

Arttu Vaali

LOISTEPUTKIVALAISTUKSEN MUUTOS LED-
VALAISTUKSEEN JA MUUTOKSEN VAIKUTUKSET

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
2018

LOISTEPUTKIVALAISTUKSEN MUUTOS LED-VALAISTUKSEEN JA MUUTOKSEN VAIKUTUKSET

Vaali, Arttu
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Tammikuu 2018
Ohjaaja: Ylinen, Marko
Sivumäärä: 29
Liitteitä: 5

Asiasanat: LED-valot, loistelamput, energiankulutus, valaistustekniikka, valaistus

Led-teknologioiden kehittyessä niistä on tullut todella varteenotettavia ratkaisuja vanhan valaistustekniikan rinnalle. Yleisesti käytettävien T8- ja T5-loisteputkivalaisimien korvaajaksi on nykyään saatavilla yhä energiaystävällisempiä, sekä valaistusvoimakkuudeltaan suurempia led-putkivalaisimia.

Opinnäytetyössä tutkittiin, voidaanko T5-loisteputkivalaisin korvata led-putkella helposti, saadaanko aikaan energiaystävällisempiä valaistusratkaisuja, täyttävätkö ne standardeissa määritetyt kriteerit, sekä kuinka merkittävä ero saadaan aikaan sähkökulutuksessa ja valaistusvoimakkuudessa.

Aluksi hankittiin Philipsin led-putkivalaisimia ja asennettiin ne Satakunnan ammattikorkeakoulun tiloissa sijaitsevaan luokkahuoneeseen. Luokkahuoneesta otettiin sähkönkulutus, sekä valaistusvoimakkuuden arvot ennen ja jälkeen putkien vaihdon. Vertailuun otettiin mukaan myös viereisen luokkahuoneen arvot.

Lopuksi arvoista tehtiin johtopäätelmät ja laskettiin elinkaarikustannukset, sekä valaisimien takaisinmaksuajat.

CHANGE OF FLUORISCENT LIGHTING TO LED LIGHTING AND EFFECTS OF CHAGE

Vaali, Arttu

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical and Automation Engineering

January 2018

Supervisor: Ylinen, Marko

Number of pages: 29

Appendices: 5

Keywords: LED lights, fluorescent lights, energy consumption, lighting technology, lighting

As the LED technologies have evolved, they have become more and more worthy solution alongside the older lighting technologies. There are more energy-efficient LED tubes with higher illuminance nowadays to replace commonly used T8 and T5 fluorescent lamps.

In the thesis it was researched if the T5 fluorescent lamps could easily be replaced by LED tubes, whether it is possible to create more energy-efficient lighting solutions, do they meet the criteria defined in the standards, and how significant is difference in the electrical consumption and illuminance.

At first Philips LED tubes were purchased and installed in the classroom at Satakunta University of Applied Sciences. Electricity consumption and illuminance values were taken from the classroom before and after switching the tubes. The values of the adjacent classroom were also included in the comparison.

Finally, the conclusions were drawn and life-cycle cost analysis was calculated, as well as payback times of the tubes.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	VALAISINTYYPIT	6
2.1	T5-loisteputkivalaisin	6
2.1.1	T5 loisteputkivalaisin ja kuristin/sytytin	8
2.2	Led teknologia	10
2.2.1	Ledin väri ja värilaatu.....	12
2.2.2	Led loisteputkivalaisimen ominaisuudet	13
3	VALAISTUS- JA SÄHKÖTEKNISET MITTAUKSET.....	13
3.1	C227 ja C229 luokkahuoneet mittauksille.....	13
3.2	Valaistus- ja sähkötekniset mittaukset.....	16
3.3	Testattavat valaisimet.....	19
3.3.1	T5-loisteputkivalaisimet	20
3.3.2	Led-putki	21
3.4	Mittaustulokset luokkahuoneista C227 ja C229	23
4	TALOUDELLINEN TARKASTELU	24
4.1	Valaisimien hankintahinnat	25
4.2	Led-putkien takaisinmaksuaika	25
4.3	Elinkaarikustannukset.....	27
5	YHTEENVETO	28
	LÄHTEET.....	30
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Energiankulutuksen pienentämiseen on nykyään tarjolla monia ratkaisuja. Energiankulutus on ollut noususuhdanteessa jo pitemmän aikaa. Energiantuotanto ja siitä aiheutuvat ympäristöhaitat ovat saaneet ihmiset ja yritykset kiinnittämään huomiota entistä enemmän omaan energiankulutukseen.

Valaistus on yksi niistä osa-alueista, johon energiaa kuluu rakennuksissa. Energiankulutuksesta vajaa kolme prosenttia kuluu kotitalouksien valaistukseen, mutta julkisen sektorin valaistukseen saattaa kuluu jopa kolmasosa koko rakennuksen sähkönkulutuksesta. Valaisimien käytönaikainen energiankulutus kattaa yli 90 prosenttia kaikista sen elinkaaren ympäristövaikutuksista. Energiatehokkaissa järjestelmissä kustannukset ovat pienemmät ja ne aiheuttavat vähemmän päästöjä ympäristöön. (Motivanhankintapalvelu [www-sivut](#) 2017.)

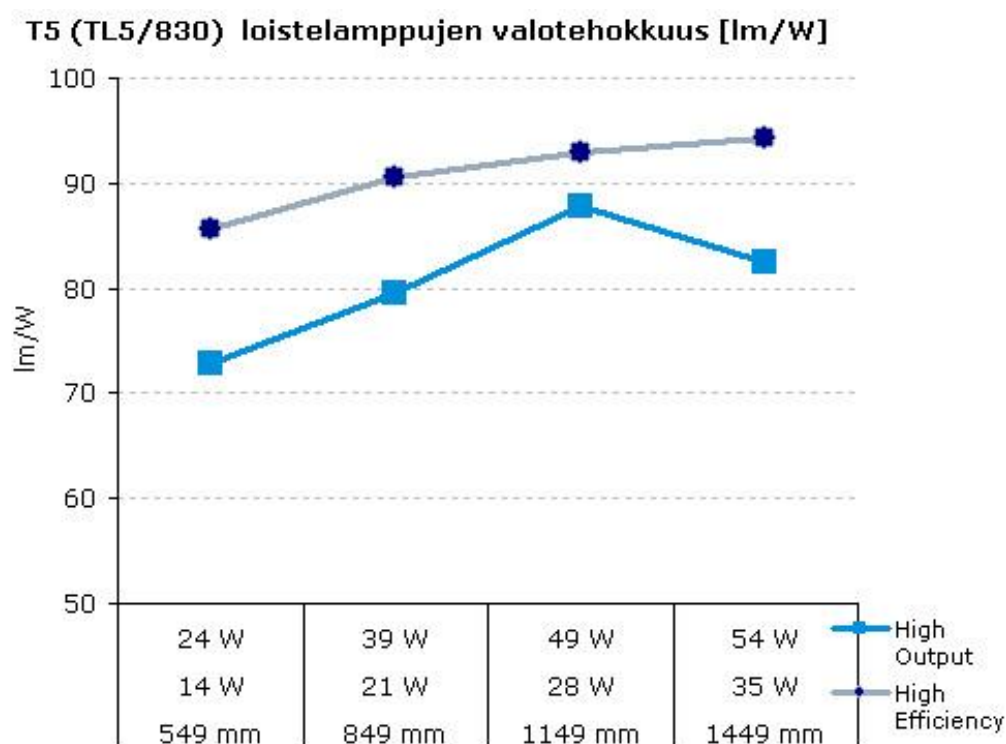
Tässä insinööriyössä vaihdettiin T5-loisteputken tilalle led-putki, sekä tutkittiin saadaanko näin aikaan energiaterohokkaampi ja valaistusvoimakkuudeltaan suurempi valaistuskokonaisuus. Huomiota kiinnitettiin ympäristöystävällisyyteen ja siihen että, täyttääkö se standardien kriteerit. Insinööriyöhön sisältyi valaisimien vaihto, sekä niiden sähkö- ja valaistustekniset mittaukset. Työ tehtiin Satakunnan ammattikorkeakoululle.

