



TEKNIikka JA LIIKENNE

Sähkötekniikka

Sähkövoimatekniikka

INSINÖÖRITYÖ

Led-valoputket ja T5-loistelamput T8-loistelamppujen korvaajana

**Työn tekijä: Riku Mäntylä
Työn ohjaaja: Tapio Kallasjoki**

Työ hyväksytty: 18. 12. 2010

**Tapio Kallasjoki
lehtori**



ALKULAUSE

Tämä insinööri työ tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoululle. Kiitän Helsingin kaupungin sähköinsinöörejä Kari Niittymäkeä ja Samuli Rasinmäkeä, jotka mahdollistivat tämän työn toteuttamisen. Kiitän myös työni ohjaajaa lehtori Tapio Kallasjokea.

Helsingissä 18.12.2010

Riku Mäntylä

TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Riku Mäntylä	
Työn nimi: Led-valoputket ja T5-loistelamput T8-loistelamppujen korvaajana	
Päivämäärä: 18.12.2010	Sivumäärä: 44 s. + 5 liitettä
Koulutusohjelma: Sähkötekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Sähkövoimatekniikka
Työn ohjaaja ja valvoja: lehtori Tapio Kallasjoki	
<p>Tässä insinööriyössä tutkittiin, löytyykö markkinoilta energiatehokasta lamppua, joka korvaisi T8-loistelampun. Uuden korvaavan lampun tulisi olla energiatehokkaampi, mutta valaistuksen laadun pitäisi pysyä kuitenkin samana. Työ tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun sähköosastolle.</p> <p>Aluksi selvitettiin markkinoilta löytyvät vaihtoehdot, joilla voidaan korvata T8-loistelamppu. Korvaavat lamput olivat T5-loistelamppu varustettuna T5-adapterilla sekä led-valoputki. Molemmat vaihtoehdot sopivat suoraan vanhan loistelampun tilalle. Asennusvaiheessa täytyi vaihtaa vain lamppu ja sytytin korvaavaan versioon. Mittaukset tehtiin Pihkapuiston ala-asteen luokkahuoneessa. Mittaukset käsittivät teho-, valaistusvoimakkuus-, luminanssi- sekä värintoistomittaukset. Värintoistomittaus sekä yhden lampun valovirtaan verrannollinen valaistusvoimakkuus mitattiin Metropolian valaistusmittauslaboratoriossa integroivassa pallossa. Työssä keskityttiin oppilaitosten asettamiin vaatimuksiin, koska tutkittava kohde oli koulu. Lopputuloksissa on vertailtu lamppuja opetustilojen valaistuksen asettamien vaatimusten mukaan. Mittaustulosten vertailun jälkeen tutkittiin jokaisen valaistusvaihtoehdon taloudellinen arviointi, eli kuinka nopeasti lamppu alkaisi tuottaa rahallista säästöä koululle.</p> <p>Paras vaihtoehto korvaamaan T8-loistelamppu on T5-loistelamppu. T5-loistelamppulla toteutettu valaistus kulutti vähemmän sähköä vanhaan T8-loistelamppuun verrattuna, mutta valaistusvoimakkuus, värintoisto sekä luminanssitasot pysyivät samalla tasolla. Led-valoputkillä standardin SFS-EN 12464-1 vaatimat arvot eivät täyty valaistusvoimakkuuden sekä värintoiston suhteen.</p>	
Avainsanat: takaisinmaksuaika, valaistusvoimakkuus, värintoisto	

ABSTRACT

Name: Riku Mäntylä	
Title: LED Tubes and T5 Fluorescent Lamps as New Replacement for T8 Fluorescent Lamps	
Date: 18 December 2010	Number of pages: 44 + 5 appendixes
Department: Electrical Engineering	Study Programme: Electrical Power Engineering
Instructor and supervisor: Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer	
<p>The purpose of this graduate study is to find an alternative light source to replace the old T8 fluorescent lamp. The new light source should be more efficient in terms of electricity consumption and the lighting standards of SFS-EN 12464-1 should be met. This thesis was carried out for the Metropolia University of Applied Sciences.</p> <p>This study is based on measurements carried out in a classroom in Pihkakuisto elementary school. Some measurements, i.e. the color index and the illuminance of only one tube, were measured in the lighting laboratory at the university. The measurements that took place in the classroom were illuminance, luminance and power consumption of lighting.</p> <p>This graduate study focused mainly on the demands set to the lighting of classrooms, since most of the measurements were made in a classroom and different light sources were also compared based on the assumption that they would be used in a classroom. After an analysis of the measurement results, the study concentrated on identifying which of the light sources would start saving money for the school first.</p> <p>It was found that the T5 fluorescent lamp is the best option to redo the lighting in this case. The T5 was more efficient than the old T8 when it came to power consumption and it also meets the requirements of the standard SFS-EN. The led-tube was the most efficient when it came to power consumption, but the quality of the lighting was not so good and did not meet the demands of the standard. So in this case the best option to redo the lighting would be the T5 fluorescent lamp, since it is more efficient and it will save money in the long run.</p>	
Keywords: repayment period, illuminance, color index	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	VALO JA NÄKEMINEN	2
2.1	Näkyvä valo	2
2.2	Näkeminen ja silmän toiminta	3
2.3	Valaistuksen peruskäsitteet	4
2.4	Lampputyypit	6
2.4.1	<i>Loistelamppu</i>	6
2.4.2	<i>Led-valoputki</i>	7
2.5	Energiatehokkuusvaatimukset	8
3	LUOKKAHUONEEN VALAISTUS	9
3.1	Oikeanlainen valaistus tukee oppimista	9
3.2	Tietokoneet yleistyvät opetuksessa	10
3.3	Valolla biologisia vaikutuksia	10
3.4	Energiansäästömahdollisuus	11
3.5	Standardi SFS-EN 12464-1 Valo ja valaistus	13
3.5.1	<i>Luminanssijakauma</i>	13
3.5.2	<i>Valaistusvoimakkuus</i>	13
3.5.3	<i>Häikäisy</i>	15
3.5.4	<i>Värintoisto</i>	18
4	VALAISTUSTUTKIMUKSEN TAVOITTEET	18
5	TUTKITTAVANA KOHTEENA LUOKKAHUONE	19
5.1	Mittalaitteet ja mittausmenetelmät	20
5.2	Valaistusvaihtoehdot	24
6	MITTAUSTULOKSET	26
6.1	Tehomittaukset	26

6.2	Valaistusvoimakkuus	27
6.3	Luminanssi	28
6.4	Värintoisto	28
7	MITTAUSTULOSTEN VERTAILU	28
7.1	Sähköteho	28
7.2	Valaistuksen kuluttama energia	31
7.3	LENI-luku	31
7.4	Valaistusvoimakkuus	32
7.5	Luminanssi	36
7.6	Värintoisto	36
7.7	Häikäisyindeksi	36
8	VALAISTUKSEN TALOUDELLINEN ARVIONTI	37
8.1	Investointikustannukset	38
8.2	Takaisinmaksuaika	38
9	YHTEENVETO	41
	LÄHTEET	44
	LIITE 1 Valtavalon ELITE led-valoputken tuotekortti	
	LIITE 2 Tukes tiedote 20.4.2010	
	LIITE 3 Valtavalon tiedote Led-valoputkien turvallisuudesta	
	LIITE 4 Mittauspöytäkirja	
	LIITE 5 Valaistuskustannusten Vertailulaskelma	

1 JOHDANTO

Nykyisin puhutaan paljon ilmastonmuutoksesta ja uusista tavoista tuottaa uusiutuvaa energiaa. Maailmassa yritetään keksiä koko ajan uusia tapoja tuottaa sähköenergiaa, mutta paljon vähemmälle huomiolle on jäänyt kuluttamisen vähentäminen.

Sähkönkulutusta voidaan vähentää heti. Jos kaikki se raha, joka kuluu uusien energiamuotojen kehittämiseen, suunnattaisiin kulutuksen vähentämiseen, saavutettaisiin suuria säästöjä. Tällöin sähköenergian tarve pienenesi, mikä näkyisi välittömästi myös päästöjen määrässä.

