solutions. T5-adapters and led tubes can be fitted in to old luminaires to replace the commonly used T8 fluorescent lamps.</p> <p>This thesis studies if these new light sources can be used in existing luminaires without complicated installations, if they fulfill standards for indoor lighting and if they will save energy. This thesis was carried out for Siemens Osakeyhtiö.</p> <p>To compare these new light sources to the traditional T8 fluorescent lamp, three different types of T5-adapters and one type of led tube were purchased from different manufacturers. Comparison was carried out in a small meeting room in Siemens Osakeyhtiö premises. Electricity consumption, luminous flux and consistency of the luminous flux were measured to find out which solution would be the best one to use.</p> <p>None of the tested new light sources reached the same illuminance level that the T8 fluorescent lamp produced. Still all the new light sources saved energy compared to the T8 fluorescent lamp. In terms of luminous flux per wattage, one of the T5-adapters and the led tube performed better than the T8 fluorescent lamp. The new light sources also have increased lifespan, which reduces maintenance costs.</p>	
Keywords	t5-adapter, led tube, energy consumption, illuminance

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet ja määritelmät

1	Johdanto	1
2	Lampputyypit	2
2.1	Kaksikantaiset loistelamput	2
2.1.1	T8-loistelamppu ja magneettinen kuristin	4
2.1.2	T5-loistelamppu ja elektroninen liitäntälaite	7
2.2	Led-komponentti	10
2.2.1	Ledin väri	10
2.2.2	Ledin värilaatu	10
2.2.3	Led-putki	11
2.2.4	Ledin käyttöikä	12
3	Valaistus- ja sähkötekniset mittaukset	13
3.1	Neuvotteluhuone valaistusmittauksille	14
3.2	Valaistustason mittaaminen	16
3.3	Sähkötekniset mittaukset	18
3.4	Testattavat laitteet	19
3.4.1	Adapteri 1	20
3.4.2	Adapteri 2	22
3.4.3	Adapteri 3	23
3.4.4	Led-putki	26
3.5	Valaistus- ja sähkötekniset mittaustulokset	28
4	Taloudellinen tarkastelu	30

4.1	Tila: Fiktiivinen autohalli	30
4.2	Investointikustannukset	31
4.3	Takaisinmaksuaika	32
4.4	Elinkaarikustannukset	34
5	Yhteenveto	35
	Lähteet	37
	Liitteet	
	Liite 1.	
	Liite 2.	
	Liite 3.	
	Liite 4.	
	Liite 5.	
	Liite 6.	

Lyhenteet ja määritelmät

Alenemakerroin

Valaistussuunnittelussa käytetty korjauskerroin, joka ottaa huomioon lampun ikääntymisestä ja likaantumisesta johtuvan valovirran aleneman. Käytetään laskettaessa esimerkiksi valaistusvoimakkuuksia.

Heijastussuhde

Heijastussuhde ilmoittaa prosentteina sen, kuinka suuri osa pinnalle kohdistuvasta valovirrasta heijastuu pinnalta takaisin.

Häikäisy

Häikäisy vaikeuttaa yksityiskohtien näkemistä tai aiheuttaa epämukavuutta näkemisessä. Häikäisyä syntyy, kun näkökentässä oleva kohde on liian kirkas, eli sen luminanssi on suhteettoman suuri. Myös normaalissa tilanteessa häikäisemätön kohde voi häikäistä, jos luminanssiero ympäristön kanssa on liian suuri.

Käyttöhyötysuhde

Valaisimesta ulos lähtevän kokonaisvalomäärän suhde sen sisältämien lamppujen yhteensä tuottamaan valomäärään.

Luminanssi

Luminanssin symboli on L ja yksikkö [cd/m^2]. Luminanssilla tarkoitetaan kohteen kirkkautta, eli kuinka suuri valovoima siitä saadaan suhteessa pinta-alaan.

Suora valaistus

Valaistusta, joka toteutetaan valonjaoltaan sellaisella valaisimella, joiden valovirrasta vähintään 90 % suuntautuu alaspäin, kutsutaan suoraksi valaistukseksi.

Valaistushyötysuhde

Valaistushyötysuhteella tarkoitetaan, kuinka suuri osuus lamppujen valovirrasta saadaan työtasolle. Se riippuu käyttöhyötysuhteesta ja tilan mittasuhteista.

Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuuden symboli on E ja yksikkö luks [lx] eli [lm/m^2]. Valaistusvoimakkuus kuvaa tarkasteltavalle pinnalle saapuvan valovirran määrää pinta-alan suhteen.

Valovirta

Valovirran symboli on Φ ja yksikkö lumen [lm]. Valovirta ilmaisee valonlähteen tuottaman kokonaisvalomäärän.

Väriämpötila

Väriämpötilan yksikkö on Kelvin [K] ja se kuvaa valonlähteen antamaa värivaikutelmaa. Väriämpötila vaihtelee lamput välillä 2 000 - 8 000 K. Matalampi väriämpötila tarkoittaa lämpimämpää (punertava) värivaikutelmaa ja korkeampi väriämpötila kylmempää (valkoinen tai sinertävä) värivaikutelmaa.

Värintoisto

Värintoisto- eli Ra-indeksillä ei ole yksikköä, vaan se on suhdeluku, jonka mukaan lamput voidaan jakaa eri värintoistoluokkiin. Normaalisti värintoistoindeksin tulee olla luokkaa >80 . Kuitenkin jossain tapauksissa, kuten pysäköintialueilla tai kevyen liikenteen väylillä, värintoistoindeksi voi olla pienempi, mutta vähintään >20 . Tarkkaa värintoistoa vaativissa tilanteissa, kuten esimerkiksi valokuvausstudioissa tai taidenäyttelyssä on värintoisto hyvä olla >90 .

1 Johdanto

Energiankulutuksen pienentämiselle on olemassa hyvät perusteet. Jatkuvasti nousevat energiakustannukset ja energiantuotannon aiheuttama raskaus ympäristölle ovat saaneet ihmiset kiinnittämään energiankulutukseen enemmän huomiota ja etsimään uusia ratkaisuja sen pienentämiseksi.

Rakennusten energiankulutuksessa yhtenä osa-alueena on valaistus. Suomessa kuluu kokonaisuudessaan noin kymmenen prosenttia kaikesta käytetystä sähköstä valaistukseen. Koulurakennuksissa valaistuksen osuus sähkönkulutuksessa on noin viidennes ja sairaaloissa jopa kolmannes. [1.]

Siemens Osakeyhtiön Energia- ja ympäristöratkaisut -osasto on keskittynyt parantamaan rakennusten energiatehokkuutta. Rakennukset kuluttavat 40 prosenttia maailmassa tuotetusta energiasta ja yli 20 prosenttia hiilidioksidipäästöistä johtuu tästä energiankulutuksesta.

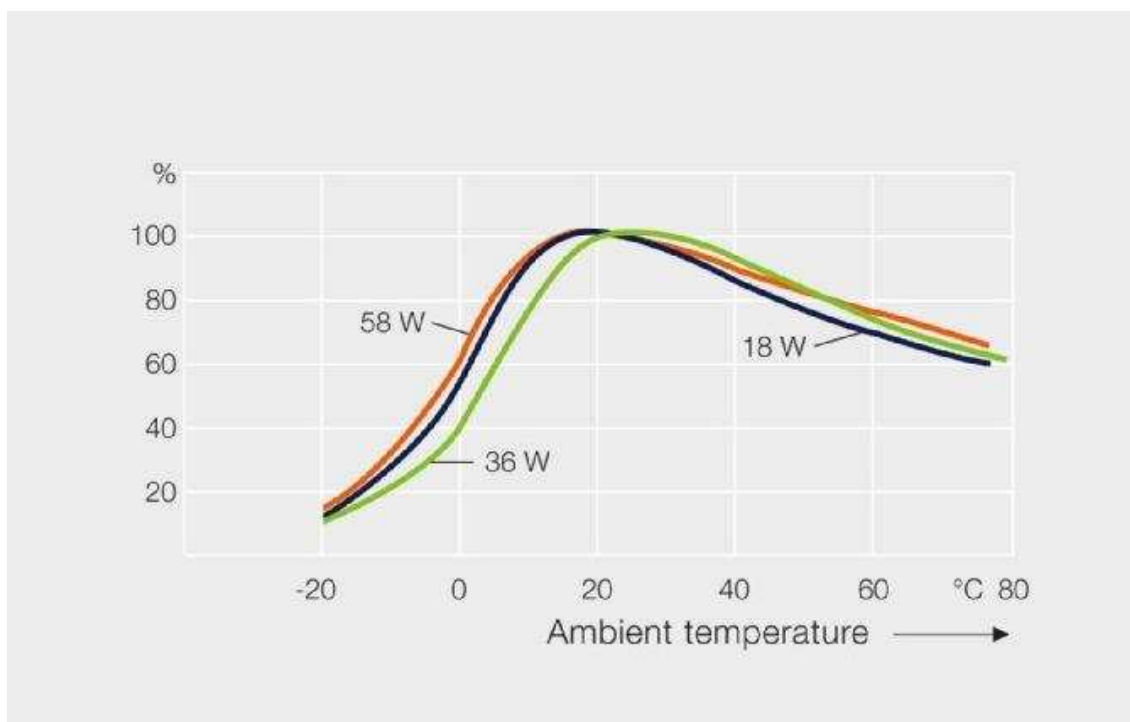
Tämä insinööriyö tehtiin Siemens Osakeyhtiölle, ja tässä insinööriyössä tutkittiin, onko T5-adapteri tai led-putki energiaa säästävää, kustannustehokas ja tarpeenmukaisen valaistustason säilyttävä vaihtoehto T8-loistelampulle. Insinööriyössä päädyttiin keskittymään T8-loistelampun korvaajan tutkimiseen, koska T8-loistelamppu on valonlähteenä toimistoissa, kouluissa, varastohalleissa, kaupoissa ja monissa muissa kohteissa yleisesti käytetty.

2 Lamputyytit

2.1 Kaksikantaiset loistelamput

Loistelamput ovat pienipaineisia elohopeapurkauslamppuja, ja niiden toiminta perustuu sähköpurkaukseen loisteputkessa. Sähköpurkaus tapahtuu lampun päissä olevien elektrodien välillä, jolloin putkessa olevat elohopea-atomit virittyvät. Elohopea-atomien palatessa takaisin alemmille energiatasolle synnyttävät ne ultraviolettisäteilyä. Putken sisäpinnassa on loisteainekerros, joka muuttaa ultraviolettisäteilyn näkyväksi valoksi.