2 VALAISINTYYPIT

2.1 T5-loisteputkivalaisin

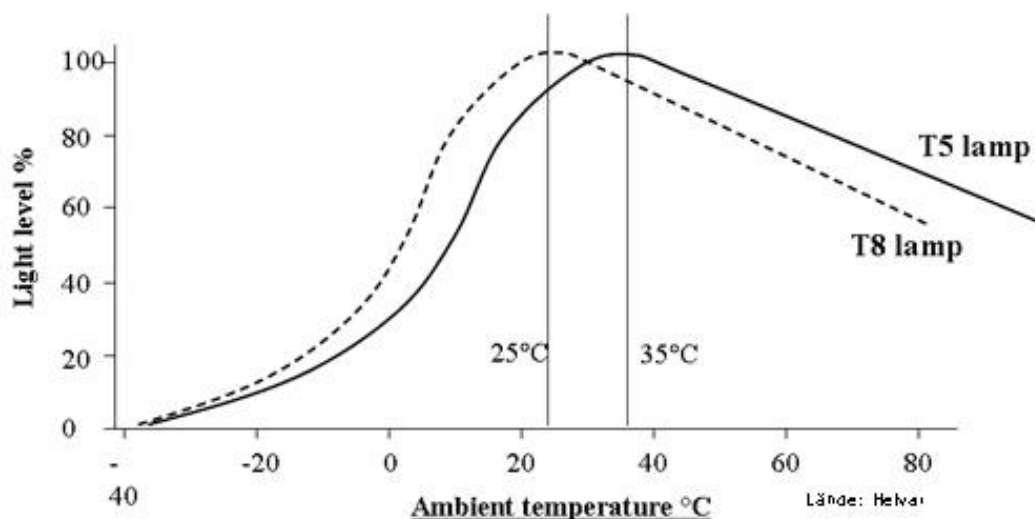
T5-loisteputkia on ollut markkinoilla jo pitkään, edellisten T8-loisteputkien rinnalla. Erona T8-loisteputkeen on se, että T5 loisteputki vaatii elektronisen liitäntälaitteen toimiakseen. T5 loisteputken etuja edeltäjänsä ovat muun muassa parempi valotehokkuus, parempi valaisimen käyttöhyötysuhde, sekä pidempi elinikä.

T5 loistelamppuja on kahdenlaisia High Efficiency (HE) ja High Output (HO). HE-lamput loistavat korkean valotehokkuutensa ansiosta (kuva 1), mutta niiden pinnan luminanssi on pienempi kuin vastaavan HO-lampun. HO-lampuilla on myös suurempi valontuotto pituusyksikköä kohti. Tästä johtuen HO-lamput sopivat paremmin asennuksiin, joissa lamppu ei ole suoraan näkökentässä, toisin sanoen epäsuorassa valaistuksessa. (Ensto pro www-sivut 2008.)



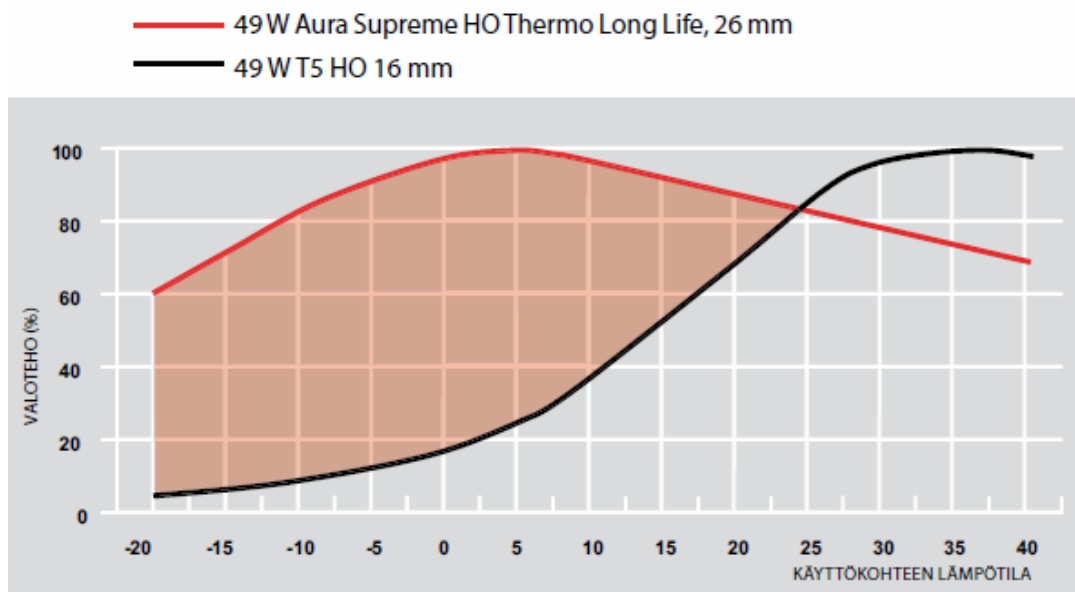
Kuva 1. HE-lampun ja HO-lampun valotehokkuuden vertailu (Ensto pro www-sivut 2008).

Lämpötila on myös yksi valontuottoon vaikuttava elementti. T5 loisteputkivalaisimen valontuotto on huipussaan, kun ympäröivän ilman lämpötila on 35 °C (kuva 2). Pienen kokonsa ja erinomaisien optiikoiden takia voidaan ylittää jopa 100% valaisinhyötysuhteen raja T5 loisteputkissa. (Ensto pron www-sivut 2008.)



Kuva 2. T8- ja T5-loistelampun valovirta ympäristön lämpötilan funktiona. (Ensto pro www-sivut 2008).

Loistelamput ovat yleisesti tunnettuja heikoista valovirroista, sekä hitaasta syttymisestä alhaisissa lämpötiloissa. Kylmästä ympäristöstä riippumatta lampun valoteho kasvaa, mitä pidempään lamppua pidetään päällä, johtuen putken sisällä tapahtuvista purkauksista sekä siitä aiheutuvasta lämmöntuotosta. Markkinoilla on myös T5-loisteputkia, jotka on suunniteltu suoraan alhaisiin lämpötiloihin. Tällaiset loisteputket saavuttavat huippunsa valovirrassaan lämpötilan ollessa 5 °C (kuva 2). Korkeampiin lämpötiloihin mentäessä, näiden erikoisputkien valotehot lähtevät laskuun. (Aura Light www-sivut 2015.)



Kuva 3. Alhaisiin lämpötiloihin suunnitellun T5-loisteputken vertaus normaaliin T5-loisteputkeen. (Aura Light www-sivut 2015).

2.1.1 T5 loisteputkivalaisin ja kuristin/sytytin

Toisin kuin normaalit hehkulamput, loistelamput vaativat toimintaansa muutakin kuin vain pelkän sähkövirran ja valaistuselementin. Loistelamppu vaatii toimiakseen syyttimen ja kuristimen, (kuva 4) joka toimii virran rajoittajana. Useimmiten on myös erillinen kompensointikondensaattori. (Ensto pro www-sivut 2008.)



Kuva 4. Magneettinen kuristin ja sytytin. (Helvar ja Taloon Yhtiöt Oy www-sivut 2018).

T5 loisteputkivalaisimet toimivat ainoastaan elektronisen liitälaitteen avulla. Elektroninen liitälaitte on sellainen, jossa magneettinen kuristin ja sytytin ovat yhdistettynä. Usein liitälaitte löytyy valaisinrakenteesta. Energiansäästölamppuissa liitälaitte löytyy lampun kannasta ja joihinkin lamppuihin sytytin on sisäänrakennettuna lampun rakenteeseen. (Ensto pro www-sivut 2008.)

Elektronisella liitälaitteella on paljon hyviä ominaisuuksia, mm.

- loistelampun käyttöikä pitenee
- lampun valontuotto paranee
- pienentää tehohäviöitä
- lamput ovat äänettä
- päälle kytkettäessä ei välky, eikä loppuun palaessa jää välkkymään
- mahdollistaa valojen himmentämisen

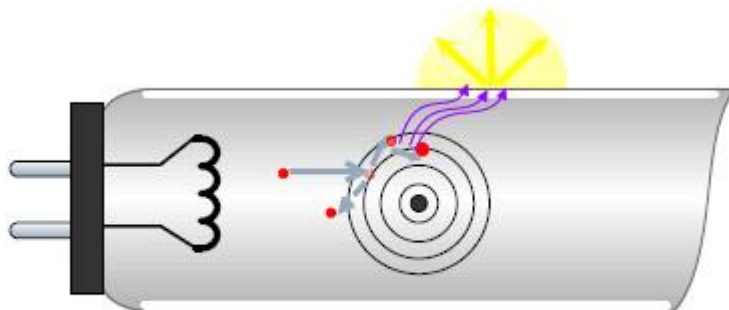
Elektronista liitälaitetta suositellaan käyttämään tiloissa, joissa valoja kytketään päälle usein sekä tiloissa, jossa on liiketunnistimia tai muita valaistuksen ohjausjärjestelmiä. Elektronisen liitälaitteen huonoja puolia ovat laitteen lyhyempi käyttöikä ja kallis hinta magneettiseen kuristimeen verrattuna. (Ensto pro www-sivut 2008.)