Uudet energiatehokkaat ratkaisut ovat yleensä kalliimpia kuin vanhat, mutta uusien tuotteiden korkeat hinnat eivät saisi vaikuttaa liikaa niiden hankkimiseen. Investoiminen uusiin energiaa säästäviin ratkaisuihin on usein kannattavaa. Säästöt, joita uusilla ratkaisuilla saadaan aikaan, ovat niin huomattavia, että investointikustannukset on maksettu takaisin säästöinä melko nopeasti.

Valaistus on yksi merkittävistä sähkön kuluttajista varsinkin Suomessa, jossa on pitkä pimeä kausi, jolloin valoa tarvitaan paljon. Toimistotiloissa ja julkisissa rakennuksissa, kuten kouluissa valaistuksen osuus sähkönkulutuksesta saattaa olla hyvinkin suuri. Toimistoissa ja kouluissa valaisimia saattaa olla todella runsaasti. Esimerkiksi kolmannen asteen koulurakennukset ovat suuria ja rakennuksia saattaa olla useita, jolloin pienikin energian säästö yhdestä valaisimesta tarkoittaisi suuria säästöjä koululle.

Tässä insinööriyössä yritetään löytää energiatehokkaampi lamppu korvaamaan T8-loistelamppu. Nykyisin voidaan vanhojen T8-loistelamppujen tilalle asentaa uudet energiatehokkaammat T5-loistelamput lisäämällä valaisimeen T5-adapterit. Markkinoille on tullut myös led-valoputkia, jotka voidaan asentaa suoraan T8-loistelampun tilalle. Työssä tutkitaankin näitä kahta vaihtoehtoa ja sitä, täyttävätkö nämä uudet valaistusratkaisut standardien asettamat vaatimukset.

Työ on toteutettu Pihkapuiston ala-asteella sijaitsevassa luokahuoneessa, jossa valaistus on toteutettu 36 W:n T8-loistelamppuilla, joita on tilassa 15

kappaletta. Työssä käsitellään aluksi valoon ja näkemiseen liittyviä peruskäsitteitä, jonka jälkeen käydään läpi tutkittavia valonlähteitä.

Energiavaatimukset tiukentuvat koko ajan, joten työssä käydään läpi loistevalonlampun koskevat määräykset. Koska kohde, jossa mittaukset tehtiin, on koulu, käsitellään työssä luokkahuoneen valaistuksessa huomioitavia asioita ja opetustiloja koskevan standardin *SFS-EN 12464-1 Valo ja valaistus* asettamia vaatimuksia. Työn lopuksi arvioidaan, mikä lampuvaihtoehto on kannattavin ratkaisu tilan valaistuksen toteuttamiseen.

2 VALO JA NÄKEMINEN

Näköelin on ihmisen yksi tärkeimmistä aistinelimistä. Oikeanlainen valaistus helpottaa näkemistä ja parantaa näköergonomiaa, kun taas huono valaistus rasittaa silmää ja vaikeuttaa näkemistä.

2.1 Näkyvä valo

Valo on sähkömagneettista säteilyä ja silmän aistima valo on aallonpituudeltaan λ 400 - 760 nm. Arvot voivat vaihdella hieman havaitsijan mukaan. Sähkömagneettisen säteilyn aallonpituus λ voi saada arvoja lähes nollassa äärettömään. Eri aallonpituudet näkyvästä valosta vastaavat tiettyä väriä (kuva 1). [1, s. 2.]

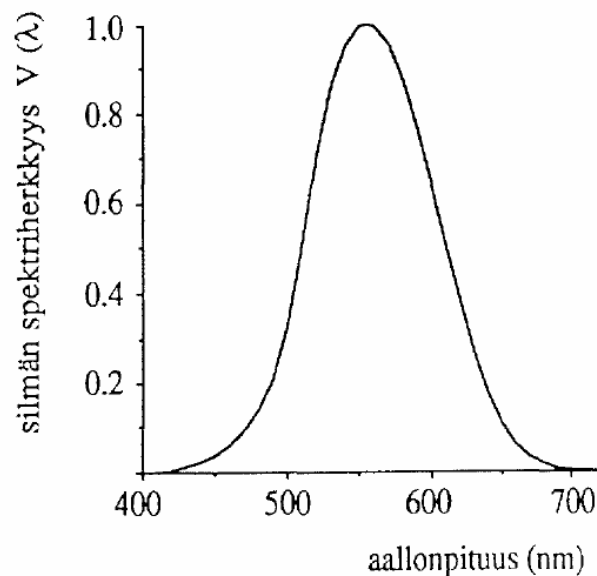
violetti	sininen	vihreä	keltainen	oranssi	punainen	
400	430	490	560	590	630	780

Kuva 1. Valon spektri [1, s. 2. kuva 2]

Alle 400 nm aallonpituudella esiintyy ultraviolettisäteilyä ja yli 780 nm infrapunasäteilyä, joita ihmissilmä ei enää havaitse. Infrapunasäteilyä ei voida nähdä, mutta sen ihminen havaitsee lämpöaistin avulla. Infrapunasäteilyn ja näkyvän valon aallonpituuksien ulkopuolella esiintyvää sähkömagneettista säteilyä ihminen ei enää havaitse.

2.2 Näkeminen ja silmän toiminta

Näköelin eli silmä, joka koostuu silmäosasta, näköhermoista ja tietyistä aivojen osista, muodostavat kuvan näkemästämme. Riittävä valon määrä auttaa meitä näkemään. Näkemisen kannalta paras valotehokkuus saadaan painottamalla lampun spektri kelta-vihreälle alueelle (kuva 2), mutta valaistuksen kannalta tämä olisi huono ratkaisu, koska tällöin värit eivät toistuisi oikein tilassa. Hyvä valaistus toistaa kaikki värit oikeanlaisina, jolloin lampun spektrin tulee sisältää kaikkia aallonpituuksia.



Kuva 2. Silmän herkkyyskäyrä päivänäkemiselle [1, s. 3. kuva 3]

Kuvan 2 käyrä on laadittu päivänäkemistä varten, jolloin valon määrä on suuri. Päiväsaikaan näkeminen tapahtuu tappisolulla. Yöllä ja matalammissa valaistusvoimakkuuksissa näkeminen siirtyy sauvasolulle, joiden silmänherkkyyskäyrän maksimi on noin 507 nm kohdalla, eli silmänherkkyys siirtyy lähemmäs sinistä aallonpituutta. Yöaikaan ja pimeämissä paikoissa silmä havaitsee siis sinisen sävyt paremmin, eivätkä värit toistu lainkaan. Pimeässä myös kontrastiherkkyys pienenee, eivätkä yksityiskohdat erotu enää niin selvästi. Lisäksi syvyytnäkö heikkenee ja etäisyyksien arviointi hankaloituu.

Silmä tarvitsee tietyn ajan sopeutuakseen suuriin valaistusvoimakkuus- ja luminanssitason vaihteluihin. Silmä säätelee pupillin kokoa, joka vaikuttaa siihen, kuinka paljon valoa pääsee verkkokalvolle. Pääasiassa sopeutuminen tapahtuu verkkokalvon herkkyyttä muuttamalla. Sopeutumiseen kuluu

huomattavasti pidempi aika, kun siirrytään valoisasta pimeään kuin pimeästä valoisaan. Pimeään sopeutuminen täydellisesti voi huonoimmassa tapauksessa viedä jopa tunnin.

Silmä toimii monella tapaa samoin kuin kameran linssi, ts. se sulkee linssiä valaistuksen kasvaessa, ja se pystyy tarkentamaan kohteisiin lähelle ja kauas. Silmän sädelihas muuttaa silmälinssin kuperuutta ja taittovoimaa riippuen katselun kohteen etäisyydestä näkijään. Lähelle katselu rasittaa silmää enemmän kuin kauas katsominen, koska lähelle katsottaessa sädelihas on jännittynyt, ja kauas katsottaessa se lepää. Ihmisen syvyysnäkö perustuu pitkälti stereonäköön eli siihen, että kohdetta katsotaan molemmilla silmillä. Syvyysnäkö on parhaimmillaan lähietäisyyksillä ja hyvässä valaistuksessa.