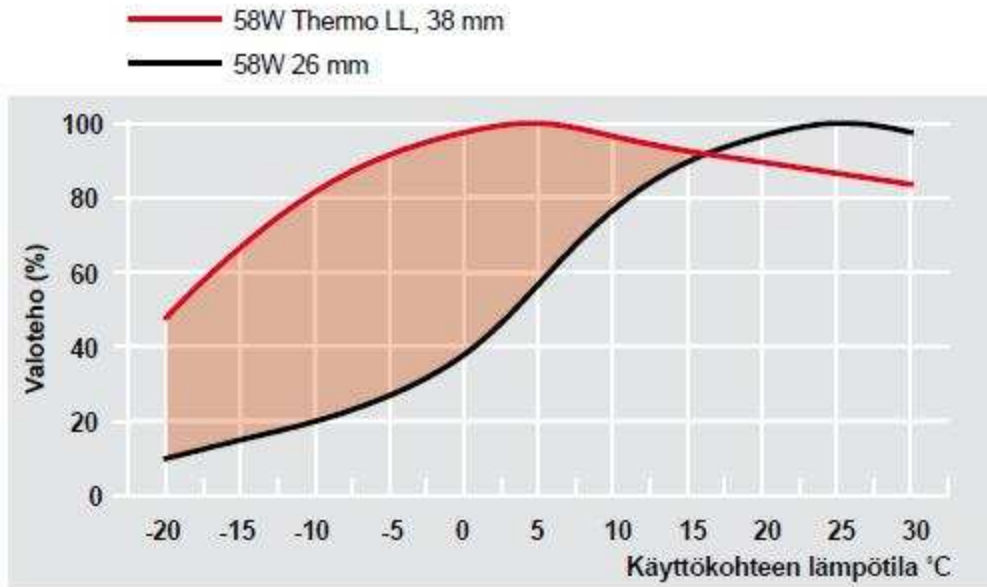
Lampun väriominaisuuksiin voidaan vaikuttaa loisteainekerroksen valinnalla ja niitä löytyykin monilla eri spektreillä aina lämminsävyisistä (2 700 K) kylmään päivänvaloon (8 800 K) saakka. Lampun värintoistoindeksi ja väriämpötila yleensä ilmoitetaan loistelampun pintaan painetulla kolminumeroisella merkinnällä. Esimerkiksi merkintä 840 tarkoittaa, että loistelampun värintoistoindeksin on 80 - 89 ja väriämpötila 4 000 K.



Kuva 1. T8-loistelampun valovirta ympäristön lämpötilan funktiona. [2.]

Loistelampun ominaisuuksiin kuuluu heikko valovirta ja huono syttyvyys kylmissä olosuhteissa, kuten kuvassa 1 on esitetty. Kuitenkin lampun valontuotto paranee hitaasti kylmissäkin olosuhteissa lampun sisäisen lämpötilan alkaessa kasvaa. Markkinoilla on myös saatavilla loistelamppuja, jotka on suunniteltu kylmiin olosuhteisiin ja toimivat

jopa -20 C°:een lämpötiloissa (kuva 2). Liian lämmissä olosuhteissa loistelamppujen valovirta lähtee laskuun. Liian korkea lämpötila myös lyhentää lampun elinikää.



Kuva 2. Kylmiin olosuhteisiin suunniteltujen T8-loisteputkien (punainen käyrä) valoteho lämpötilan funktiona. [3.]

Loistelamput vaativat toimiakseen aina virranrajoittimen, koska loistelampun sähköpurkauksen vastus pienenee virran kasvaessa. Suoraan verkkojännitteeseen kytkettäessä lamppuvirta kasvaisi lopulta sulattaen lampun johdikkeet. Virranrajoittimena käytetään joko vanhanaikaista magneettista kuristinta tai nykyaikaisempaa elektronista liitäntälaitetta.

Loistelamppujen käyttöikä on mallista ja liitäntälaitteesta riippuen 10 000 - 80 000 tuntia. Pitkäikäiset lamput ovat kalliimpia kuin lyhytikäiset, joten yleensä niitä hankitaan vain kohteisiin, joissa lampun vaihtaminen on vaikeaa ja kallista. Pitkäikäisenkin loisteputken hyöty heikkenee, jos valaisin on avoin, ja tila on likaantumiselle altis. Ennen kuin loistelamppu on poltettu loppuun, sen valoteho on jo heikentynyt merkittävästi likaantumisen myötä. Pitkäikäisiä loistelamppuja ei myöskään voi himmentää yhtä paljon, kuin normaaleja loistelamppuja, vaan niiden pienin käyttöprosentti liikkuu jossain 10 - 20 prosentin tietämällä, valmistajasta liikkuen. [4, s .5.]

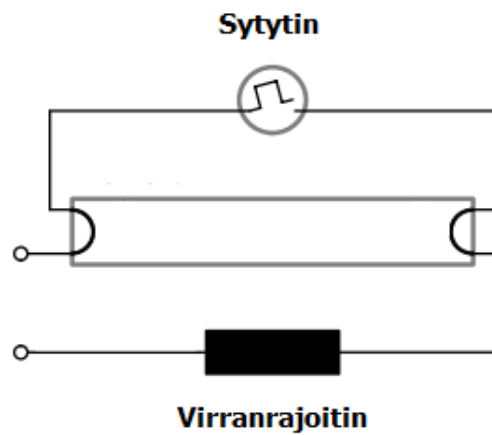
2.1.1 T8-loistelamppu ja magneettinen kuristin

T8-loistelamput (kuva 3) ovat kaksikantaisia (kanta G13) suoria purkausputkia, halkaisijaltaan 26 mm paksuja. T8-loistelamppuja voidaan käyttää perinteisen magneettisen kuristimen ja erillisen sytyttimen kanssa tai elektronisen liitäntälaitteen kanssa. Suuri osa vanhoista loisteputkivalaisimista on varustettu T8-loistelampulla ja magneettisella kuristimella ja sytyttimellä (kuva 4, ks. seur. s.), joskin joissain tapauksissa magneettinen kuristin/sytytin-yhdistelmä on korvattu elektronisella liitäntälaitteella. Syy tällaisen vaihdon suorittamiseksi on usein joko energiansäästö, himmennuksen tarve tai molemmat. T8-loistelamppua voidaan himmentää vain käytettäessä elektronista liitäntälaitetta. [4, s. 5.]



Kuva 3. T8-loistelamppu.

Magneettisen kuristimen ja sytyttimen huonoina puolina ovat kuristimen lämpöhäviö, ja loistelampun hitaampi syttyvyys. 58-wattisen T8-loistelampun teho yhdessä magneettisen kuristimen kanssa nousi insinööriyötä varten tehtyjen sähkömittausten aikana noin 70 wattiin (taulukko 5), joten magneettisen kuristimen lämpöhäviö oli tässä tapauksessa 12 W. Omakohtaisten kokemuksieni perusteella T8-loistelampun ja magneettisen kuristimen yhteisteho on yleensä välillä 69 - 72 W.



Kuva 4. Loistelamppuvalaisimen osat kuristin/sytytin-yhdistelmällä.

Loistelamppujen elinikä on lyhyempi kuristin/sytytin -yhdistelmän kanssa kuin elektronisen liitännälaitteen kanssa. Loistelampun saavuttaessa elinikänsä lopun se saattaa jäädä vilkkumaan. Tämä johtuu siitä, että sytytin yrittää edelleen sytyttää lamppua, vaikka kuluneet elektrodit eivät enää jaksaa pitää sähköpurkausta yllä. Vaikka lamppu ei vilkkuisikaan, sen päät saattavat tuottaa hieman valoa. Silloin lampun päiden elektrodit hehkuvat ja lamppu kuluttaa edelleen energiaa, vaikka ei valoa juuri tuotakaan (kuva 5).



Kuva 5. Loppuun palanut loistelamppu, jonka elektrodit ovat jääneet hehkumaan.

Magneettisen kuristimen, eli virranrajoittimen, (kuva 6) etuna voidaan pitää sen pitkää käyttöikää. Se ei sisällä lainkaan elektroniikka, vaan on käytännössä pelkkä kela.



Kuva 6. Magneettisia kuristimia loisteputkivalaisimiin.

Magneettisen kuristimen kanssa loistelamppu vaatii aina toimiakseen syyttimen (kuva 7). Yhdenmallinen syytin monille eritehoisille T8-loistelampuille, kuvan syyttimen tehoalue on 30-65 W. Syytin suositellaan vaihdettavaksi vähintään joka toisen lampunvaihdon yhteydessä.



Kuva 7. Oikealla syytin loisteputkivalaisimeen, vasemmalla sulake T5-adapterille.

2.1.2 T5-loistelamppu ja elektroninen liitäntälaite

T8-loistelampuista uudempia versioita ovat T5-loistelamput (kuva 8, ks. seur. s.). Niiden halkaisija on vain 16 mm entisen 26 mm sijaan, ja ne ovat G5-kantaisia. Pienemmän koon etuja ovat alhaisemmat materiaali- ja varastointikustannukset. Pieni koko mahdollistaa myös entistä pienempien valaisimien suunnittelun.

T5-lamppuja on saatavilla moneen eri tarkoitukseen. Yleisimmin käytetyt mallit ovat T5 HE- ja T5 HO –loistelamppuja. Lyhenne HE tulee sanoista *High Efficiency* ja lyhenne HO tulee sanoista *High Output*. Nimensä mukaisesti HE-lamput ovat energiatehokkaita ja esimerkiksi Osram ilmoittaa putkilleen jopa 104 lm/W valotehokkuuden. Taulukossa 1 on vertailtu HE- ja HO-loistelamppujen sähkötehoja ja valaistusvoimakkuuksia.

Taulukko 1. T5-loistelamppujen sähkötehoja ja valovirtoja. [2.]

Loistelamppu	Pituus [mm]	Teho [W]	Valovirta @ 35 °C [lm]	Valovirta / Teho [lm/W]
FH 28 W/830 HE	1149	28	2900	104
FH 35 W/830 HE	1449	35	3650	104
FQ 54 W/839 HO	1149	54	5000	93
FQ 49 W/830 HO	1449	49	4900	100
FQ 80 W/830 HO	1449	80	7000	88

HO-loistelampuilla päästään suuriin valovirtoihin, joten ne soveltuvat HE-loistelamppuja paremmin esimerkiksi epäsuoraan valaistukseen tai korkeisiin tiloihin.



Kuva 8. T5-loisteputki.