2.1.2 Loisteputkivalaisimen ominaisuudet

Loisteputkivalaisimet ovat hehkulamppujen jälkeen yleisin valaistusmenetelmä. Loistelamppuja on suoria ja kaksikantaisia putkia, yksikantaisia pienloistelamppuja tai kierrekantaisia energiansäästölamppuja. Loisteputkia käytetään yleisesti toimistoissa ja teollisuudessa, mutta myös kotien valaistus on mahdollista toteuttaa loistelampuilla. Loisteputkien yleisyys johtuu niiden erittäin hyvästä valotehokkuudesta ja niiden halvoista hankinta- ja kokonaiskustannuksista. (Ensto pro www-sivut 2008.)

Loistelamppujen toiminta perustuu siihen, että loistelampun sisällä on elohopeahöyryä pienessä paineessa. Lampun päissä elektrodien (katodit) välissä tapahtuu sähköpurkauksia ja hehkutetuista katodeista irtoavat elektronit alkavat törmäämään elohopea-atomien elektroneihin ja ne virittyvät uudelle energiatasolle. Elektronit

palaavat aiemmille energiatasoille, joissa ne vapauttavat energiaa UV-säteilynä. Lampun sisäpinnassa oleva loisteainekerros muuttaa UV-säteilyn näkyväksi valoksi. (Ensto pro www-sivut 2008.)

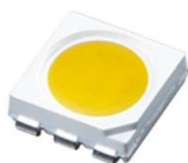


Kuva 5. Loistelampun toimintaperiaate. (Ensto pro www-sivut 2008).

Toimintaansa loisteputket vaativat tietyt fyysiset mitat. Putken halkaisijan tulee olla tarpeeksi pieni ja purkausvälin suhteellisen pitkä. Lopulliseen valontuottoon vaikuttaa myös putkessa olevan elohopeahöyryn määrä, joka määräytyy ympäristön lämpötilan mukaan. Tästä johtuen normaalien loisteputkien paras valontuotto on n. 20-30°C:ssa. (Ensto pro www-sivut 2008.)

2.2 Led teknologia

Termi led tulee englanninkielen sanoista light emitting diode, joka on suomeksi valoa tuottava diodi. Led on puolijohdekomponentti (kuva 6.), joka tuottaa lähes yksiväristä valoa, kun siihen johdetaan sähkövirtaa. Muiden diodien tavoin, myös ledit päästävät virtaa läpi vain toiseen suuntaan. Ledit luovat valoa sähkölumenenssi ilmiön avulla. Kahdella puolijohdeella on eri energiatasot, jolloin n-puolijohteen korkeat energiatasot pyrkivät täyttämään p-puolijohteen energiavajauksia. Energiatasojen muutoksen yhteydessä energia emittoituu fotoneina (valona). (Edison tech center www-sivut 2013.)



Kuva 6. Led puolijohdekomponentti. (Ati www-sivut 2018).

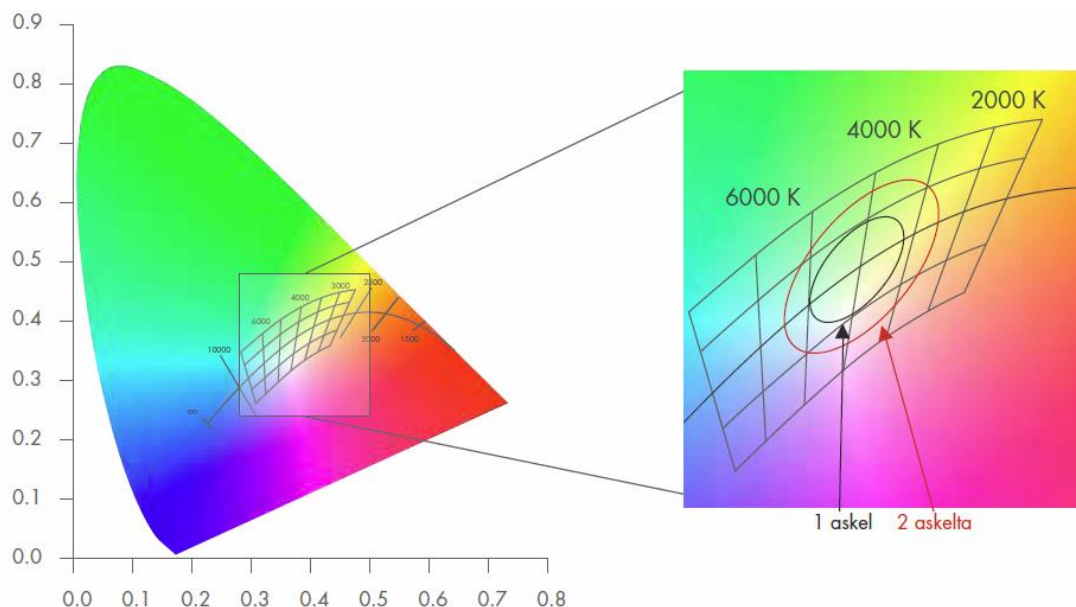
Led on energiatehokas valonlähde lyhyille etäisyyksille ja pienille valaistusalueille. Tyypillinen led-valo vaatii vain 30-60 milliwattia toimiakseen. Ledit ovat pitkäikäisiä ja iskunkestäviä, toisin kuin lasilamppuvalaisimet. Ledeillä on todella jyrkkä valaistuskulma, joka riippuen käyttökohteesta voi olla sekä huono, että hyvä asia. Perinteisesti ledien käyttökohteita ovat kohde- ja huomiovalaistukset. (Edison tech centerin www-sivut 2013.)

Led voi olla epäluotettava valonlähde ulkoilma ratkaisuissa, koska led on herkkä suurille lämpötilan vaihteluille. Lämpö on led komponentin pahin vihollinen ja joskus on käytettävä suuria jäähdytyslementtejä, tai jopa tuulettimia turvatakseen komponentin ehjänä säilyminen. Nämä tietenkin nostavat kustannuksia ja tuuletin vähentää ledien energiatehokasta luonnetta, sekä tuuletin on myös altis vikaantumiselle, joka voi johtaa koko järjestelmän vikaantumiseen. Virtapiirin juotokset ja ohuet kupariliitokset katkeavat taivuttaessa ja voivat aiheuttaa yksikön hajoamisen. (Edison tech center www-sivut 2013.)

On kuitenkin todella harvinaista, että led komponentti menee hajalle. Yleisin ongelma ledeillä on eliniän myötä heikentynyt valoteho. Heikentynyt valoteho johtuu yleisesti lämmöstä. Lämpötilaan vaikuttaa paikka johon led on asennettu, komponenttiin kohdistuva virran määrä ja valaisimen rakenne.

2.2.1 Ledin väri ja värilaatu

Ledeillä ei ole täydellistä värispektriä, joten on huomioitava niiden värinlaatu sekä värintoisto-ominaisuudet. Muuten lopullisessa asennuksessa voi ilmetä näkyviä värieroja. Ledien valmistuksessa syntyy ledejä, joilla on useita eri värejä tai värilämpötiloja. Ihmissilmän väriherkkyyttä kuvaa ns. MacAdamin ellipsi (kuva 7). Ellipsit ovat sovitettu väridiagrammiin ja niiden koko kertoo ledin väritoleranssista. Koko mitataan portaissa, mitä enemmän portaita, sitä korkeampi toleranssi ja värierot ovat paremmin havaittavissa. Hyvää väritoleranssia kuvastaa yleensä vähintään 3-portainen ellipsi. (Glamox www-sivut 2013.)



Kuva 7. MacAdamin ellipsien portaiden määrä kertoo kuinka paljon ledin värit vaihtelevat. (Glamox www-sivut 2013).