Ikä on yksi silmän toimintaan vaikuttava tekijä. Vanhemmalla iällä silmän pupillin koko pienenee ja silmälinssi kellastuu, lisäksi valo hajaantuu enemmän kulkiessaan silmän optisen järjestelmän läpi. Kaikki edellä mainitut asiat edellyttävät valon määrän nostamista, jotta näkeminen olisi yhtä helppoa kuin nuoremmalla iällä. [2, s. 63.]

2.3 Valaistuksen peruskäsitteet

Valovirta

Valovirta on lampun lähettämä säteilyteho, ja sen tunnus on Φ ja yksikkö lumen (lm).

Valovoima

Valovoima kuvaa lampun lähettämää valovirran määrää tiettyyn suuntaan. Valovoiman tunnus on I ja yksikkö kandela (cd). [1, s. 3 - 4]

Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuus kuvaa valon määrää pinta-alayksikköä kohden, sen tunnus on E ja yksikkö on luks (lx). Valaistussuosituksia löytyy kaikille eri suureille, mutta valaistussuunnittelussa eniten huomiota kiinnitetään valaistusvoimakkuuteen, koska se on suunnitteluvaiheessa helppo laskea ja myöhemmin mitata.

Luminanssi

Luminanssi eli kohdekappaleen pintakirkkaus on ainoa valaistustekniikassa esiintyvä suure, jonka voi havaita silmällä. Valon osuessa valaistulle pinnalle osa valosta absorboituu pintaan, ja loppuosa valosta heijastuu takaisin. Heijastuva valon osuus määrää luminanssin suuruuden. Mitä kirkkaammalta pinta näyttää, sitä suurempi sen luminanssi on. Luminanssin tunnus on L, ja yksikkö on candela jaettuna neliömetrille (cd/m^2). [3, s. 4.]

Valotehokkuus

Valotehokkuuden yksikkö on lumen per watti (lm/W), joka kertoo, miten tehokkaasti sähköteho muuttuu valotehoksi.

Häikäisy

Häikäisy syntyy, kun kohteen luminanssi kasvaa niin suureksi, ettei silmä enää pysty sopeutumaan siihen. Valo ja kirkkaat pinnat muodostavat häikäisyä, joka taas heikentää näköolosuhteita. Valaistusta suunniteltaessa tulee kiinnittää suurta huomiota valaisimien sijoitteluun, koska usein häikäisy johtuu suoraan näkökenttään asetetuista kirkkaista valaisimista. Yksi suuri häikäisyn muodostaja on päivänvalo. Kiusahäikäisyn määrästä kertoo UGR-indeksi (*Unified Glare Rating*). [4, s. 4.]

Varjonmuodostus

Varjot tuovat esiin esineiden muodon ja helpottavat kohteen kolmiulotteisen kuvan hahmottamista. Jos valoa tulee tasaisesti jokaisesta suunnasta esineen pinnalle, sen muodot latistuvat. [3, s. 4.]

Väriämpötila

Väriämpötilat vaihtelevat lampuilla 2 000 K:stä 7 000 K:iin. Väriämpötila kertoo, minkälaisen värivaikutelman lamppu antaa (taulukko 1). [3, s. 4.]

Taulukko 1. Valonlähteiden ryhmittely värivaikutelman mukaan [5, s. 5.]

Valosta saatava värivaikutelma	Ekvivalenttinen väriämpötila T_{cp}/K
Lämmin	<3 300
Neutraali	3 300 - 5 300
Kylmä	>5 300

Värintoisto

Lamppujen värintoistosta kertoo värintoistoindeksi eli R_a -indeksi. Värintoistoindeksi muodostuu vertailemalla käytetyn lampun ja vertailuvalonlähteen toistamia värejä. Lampun tulisi sisältää kaikkia aallonpituuksia, jotta kaikki värit toistuisivat luonnollisina. R_a -indeksin tulisi olla sisävalaistuksessa yli 80 ja hyvää värintoistoa edellytettävissä kohteissa yli 90. [3, s. 4.]

Epäsuora ja suora valo

Valaisimen suoraan työpinnalle antamaa valoa kutsutaan suoraksi valoksi, kun taas valaisimen ylöspäin ja sivuille antamaa valoa, joka valaisee ympäröiviä pintoja ja sitä kautta tilaa ja valaistavaa kohdetta, kutsutaan epäsuoraksi valoksi.

Työalue

Työalueeksi katsotaan se alue, jossa näkötehtävä suoritetaan.

Välitön lähiympäristö

Työaluetta ympäröivä alue, joka on 0,5 m työalueen reunasta jokaiseen suuntaan, tulkitaan välittömäksi lähiympäristöksi.

2.4 Lamputyypit

Työssä tutkitaan T8-loistelampulla toteutettua valaistusta, johon pyritään löytämään uusi energiatehokkaampi valonlähde. Mahdollisina korvaavina valonlähteinä käytetään T5-loistelamppuja ja led-valoputkia.

2.4.1 Loistelamppu

Loistelamput sisältävät elohopeahöyryä, jonka atomit virittyvät, kun lampun päissä olevien katodien välille muodostuu sähköpurkaus. Lampun sisällä syntyy ultraviolettisäteilyä, kun elektronien viritys purkautuu. Ultraviolettisäteily muuttuu näkyväksi valoksi loistelampun sisäpinnalla olevan loisteaineen avulla.

Loistelamput toimivat kuristimien ja sytyttimien sekä elektronisten liitäntälaitteiden kanssa. T8-loistelamput toimivat magneettisen kuristimen ja

sytyttimen kanssa, mutta ne toimivat myös elektronisen liitäntälaitteen kanssa. T5-loistelamput toimivat vain elektronisten liitäntälaitteiden kanssa.

Loistelamppujen toiminta heikkenee matalissa lämpötiloissa, jolloin niiden valontuotto on matalaa. Kun valaisimen sisäinen lämpötila alkaa nousta lampun ja kuristimen ansiosta, alkaa lampun valontuotto parantua. Markkinoilta löytyy myös mataliin lämpötiloihin soveltuvia loistelamppuja.

Loistelamppujen käyttöikä vaihtelee aina 10 000 tunnista 70 000 tuntiin, ja elektronisten liitäntälaitteiden käyttöikä liikkuu 50 000 tunnin alueella, jolloin noin 10 % liitäntälaitteista on vikaantunut. Loistelamppujen suurimmat käyttötavat ovat tarkoitettu niin kutsutuille pitkäikäisille lampuille, jotka ovat kalliimpia kuin tavalliset loistelamput. Magneettisen kuristimien käyttöikä on pitkä, koska ne eivät sisällä elektroniikkaa.

Loistelamppujen hyvät puolet ovat niiden hyvä valotehokkuus, pitkä käyttöikä ja monet eri teho-, väri- ja säätömahdollisuudet riippuen kohteen tarpeista. Loistelamput soveltuvat huonosti kohdevalaistukseen niiden suuren koon takia. Toisena huonona ominaisuutena mainittakoon, että loistelamppu tarvitsee liitäntälaitteen toimiakseen. Liitäntälaitteet kuluttavat sähköenergiaa ja lisäksi elektroniset liitäntälaitteet sisältävät elektroniikkaa, joka saattaa vikaantua ympäristöolosuhteiden johdosta. [4, s. 5 - 6.]

2.4.2 Led-valoputki

Ledi synnyttää lähes monokromaattista valoa, eli tuottaa vain yhdenlaista väriä. LED (*Light Emitting Diode*) eli suomeksi valodiodi on puolijohdekomponentti. Led-valonlähteet perustuvat pn-liitokseen, jossa elektroniaukkoparin rekombinoituminen saa aikaan fotonin emission [6, s.1.].

Pieni koko on yksi ledien eduista muihin valonlähteisiin verrattuna, ja niistä voidaan rakentaa johonkin tiettyyn valaistusratkaisuun soveltuva oma tuotteensa. Led-valaisimet kehittyvät nopeaa vauhtia ja niiden ominaisuudet paranevat koko ajan tehden niistä hyvän korvaavan valonlähteen tulevaisuudessa. Nykyään on saatavilla jo perinteisten lamppujen tilalle led-lamppuja ja loistelamppujen tilalle on kehitelty led-valoputkia.