T5-loistelamppujen ympäristölämpötila nousee helposti korkeammaksi kuin T8-loistelampuilla, ja lamppu antaakin maksimivalovirtansa 35 °C:een lämpötilassa. Tästä syystä ne soveltuvatkin perinteisiä loisteputkia hieman huonommin kylmiin tiloihin. Toisin markkinoilla on myös olemassa erikoismalleja, jotka soveltuvat alhaisempiin lämpötiloihin.

Koska T5-loistelampun kanta eroaa T8-loistelampun kannasta, ei vanhanmallista loistelamppua voi suoraan korvata T5-loistelampulla. Markkinoille onkin tullut joukko T5-adaptoreita, joissa on vanhempi G13-kanta. Adapteri itsessään sisältää joko pelkän rungon ja elektronisen liitäntälaitteen tai näiden lisäksi myös oman heijastimen. Adapterin voi asentaa suoraan sarjaankytkettynä vanhan magneettisen kuristimen kanssa. Jos valaisimen sähkösyötössä on rinnankytkettynä kompensointikondensaattori, suositellaan se usein adapterin käyttöohjeiden mukaisesti poistamaan. Tämä suositus johtuu siitä, että T5-adaptoreiden liitäntälaitteet on suunniteltu jo valmiiksi lähes täydellisellä (väliillä 0,96 - 1,00) tehokertoimella. Vanha kondensaattori huonontaa valaisimen tehokerrointa, ja saattaa nostaa virran jopa nelinkertaiseksi. Myös vanha virranrajoitin aiheuttaa vielä tällöinkin lämpöhäviöitä, mutta niitä aiheutuu vähemmän, koska T8-loistelamppu on voitu korvata pienempitehoisella T5-loistelampulla, jolloin myös virranrajoittimessa lämpöhäviöitä aiheuttava virta on pienempi. Tämä häviö on tekemieni sähkömittausten perusteella 1-2 W. [4, s. 6.]

T5-loistelamput toimivat vain elektronisen liitälaitteen kanssa. Elektronisella liitälaitteella on monia hyviä puolia, mm.

- lamppujen polttoikä pitenee
- lampuilla on parempi valotehokkuus
- liitälaitteen tehohäviöt ovat pienemmät
- lamput syttyvät heti
- loppuun palaneet lamput eivät jää vilkkumaan
- suuremman taajuuden ansiosta valojen värinää ei voida havaita
- liitälaitteen avulla valoja voidaan himmentää.

[5, s. 17.]

Kuten loisteputkilla, myös elektronisilla liitälaitteilla, on elinikä. Suuri tekijä liitälaitteen eliniän määrittämisessä on lämpötila. Keskimäärin voidaan todeta, että liitälaitteiden ns. kuolleisuus on noin 10 % 50 000 tunnin jälkeen. [4, s. 6.]

Uudet elektroniset liitälaitteet parantavat hyötysuhdetta ja valonlaatua, mutta synnyttävät yliaaltoja, koska niiden toiminta perustuu verkkojännitteen vaihtosuuntaamiseen suurella taajuudella. Suurina määrinä yliaallot saattavat aiheuttaa toimintahäiriöitä esimerkiksi toimistokiinteistön herkissä sähkölaitteissa, ellei yliaaltoja suodata kohteen sähköverkosta.

2.2 Led-komponentti

Sana led tulee englanninkielen sanoista *light emitting diode*, joka tarkoittaa valoa lähettävää diodia. Led on puolijohdekomponentti (kuva 9), mikä lähettää lähes monokromaattista (yksiväristä) valoa, kun siihen johdetaan sähkövirta. Ledeissä valo tuotetaan pn-liitoksessa, jossa elektroniaukkoparin rekombinoituminen saa aikaan fotonin emission. [6, s 2]



Kuva 9. Led-komponentti.

2.2.1 Ledin väri

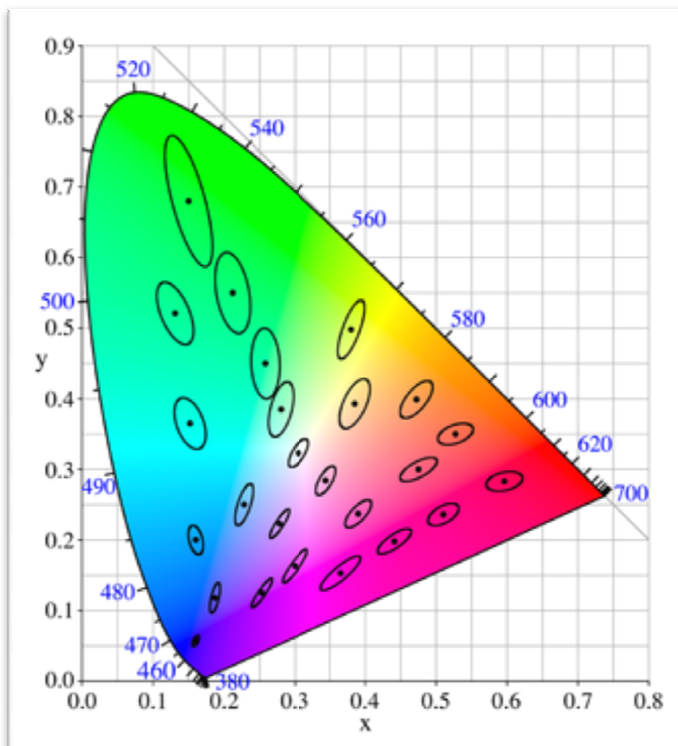
Valon väri riippuu loistediodin valmistuksessa käytetystä materiaalista. Valkoista valoa saadaan lisäämällä siniseen lediin fosforipinnoite, joka muuttaa osan säteilystä keltaiseksi valoksi ja tuloksena syntyy valkoinen väri. Fosforipinnoite voidaan tehdä joko suoraan diodiin tai ulkopuoliseen levyyn.

Valkoisten ledien värilämpötila-asteikko on laaja. Se ulottuu lämpimästä valkoisesta erittäin kylmään valkoiseen. Kelvineissä tämä on 2 700 - 8 000 K. Koska valkoinen valo tuotetaan sinisellä ledillä, kylmemmissä värilämpötiloissa valotehokkuus on suurempi kuin lämpimissä. Tämä johtuu siitä, että lämpimämpää värilämpötilaa varten fosforin on muutettava suurempi osa alkuperäisestä sinisestä valosta. Värintoistoindeksi (Ra) voi vaihdella ledistä riippuen alueella 60 - 95. Yleensä värintoistoindeksin kasvaessa valotehokkuus hieman heikkenee. [7.]

2.2.2 Ledin värilaatu

Ledin värilaatu ilmoitetaan parhaiten MacAdamin ellipseillä (kuva 10, ks. seur. s.) standardin CIE 1964 mukaan. CIE 1964 soveltuu ledeille paremmin kuin CIE 1931, jota käytetään standardina perinteisille valonlähteille. MacAdamin asteikolla ilmoitettu arvo

(esim. MacAdam3) kertoo ellipsin suuruuden, eli kuinka suurta poikkeamaa nimellisestä väriämpötilasta voidaan odottaa. Mitä alhaisempi MacAdamin arvo valonlähteellä on, sitä vähemmän se poikkeaa nimellisestä väriämpötilasta.



Kuva 10. Värikartta ja erikokoisia MacAdamin ellipsejä. [lähdettä 8. mukaillen]

Koska mikään ei ole ikuista, valonlähteen värialaatu voi muuttua käytön myötä. Uusarvo ei enää muutaman tuhannen tunnin käytön jälkeen välttämättä pidäkään paikkaansa vaan heikentyy nopeasti. Tähän voi ledeillä olla syynä esimerkiksi liian kuuma lämpötila, joka voi johtua väärästä käyttöympäristöstä tai riittämättömästä jäähdytyksestä.

Yleensä ulkotiloissa riittää värialaaduksi MacAdam 7 ja sisätiloissa arvo 5 - 3. Vertailun vuoksi T5-loisteputkin värialaadun arvo on 4. [7.]

2.2.3 Led-putki

G13-kantaan soveltuva led-putki (kuva 11, ks. seur. s.) sisältää usein muuntajan itsessään, mutta markkinoilla on myös ulkoisten liitäntälaitteen kanssa toimivia led-putkia. Tällaista led-putkea ei saa kytkeä suoraan verkkojännitteeseen, sillä se aiheuttaa led-komponenttien rikkoontumisen.

Led-putki suuntaa kaiken antamansa valon suoraan alaspäin, eikä siis toimi suunnitellulla tavalla loistelampuille tarkoitetuissa valaisimissa, joissa valonjako on sekä ylös- ja alaspäin. Putkessa oleva muovikupu on monilla merkeillä valittavissa joko kirkkaana tai sumennettuna. Kirkas kupu päästää valoa enemmän lävitseen, mutta saattaa aiheuttaa häikäisyä ja häiritseviä valokuvioita pistemäisten valonlähteiden vuoksi.

Usein led-putkea magneettisella kuristimella toimivan T8-loisteputken tilalle asennettaessa korvataan vanha sytytin ns. led-sytyttimellä. Käytännössä tämä ns. led-sytytin on pelkkä sulake, joka sulkee virtapiirin valaisimessa. Elektronisella liitäntälaitteella varustettua T8-loistelamppua ei voida suoraan korvata led-putkella, vaan elektroninen liitäntälaitte täytyy joko ohittaa tai poistaa kokonaan valaisimesta. Ledputkea asennettaessa on aina syytä tutustua tarkasti asennusohjeisiin ja tarvittaessa konsultoida joko putken myyjää tai sähköalan ammattilaista.



Kuva 11. Led-putki läpinäkyvällä kuvulla.

2.2.4 Ledin käyttöikä

Led on elektroniikkakomponentti, joten sen pahin vihollinen on lämpö. Led ei tuota lämpöä samalla tavalla säteilemällä kuin esimerkiksi hehkulamppu, vaan lämpö syntyy ledin kannassa. Tämän vuoksi lämpö täytyy johtaa ledin kannasta pois, ja sen vuoksi led-lampuissa voi nähdä vähän jyrkempiäkin jäähdytysratkaisuja. [7.]

On harvinaista, että led rikkoontuu. Tyypillisin ongelma led-komponentin eliniän aikana on valotehon heikkeneminen. Juuri tähän ominaisuuteen lämpö vaikuttaa. Ledin lämpötilaan taas vaikuttaa valaisimen rakenne, ledin kuormitus (virran määrä), ohjaimen/muuntajan valinta sekä asennusympäristö.

Toinen ledeihin liittyvä ongelma on häikäisyn pitäminen kohtuullisella tasolla. Ledien luminanssi voi olla noin 350 000 cd/m². Vertailun vuoksi T5-loistelampun luminanssi on noin 17 000 cd/m². Suuren luminanssin vuoksi normaaleihin työympäristöihin tarkoitetut ledputket vaativat yleensä ns. *frost*-mallisen kuvun, jotta ledin tuottama valo jakaantuisi isommalta alueelta pienentäen näin luminanssia ja vähentäen häikäisyä. [7.]