Värintoistoon vaikuttaa ledejen värispektri. Nykyään markkinoilla olevilla ledeillä värintoistokyky alkaa olemaan jo todella hyvä. Esimerkiksi, jos ledejen tuottama valo ei sisällä ollenkaan punaista valoa, niin punaiset värit näyttävät sen valossa harmailta. Tätä ilmiötä kuvastaa värintoistoindeksi CRI tai Ra. Ra indeksi on 1-100, missä 100 on paras. Yleisesti sisätilan valaisimille Ra arvo 80 on hyvä arvo. Ledien tuotannossa käytettävien erikoismaalien ansiosta ledien Ra indeksi voi olla jopa 95. (Glamox www-sivut 2013.)

2.2.2 Led loisteputkivalaisimen ominaisuudet

Led toimii tasajännitteellä, joten se tarvitsee aina liitäntälaitteen toimiakseen. Yleisesti ledejen kanssa käytetään tasajännitemuuntajia, mutta energiatehokkaampi vaihtoehto on hakkuriteholähde. Myös led-putkeen on usein sisäänrakennettuna muuntaja, koska suoraan verkkoon asennettuna led hajoaa. (Glamox www-sivut 2013.)

Led-putken valaistuskulma on paljon jyrkempi kuin vastaavalla T5-loisteputkella, jossa valonjako on paljon ”pyöreämpi”. Putkien muovikuvut voivat olla, joko kirkkaita tai sumennettuja, riippuen käyttökohteesta. Sumennettu kupu on tarkoitettu estämään valonlähteen häikäisyä. Nykyään markkinoilla on led-putkia, joissa valonjako on sekä ylös- ja alaspäin ja pyrkii näin matkimaan T5-loisteputken ominaisuuksia. (Edison tech center ja ledvalotukku www-sivut 2008, 2018.)

Magneettisen kuristimen ja sytyttimen/liitäntälaitteen avulla toimivien T5- tai T8-loisteputken tilalle asennettaessa, mahdollinen sytytin korvataan ns. led sulakkeella. Nykyään led-putket voidaan asentaa suoraan vanhojen putkien tilalle, putken kanta tarvitsee olla vain oikea. (Ledvalotukku www-sivut 2018.)

3 VALAISTUS- JA SÄHKÖTEKNISET MITTAUKSET

3.1 C227 ja C229 luokkahuoneet mittauksille

Käytin kahta satakunnan ammattikorkeakoulussa sijaitsevaa luokkahuonetta kohteena asennustöille, sekä valaistus- ja sähköteknisille mittauksille. Asennustyöt tapahtuivat C227 luokkahuoneessa (kuva 8), johon vaihdettiin edellisten T5-loisteputkien tilalle led-putket. C229 luokkahuonetta (kuva 9) käytettiin vertauskohteena saaduille mittauksille, sekä vakauttamaan saatuja arvoja.



Kuva 8. C227 luokkahuone asennuksille ja mittauksille (Vaali 2018).



Kuva 9. C229 Luokkahuone mittaustulosten vertailuun ja tarkistukseen (Vaali 2018).

Luokkahuoneessa C227 on kaksitoista 120cm:n valaisinta (kuva 10 kts. seur s.). C229:ssä valaisimia on yhteensä kahdeksantoista. Valaistustapa on sekoitus suoraa ja epäsuoraa valaistusta. Suora valaistustapa tarkoittaa sitä, että yli 90 prosenttia valosta suuntautuu alaspäin, kun taas epäsuora valaistus toteutetaan heijastamalla valo jostakin pinnasta tai ohjaamalla valo väliaineeseen. Luokkahuoneessa osa valosta

suuntautuu ylöspäin ja heijastuu katon valkoisesta pinnasta ja osa suuntautuu suoraan alaspäin.

Luokkahuoneessa C227 kahdentoista valaisimen joukko jakautuu neljään 4:n valaisimen joukkoon. Jokaiselle neljän valaisimen joukkoa ohjataan omalla katkaisijalla. Ennen putkien vaihtoa valaisimissa oli himmennys mahdollisuus, jonka mahdollisti edellisten T5-loisteputkien yhteydessä ollut liitäntälaitte. Himmennyksen ohjaus toimi myös lamppujen omalla katkaisijalla pitämällä katkaisinta yli sekunnin sitä pohjassa. Luokan C229 valaisimien ohjaus oli neljällä kytkimellä, mutta ohjausryhmät jakoutuivat kahteen 3:n valaisimen ryhmään ja kahteen 6:n valaisimen ryhmään.

Katon korkeus huoneissa on 3,0 metriä, mutta valaisimet ovat noin 50cm alempana mahdollistaen epäsuoran valaistuksen. Valaisimet luokkahuoneissa on varustettu valon heijastimilla ja häikäisynestorilöillä (kuva 10). Luokkahuoneessa C227 olevat valaisimet ovat kaksiputkisia, jossa yhden putken teho oli 28W. C229:ssa olevat putket ovat yksiputkisia ja teho 35W. Tästä huolimatta valaistustehoiltaan ja sähköteknisiltä ominaisuuksiltaan valaisimet ovat lähellä toisiaan.



Kuva 10. Valaisimen sijainti ja rakenne (Vaali 2018).

3.2 Valaistus- ja sähkötekniset mittaukset

Valaistusmittauksilla pyrittiin tarkistamaan täyttääkö luokkahuoneet standardin SFS EN 12464-1:n vähimmäisvaatimukset. Vaaditut valaistusvoimakkuudet ovat tärkeitä näkömukavuuden ja viihtyvyyden kannalta. Taulukossa 1 on havainnollistettu työalueen ja sen välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuden suhdetta. Välitön lähiympäristö tarkoittaa puolen metrin aluetta työalueen ulkopuolella.

Taulukko 1. Valaistusvoimakkuudet työalueella ja välittömässä lähiympäristössä. (SFS-EN 12464-1 2011, 20).

Työalueen valaistusvoimakkuus E_{task} (lx)	Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus (lx)
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	E_{task}
100	E_{task}
≤ 50	E_{task}

Luokkahuoneen vähimmäisvaatimus valaistusvoimakkuudelle on 300 luksia, mutta kirjoittamiseen suositeltu määrä on 500 luksia. Työtasolle kohdistuvaa valaistusta mitattaessa ja suunniteltaessa kannattaa ottaa huomioon, että standardissa oleva luksimäärä ei tarkoita uuden asennuksen luksimäärää, vaan se tarkoittaa valaistusvoimakkuutta vanhentetusta asennuksesta. Uuden valaistuksen standardia EN 12464-1 noudattavan valaistusvoimakkuuden voi laskea kaavalla, ottaa huomioon alenemakertoimen 0,8. Luokkahuoneen uuden valaistuksen tulee siis olla valaistusvoimakkuudeltaan:

$$E_{uusi} = \frac{E_{standardi}}{0,8} = \frac{300 \text{ lx}}{0,8} = 375 \text{ lx}$$

E_{uusi} on uuden asennuksen valaistusvoimakkuus

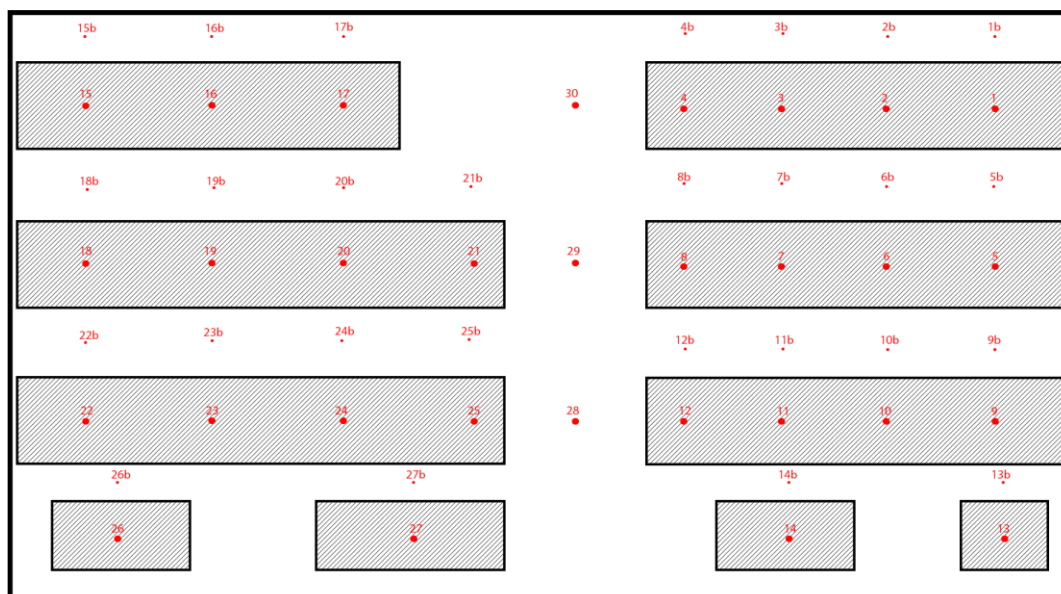
$E_{standardi}$ on standardissa oleva valaistusvoimakkuus

Kaava 1.