Käyttöikäksi led-lampuille ilmoitetaan 10 000 - 50 000 tuntia, joka tarkoittaa sitä, että valoteho on pudonnut 70 % alkuperäisestä. Ledin käyttöikänsä

vaikuttaa suuresti liitântälämpötila, joka ei saa nousta liian korkeaksi tai niiden käyttöikä alkaa laskea.

Ledit toimivat parhaiten kylmässä, jossa ne pääsevät helposti niille luvattuihin käyttötunteihin. Hyvänä puolena ledissä on pitkä käyttöikä, ne syttyvät välittömästi, hyvä valontuotto matalissa lämpötiloissa, kestävät hyvin tärinää ja niitä on helppo ohjata ja säätää, mutta huonona puolena on kallis hinta, huono valontuotto korkeissa lämpötiloissa ja valovirta alenee valonlähteen ikääntyessä. [6, s. 2.]

2.5 Energiatehokkuusvaatimukset

Tulevaisuudessa energiatehokkuusvaatimukset kiristyvät EU:n linjausten takia. Energiatehokkuusvaatimukset ovat johtaneet siihen, että esimerkiksi 100 W:n himmeäkupuisia hehku- ja halogeenilamppuja ja kirkaskupuisia hehkulamppuja ei ole voinut tuoda markkinoille 1.9.2009 jälkeen, koska ne eivät täytä energiavaatimuksia. Vuoden 2016 syyskuun jälkeen energiatehokkuusvaatimukset kiristyvät entisestään, jonka jälkeen hehkulamppuista pienempitehoisetkaan lamput eivät enää täytä vaatimuksia, joka johtaa siihen, että huonon valotehokkuuden omaavat lamput poistuvat markkinoilta tulevaisuudessa.

Kaksikantaisia loistelamppuja koskevat EuP-direktiivin vaatimukset poistavat ns. halofosfaattiloistelamput T8-loistelamppusarjasta vuonna 2010. Värintoistoltaan huonot loistelamput poistuvat myös markkinoilta, jolloin jäljelle jäävät ainoastaan yli $R_a = 80$ loistelamput. Vuonna 2012 markkinoilta poistuu perinteiset 38 mm halkaisijan T12-loistelamput.

Direktiivi ei vaikuta pelkästään loistelamppuihin vaan myös loistelamppuvalaisimissa oleviin kuristimiin ja elektronisiin liitântälaitteisiin. Kuristimista vain energiatehokkaimmat eli luokat A ja B ovat jäljellä markkinoilla ja tarkoitus onkin, että vuonna 2017 markkinoilla ei ole kuin elektronisia liitântälaitteita, jotka ovat energiankulutukseltaan pienempiä kuin kuristimet. Elektronisilla liitântälaitteilla ongelmakohtiksi muodostuu kuitenkin niiden huono soveltuminen kylmiin, kuumiin ja kosteisiin tiloihin. EuP-direktiivi ei koske led-lamppuja [4, s. 10.].

Vanhojen lamppujen jäädessä pois on keksittävä uusia korvaavia valonlähteitä ja energiavaatimusten noustessa on pyrittävä vähentämään

sähkönkulutusta. Led-valoputket voisivat korvata loistelampun, koska ne kuluttavat vähemmän sähköä ja ovat pitkäikäisiä.

3 LUOKKAHUONEEN VALAISTUS

3.1 Oikeanlainen valaistus tukee oppimista

Päiväkodit ja ala-asteet tulisi suunnitella mahdollisimman hyvin, jotta tiloista tulisi viihtyisät ja työntekijät viihtyisivät paremmin työssään eivätkä lapset kokisi paikkaa ikävänä. Varhaislapsuudessa oppimiskapasiteetti on suurimmillaan, jonka takia oppimisympäristön tulisi tukea lapsen ja nuoren kasvua ja oppimista, koska keho ja aistit kehittyvät vielä ala-asteiässä. Näköaistin kehitys jatkuu ala-asteen aikana, ja lapsen syvyysnäön kehityksessä auttaa oikeanlainen valaistus. Esineiden ja tilojen oikeanlainen valaistus tuo esiin pintojen muodot ja kertovat näkijälle, onko katseltava kohde pehmeä, kova, painava, kevyt, sileä vai karkea. Varjojen ja eri etäisyyksien aiheuttamien sävyerojen opittu ymmärtäminen auttaa ihmistä muodostamaan kolmiulotteisen kuvan tilasta.

Pisa-ohjelman mukaan kouluympäristöllä on suora vaikutus koulumenestykseen ja koulun kunnolla on huomattu olevan vaikutusta siihen, miten oppilaat käyttäytyvät koulussa. Valaistuksella pystytään vaikuttamaan tilan ulkonäköön sekä viihtyvyyteen. Nykyiset uudet loistelamppuvalaisimet ovat myös sisustusvalaisimia, mutta valotehokkuudeltaan ne ovat yhtä hyviä, elleivät parempia kuin vanhat mallit. Vanhat, peltilaatikkaa muistuttavat loistelamppuvalaisimet tekevät ympäristöstä laitospäisen, joka ei ole kovinkaan viihtyisä tai hyvä oppimisympäristö.

Opetustilanteessa on tärkeää, että opettajan eleet ja ilmeet tulkitaan oikein. Valaisemalla tilaa suoralla ja epäsuoralla valolla vältetään varjojen muodostumiselta kasvoille ja samalla tilan ergonomia paranee. Lisäksi sopiva suoran ja epäsuoran valon suhde auttaa oppilaita hahmottamaan paremmin muotoja, etäisyyksiä ja syvyyseroja. Sopiva suoran ja epäsuoran valon suhde on noin 50 % / 50 %.

Pintojen luminanssierot tekevät tilasta mielenkiintoisen, mutta jos erot kasvavat liian suuriksi saattaa valaistus rasittaa silmää ja pahimmassa tapauksessa aiheuttaa häikäisyä. Oikeanlaisella valaistuksella voidaan tilasta tehdä viihtyisä ja toimiva oppimisympäristö ja valaisimen ulkonäöllä pystytään

vaikuttamaan tilan kokonaiskuvaan. Kun tila on viihtyisä ja miellyttävä, se lisää motivaatiota ja oppimisprosessia, kuten Markku Varsilan tekstissä ”Kouluvalaistuksessa on uutta opittavaa osa 1, ilmenee. [7, s. 16.]

3.2 Tietokoneet yleistyvät opetuksessa

Nykyisin nuorien kiinnostus kohdistuu tietokoneisiin ja pelikonsoleihin, jonka monet koulut ovat ottaneet huomioon lisäämällä tietokoneiden määrää koulussa ja ottaneet ne mukaan opetukseen. Näyttöpäätteellä tehtävä työ vaikuttaa tilan valaistussuunnitteluun suuresti, koska tietokoneen näytöt aiheuttavat herkästi kiiltokuvastumista ja näin haittaavat työskentelyä näyttöpäätteellä. Kiiltokuvastumisen muodostuminen olisi vähäisempää, jos valon määrää alennettaisiin, mutta harvoin näyttöpäätteellä työskennellään itsenäisesti, niin, ettei opetusta tarvitse seurata tai tehdä samalla muistiinpanoja. Valoja ei voida tilasta kokonaan sammuttaa, mutta hyvä ratkaisu tähän ongelmaan on suunnitella valaistuksen säätömahdollisuudet hyvin ja sijoitella valaisimet niin, ettei kiiltokuvastumista pääse tapahtumaan.

Kannettavien tietokoneiden käyttö on lisääntynyt myös suuresti ja lisääntyy varmasti tulevaisuudessakin, jolloin missä luokkatilassa tahansa saatetaan tulevaisuudessa käyttää tietokoneita muistiinpanojen tekemiseen tai opetuksen seuraamiseen. Valaistusta suunniteltaessa kannattaa siis huomioida myös tämä asia ja suunnitella valaistus kaikkiin luokkatiloihin niin, että kiiltokuvastumisen riski on pieni.