3 Valaistus- ja sähkötekniset mittaukset

Valaistusmittauksissa tutkittiin täyttävätkö valonlähteet sisävalaistuksen standardin SFS EN 12464-1:n määrittämät arvot työalueen valaistusvoimakkuudelle, jotka esitetään taulukossa 2. Työalueen valaistusvoimakkuudet ovat eritasoista tarkkuutta vaativille töille määritellyjä arvoja. Taulukossa on mainittu myös välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus, joka tarkoittaa käytännössä puolen metrin aluetta työalueen ulkopuolella.

Taulukko 2. Valaistusvoimakkuus työalueella ja välittömässä lähiympäristössä.

Työalueen valaistusvoimakkuus lx	Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus lx
> 750	500
500	300
300	200
< 200	sama kuin työalueella

Toimiston työtason suositeltava valaistusvoimakkuus on 500 luksia. Työtason valaistusta suunniteltaessa on hyvä muistaa, että standardissa mainittu luksimäärä ei tarkoita uuden asennuksen valaistusvoimakkuutta, vaan ns. vanhentuneen asennuksen valaistusvoimakkuutta. Uuden asennuksen valaistusvoimakkuuden tulisi olla standardin

mukainen ottaen huomioon alenemakertoimen 0,8. Seuraavalla sivulla on laskuesimerkki toimiston työtason uuden asennuksen valaistusvoimakkuudesta standardin EN 12464.1:n mukaisesti.

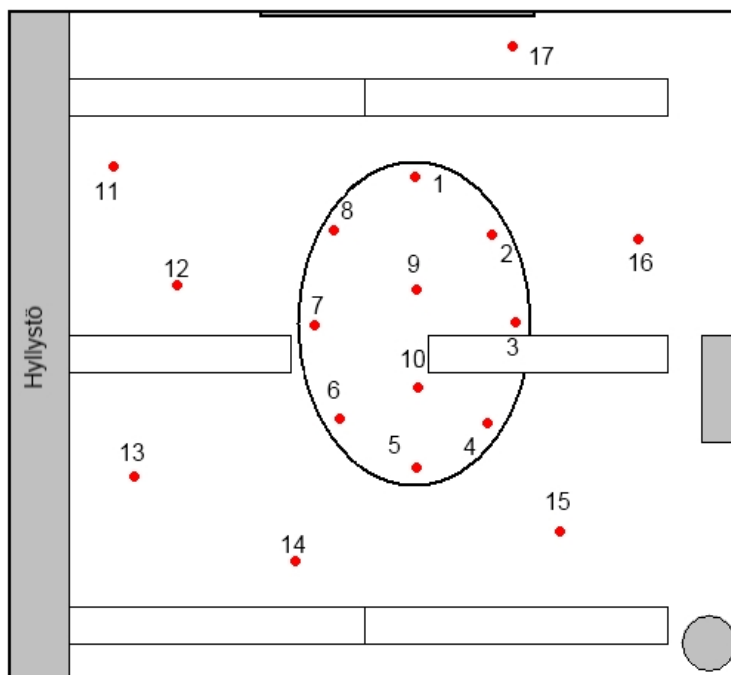
$$E_{uusi} = \frac{E_{standardi}}{0,8} = \frac{500 \text{ lx}}{0,8} = 625 \text{ lx}$$

E_{uusi} on uuden asennuksen valaistusvoimakkuus

$E_{standardi}$ on standardissa mainittu valaistusvoimakkuus.

Valaistuksen tasaisuudelle työalueella toimisto-olosuhteissa on määritetty $E_{\min} / E_m > 0,7$. Valaistuksen tasaisuus työalueella toteutuu normaalisti itsestään, sillä etenkin loistelampuilla toimistokäyttöön tarkoitetuissa valaisimissa valonjako on hyvin tasainen.

3.1 Neuvotteluhuone valaistusmittauksille



Kuva 12. Testihuoneen pohjakuva ja mittauspisteet.

Valaistusmittaukset käytössä olleille T8-loisteputkille, T5-adaptereille ja ledputkille tehtiin Siemens Osakeyhtiön tiloissa. Testitilana toimi pieni neuvotteluhuone (kuva 12), pinta-alaltaan 3,9 metriä x 4,1 metriä (n. 16 m²).

Neuvotteluhuone sijaitsee keskellä rakennusta, joten tilan ainoat ikkunat ovat sisätiloihin päin (kuva 13). Kuvan 10 yläreunassa näkyviä pieniä ikkunoita ei ollut varustettu sälekaihtimin, joten pieni määrä huoneen ulkopuolista valoa pääsi sisään., luonnonvalon määrä huoneessa on käytännössä olematon. Neuvotteluhuoneen heijastussuhde on arviolta hyvä, sillä seinät ja katto ovat vaaleat. Vain lattia ja sälekaihtimet ovat harmaat/sinertävät. Mittausten kannalta huomioitavia esineitä huoneessa ovat ellipsinmuotoinen pöytä, kuusi tuolia ja yhden seinustan kattava tumman puun sävyinen hyllystö.



Kuva 13. Testihuoneen ovi ja ikkunat sisätiloihin päin.

Pöytää ei oltu sijoitettu tussitaulun ja pöydällä olevan projektorin vuoksi keskelle huonetta, joten en sitä lähtenyt mittauksia varten siirtämään. Pöydän sijainti laitettiin muistiin siltä varalta, että se ei pääsisi liikkumaan mittausten välillä ja vaikuttamaan mittaustuloksiin.

Huoneessa on neljä 150 cm:n valaisinta ja kaksi 120 cm:n valaisinta (kuva 14, ks. seur. s.). Valaisutapana on suora valaistus, eli valaisimien valonjako on yli 90 prosenttisesti alaspäin. Neljän 150 cm valaisimen joukkoa ohjataan omalla katkaisijallaan ja kahta pienempää omallaan. Valaisimissa oli ennen mittauksia käytössä toimistokiinteistöissä hyvin yleiset 58-wattiset ja 36-wattiset T8-loistelamput. Valaisimissa ei ole loistehon kompensointikondensaattoreita. Valaisimissa on varustettu heijastimilla ja häikäisyntorjuntalaitteilla.



Kuva 14. Etualalla 120 cm valaisin ja takana 150 cm valaisimet. Valonlähteenä Adapteri 1.

Alakaton korkeus huoneessa on noin 3,0 metriä, ja se on myös valaisimien asennuskorkeus. Työtason mittapisteiden, eli pöytätasen korkeus on 75 cm. Pöydän leveys on noin 130 cm ja pituus noin 180 cm.

3.2 Valaistustason mittaaminen

Valaistusmittauksilla tutkitaan valaistusasennuksen tarkoituksenmukaista toimivuutta ja valaistuksen laatutason riittävyttä. Yleensä perusteelliset mittaukset eivät ole

tarpeellisia, vaan riittävään tulokseen päästään soveltuvin osin suoritettujen valaistusmittausten ja silmämääräisen arvioinnin avulla.

Yleisin suoritettava mittausta on valaistusvoimakkuuden mittausta luksimittarilla toteutettuna. Näin voidaan tarkistaa riittävä valaistusvoimakkuuden suuruus ja tasaisuus. Kenttäkäyttöön soveltuu myös luminanssimittari, jolla voidaan mitata haluttavien pintojen luminansseja. Huomiota tulisi kiinnittää myös valaistusasennuksen häikäisyominaisuuksiin, värisävyyn ja varjonmuodostukseen. [9.]

Tässä kyseisessä tapauksessa mittauksia tehtäessä olosuhteiden tulee olla samanlaiset eri mittauskertojen välillä, jolloin eri tuotteita saadaan verrattua mahdollisimman tasapuolisesti. Tämän varmistamiseksi kaikkien valaistusmittausten aikana huoneen ikkunat olivat peitetyinä sälekaihtimilla, jolloin pöydän valaistusvoimakkuuden tasoksi mitattiin valot sammutettuina 13 - 16 lx.

Loisteputkien ominaisuuksiin kuuluu niiden suurimman valovirran anto vasta kun lämpötila on kohonnut tarpeeksi suureksi. Ledputkilla tilanne on päinvastainen, sillä ne antavat suurimman valovirtansa heti syttyessään lämpötilan ollessa pienimmillään. Koska mittausten tarkoituksena on selvittää valonlähteiden suorituskyky mahdollisimman normaalin käytön tilanteessa, olisi epäreilua mitata valaistusvoimakkuutta heti valojen sytyttämisen jälkeen. Tämän vuoksi on valojen annettu olla päällä noin 20 minuutin jakso ennen mittausten aloittamista kaikilla valonlähteillä.

Mittaukset suoritettiin työtason mittauksina neuvotteluhuoneen pöydältä ja yleisvalaistuksen mittauksina lattiatasolta. Pöytätasolla mittauspisteitä oli 10 ja lattiatasolla 7. Pöytätasoon useita mittauspisteitä tutkimalla oli tarkoitus selvittää valaistusvoimakkuuden tasaisuutta pöydän eri puolilla.

Mittauksessa käytetyt valonlähteet ja adapterit olivat kaikki lähes käyttämättömiä. Jokaista kuitenkin käytettiin mutaman tunnin jakso ennen ensimmäisiä mittauksia. Paras tilanne olisi ollut, jos valonlähteitä olisi voitu käyttää vaikka useita kymmeniä tunteja ennen mittauksia, jolloin suorituskyky olisi ehtinyt tasaantua. Kaikissa T5-adaptereissa käytettiin samoja loistelamppuja.

Valaistusmittauksia varten käytettiin TES 1335 Light Meter – valaistusvoimakkuusmittaria (kuva 15). Mittarin lisäksi valaistusta arvioitiin silmämääräisesti. Mittalaitteen tarkkuudeksi ilmoitetaan ohjekirjassa $\pm 3\%$ lukemasta ja $\pm 0,5\%$ valitun mitta-asteikon huippuarvosta. Itse mittalaitteen käyttö on erittäin helppoa. Suurimmat haasteet olivat mittaustuloksen lukemisessa niin, että ei itse seisoisi mittausturin ja valonlähteen välissä, jolloin mittaustulos heikentyisi.