Valaistusmittauksia otettiin kummassakin luokkahuoneessa. Olosuhteet säilyivät samoina eri mittauskertojen välillä, taaten mahdollisimman oikean mittaustuloksen. Samasta syystä mittaukset tehtiin pimeään aikaan ja sälekaihtimet suljettiin. Pinnan valaistusvoimakkuudeksi mitattiin 11-12 lx silloin, kun valot olivat sammutettuina.

Led-putket, sekä T5-loisteputket eroavat toisistaan ominaisuuksiltaan. Led-putki antaa maksimaalisen valovirran heti syttyessään ja hiipuu vähän ajan myötä johtuen komponenttien lämpiämisestä. Loistelamput antavat kylmänä vähemmän valovirtaa ja ajan kanssa niiden tuottama valovirta suurenee. Reilun mittauksen takaamiseksi kumpiakin valaisimia pidettiin päällä 30 minuuttia ennen mittauksien aloittamista.

Mittaukset tehtiin kahdessa eri luokassa pöytä- ja lattiatasolta. Pöytätasot säädettiin kaikki samalle tasolle 73cm korkeuteen. Kummassakin luokkahuoneessa mittauspisteitä oli 27 pöytätasolla ja 30 lattiatasolla (kuva 11). C227 luokkahuoneessa mittaukset tehtiin T5-loistelampuilla ja led-putkilla, kun taas C229 luokassa otettiin vertailun vuoksi arvot vain T5-loistelampuilla (Kuva Liiteessä 1).



Kuva 11. C227 luokan mittauspisteet pöytätasolla ja niitä vastaavat lattiataason pisteet (Vaali 2018).

Valaistusvoimakkuuden mittaukset suoritettiin Malmbergsin digitaalisella valomittarilla (kuva 12). Käytössä oli myös toinen erivalmistajan mittari, jolla varmistettiin mittaustulosten paikkansapitävyys. Mittareiden lisäksi tehtiin silmämääräinen tarkastelu. Ohjekirja antaa mittarin tarkkuudeksi $\pm 3\%$ lukemasta ja $\pm 0,5\%$ mitta-asteikon huippuarvosta. Mittarin käyttö oli yksiselitteistä ja helppoa. Asioita joita pyrittiin ottamaan huomioon mittauksia tehdessä, oli valonheijastumiset eri materiaaleista ja väreistä, sekä oman kehon varjon vaikutukset heikentävästi mittaustuloksiin.



Kuva 12. Malmbergsin digitaalinen luksimittari LX1010B+ (Vaali 2018).

Sähkötekniset mittaukset suoritettiin sähkökeskukselta (kuva 13), johon päästiin sisään tilaajan avustuksella. Keskuksesta etsittiin luokkahuoneiden C227 ja C229 valaistuksesta vastaavat kytkimet (kuva 13). Kummallekin luokkahuoneelle oli varattu kaksi kytkintä, joista toinen vastasi luokan toisesta puolesta ja toinen toisesta.

Aluksi laitettiin valot päälle tilaan ja annettiin niiden olla päällä noin puoli tuntia, jotta sähkökulutus tasaantuisi. Sen jälkeen otettiin virtamittaukset virtapihdillä keskukselta. Oikean tuloksen varmistamiseksi otin mittauksen uudelleen käyttämällä toista erivalmistajan virtapihtiä. Virranmittaamisen olisi voinut suorittaa myös suoraan valaisimista, mutta se olisi hankaloittanut mittaamista turhaan.



Kuva 13. Sähkökeskus ja luokkahuoneiden valaistuksesta vastaavat kytkimet (Vaali 2018).

3.3 Testattavat valaisimet

Testattavana oli kaksi erilaista T5-loisteputkea ja yhden valmistajan led-putki. T5-loistelamput toimivat ainoastaan oman elektronisen liitäntälaitteen avulla. Uudet led-putket eivät tarvitse erillistä sulaketta toimiakseen, vaan putket voitiin asentaa suoraan tekemättä mitään muutoksia aikaisempaan asennukseen.

T5-loisteputkien valaistus- ja sähköteknisissä mittauksissa käytössä oli GE lighting:in valmistamat 28 wattiset ja 120 cm pitkät, sekä 35 wattiset 150 cm pitkät loistelamput. Led-putket tulivat 28 W loistelamppujen tilalle luokkahuoneeseen C227. Kaikkien testattavien valaisimien värielämpötila oli 4000 kelviniä.

3.3.1 T5-loisteputkivalaisimet

Kummatkin T5-loistelamput olivat aiemmin mainittuja High Efficiency (HE) loistelamppuja. Lamput olivat normaaleja paikalleen kierrettäviä loisteputkia, joilla oli lamppujen kirkkautta säätelevä elektroninen liitäntälaite asennuksessa. Taulukossa 2 on listattu loisteputkien teknisiä tietoja.

Taulukko 2. Valmistajan antamat tekniset tiedot loisteputkista. (GE Lightingin www-sivut 2018)

	150 cm:n putki	120 cm:n putki
Valaisin	T5 35 W	T5 28 W
Nettopaino	125 g	101 g
Kantatyyppi	G5	G5
Värikoodi	840	840
Lumenet 25°C:ssa	3320 lm	2640 lm
Energiankulutus	38,32 kWh/1000h	30,94 kWh/1000h
Valoteho	105 lm/W	104 lm/W
Nimellinen valaistusvoimakkuus	3650 lm	2900 lm
Energialuokka	A+	A+
Alin käyttölämpötila	- 15 °C	- 15 °C
Käyttöikä	30000 h	30000 h

3.3.2 Led-putki

Led-putki (kuva 14) vastasi kooltaan ja kannaltaan T5-loisteputkea. Putki oli helppo asentaa, koska se ei vaatinut mitään muutostöitä edelliseen asennukseen. Ulkonäöltään led-putki vastasi normaalia T5-loisteputkea. Led-putkessa oli sumennettu kupu, joka vähentää lampun suoraa ja epäsuoraa häikäisyä. Epäsuoralla häikäisyllä tarkoitetaan sitä, että valo heijastuu silmiin esimerkiksi tietokoneen näytöstä haitaten näin työskentelyä.



Kuva 14. Led-putki ja sen kanta (Vaali 2018).

Led-putkella on monia hyviä ominaisuuksia, joita normaaleilla loisteputkilla voidaan saavuttaa. Led-putki antaa aina syttyessään suurimman valontuoton ja komponenttien lämmetessä valontuotto alkaa laskemaan. Ne toimivat myös hyvin kylmissäkin olosuhteissa, johtuen juuri ledien huonosta lämmönsietokyvystä. Led-putket eivät myöskään sisällä elohopeaa, joten myrkyllinen elohopea ei pääse saastuttamaan ympäristöä. Tehokerroin putkilla on myös todella hyvä, joka takaa pitkäikäisyyttä sekä alentaa energiankulutusta.

Käyttökohde ja vääränlainen putki voi tuoda esiin myös negatiivisia ominaisuuksia esille. Ahdas asennustila saattaa estää putkea jäähtymästä tarpeeksi tehokkaasti,

johtaen pieneen valotehoon ja jopa komponentin rikkoutumiseen. Jos putki ei ole suoraan paikalleen asennettava voi muutostöihin mennä aikaa ja rahaa. Vääränlainen putki varsinkin toimistorakennuksissa voi heikentää työtehokkuutta, sekä ärsyttää työntekijöiden silmiä. Myös led-putkien jyrkkä valaistuskulma voi luoda ongelmia tietynlaisissa tiloissa jättäen huoneeseen hämääriä ja varjoisia kohtia. Taulukossa 3 on käyty läpi led-putken teknisiä tietoja.