3.3 Valolla biologisia vaikutuksia

Valaistuksen on huomattu vaikuttavan ihmisen hormonitoimintaan. Valon määrä säätelee vuorokausirytmiamme ja kehomme tunnistaa eri vuodenaajat valon perusteella. Talvella pimeänä aikana pimeähormonin melatoniinin erityis on suurempaa kuin kesällä valoisana aikana. Sinisiä aallonpituuksia sisältävät valonlähteet estävät hyvin melatoniinin erittymisen vereen ja lisäävät stressihormoni kortisolin pitoisuuksia veressä. Kaamosmasennus on ehkä tunnetuin valon aiheuttama psyykinen sairaus, johon on kehitetty valoterapiaa. Valoterapiassa käytetään lamppuja, jotka tuottavat 2 500 - 3 000 lx:n valaistusvoimakkuuden, jolla pyritään jäljittelemään valoisaa aikaa. [2, s. 75.]

Hormonitoiminnan muutokseen riittää 100 cd/m²:n luminanssitaso loistelampulla toteutettuna. Työtasolla olevan valkoisen paperin luminanssi on noin

100 - 150 cd/m² valaistusvoimakkuudesta riippuen. Tällöin seinien luminanssi tulisi olla 100 cd/m² ja kattopinnan luminanssi samaa suuruusluokkaa paperin kanssa, jotta luminanssijakauma olisi näköergonomiaa tukeva. Oikeat luminanssitaset ja oikeanlainen valo tekevät tilasta virkistävän oppimisympäristön.

3.4 Energiansäästömahdollisuus

Monet koulurakennukset ovat peruskorjauksen tarpeessa ja samalla tulisi valaistus ja siihen liittyvät ohjaukset uudistaa nykypäivän tasolle. Kuluja pyritään pienentämään kaikilla alueilla, jolloin myös oppilaitokset miettivät uusia tapoja säästää rahaa. Koulut ovat vähentäneet esimerkiksi kouluruokaan käytettävän rahan määrää, jotta säästöjä saataisiin aikaiseksi. Kouluruoan laadusta tinkimisen sijaan kannattaisi kiinnittää huomiota valaistuksen kautta saavutettaviin säästöihin. Valaistuksen osuus koko sähköenergiankulutuksesta opetusrakennuksissa on 38,3 % (taulukko 2).

Taulukko 2. Rakennuksen laitteiden ominaissähköenergiankulutusarvoja rakennustyyppittäin [8, s. 33]

Rakennustyyppi	Laitteiden sähkökulutus yhteensä	Valaistus- järjestelmä	Ilmanvaihto- järjestelmä	Muut laitteet
	$W_{\text{laitesähkö}}$ kWh/brm ² /vuosi	$W_{\text{valaistus}}$ kWh/brm ² /vuosi	$W_{\text{ilmanvaihto}}$ kWh/brm ² /vuosi	$W_{\text{muut laitteet}}$ kWh/brm ² /vuosi
Asuinkerrostalo	50	7	10	33
Rivitalo	50	7	7	36
Pientalo	50	7	7	36
Toimistorakennus	70	30	12	28
Opetusrakennus	60	23	12	25
Liikerakennus	80	48	17	15
Hotelli	110	60	17	33
Ravintola	110	42	36	32
Liikuntarakennus	180	60	41	79
Sairaala	100	60	28	12
Muut rakennukset	100	30	11	59

Vanhat valaisimet ovat heikon energiatehokkuuden lisäksi usein myös näköergonomian kannalta huonompia kuin uudet. Ennen vuotta 1980 tehtyjen asennusten peruskorjaamisella voidaan saavuttaa 50 - 70 % energian säästö.

Valaistuksen uusiminen ei pelkästään säästä sähköenergiaa vaan luo samalla viihtyisemmän ja ergonomisesti paremman valaistuksen tilaan. Tilan valaistuksen uusimisessa tuijotetaan liikaa hankintahintaa eikä ajatella käyttökustannusten tuomaa säästöä pitkällä aikavälillä.

Energiankulutuksessa on kuitenkin saatava säästöjä aikaan, sillä Suomen on saatava yhdeksän prosentin energiatehokkuuden parannus aikaan vuosien 2008 - 2016 EU:n energiapalveludirektiivin mukaan. Perusopetuksessa vaadittu valaistusvoimakkuus on 300 lx, mutta aikuisopetuksen vaatimukset ovat 500 lx. Valaistusvoimakkuus on suoraan verrannollinen energiankulutukseen. Jos samaa luokkaa käytetään aikuisopetukseen, on luokassa perusopetuksen aikana turhaan liian suuri valaistusvoimakkuus, jolloin sähköenergiaan kuluu hukkaan jopa 66 %.

Ratkaisuksi tähän ongelmaan voisi toimia tiettyjen luokkien määrääminen aikuisopetuskäyttöön, jolloin ainoastaan muutamissa luokissa olisi liian suuri valaistusvoimakkuus. Muita mahdollisia ratkaisuja voisi olla valon säätömahdollisuus tai valaisimien oikeanlainen ryhmitys. [7, s. 17.]

Valaistuksen energiatehokkuutta voidaan parantaa myös huomattavasti lisäämällä valaistuksen ohjausta. Läsnaoloanturien lisääminen tilaan varmistaa sen, etteivät valot ole päällä turhaan silloin, kun tilassa ei ole ketään ja viimeinen tilasta poistunut henkilö on unohtanut sammuttaa valot. Läsnaoloanturien lisääminen valaistuksen ohjaukseen lisääisi valaistuksen avulla säästettävää energiansäästöä noin 20 %.

Päivänvaloa tulisi myös hyödyntää valaistuksessa lisäämällä päivänvalon määrää seuraavia antureita luokkaan tai uusimalla valaistus niin, että uusissa valaisimissa on itsessään päivänvaloanturit. Aurinkoisena päivänä valaisimet voisivat himmentyä niiltä alueilta, joihin ulkoa tuleva valo muodostaisi jo riittävän valaistusvoimakkuuden. Vakiovalonsäädöllä, eli päivänvaloa hyödyntämällä voidaan Etelä-Suomen leveysasteilla saada 20 - 30 % energiasäästö ja yhdistämällä vakiovalonsäätö läsnäolo-ohjauksen kanssa päästään 35 - 50 % säästöihin. [9, s. 17.]

Energiataloudellisuuteen vaikuttaa myös kuinka usein valaisimet tarvitsee huoltaa. Valaistusta suunniteltaessa kannattaa kiinnittää huomiota siihen, että valaisin on helppo huoltaa ja, että valaisimeen valittavat valonlähteet ovat pitkäikäisiä, jolloin lamppuja ei tarvitse vaihtaa niin usein. Lisäksi tila vaikuttaa valaisimen huoltoväliin riippuen siitä, kuinka helposti tila likaantuu käytön aikana ja siten myös likaa valaisimen, jolloin sen valotehokkuus heikkenee.

Yksi suurin vaikuttaja valaistuksen uusimiseen on takaisinmaksuaika, eli miten nopeasti uusiin valaisimiin ja ohjaukseen sijoitettu raha on saatu takaisin energian säästön muodossa.

3.5 Standardi SFS-EN 12464-1 Valo ja valaistus

Ennen Euroopan Standardisoimisjärjestön CEN:nin laatimaa valaistusstandardia SFS-EN 12464-1 Valo ja valaistus Suomessa käytettiin Suomen Valoteknillisen Seuran valaistussuosituksia valaistussuunnittelun apuna. Seuraavassa on käsitelty standardin vaatimuksia tarkemmin.

3.5.1 Luminanssijakauma

Tasainen luminanssijakauma helpottaa näkötehtävää, koska silmä sopeutuu nopeammin valaistukseen kun luminanssierot ovat pieniä. Sopiva luminanssi parantaa näöntarkkuutta, kontrastiherkkyttä ja näköaistin toimintojen tehokkuutta. Suuret luminanssierot aiheuttavat häikäisyä ja suuret luminanssikontrastit väsyttävät silmää turhaan, koska silmä joutuu sopeutumaan uusiin tilanteisiin jatkuvasti. Lisäksi alhaiset luminanssierot ja -kontrastit tekevät tilasta hyvin yksitoikkoisen. Pintojen luminanssit määräytyvät pinnan heijastussuhteen ja valaistusvoimakkuuden mukaan.