Kuva 15. TES 1337 Light Meter -valaistusvoimakkuusmittari

3.3 Sähkötekniset mittaukset

Kiinteistön huoltomiehen avustuksella paikannettiin testihuoneen valaistuksen sähkösyöttö ryhmäkeskukselta. Syötön takana oli onneksi pelkästään testihuoneen valaisimet, joten mittaustuloksiin ei voinut vaikuttaa esimerkiksi jonkin muun tilan valaistus tai muut sähkölaitteet.

Sähkömittaukset olisi ollut mahdollista suorittaa suoraan valaisimesta, mutta se olisi ollut hankalampaa suurikokoisten mittalennkkien ja valaisimen korkeuden vuoksi. Tämän takia päädyin mittaamaan sähkösuureet suoraan keskukselta. Etuna oli myös se, että sain molempien kokoluokan valaisimista suuremman kuin yhden valaisimen otannan, josta oli helppo laskea esimerkiksi pätötehon keskiarvo.

Jokaiselle eri valonlähteelle tehtiin kolme erillistä sähkömittausta. Mittaukset tehtiin vain 120-senttisten putkien palaessa, vain 150-senttisten putkien palaessa ja lopuksi kaikkien putkien palaessa yhtä aikaa. Myös sähkömittausten aikaan annettiin valojen olla

päällä noin kahdenkymmenen minuutin jakso ennen mittauksia, jotta sähkönkulutus olisi tasaantunut.

Sähkömittaukset tehtiin Fluke 1735 -tehoanalysaattorilla (kuva 16). Mittarilla mitattiin syötön virtaa, jännitettä, näennäistehoa, pätötehoa, loistehoa, tehokerrointa ja jännitteen ja virran kokonaissäröä (THD).



Kuva 16. Fluke 1735 kolmivaiheinen tiedonkeruulaite.

3.4 Testattavat laitteet

Testattavana oli kolme erimallista T5-adapteria, yhden valmistajan led-putki ja nykyinen valaistusratkaisu, T8-loisteputki. Kaikki uudet testattavat laitteet toimivat vain perinteisellä magneettinen kuristin/sytytin -yhdistelmällä, koska tuotteet sisältävät itsessään oman elektronisen liitäntälaitteensa.

T5-adaptereiden sähkö- ja valaistusteknisissä mittauksissa käytettiin Radiumin valmistamia 35 W ja 28 W T5-loistelamppuja. Kaikkien loistelamppujen värilämpötilaksi oli ilmoitettu 4 000 K.

Kaikkien adaptereiden ja led-putkien asennus tapahtui poistamalla vanha loisteputki ja sytytin. Tämän jälkeen korvattiin sytytin sulakkeella, ja adapteri tai led-putki asetettiin

paikalleen kiertämällä aivan, kuten vanhat loistelamputkin asetettaisiin. Vanha magneettinen kuristin on tarpeeton ja kuluttaa edelleen valaisimessa tehoa, mutta huomattavasti vähemmän kuin aikaisemmin pienemmän virrankulutuksen ansiosta.

3.4.1 Adapteri 1

Adapteri 1 (kuva 17) oli varustettu omalla heijastimella, joten neuvotteluhuoneen valaisimen oma heijastinpinta, ja sen muodostama valonjako sivuutettiin suurelta osin. Adapterin mukana tuli valaisimen syyttimen paikalle vaihdettava sulake. Adapterin 150 cm:n versio on tarkoitettu vain 35 W:n T5-loisteputkille ja vastaavasti 120 cm:n versio 28 W:n T5-loisteputkille.

Adapteri poikkeaa muista adaptereista siinä, että sen oma liitälaitte sijaitsee isohkona kappaleena adapterin toisessa päässä, kun taas muissa adapterimalleissa liitälaitte on pitkulaisena ja litteänä niiden takapuolella. Tämä saattaa ahtaissa valaisimissa asettaa rajoituksia adapterin käytettävyydelle.

Tuotepaketin tietojen mukaan adapteria voidaan käyttää myös valaisimissa, joissa on rinnankytkettynä loistehon kompensointikondesaattori. Asennusohjeissa mainitaan lisäksi, että loisteputken se pääty, johon loisteputken tiedot on painettu, on asetettava adapterin liitälaitteen puoleiseen päätyyn.

Asennus oli adaptereista hankalin, vaikka ei varsinaisesti vaikeaa ollutkaan. T5-loisteputken vaihtaminen jo asennetussa adapterissa vaatii adapterin irrottamisen valaisimesta, sillä T5-loisteputken pinnit upotetaan adapterin päiden sisään.



Kuva 17. Adapteri 1.

Adapterin heijastin ei ole täysin kiinteästi liitettyä mihinkään, vaan se kiinnittyy kiinnikkeillä adapterin päihin. Tämän vuoksi valon suuntaukseen voi vaikuttaa heijastinta kääntämällä.

Taulukossa 3 esitellään adapterin teknisiä ominaisuuksia.

Taulukko 3. Valmistajan toimittama tekninen taulukko Adapterista 1.

	150 cm:n malli	120 cm:n malli
Lamppu	T5 35 W	T5 28 W
Paino	400 g	360 g
Kokonaisteho	39 W	31,5 W
Liitäntälaitteen tehonkulutus	3 W	2,6 W
Magneettisen kuristimen tehonkulutus	1 W	0,9 W
Hyötysuhde	90 %	89 %
Lähtöjännite	230 V	230 V
Lähtövirta	171 mA	139 mA
Tulotaajuus	50 Hz	50 Hz
Lähtötaajuus	30 kHz	30kHz
Tehokerroin	0,99	0,98
Virran harmoninen kokonaissärö	<10 %	<10 %
Tulojännite	200 - 250 VAC	200 - 250 VAC
Käyttölämpötila	0 - 55°C	0 - 55°C
Liitäntälaitteen käyttöikä @ 35°C	200 000 h	200 000 h
Liitäntälaitteen käyttöikä @ 45°C	100 000 h	100 000 h
Liitäntälaitteen käyttöikä @ 55°C	50 000 h	50 000 h

Adapterin 1 teknisiä ominaisuuksia ovat seuraavat:

- automaattinen sammutus loisteputken alkaessa vilkkua käyttöiän loppuessa
- elektrodien esilämmitys; sytytyskertojen määrä yli 400 000

- lähtöjännitteen säätö; pitää adapterin lähtöjännitteen optimaalisena, joka lisää loisteputken elinikää
- optimoitu jäähdytyksen hallinta; takaa pitkän eliniän adapterille; patentoitu menetelmä
- aktiivinen tehokertoimen korjaus
- elektrodien lämmityksen sammutus loisteputken sytyttyä energiankulutuksen vähentämiseksi.

3.4.2 Adapteri 2

Adapteri 2:ssa (kuva 18) ei ole omaa heijastinta, eikä se ole muutenkaan kookas. Runko-osa on suurin piirtein samanpaksuinen kuin siihen laitettava T5-loisteputki. Runko on ontto ja sen sisällä on pitkulainen ja ohut liitälaitte. Rungon päädyissä on painikkeet, joita painamalla pääty irtaantuu ja liitälaitteen saa poistettua. Harmillisesti painikkeet ovat haurasta muovia, ja yksi tällainen meni rikki testauksen aikana.



Kuva 18. Adapteri 2.

Optiikan osalta adapterin pieni runko on hyvä, sillä se sallii valaisimen oman heijastinpinnan hyödyntämisen edes jossain määrin. T5-loisteputki ei kuitenkaan ole aivan samassa kohdassa valaisinta kuin alkuperäinen T8-putki ja adapteri peittää osan heijastin pinnasta loisteputken yläpuolella, joten valonjako saattaa hieman erota alkuperäisestä.

Adapterin asennus oli helpompi operaatio kuin Adapteri 1:llä, sillä se ei eronnut normaalin loisteputken vaihtamisesta kuin sytyttimen korvaamisen osalta. T5-loisteputken vaihtaminen onnistuu jo asennettuun adapteriin normaalisti kääntämällä putkea. Adapteria ei tarvitse poistaa valaisimesta toimenpidettä varten, ellei niin haluta.

Sytyttimen paikalle tuleva käynnistinsilta (sulake) kuului pakettiin. Adapterista oli heikosti saatavilla teknistä tietoutta.

Adapteri 2:n tekniikalla saavutettavia etuja ovat seuraavat:

- säästö valaistuksen energiakustannuksissa 30 – 50%
- toimiessaan ei aiheuta häiritsevää ääntä
- hyvä tehokerroin
- säästöt huoltokustannuksissa
- elinikä lähes kaksinkertainen verrattuna T8-loistelamppuun
- CO₂ -päästöjen pieneminen
- nopea, yksinkertainen asennus
- ei 50 Hz:n välkyntää lampuissa
- loisteputkien syttyminen ilman välkyntää.

3.4.3 Adapteri 3

Adapteri 3 (kuva 19, ks. seur. s.) on varustettu omalla heijastimella kuten Adapteri 1, mutta kuitenkin sillä erolla, että heijastin on kiinteä osa adapteria, joten valoa ei voida siltä osin suunnata. Liitäntälaitteen osalta Adapteri 3 muistuttaa Adapteri 2:sta, sillä liitäntälaite on pitkulainen, ja ohut piirilevy on heijastimen takapuolelle koteloituna.



Kuva 19. Adapteri 3.

Adapterin mukana tuli sytyttimen korvaavan sulakkeen lisäksi T5-loisteputki. Pienen testailun tuloksena päädyin käyttämään erikseen hankkimiani T5-loisteputkia niiden suuremman valovirran vuoksi. Ero valaistusvoimakkuudessa adapterin mukana tulleen loisteputken ja saman tehoisen Radium-merkkisen T5-loisteputken välillä oli yli 10 % Radiumin hyväksi. Tämän vuoksi kaikkien adaptereiden valaistusvoimakkuusmittaukset suoritettiin Radiumin valmistamalla loisteputkella.

Adapterin ominaisuuksina mainitaan seuraavaa:

- energiansäästö noin 50 % valaistustehoa laskematta
- adapterin käyttöikä 15 000 - 20 000 h
- käyttöjännite 170 - 275 V
- korkea 30 kHz:n taajuus poistaa välkynnän kokonaan
- adapterin liitäntälaite on vaihdettavissa oleva varaosa
- käyttölämpötila-alue -25 °C - +50 °C.

Taulukossa 4 esitellään adapterin teknisiä ominaisuuksia.

Taulukko 4. Adapterin 3 ilmoitetut tekniset tiedot.