Taulukko3. Valmistajan antamat tekniset tiedot led-putkesta. (Philips lightingin www-sivut 2018.)

	Led-putki
Kanta	G5
Värikoodi	840
Nimellisteho	16,5 W
Lampun virta	150-350 mA
Tehokerroin	0,9
Nimellisjännite	90-130 V
Energiankulutus	20 kWh/1000h
Valaistusvoimakkuus	2500 lm
Energialuokka	A++
Alin käyttölämpötila	- 20 °C
Käyttöikä	50000 h

3.4 Mittaustulokset luokkahuoneista C227 ja C229

Mittauspisteiden suuresta lukumäärästä johtuen mittaustulokset kokonaisuudessaan löytyvät liitteistä. Taulukossa 4. esitetään tiivistelmä saaduista mittaustuloksista ja niistä lasketuista arvoista.

Taulukko 4. Valaistus- ja sähkötekniset mittaustulokset ja niistä johdetut arvot.

	T5 120cm (C227)	T5 150 cm (C229)	Led-putki (C227)
Pöytätaso:			
E_m [lx]	615	530	661
E_{min} [lx]	372	384	333
E_{max} [lx]	855	656	934
Tasaisuus [E_{min}/E_m]	0.60	0.72	0.50
Lattiataso:			
E_m [lx]	448	397	497
E_{min} [lx]	294	303	309
E_{max} [lx]	671	527	793
Tasaisuus [E_{min}/E_m]	0.66	0.76	0.62
Virrankulutus yht.	3.14 A	3.04 A	1.84 A
Tehonkulutus yht.	722 W	699 W	423 W
Lx / W	0.85	0.76	1.56

Taulukossa on listattu lattia- ja pöytätasolta mitatut valaistusvoimakkuuksien keskiarvot (E_m), pienimmät arvot (E_{min}) ja suurimmat arvot (E_{max}). Lisäksi laskin valaistusvoimakkuuden tasaisuuden (E_{min} / E_m), kokonaisvirrankulutuksen, sekä kokonaistehon.

Valaistusvoimakkuuden tasaisuudella pyritään siihen, että suuret vaihtelut valaistusvoimakkuudessa pysyisivät mahdollisimman pieninä (Innoluxin Valaistussuunnitteluopas 2014, 6). Led-putken pienimmät tasaisuuden arvot taulukossa johtuvat ledin kohtisuorasta luonteesta, joka aiheuttaa isomman eron suurimman ja pienimmän luksiarvon välille.

Virrankulutuksen arvot ovat sähköpääkeskukselta mitatut arvot laskettuna yhteen, koska yhden luokkahuoneen valaistusta ohjaa kaksi kytkintä. Tehonkulutuksen arvot ovat johdettu näistä virrankulutuksien summasta. Lopuksi vielä verrattiin valaisimien pöytätasolle tuottamaa valaistusvoimakkuutta suhteessa kulutettuun tehoon. Tämän arvon avulla tiedetään paras ratkaisu, jos tärkeintä on vain valontuotto tehoyksikköä kohden.

Taulukon arvoista voidaan todeta se, että T5-loisteputket eivät tuottaneet pöytä- ja lattiatasolle niin suurta valaistusvoimakkuutta kuin led-putki. Led-putki kulutti myös vähemmän virtaa, sekä tuotti enemmän valaistusvoimakkuutta tehoyksikköä kohden, kun vastaavat T5-loistelamput. Ainoa asia missä led-putki oli huonompi kuin T5-loisteputki, oli valaistusvoimakkuuden tasaisuus.

4 TALOUDELLINEN TARKASTELU

Taloudellinen tarkastelu on hyvä tehdä aina uutta valaistusjärjestelmää valittaessa. Valaistuksen kustannuksiin hankintahintojen lisäksi, kuuluu lamppujen ja valaisimien vaihtovälit ja huollot, sekä valaisimien energiankulutus. Energiankulutuksessa säästöjä saadaan aikaan vaihtamalla valaisimet uusiin energiatehokkaampiin vaihtoehtoihin, sijoittamalla ja kohdistamalla valaisimet paremmin tai asentamalla

automaattinen valonohjaus havaitsemaan valaistuksen tarpeellisuus. (Motivanhankintapalvelu www-sivut 2017.)

4.1 Valaisimien hankintahinnat

Uusia valaisimia hankkiessa investointikustannukset sisältävät valaisimien hankintahinnat, sekä asennuskustannukset. Led-putken ja T5-loisteputken asennuskustannukset voidaan jättää huomioimatta, koska putkien asentaminen vaatii lähes saman työn. Jäljelle jäävät hankintahinnat ovat siis ratkaiseva tekijä investointien minimoimiseksi. Taulukossa 5. on listattu juuri tässä työssä vertailtujen valaisimien hankintahinnat. Led-putkia sekä 120 cm:n T5-loisteputkia oli 24 kappaletta ja 150 cm:n putkia oli 18 kappaletta, mutta vertailun vuoksi otettiin kaikkia 24 kappaletta.

Taulukko 5. Valaisimien hankintahinnat.

Valaisin	Hinta € / 24 kpl
Led-putki	673.92
T5-loisteputki (120cm)	104.64
T5-loisteputki (150cm)	184.8

4.2 Led-putkien takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuajan voi laskea valaisimelle, silloin kun sen energiakustannukset ja huoltokustannukset alittavat edellisen asennuksen vastaavat kustannukset. Takaisinmaksulla tarkoitetaan sitä, että tietyn ajan kuluttua uusi valaisin maksaa hankintahinnan ja asennuskustannukset takaisin olemalla esimerkiksi energiatehokkaampi ja säästäen sähkölaskussa.

Tässä työssä vertailtiin pelkästään energiankulutuksesta aiheutuvaa säästöä, joka ei ota huomioon huoltokustannuksia tai muita esimerkiksi tuotteen hankintaan otetun lainan

korosta aiheutuneita kuluja. Sähkön hinnaksi otettiin 9 snt/kWh, joka on 90 €/MWh. Hintaan oli sisällytetty sähkönsiirtokustannukset ja verot. Vuodessa sähköstä maksetaan siis kaavan 2. mukaisesti:

$$K_{sähkö} = T_a \times P_{luokka} \times H_{sähkö}$$

T_a on valaisimen polttoaika vuodessa

P_{luokka} on valaisimien sähköteho yhteensä

$H_{sähkö}$ on sähköhinta

Kaava 2.

Kaavalla 2. laskettuna sähkölasku 120cm:n T5-loisteputkelle on:

$$K_{sähkö} = 4300h \times 722W \times 90 \frac{€}{MWh} = 279.414 €$$

Taulukossa 6. on listattuna kaikkien tässä työssä tutkittavien loisteputkien vuotuiset sähkölaskut.

Taulukko 6. Valaisimien sähkölaskut vuodessa

Valaisin	€/vuosi
T5-loisteputki (120 cm)	279.4
T5-loisteputki (150 cm)	270.5
Led-putki	163.7

Koska tiedossa on valaisimien hankintahinnat ja vuotuiset sähkökulut, voidaan laskea niille takaisinmaksuaika. Yleensä takaisinmaksuajan kaavassa on vielä asennuksen kulut, mutta tässä tapauksessa asennuksen kulut on jätetty huomioimatta. Takaisinmaksuajan voi siis laskea seuraavasti:

$$T_{takaisin} = \frac{H_{valaisin}}{(K_{vanha} - K_{uusi})}$$

$T_{takaisin}$ on valaisimen takaisinmaksuaika

$H_{valaisin}$ on valaisimen hankintahinta / 24 kpl

K_{vanha} on aikaisemman asennuksen sähkölasku vuodessa

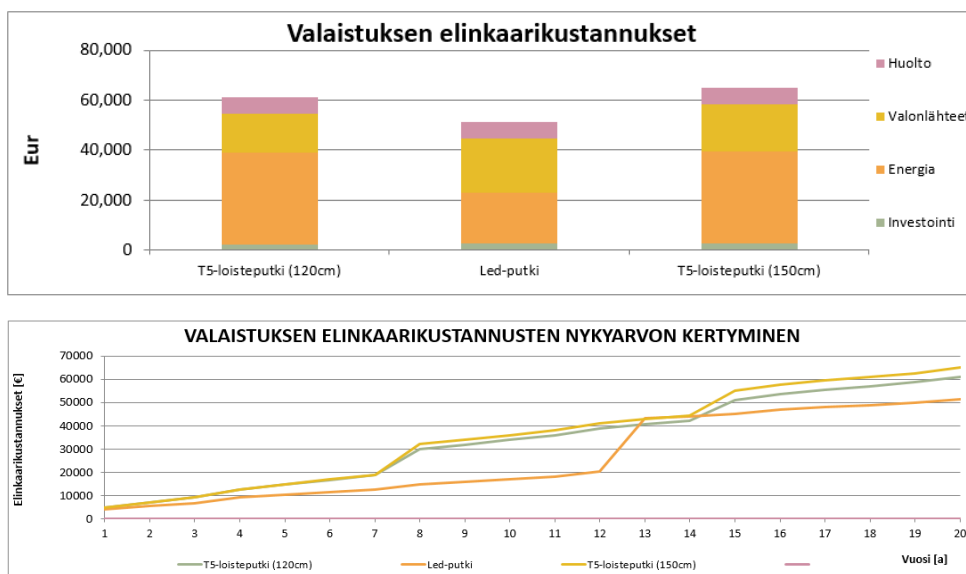
K_{uusi} on uuden asennuksen sähkölasku vuodessa