Huonepinnoille sopivat heijastussuhteet standardin SFS-EN 12464-1 mukaan ovat

– katto	0,6 - 0,9
– seinät	0,3 - 0,8
– työtasot	0,2 - 0,6
– lattia	0,1 - 0,5.

3.5.2 Valaistusvoimakkuus

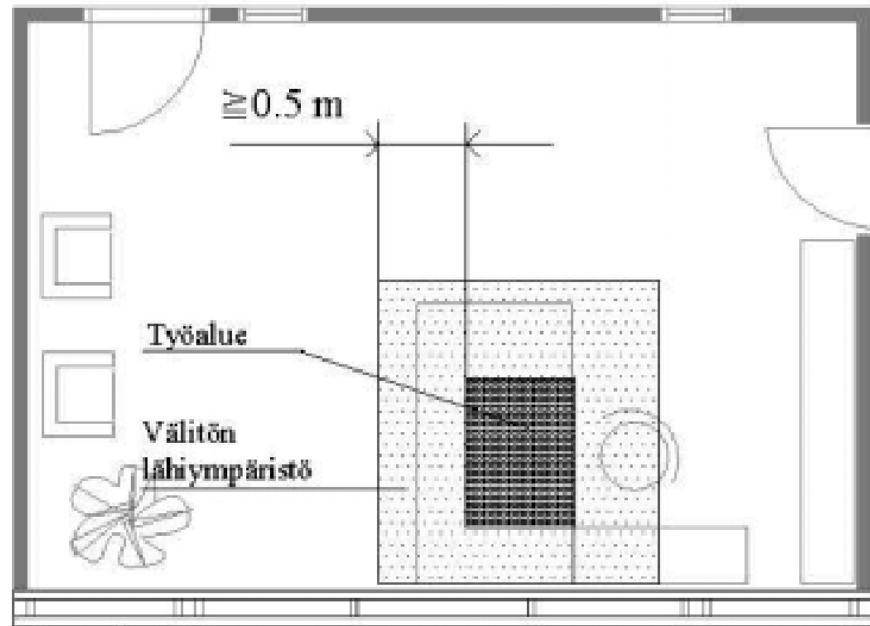
Oppilaitosten valaistusvoimakkuuden arvot ovat huoltoarvoja työalueella, oli se sitten vaakasuora, pystysuora tai kalteva. Valaistusvoimakkuuden arvot ovat keskimääräisen valaistusvoimakkuuden arvoja, joita ei saa alittaa riippumatta valaistusjärjestelmän iästä ja kunnosta (taulukko 3). Arvot koskevat tavanomaisia näköolosuhteita ja niissä on huomioitu näkömukavuus, hyvinvointi, näkötehtävän asettamat vaatimukset, näköergonomia, käytännön

kokemus, turvallisuus ja taloudellisuus. Standardissa vaadittuja arvoja voidaan suurentaa esimerkiksi, kun näkötehtävä on kriittinen, virheet aiheuttaisivat suuria kustannuksia, työntekijän näkökyky olisi keskimääräistä heikompi, näkökohteen yksityiskohdat olisivat poikkeuksellisen pieniä tai työtä tehtäisiin poikkeuksellisen pitkiä aikoja. Vaadittuja arvoja voidaan myös pienentää, jos näkökohde on poikkeuksellisen suuri tai työn kesto on poikkeuksellisen lyhyt.

Taulukko 3. SFS-EN 12464-1 standardin vaatimuksia oppilaitosten valaistukselle [10, s. 42]

6.2 Viite nro	Oppilaitokset Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	UGR _L -	R _a -	Huomautukset
6.2.1	Luokahuoneet, opetustilat	300	19	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä.
6.2.2	Luokahuoneet iltakäytössä ja aikuisopiskelijoille	500	19	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä.
6.2.3	Luentosali	500	19	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä.
6.2.4	Liitutaulu	500	19	80	Suuntaheijastumisia vältettävä.
6.2.5	Havaintopöytä	500	19	80	Luentosaleissa 750 lx.
6.2.6	Piirustussalit	500	19	80	
6.2.7	Piirustussalit taidekouluissa	750	19	90	T _{CP} ≥ 5000 K.
6.2.8	Teknisen piirustuksen salit	750	16	80	
6.2.9	Harjoitussalit ja laboratoriot	500	19	80	
6.2.10	Käsityöluokat	500	19	80	
6.2.11	Teknisen työn opetustilat	500	19	80	
6.2.12	Musiikkiluokat	300	19	80	
6.2.13	ATK-luokat (valikko-ohjaus)	300	19	80	Näyttöpäätetyö: ks. 4.11.
6.2.14	Kielilaboratoriot	300	19	80	
6.2.15	Valmisteluhuoneet ja työpajat	500	22	80	
6.2.16	Sisäänkäyntihallit	200	22	80	
6.2.17	Kulkuväylät, käytävät	100	25	80	
6.2.18	Portaat	150	25	80	
6.2.19	Oppilaiden yhteistilat ja kokoontumistilat	200	22	80	

Tiloissa, joissa työskennellään jatkuvasti, on valaistusvoimakkuuden oltava vähintään 200 lx. Perusopetusta suoritettavissa luokkatiloissa on valaistusvoimakkuuden oltava 300 lx, kun vastaava luku on aikuisopetuksen puolella 500 lx (taulukko 3). Standardin määrittelemät valaistusvoimakkuusarvot koskevat työaluetta, mutta välitön lähialue on valaistava myös, jotta vältetään suurilta silmää rasittavilta luminanssijaukamilta. Välittömän lähialueen valaistusvoimakkuuden arvo riippuu työalueen valaistusvoimakkuuden vaaditusta arvosta. Välitön lähialue on työalueen ympäröivä alue, joka on vähintään 0,5 m työalueen reunasta (kuva 3).



Kuva 3. Työalue ja välitön lähiympäristö [5, s. 2]

Välittömän lähialueen vaadittu valaistusvoimakkuus riippuu työalueen valaistusvoimakkuuden arvosta (taulukko 4).

Taulukko 4. Valaistusvoimakkuus työalueella ja välittömässä lähiympäristössä [5, s. 3]

Työalueen valaistusvoimakkuus lx	Välittömän lähialueen valaistusvoimakkuus lx
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	Sama kuin työalueella

Valaistusvoimakkuuden yleistasaisuuden tulee olla työalueella vähintään $\geq 0,7$ ja lähiympäristössä $\geq 0,5$. [5, s. 3.]

3.5.3 Häikäisy

Häikäisyä aiheuttavat näkökenttään osuvat kirkkaat alueet, joiden luminanssi on monikymmenkertainen muuhun ympäristöön nähden, eli toisin sanoen niiden kontrasti on suuri. Häikäisylajeja ovat kiusahäikäisy, estohäikäisy ja harsoheijastuminen. Kiusahäikäisyä esiintyy silloin, kun valaisimen tai lampun pinnan luminanssi on suurempi, kuin mihin silmä on sopeutunut. Työtiloissa kiusahäikäisyn aiheuttaja on yleensä kirkas valaisin tai ikkunat. Estohäikäisyä saadaan pienennettyä käyttämällä häikäisysojattuja valaisimia.

Harsoheijastumiseksi kutsutaan kiiltävien pintojen heijastaman valon häikäisyä. Häikäisyn syntymistä tulisi välttää kaikissa olosuhteissa, koska se aiheuttaa virheitä, väsymystä ja tapaturmia.

Standardin mukaan häikäisyn raja-arvot määritetään UGR-menetelmän avulla. Häikäisyindeksi lasketaan kaavan 1 mukaan.

$$UGR = 8 \log_{10} \frac{0,25}{L_b} \times \frac{L^2 \omega}{p^2}, \quad (1)$$

jossa

L_b on taustan luminanssi (cd/m^2).

L on valaisimien valaisevien osien luminanssi havainnoitsijaa kohti (cd/m^2).