	150 cm -malli	120 cm -malli
Teho	35 W	28 W
Tehon vastaavuus (T8)	58 W	36 W
Sytytysten määrä	> 5 000	> 5 000
Adapterin leveys	45 mm	45 mm
Adapterin pituus	1 514,2 mm	1 213,6 mm
Lähtötaajuus	30 kHz	30 kHz
Tehokerroin	0,99	0,99
Virran harmoninen kokonaissärö	<10 %	<10 %
Tulojännite	170 - 275 V	170 - 275 V
Käyttölämpötila	-25 - +50°C	-25°C - +50°C
Liitäntälaitteen käyttöikä	>20 000 h	>20 000 h

Asennettavuuden kannalta adapteri on oikein helppokäyttöinen, eikä T5-loisteputken vaihtaminen vaatinut adapterin irrottamista itse valaisimesta, toisin kuten Adapterilla 1. Adapteriin 2 verrattuna Adapteri 3 on jonkin verran isompi heijastimesta johtuen. Tästä syystä adapteria ei välttämättä mahdu asentamaan kaikkiin valaisimiin. Erityisesti ongelmia voi tulla, jos valaisimessa on kaksi loisteputkea aivan vierekkäin.

3.4.4 Led-putki

Led-putki (kuva 20) vastaa kooltaan T8-putkea. Putken takapuoli on alumiinia, jolla saadaan aikaan tehokkaampi jäähdytys ledeille. Led-putket suositellaan yleensä asennettaviksi avonaisiin valaisimiin paremman ilmanvaihdon eli jäähdytyksen aikaansaamiseksi.



Kuva 20. Testattava led-putki.

Testissä olevassa mallissa muovinen kupu ei ole läpinäkyvä vaan opaali. Malli on siis suunniteltu myös toimistokäyttöön. Läpinäkyvällä kuvulla kirkaat led-komponentit saattaisivat heijastua etenkin tietokoneiden monitoreista työntekijän silmään ja haitata näin työskentelyä.

Led-putken asennuksessa ei ole oikestaan eroa T5-adapterin asennukseen. Myös led-putken asennuksessa on huomioitava, ettei putkea saa asentaa elektronisen liitäntälaitteen kanssa, ja vanha sytytin on korvattava led-putken mukana tulevalla sulakkeella. Led-putken asennus oli käytännössä verrattavissa T8-loistelampun vaihtoon. Asennustoimenpiteisiin kuuluivat vain putken ja sytyttimen vaihto.

Led-putken ominaisuuksia ovat seuraavat:

- Led-putki antaa heti syttyessään suurimman valontuoton.
- Led-putki toimii myös kylmissä olosuhteissa.
- Led-putki ei sisällä elohopeaa.
- Led-putkella on todella hyvä mekaaninen kestävyys.
- Led-putkella on hyvä tehokerroin.

Taulukossa 5 on valmistajan ilmoittamia led-putken teknisiä ominaisuuksia.

Taulukko 5. Valmistajan ilmoittamia teknisiä arvoja.

	150 cm:n malli	120 cm:n malli
Teho	25,5 W	21,0 W
Paino	480 g	360 g
Pituus	1 513 mm	1 212 mm
Valovirta	1 650 lm	1 350 lm
Avautumiskulma	120°	120°
Tulojännite	220 - 240 V	220 - 240 V
Käyttölämpötila	-30 °C - +40 °C	-30 °C - +40 °C
Led-putken käyttöikä	50 000 h	50 000 h

3.5 Valaistus- ja sähkötekniset mittaustulokset

Taulukossa 6 esitellään tiivistelmä mittaustuloksista.

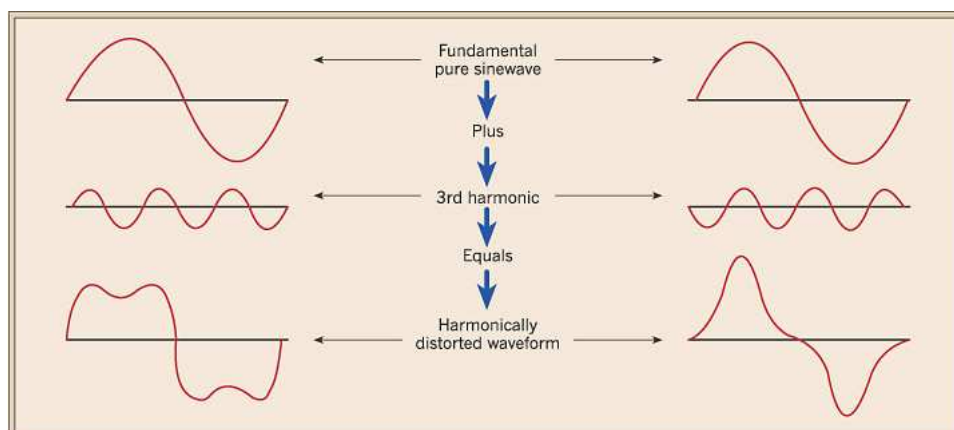
Taulukko 6. Mittaustulokset.

	Adapteri 1	Adapteri 2	Adapteri 3	T8	Ledputki
Pöytä:					
E_m [lx]	991	735	633	1223,3	532
E_{min} [lx]	828	624	585	1049	449
E_{max} [lx]	1108	844	691	1390	597
E_{min} / E_m	0,84	0,85	0,92	0,86	0,84
Lattia:					
E_m [lx]	571	500	460	689	356
E_{min} [lx]	425	409	383	563	288
E_{max} [lx]	674	582	508	815	418
E_{min} / E_m	0,74	0,82	0,83	0,82	0,81
Teho yht. [W]	222,7	232,7	233,6	368,5	148,8
Teho 1*150 cm [W]	40,0	41,3	42,7	69,4	26,7
Teho 1*120 cm [W]	31,2	33,8	31,2	45,6	20,6
THD (I) [%]	7,4	25,5	5,5	11,2	25,6
Tehokerroin	0,996	0,968	0,995	0,491	0,968
Luksia / W	4,45	3,16	2,71	3,32	3,58

Taulukosta selviää pöydällä ja lattialla tehtyjen mittausten keskimääräiset (E_m), pienimmät (E_{min}) ja suurimmat (E_{max}) valaistusvoimakkuudet, valaistusvoimakkuuden tasaisuus (E_{min} / E_m), sekä valaisimille tehtyjen sähkömittausten tulokset tehon, harmonisen kokonaissärön ja tehokertoimen osalta.

Tehomittauksissa ylin lukema (Teho yht.) kertoo koko valaistusryhmän kuluttaman tehon, johon siis kuuluu neljä 150 cm:n valaisimia ja kaksi 120 cm:n valaisimia. Alemmat rivit (Teho 1 x 120 cm ja Teho 1 x 150 cm) kertovat yksittäisten valaisimien tehon, laskettuna kokoluokan keskiarvona.

Virran harmoninen kokonaissärö (kuva 21), englanniksi *total harmonic distortion*, [THD (I)] kertoo, miten säröytynyt virran siniaalto on. Mitä suurempi lukema, sitä enemmän virran aaltomuoto sisältää sen harmonisia kerrannaisia, yliaaltoja. Nollajohtimessa verkkoon palaava säröytynyt siniaalto voi aiheuttaa häiriöitä muissa laitteistoissa. Syytä on muistaa, että vanhojen rakennuksien nousujohtoina käytetyt PEN-johtimet ovat sen ajan mitoituksen mukaan vaihejohtimia pienempiä ja sen vuoksi niiden virrankestokin on pienempi. Kun tiedetään, että verkkotaajuuden (50 Hz) kolmas yliaalto (150 Hz) summaantuu nollajohtimessa, voivat suuret kokonaissärön aiheuttavat sähkölaitteet tehdä vahinkoa kiinteistön sähköverkossa, mikäli kokonaissärö on suurelta osin kolmannen yliaallon aiheuttamaa.



Kuva 21. Kolmannen yliaallon vaikutus puhtaaseen siniaaltoon. Lopputuloksena säröytynyt aaltomuoto. [10.]

Tehokerroin kuvaa valaisimen käyttämän pätötehon osuutta näennäistehosta. Jos tehokerroin on lähellä lukua 1, tarkoittaa se, ettei valonlähde kuluta loistehoa. Suuri määrä valaisimia joiden tehokerroin on reilusti alle yhden, voi aiheuttaa sähkölaskuun loistehomaksun tariffista riippuen, mikäli kiinteistössä ei kompensoida loistehoa keskitetysti.

Lopuksi taulukossa on vielä verrattu koko valaistusryhmän pöydälle tuottamaa valaistusvoimakkuutta suhteutettuna tehon kulutukseen. Tämä arvo kertoo verrattujen laittei-

den paremmuusjärjestyksen, jos huomioidaan vain laitteiden valontuotto tehoyksikköä kohden.

Mittaustuloksista voidaan todeta, ettei yksikään verrattava tuote tuottanut pöydälle, eikä lattialle yhtä suurta valaistusvoimakkuutta kuin T8-loisteputki. Toisaalta mittaukset myös osoittavat, että T5-adapterilla ja led-putkella on mahdollista saada tuotettua T8-loistelamppua suurempi valaistusvoimakkuus käytettyyn tehoon suhteutettuna.

4 Taloudellinen tarkastelu

Taloudellinen tarkastelu on usein perustana valaistusratkaisun valinnalle, etenkin jos kohteeseen tarjolla olevat tuotteet ovat teknisesti yhtä hyviä. Taloudellisessa tarkastelussa vertaillaan hankintakustannusten lisäksi muitakin asioita, kuten valaistusratkaisujen huolto- ja energiakustannuksia, koska ne voivat vaihtoehtojen välillä erota hyvinkin paljon toisistaan. Valaistuksen huoltokustannuksiin liittyy oleellisesti lamppujen poltto-aika, eli miten usein lamppuja tarvitsee vaihtaa, sekä liitäntälaitteen tyyppi. Elektroninen liitäntälaitte esilämmittää loistelampun katodit ennen syttymistä, joka pidentää lampun käyttöikää verrattuna magneettiseen kuristimeen.

4.1 Tila: Fiktiivinen autohalli

Taloudellinen tarkastelu tehtiin fiktiiviseen autohalliin, koska led-putken ei valaistusteknisiltä ominaisuuksiltaan todettu olevan riittävä toimistokäyttöön. Tarkasteluun otetaan olemassa olevien T8-loistelamppujen lisäksi Adapteri 1 ja led-putki. Autohallin valaisimilla on vielä teknistä käyttöikää jäljellä, joten niitä ei tarvitse uusia. Autohallissa ei ole liikkeentunnistusjärjestelmää, vaan valot palavat aikaohjelman mukaan.