Takaisinmaksuaika led-putkelle luokassa C227 on täten seuraava:

$$T_{takaisin} = \frac{673.92\text{€}}{\left(279.4\frac{\text{€}}{\text{a}} - 163.7\frac{\text{€}}{\text{a}}\right)} = 5.82 \text{ a}$$

4.3 Elinkaarikustannukset

Elinkaarikustannukset (kuva 15) laskettiin Motivan VALTTI-elinkaarilaskurilla. Laskurilla tehtiin elinkaarikustannus laskelmat 20 vuoden ajanjaksolle, jossa otettiin huomioon mm. investointi-, energia-, huolto- ja kunnossapitokustannukset. Elinkaarilaskelmaan sisältyy joitain epävarmuustekijöitä ja arviointivirhemahdollisuuksia esimerkiksi energian hinnankehityksen ja tarvittavien investointien arviointi.



Kuva 15. Valaistuksen elinkaarikustannukset.

Elinkaarilaskelmista selviää, että 20 vuoden ajanjaksolla led-putki tulee kustannuksiltaan halvimmaksi. Led-putkella investointi- ja valonlähdekustannukset ovat suuremmat kuin T5-loisteputkilla, mutta pienen energiankulutuksensa takia se tulee pitkällä aikavälillä halvemmaksi. Led-putken pidempi elinikä ei juurikaan vaikuttanut valonlähteiden kustannuslaskelmiin alentavasti, johtuen led-putkien kalliimmasta hankinta hinnasta. Vanhan putken vikaantuessa, uuden hankkiminen on todella kallista verrattuna halpoihin T5-loisteputkiin. Valaisimien huoltokustannukset ovat kaikilla samat, koska lampun kannat, kaapeloinnit ja ympäristö ovat samat, täten ne vaativat samanlaiset siivous- ja huoltotoimenpiteet.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyössäni opin todella paljon uutta loisteputkista, sekä valaistuksesta ylipäänsä. Asennustöiden, suunnitelmien ja mittauksien suorittaminen itsenäisesti kartutti runsaasti käytännön osaamistani, sekä auttoi havainnollistamaan asiakokonaisuutta paremmin. Asennustöihin ja mittauksiin aikaa kului muutama kuukausi, jonka jälkeen aloin kirjoittamaan itse opinnäytetyötä.

Tässä insinööriyössä tutkin, voidaanko T5-loisteputki syrjäyttää led-putkella ja saanko aikaan merkittäviä eroja energiankulutuksessa, sekä valaistusvoimakkuudessa. Syrjäyttävän led-putken tuli täyttää samat valaistusvoimakkuuden kriteerit, mutta valon tasaisuus sai kärsiä. Tarkastelun kohteena oli myös led-putken pieni energiankulutus, sekä ympäristöystävällisyys.

Asennustöiden kohteeksi otettiin luokkahuone C227 satakunnan ammattikorkeakoulusta. Vertailuksi otettiin viereinen C229 luokkahuone, joka oli valaistus- ja sähkötekniisiltä ominaisuuksiltaan lähes identtinen. Luokassa C227 tehtiin mittaukset ensin T5-loisteputkilla ja sen jälkeen sama tehtiin led-putkilla.

Valaistusvoimakkuuden mittauksiin käytettiin Malmbergsin luksimittaria ja arvot tarkastettiin toisella eri valmistajan mittarilla.

Mittaustuloksista selvisi, että led-putki täytti standardin asettamat kriteerit luokkahuoneelle, sekä oli valaistusvoimakkuudeltaan suurempi, sekä kulutti vähemmän energiaa verrattuna aikaisempaan T5-loisteputkeen. Valaistuksen tasaisuus oli ainoa osa-alue, jossa ledin kohtisuora luonne ei päässyt samoihin tuloksiin T5-loisteputken kanssa.

Taloudelliselta kantilta led-putki oli halvin vaihtoehto pitkällä aikavälillä, vaikka investointi- ja hankintakustannukset olivatkin korkeammat verrattuna T5-loisteputkiin. Tämä johtui ledin pienestä virran- ja energiankulutuksesta. Kokeilin käyttää erilaisia aikavälien ja energianhintojen arvoja laskelmissa, mutta ledin takaisinmaksu oli aina nopein.

Led-putki vaikutti olevan täysin pätevä syrjäyttämään aikaisemman T5-loisteputken, joka ei pärjännyt ledille muuta kuin valaistuksen tasaisuudessa ja halvemmassa hankintahinnassa. Led-putki maksaa itsensä kuitenkin sähkölaskussa takaisin jo kuudessa vuodessa. Viime vuosien raju led-tekniikan kehittyminen mahdollistaa näinkin suuren edun aikaisempiin loisteputkiin nähden, sekä tulevaisuudessa ledien käyttö valaistusratkaisuissa tulee varmasti lisääntymään.

LÄHTEET

Ati www-sivut, ”Led-komponentti”, Viitattu 01.02.2018.

fi.ati-led-fas.com

Aura thermo www-sivut, ”Aura thermo long life”, Viitattu 23.01.2018.

<http://www.auralight.fi>

Edison tech center www-sivut, ”LED”, Viitattu 01.02.2018.

www.edisontechcenter.org

Ensto pro www-sivut, ”Liitäntälaitteet”. Viitattu 24.01.2018.

www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/enstopro.html

Ensto pro www-sivut, ”Loistelamput”, Viitattu 24.01.2018.

www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/enstopro.html

Ensto pro www-sivut, ”Suorat loistelamput”. Viitattu 23.01.2018.

www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/enstopro.html

GE lighting www-sivut, ”T5-loisteputki”, Viitattu 10.02.2018.

emea.gelighting.com/LightingWeb/emea

Glamox www-sivut, ”Ledin väri”, Viitattu 04.02.2018.

www.glamox.com

Helvar www-sivut, ”Magneettinen kuristin”, Viitattu 24.01.2018.

www.helvar.com

Ledvalotukun www-sivut, ”Led-putket”, Viitattu 04.02.2018.

www.ledvalotukku.fi

Motiva Oy www-sivut, ”Valaistus”. Viitattu 19.01.2018. ja 21.02.2018.

www.motivanhankintapalvelu.fi

Philips lightingin www-sivut, ”Led-putki”, Viitattu 11.02.2018.

www.lighting.philips.fi/aloitussivu

Taloon yhtiöt OY www-sivut, ”Sytytin”, Viitattu 24.01.2018.