ω on se avaruuskulma, jossa tarkasteltavan valaisimen valaisevat osat näkyvät havainnoitsijan silmään.

p on jokaisen yksittäisen valaisimen sijaintikerroin, joka on verrannollinen valaisimen sijainnin poikkeamaan katsesuunnasta. Valaisimen ollessa katsesuunnassa sijaintikerroimen arvo on 1 ja kerroin on sitä suurempi, mitä kauempana valaisin sijaitsee katsesuunnasta.

Edellä mainitun kaavan käyttämiseen tarvittaisiin käytännössä tarkoitukseen soveltuvan tietokoneohjelman käyttöä. UGR-taulukot saadaan valaisinvalmistajalta suoraan ja ne ovat nähtävissä valaisimen valoteknisten tietojen osana. Standardissa on esitetty vaatimukset häikäisyindeksin arvolle, joita ei saa ylittää (taulukko 3). UGR-menetelmän puutteena on se, että siinä ei voida huomioida epäsuoran valon aiheuttamaa mahdollista häikäisyä.

Standardissa on määritelty häikäisysoojakulman raja-arvot lampun luminanssista riippuen (taulukko 5). Arvot eivät koske epäsuoria valaisimia eivätkä valaisimia, jotka on asennettu silmän korkeuden alapuolelle. [5, s. 4.]

Taulukko 5. Häikäisysoojakulman minimiarvot erilaisilla lamppujen luminansseilla [5, s. 4]

Lampun luminanssi kcd/m ²	Minimi häikäisysoojakulma astetta
20 ... < 50	15
50 ... < 500	20
≥ 500	30

T8-loistelamput eivät ylitä 20 kcd/m² vaan ovat todellisuudessa noin 12 kcd/m². T5-loistelampuilla ainoastaan T5 HO (*High Output*) loistelamppu voi ylittää 20 kcd/m² arvon. Led-valoputket sijoittuvat 20 - 50 kcd/m²:n alueelle tai sen alapuolelle, jolloin niiden minimi häikäisysoojakulma olisi 15°.

Led-valoputkelle ilmoitettu luminanssi on putken keskimääräinen luminanssi, eikä yhden yksittäisen ledin luminanssi putkessa, jolloin arvo olisi huomattavasti suurempi. Katsottaessa led-valoputken yksittäisiin ledeihin lamppu häikäisee huomattavasti enemmän, mikä tuottaa ongelmia lamppun todellisen luminanssin määrittämisessä. Lisäksi led-valoputken valokeila on kapeampi kuin loistelampuilla, eikä valaisimen heijastin valotu lainkaan. Tällöin led-valoputkella varustettu valaisin näyttää kapeammalta kuin loistelamppuvalaisin, joka taas saa led-valoputken näyttämään kirkkaammalta.

Harsoheijastumista voidaan estää seuraavilla keinoilla

- sijoittamalla valaisimet ja työpisteet niin, ettei häikäisyä pääse syntymään
- käsittelemällä kirkkaat pinnat niin, ettei häikäisyä synny niin helposti(mattapinta)
- rajoittamalla valaisimien luminanssia
- suurentamalla valaisimen valaisevan pinnan alaa
- käsittelemällä ympäröivät pinnat, kuten katto ja seinät vaalealla.

3.5.4 Värintoisto

Hyvä värintoisto on tärkeää näkötehtävien kannalta, sillä se parantaa näkötehokkuutta, mukavuutta ja hyvinvointia tilassa. Hyvä värintoisto valaistuksessa toistaa ihonvärin oikeanlaisena, ja se saa ihmiset näyttämään hyvinvoivilta ja terveiltä. Värintoistolla on myös tarkat vaatimukset siitä, että turvavärit toistuvat tiloissa oikein.

Valonlähteen värintoisto-ominaisuuksien kuvaamiseksi on kehitetty R_a -indeksi, jonka maksimiarvo on 100. Tällöin värit toistuvat kuten hehkusäteilijän valossa, koska R_a -indeksin vertailuvalonlähteenä on käytetty hehkusäteilijää. Mitä pienempi indeksin arvo on, sitä huonommin värit toistuvat. Oppilaitoksissa värintoistoindeksi on oltava vähintään 80 (taulukko 3). R_a -indeksi tulisi uudistaa, koska nyt verrataan, toistuvatko värit samanlaisina kuin hehkusäteilijän valossa eikä esimerkiksi päivänvalossa.

4 VALAISTUSTUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Työssä on tarkoitus löytää energiatehokkaampi lamppuvaihtoehto T8-loistelampun tilalle. Mittaukset toteutettiin Pihkapuiston ala-asteella luokkahuoneessa 109, jossa valaistus on toteutettu Idman 6300 - 136 1 X 36 W:n valaisimilla, joita on 15 kappaletta.

Valaisin on tarkoitus säilyttää ennallaan ja löytää vanhan T8-loistelampun tilalle uusi vaihtoehto, joka vähentäisi sähkönkulutusta, kuitenkin siten, että valaistuksen laatu pysyisi standardin SFS-EN 12464-1 vaatimusten mukaisena. Valaisimessa on perinteinen magneettinen kuristin ja sytytin ja valaisin antaa kaiken valonsa alaspäin, eli sen tuottama valo on suoraa valoa. Häikäisy suojaus on toteutettu valaisimessa lamelliritalällä.

Lamppuvaihtoehtoina korvaamaan vanhat T8-loistelamput käytettiin T5-loistelamppuja sekä led-valoputkia. T5-loistelamput ovat kooltaan hieman erikokoisia kuin T8-loistelamput, jonka takia niiden käytön mahdollistamiseksi käytettiin adapteria, jolla saadaan T5-loistelamppu sopimaan vanhaan valaisimeen. Led-valoputket on valmistettu niin, että ne sopivat suoraan vanhan T8-loistelampun tilalle.

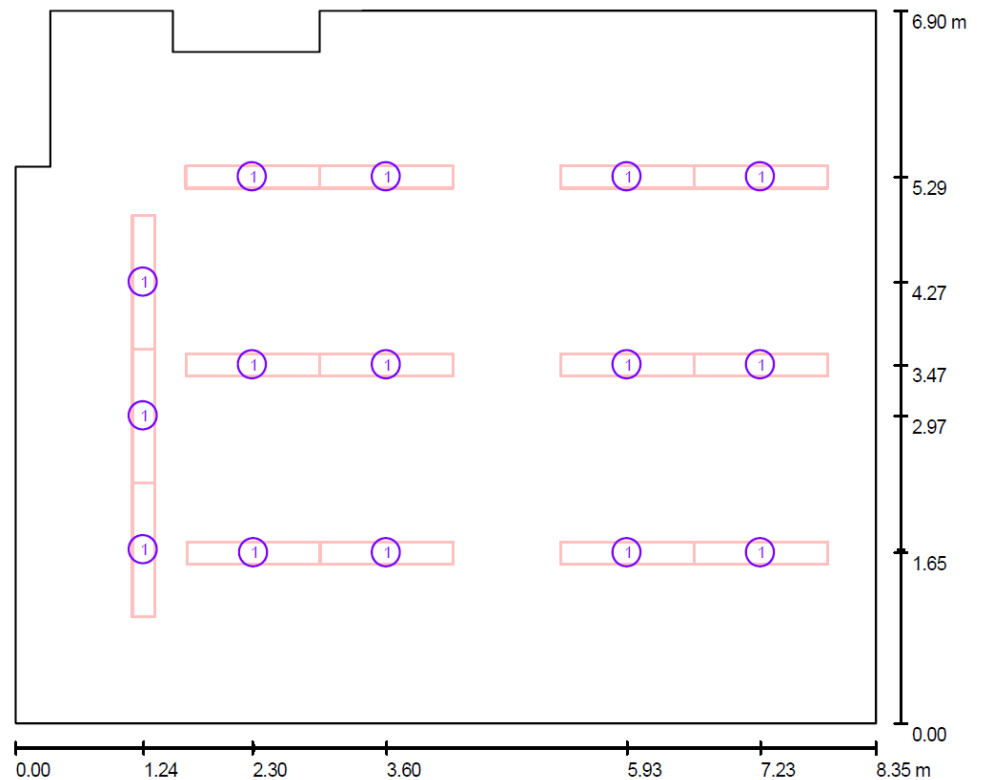
5 TUTKITTAVANA KOHTEENA LUOKKAHUONE

Sähkötekniisten sekä valotekniisten suureiden mittaukset toteutettiin Pihka-puiston ala-asteella, joka sijaitsee Helsingin Malminkartanossa (Tuohipolku 10). Luokkahuone 109 (kuva 4) on pinta-alaltaan noin 56,86 m² ja korkeudeltaan huone on noin 3,3 m. Luokan lattia on vaalea muovilattia, seinät ovat valkoiset, ja katto on päällystetty vaaleanharmailla akustiikkalevyillä. Luokan seinät ovat valkoiset, mutta takaseinä on lähes kokonaan ruskean nuppitaulun peitossa ja etuseinällä on liitutaulu, joka peittää lähes koko seinän. Edestäpäin katsottuna vasemmanpuoleinen seinä on täynnä valkoisia kaappeja ja oikeanpuoleisella seinällä on kuusi ikkunaa, jotka on varustettu sälekaihtimilla. Lisäksi ikkunoiden eteen saadaan vedettyä verhot.