Kuvitteellisen autohallin olosuhteet ovat seuraavanlaiset:

- autohallissa on 100 kpl 1x58 W –T8-valaisimia magneettisella kuristimella
- valaistusvaihtojen sähköteho autohallissa on yhtä suuri testihuoneessa mitattuun sähkötehoon
- valaistuksen polttoaika on 4000 tuntia vuodessa
- nykyinen valaistusvoimakkuus on ylimitoitettu, joten valaistusvoimakkuuden standardi autohallille (75 lx) ylittyy myös led-putkilla.

Taloudellinen tarkastelu tehdään kahdella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on tarkastella vain hankinnan suoraa takaisinmaksuaikaa, joka ottaa huomioon vain uuden hankinnan investointikustannukset ja siitä saadut säästöt energiakustannuksissa. Toinen tapa on tarkastella hankintoja elinkaarilaskelmalla, joka ottaa huomioon myös huoltokustannukset.

4.2 Investointikustannukset

Investointikustannukset koostuvat uuden valaistusratkaisun hankintahinnasta ja asennuskustannuksista. T5-adapterin ja led-putken asentaminen eivät juurikaan eroa toisistaan, joten näiden osalta asennushinnan voi olettaa olevan yhtä suuri. T5-adapterin eduksi voidaan laskea, että kun sen on kerran hankkinut, tarvitsee seuraavilla kerroilla uusia vain T5-loistelamppu palaneen tilalle, ellei adapteri ole pitkästä eliniästään huolimatta vikaantunut. Loppuun käytetyn led-putken hankinnassa sen sijaan ei voida hyödyntää jo hankittuja osia, vaan koko led-putki on uusittava. Kun kaikki lamput vaihdetaan kerralla, ovat hankintahinnat T8-loistelampuille, T5-adaptereille ja led-putkille taulukon 7 mukaiset.

Taulukko 7. Hankintahinnat lamppuvaihtoehdoille

Lamppu	Hinta € / 100 kpl
T8-loistelamppu	386,0
T5-adapteri (Adapteri 1)	5714,3
Led-putki	7857,1

4.3 Takaisinmaksuaika

Jos vanhan tuotteen hankkii uuden tuotteen, minkä käyttökustannukset ovat pienemmät kuin vanhan tuotteen, voidaan uudelle tuotteelle laskea takaisinmaksuaika. Käytännössä tuote siis maksaa itsensä ostajalle takaisin tietyn ajan kuluessa säästämällä esimerkiksi sähkölaskussa. Joskus takaisinmaksuajassa saatetaan huomioida myös pienentyneitä huoltokustannuksia tai tuotteen hankkimiseksi otetun lainan korkokuluja.

Tämän fiktiivisen autohallin tapauksessa tarkastelemme T5-adapterille ja led-putkelle kuitenkin vain suoraa takaisinmaksuaikaa. Sähkönhintana laskuissa käytetään 95 €/MWh. Hinta sisältää sähkön siirtomaksut ja verot. Lasketaan valaistusvaihtoehdoille vuotuinen euromääräinen sähkönkulutus seuraavalla kaavalla:

$$K_{\text{sähkö}} = t_a * P_{\text{halli}} * H_{\text{sähkö}}$$

,missä t_a on vuotuinen polttoaika, P_{halli} on valaistuksen yhteenlaskettu sähköteho ja $H_{\text{sähkö}}$ on sähkönhinta.

Sähkölasku T8-loistelampuille olisi seuraava:

$$K_{\text{sähkö}} = 4000 \text{ h} * 6940 \text{ W} * 95 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 2637,2 \text{ €}$$

Taulukossa 8 on esitelty myös T5-adapterin ja led-putken vuotuisen sähkölaskun suuruus.

Taulukko 8. Vuotuiset sähkölaskut valaistusvaihtoehdoille.

Lamppu	Sähkölasku € / vuosi
T8-loistelamppu	2637,2
T5-adapteri (Adapteri 1)	1520,0
Led-putki	1014,6

Kun tiedetään tuotteiden hankintahinta ja sähkölaskun suuruus, voidaan laskea tuotteille takaisinmaksuaika seuraavalla kaavalla. Oletetaan tuotteiden asennushinnaksi 10 €/valaisin.

$$t_{\text{takaisin}} = \frac{H_{\text{tuotteet}} + H_{\text{asennus}} * n}{(L_{T8} - L_{\text{tuote}})}$$

t_{takaisin}	on tuotteen takaisinmaksuaika
H_{tuotteet}	on uusien tuotteiden hankintahinta / 100 kpl
H_{asennus}	on uuden tuotteen asennuksen hinta
n	on tuotteiden kappalemäärä
L_{T8}	on T8-loistelamppujen vuotuisen sähkölaskun suuruus
L_{tuote}	on uuden tuotteen vuotuisen sähkölaskun suuruus.

Takaisinmaksuaika T5-adaptoreille olisi tässä tapauksessa seuraava:

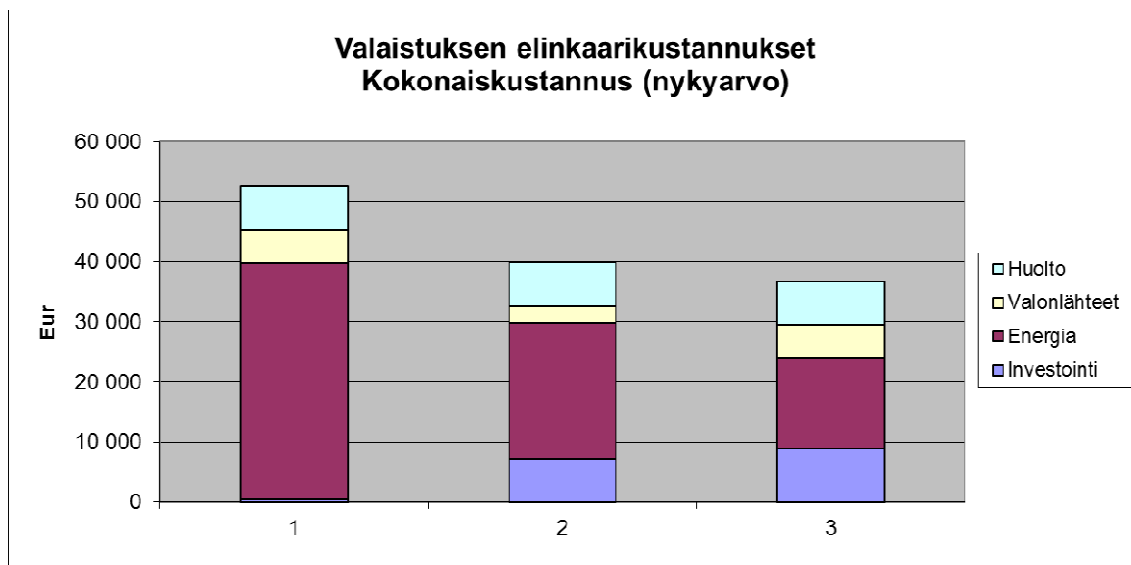
$$t_{\text{takaisin}} = \frac{5714,3 \text{ €} + 10 \text{ €} * 100}{(2637,2 \text{ €/a} - 1520,0 \text{ €/a})} = 6,0 \text{ a}$$

Takaisinmaksuaika led-putkelle olisi tässä tapauksessa seuraava:

$$t_{\text{takaisin}} = \frac{7857,1 \text{ €} + 10 \text{ €} * 100}{(2637,2 \text{ €/a} - 1014,6 \text{ €/a})} = 5,5 \text{ a}$$

4.4 Elinkaarikustannukset

Elinkaarikustannuslaskelma (kuva 22) tehtiin Ruotsin energiaviranomaisten laatiman excel-työkalun pohjalta. Laskelma on tehty 20 vuoden ajanjaksolle. Laskelma kokonaisuudessaan on lisätty liitteeksi työn loppuun.



Kuva 22. Autohallin valaistuksen elinkaarikustannukset.

Elinkaarikustannukset koostuvat huolto-, valonlähde-, energia- ja investointikustannuksista. Elinkaarilaskelman perusteella led-putki tulisi olemaan kustannuksiltaan pienin 20 vuoden tarkastelujaksolla. Kuvaa tarkastelemalla huomataan myös, kuinka pieni osa kokonaiskustannusta energiankulutus on led-putkilla ja T5-adaptoreilla verrattuna T8-loistelamppuvalaisimiin. T5-loistelampun T8-loistelamppua pidempi elinikä ja kohtuullinen hankintahinta johti laskelmassa siihen, että valonlähteiden uusimisesta koitunut kustannus oli vertailuporukan pienin. Led-putkilla pitkä elinikä ei näkynyt merkittävästi valonlähteiden kustannuksissa, sillä lampun ns. kuoltua, uuden hankinta oli yhtä kallista, kuin alkuperäinen investointikin. Huoltokustannukset ovat laskelmassa yhtä suuret kaikilla vaihtoehdoilla, sillä siivoustoimenpiteet vaativat kaikilla vaihtoehdoilla saman työmäärän.

5 Yhteenveto

Insinööriytyössäni tarkastelin energiatehokasta vaihtoehtoa T8-loisteputkelle, joka saataisiin asennettua vanhaan valaisimeen. Vaihtoehdon olisi energiansäästön lisäksi oltava valontuotoltaan T8-loisteputkea vastaava. Valaistusvoimakkuuden tulisi säilyä samoissa lukemissa, eikä muut valaistustekniset seikat, kuten tasaisuus tai värinointo saisi kärsiä.

Testihuoneeksi valikoitui pieni neuvotteluhuone. Huoneen kuuteen valaisimeen asennettiin vuorotellen testattavaksi T8-loistelamput, T5-adapterit ja led-putket. Kaikille vaihtoehdoille suoritettiin sähkö- ja valaistustekniset mittaukset. Sähkömittauksista saatiin kattavasti tietoa Fluke 1735 -tiedonkeruulaitteella ja valaistusvoimakkuutta mitattiin luksimittarilla.

Mittaustulosten perusteella neuvotteluhuoneen T8-loisteputkilla toteutettu valaistus on mitoitettu reilusti yli toimistotyössä suositetun 500 lx arvon (uusarvo 625 lx). Tämä toki on ymmärrettävää, sillä neuvotteluhuoneiden valaistuksen kustannukset ovat vain pieni osa koko kiinteistön valaistuskustannuksista, mutta tilana se on todella tärkeä ja käytöltään monipuolinen. Kahden valokatkaisijan avulla tilaan on valittavissa neljä eri valaistustilannetta. Oli käytössä sitten pimeän huoneen kaipaava projektori, tarkkaa näkemistä vaatima tekninen piirustus tai jotain siltä väliltä, saa tilastaan haluamansalaisen.