www.taloon.com

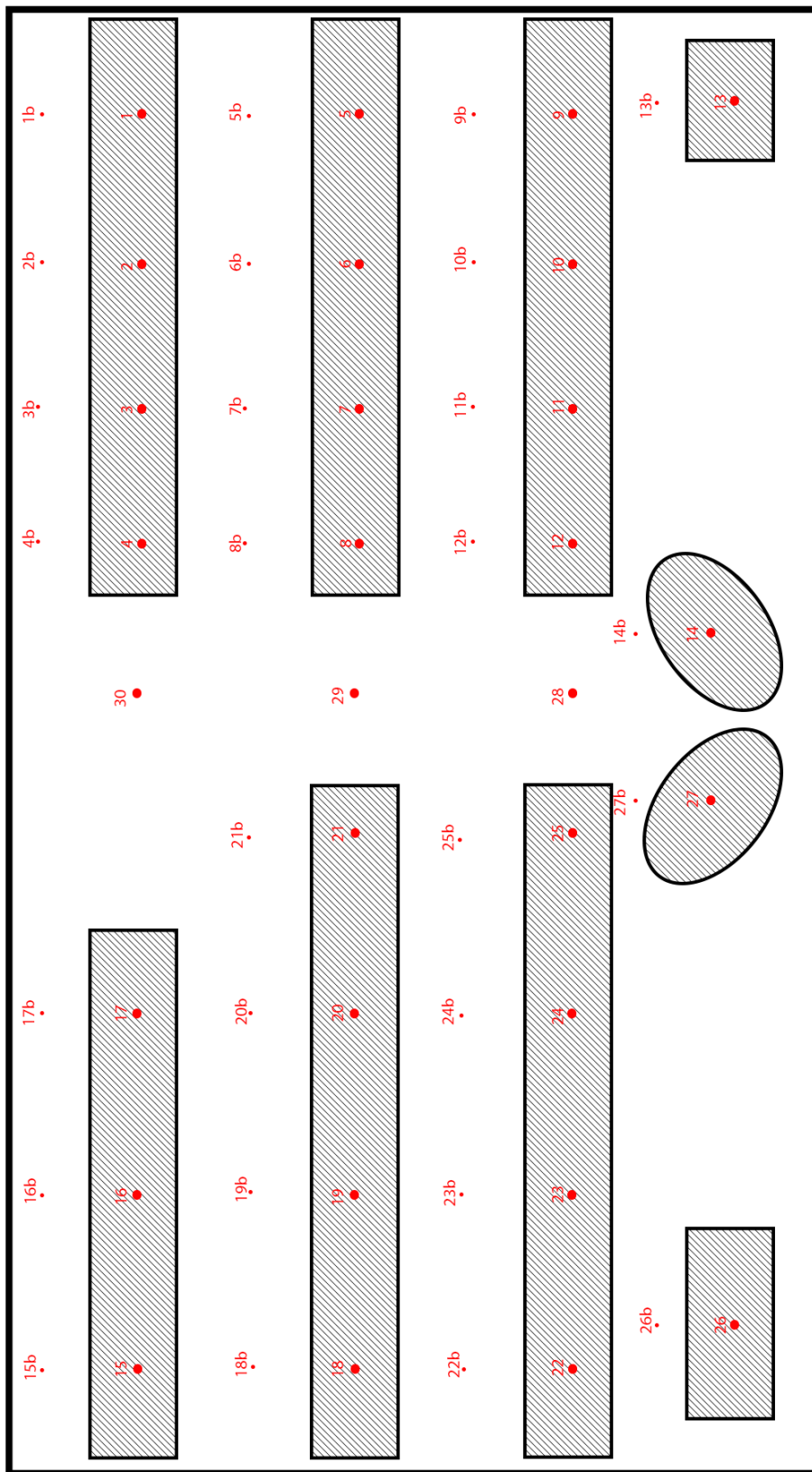
Valaistussuunnitteluopas. 2014. Innolux. Viitattu 13.02.2018.

(http://www.innolux.fi/sites/default/files/Valaistussuunnitteluopas_RGB.pdf)

Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus (SFS-EN 12464-1), Viitattu 04.02.2018.

www.sfs.fi

Mittauspisteet luokkahuoneesta C229.



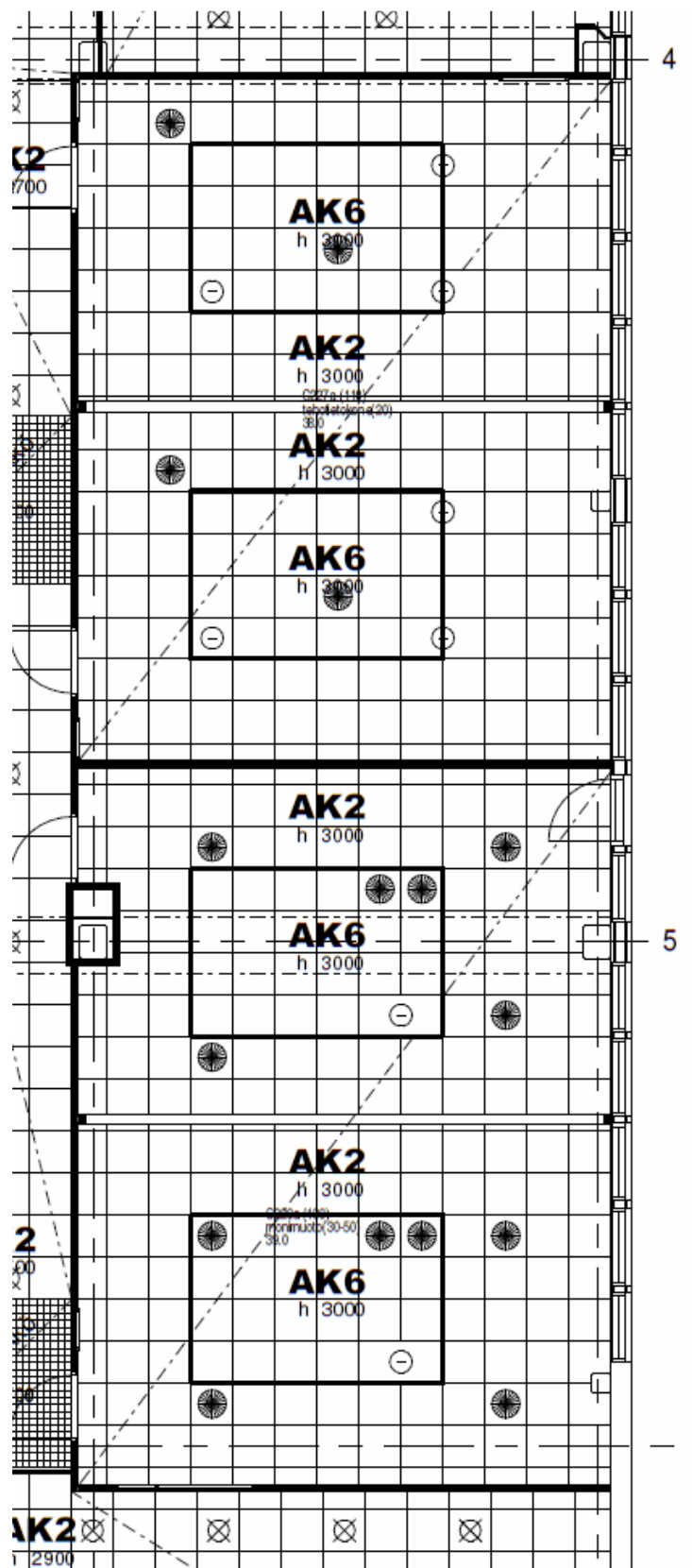
Mittauspöytäkirja luokkahuoneesta C227

	MITTAUSPISTEET (C227)			
	Pöytätaaso (lux)		Lattiataso vastaava (lux)	
#	T5	LED	T5	LED
1	532	568	310	335
2	650	743	400	445
3	648	722	403	457
4	597	620	348	376
5	525	579	334	385
6	610	682	435	462
7	617	694	445	514
8	603	625	506	536
9	484	515	294	338
12	555	580	483	512
13	487	531	315	309
14	527	542	341	410
15	574	542	332	382
16	762	812	433	494
17	758	842	466	531
18	578	612	372	389
19	764	809	516	565
22	561	605	374	411
23	737	790	559	602
24	855	931	588	670
25	831	934	618	666
26	517	600	382	369
27	372	333	467	470
28			645	778
29			671	793
30			605	730

Mittauspöytäkirja luokkahuoneesta C229

	MITTAUSPISTEET (C229)	
	T5	
#	Pöytätaaso (lux)	Lattiataso vastaava (lux)
1	531	322
2	497	356
3	645	388
4	518	356
5	521	321
6	506	347
7	644	447
8	502	466
9	503	307
12	504	480
13	384	473
14	494	405
15	492	303
16	534	364
17	656	409
18	472	364
19	544	401
22	504	314
23	544	351
24	650	408
25	492	481
26	410	350
27	649	394
28		527
29		501
30		478

Luokkahuoneiden C227 ja C229 pohjakuvat.



Luokkahuoneiden C227 ja C229 sähköpiirustukset.