Yksikään vertailuvaihtoehto ei yltänyt valaistusvoimakkuuden osalta samoihin lukemiin T8-loistelamppujen kanssa. Adapteri 1 pääsi lähimmäksi tuottaessaan kuitenkin noin 19 % pienemmän valaistusvoimakkuuden neuvotteluhuoneen pöydälle. Tämä johtuu luultavasti osittain myös siitä, että neuvotteluhuoneen valaisimet on suunniteltu T8-loistelampuille, joten niillä saavutetaan valaisimessa paras käyttöhyötysuhde.

Adapteri 1 ja led-putki tuottivat valoa tehokkaammin kuin T8-loisteputki, tuottaen pöydälle suuremman valaistusvoimakkuuden tehoon suhteutettuna. Valontuoton tasaisuus oli testatuilla tuotteilla samaa luokkaa T8-loisteputken kanssa. Valonlähteitä arvioitiin myös silmämääräisesti ja minkään valonlähteen ei todettu olevan häiritsevästi häikäisevä, tuottavan pinnoille varjoja tai olevan häiritsevää värissävyä. Valaistusvoimakkuuden pieneneminen T8-loisteputkeen verrattuna oli tosin kaikilla muilla, paitsi Adapteri 1:llä selvästi havaittavissa.

Taloudellisessa tarkastelussa takaisinmaksuaika osoittautui laskelmissa pienemmäksi led-putkella, kuin T5-adapterilla. Tämä johtuu ledin huomattavasti pienemmästä tehosta, vaikka hankintahinta onkin korkeampi. Tein takaisinmaksuaikalaskelmia erilaisilla käyttöajoilla ja sähköhinnoilla, mutta led maksoi itsensä aina nopeammin takaisin. Ledin ongelma onkin lähinnä heikko valontuotto.

Mittausten päätyttyä Adapteri 1 jätettiin neuvotteluhuoneen valaisimiin. Tätä yhteenve-toa kirjoittaessani mittauksista on kulunut noin puolitoista vuotta, ja Adapteri 1 on edel-leen täydessä toiminnassa, eikä valaistusvoimakkuudessa ole todettu juurikaan heik-kenemistä.

Mittausten ja silmämääräisen arvioinnin perusteella todettiin, että yksikään testatuista valonlähteistä ei pysty suoraan korvaamaan T8-loisteputkea valoteknisiltä ominaisuuksiltaan. Pienempien valaistusteknisten arvojen sallimissa tiloissa led-putki on varteen-otettava vaihtoehto T8-loisteputkea pidemmän käyttöiän ja pienemmän sähkönkulutuk-sen ansiosta, sillä edellytyksellä, että valaistusvoimakkuuden varmistetaan pysyvän standardin määrittämällä tasolla. Tällaisiksi tiloiksi ajateltiin mm. parkkihalleja. Sisätiloi-hin ominaisuuksiltaan sopisi paremmin Adapteri 1, myös sillä edellytyksellä, että tilan valaistusvoimakkuus säilyisi standardin mukaisena.

Tämän insinööriyön tulosten perusteella Siemens Osakeyhtiön Energia- ja ympäristö-ratkaisut -osasto tulee käyttämään energiaprojekteissaan T8-loistelampuille energiata-loudellisempia vaihtoehtoja sellaisissa kohteissa, joissa ne täyttävät tilalle asetetut va-lausstandardit. Etenkin led-tuotteet tulevat varmasti kehittymään tulevaisuudessa, ja sitä myötä myös niiden käyttö tulee lisääntymään.

Lähteet

- [1] Valaistus. 2010. Motiva Oy. Verkkodokumentti.
(www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiansaastamisen_tehostaminen/valaistus)
Luettu 21.3.2012.
- [2] OSRAM. Tuoteluettelo 2013.
- [3] Aura Light. Aura THERMO. Verkkodokumentti.
http://www.auralight.fi/images/products/fi/newleaflets2009/Thermo_FI.pdf
Luettu 26.3.2013
- [4] ST 58.08 Valonlähteiden ominaisuudet. Sähkötieto ry.
- [5] Kallasjoki Tapio, opetusmateriaali 2011 . Valaistustekniikan perusteet.
- [6] ST 57.52 LED-valaistusjärjestelmät. Sähkötieto ry.
- [7] LED Tekniikka. Fagerhult Oy. Verkkodokumentti.
http://fagerhult.fi/indoor/planning/technical-info/pdf/LED_Tekniikka_12.pdf. Luettu 15.10.2012
- [8] Wikipedia Commons. MacAdamin ellipsi. Verkkodokumentti.
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:CIExy1931_MacAdam.png.
Luettu 6.2.2013.
- [9] ST 58.08 Valaistus. Yleisohjeet. Sähkötieto ry.
- [10] Harmoninen särö. Verkkodokumentti.
<http://gain11.files.wordpress.com/2008/07/harmonic-distortion-11.jpg>
Luettu 6.2.2013

Mittauspöytäkirja 7.6.2011

Valonlähde: T8-loisteputki

Mittaustulokset, neuvotteluhuoneen valaistusvoimakkuus, PÖYTÄ

Mittauspiste	E [lx]
1	1049
2	1126
3	1260
4	1175
5	1232
6	1278
7	1390
8	1220
9	1216
10	1287

Mittaustulokset, neuvotteluhuoneen valaistusvoimakkuus, LATTIA

Mittauspiste	E [lx]
11	670
12	742
13	815
14	735
15	643
16	655
17	563

Mittauspöytäkirja 27.6.2011

Valonlähde: Adapteri 3

Mittaustulokset, neuvotteluhuoneen valaistusvoimakkuus, PÖYTÄ

Mittauspiste	E [lx]
1	684
2	624
3	609
4	660
5	646
6	644
7	626
8	624
9	623
10	590

Mittaustulokset, neuvotteluhuoneen valaistusvoimakkuus, LATTIA

Mittauspiste	E [lx]
11	479
12	470
13	495
14	511
15	420
16	402
17	461

Mittauspöytäkirja 4.7.2011

Valonlähde: Adapteri 1

Mittaustulokset, neuvotteluhuoneen valaistusvoimakkuus, PÖYTÄ

Mittauspiste	E [lx]
1	828
2	885
3	1022
4	1051
5	999
6	1108
7	1069
8	939
9	953
10	1056

Mittaustulokset, neuvotteluhuoneen valaistusvoimakkuus, LATTIA

Mittauspiste	E [lx]
11	548
12	613
13	666
14	674
15	565
16	505
17	425

Mittauspöytäkirja 4.7.2011

Valonlähde: Adapteri 2

Mittaustulokset, neuvotteluhuoneen valaistusvoimakkuus, PÖYTÄ

Mittauspiste	E [lx]
1	844
2	803
3	624
4	658
5	758
6	687
7	656
8	838
9	814
10	668

Mittaustulokset, neuvotteluhuoneen valaistusvoimakkuus, LATTIA

Mittauspiste	E [lx]
11	542
12	456
13	467
14	582
15	509
16	409
17	533

Mittauspöytäkirja 5.7.2011

Valonlähde: Led-putki

Mittaustulokset, neuvotteluhuoneen valaistusvoimakkuus, PÖYTÄ

Mittauspiste	E [lx]
1	568
2	539
3	449
4	517
5	597
6	566
7	480
8	562
9	540
10	502

Mittaustulokset, neuvotteluhuoneen valaistusvoimakkuus, LATTIA

Mittauspiste	E [lx]
11	369
12	347
13	382
14	418
15	367
16	288
17	322

VALAISTUSKUSTANNUSTEN VERTAILULASKELMA				
(Perustuu Ruotsin energiaviranomaisten laskentamalliin)				
PROJEKTI:		Fiktiivinen Autohalli		
PÄIVÄMÄÄRÄ/LAATIJA:		26.3.2013 MV		
PROJEKTIN NUMERO:				
Edellytykset				
Laskenta-aika	vuotta	20		
Vuotuinen todellinen korko (sadasosia)		0,04		
Vuotuinen energian hinnannousu inflaation lisäksi (sadasosia)		0,00		
Vuotuinen valonlähteiden hinnannousu inflaation lisäksi (sadasosia)		0,00		
Vuotuinen huoltokustannusten hinnannousu inflaation lisäksi (*)		0,00		
INVESTOINTIKUSTANNUKSET				
Valaisimet				
Valaisintyyppi		T8	T5-adapteri	Led
Valmistaja				
Tarkempi määrittely (esim. lamputyyppi, teho, ...)		1x58	1x35	1x26
Lukumäärä	kpl	100	100	100
Yksikköhinta	eur/kpl	0	57	0
Valaisinkustannus	eur	0	5 700	0
Lamput				
Teho/lamppu mukaan lukien liitäntälaitteen häviöt	W	69,4	40	26,7
Lukumäärä/valaisin	kpl	1	1	1
Yksikköhinta	eur/kpl	4	4	79
Lamppukustannus	eur	400	400	7900
Asennus				
Materiaali- ja työkustannukset/valaisin	eur	0	10,0	10,0
Valaistuksen ohjaus	eur	0	0	0
Muut kustannukset	eur	0	0	0
Asennuskustannukset	eur	0	1 000	1 000
INVESTOINTIKUSTANNUKSET YHTEENSÄ	eur	400	7 100	8 900
KÄYTTÖKUSTANNUKSET				
Energiakustannukset				
Asennettu teho mukaan lukien liitäntälaittehäviöt	W	6 940	4 000	2 670
Käyttöaika	h/a	4 000	4 000	4 000
Käyttökerroin		1,0	1,0	1,0
Energiankulutus / vuosi	MWh/a	27,76	16,00	10,68
Sähköenergian hinta	eur/kWh	0,10	0,10	0,10
Energiakustannus / vuosi	eur/a	2 776	1 600	1 068
Laskentakerroin 1		14,13	14,13	14,13
Energiakustannusten nykyarvo	eur	39 236	22 614	15 095
Valonlähdekustannukset - mukaan lukien vaihto				
Valonlähteen elinikä	h	12 000	20 000	50 000
Vaihtoväli	vuosia	3	5	13
Vaihtokustannus / kpl	eur	10	10	10
Laskentakerroin 2		4,06	2,05	0,61
Valonlähdekustannusten nykyarvo	eur	5 678	2 874	5 451
Huoltokustannukset				
Huoltokustannus valaisinta kohden	eur/kpl	35	35	35
Käyttöaika ennen huoltoa	h	20 000	20 000	20 000
Huoltoväli	vuosia	5	5	5
Laskentakerroin 3		2,05	2,05	2,05
Huoltokustannusten nykyarvo	eur	7 185	7 185	7 185
KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ		52 098	32 673	27 731
KOKONAISKUSTANNUS (NYKYARVO)	eur	52 498	39 773	36 631