Seinäpintojen valkoinen väri ei pääse valaisemaan tilaa niin hyvin kuin olisi mahdollista, koska seinien pinnat ovat hyvin vähän esillä. Luokassa on 16 pulpettia, jotka ovat noin 0,8 metriä korkeita ja sijoitettu neljän ryhmiin toisiinsa vasten. Luokkatilassa on myös opetukseen käytettäviä laitteita kuten televisio, videotykki, piirtoheitin ja tietokone. Luokan eteen asennetut kolme valaisinta on asennettu 41 cm irti katosta, ja kaikki muut valaisimet ovat pinta-asennettu kattoon (kuvat 4 ja 5).



Kuva 4. Luokkahuone 109



Kuva 5. Luokkahuone 109:n pohjapiirros

Liitutaalua valaisemaan asennetut kolme valaisinta ovat epäsymmetriset. Niissä heijastimet on asennettu siten, että ne antavat enemmän valoa toiselle puolelle, eli tässä tilanteessa ne valaisevat paremmin liitutaalua. Huoneen muut 12 valaisinta ovat symmetrisiä valonjaoltaan.

Valaisimien ohjaus toimi manuaalisesti kahden 5-kytkimen eli ns. kruunukytkimen avulla. Liitutaalun kolme valaisinta ovat oman kytkimensä takana, ja jokainen rivi voidaan syyttää tai sammuttaa erikseen, eli jokaiselle riville on myös oma kytkimensä.

Ala-asteella oppilailla on oma luokkansa, jossa kaikkia aineita opetetaan samassa tilassa, mikä täytyy huomioida valaistuksessa. Esimerkiksi kuvataiteen vaatimus valaistukselle on 500 lx (taulukko 4).

5.1 Mittalaitteet ja mittausmenetelmät

Luokkatilasta mitattiin jokaisessa eri valaistustilanteessa valaistusvoimakkuus, luminanssit tietyistä pisteistä sekä valaistuksen ottama sähköteho. Lisäksi mitattiin yhden lampun valovirtaan verrannollinen valaistusvoimakkuus

ilman valaisinta ja heijastimen tuomaa apua integroivassa pallossa, jossa mitattiin myös kunkin lampun värinotoindeksi. Integroivassa pallossa tehdyt mittaukset toteutettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun valaistuslaboratoriossa.

Sähköteho

Sähköteho mitattiin ryhmäkeskukselta luokan valaistusryhmästä *Fluken 434 Power quality analyzerilla*. Mittauksissa mitattiin ryhmän jännite sekä vaihejohtimen ja nollajohtimen virrat.

Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuusmittaukset suoritetaan yleensä siksi, että saadaan varmistus siitä, onko valaistus standardin vaatimusten tasolla. Mittauksilla voidaan myös selvittää, milloin lampun vaihto, valaisimen puhdistus tai muu kunnostus on tarpeellista.

Luokan valaistusvoimakkuus kaikilla eri valaistusvaihtoehdoilla mitattiin Minolta Illuminance meter T-1 (kuva 6). Valaistusvoimakkuusmittari on sovellus valokennon käytöstä, joka on kalibroitu silmänherkkyyskäyrän mukaan. Mittarissa on lisäksi kosinikorjaus, joka mahdollistaa sivulta tulevan valon ottamisen huomioon laskuissa. Mittari mittaa valon määrää, joka osuu kennolle, ja ilmoittaa tuloksen lukseina ruudulla.

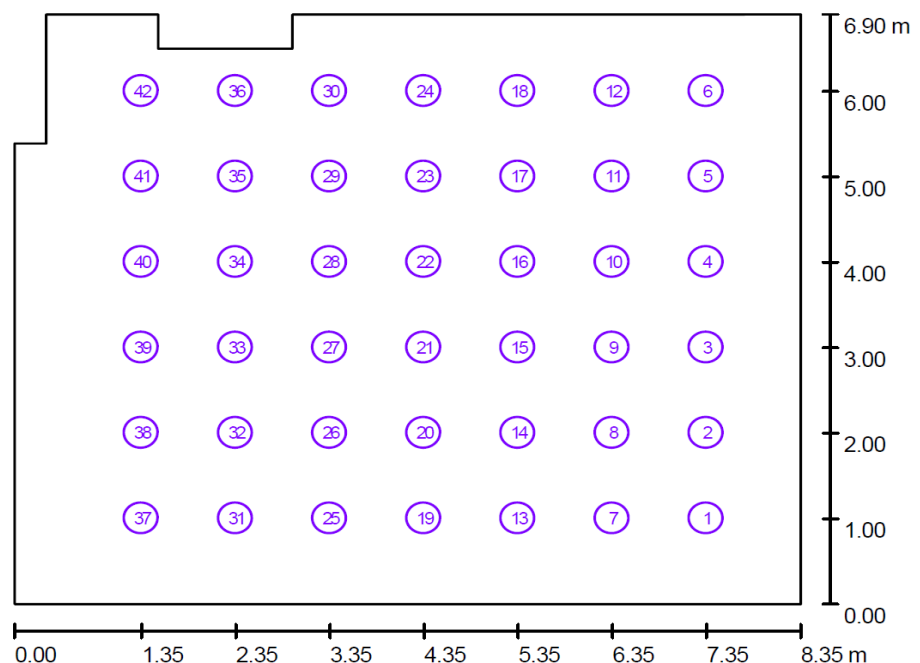


Kuva 6. Valaistusvoimakkuusmittari Minolta Illuminance meter T-1

Valaistusvoimakkuutta mitattaessa on hyvin tärkeää, että olosuhteet ovat samanlaiset jokaisessa mittauksessa. Mittausvirhettä saattaa muuttuneiden olosuhteiden tai mittauspisteen korkeuden vaihtelun lisäksi aiheutua mittauksesta itsestään, jos tämä seisoo mittakennon ja valonlähteen välissä. Mittaukset tulee tehdä samalta korkeudelta ja mittauksia suoritettaessa on huomioitava oma sijainti valoon nähden. Kaikkein paras tapa mitata valaistusvoimakkuutta on olla mittalaitteen alapuolella, jolloin mittaja ei pysty muodostamaan minkäänlaista varjoa mittalaitteen päälle.

Valaistusvoimakkuusmittaukset tulee suorittaa vasta kun mitattava lamppu on lämmennyt kunnolla, jolloin sen valontuotto on sama, kuin normaalikäytössä. Loistelampuilla lämpenemiseen menee noin 20 minuuttia, mutta uusia loistelamppua täytyy polttaa vähintään 100 tuntia, jotta niiden ominaisuudet vakiintuisivat.

Valaistusvoimakkuus mitattiin 42 pisteestä ja mittauspisteet sijaitsivat metrin päässä toisistaan (kuva 7). Lisäksi mitattiin liitutaulun keskeltä viisi mittauspistettä metrin välein alkaen ikkunoiden puoleiselta seinältä, eli kuvassa 7 alalaidasta alkaen. Kaikkien valaistusvoimakkuusarvojen avulla saatiin laskettua keskimääräinen valaistusvoimakkuus luokassa ja liitutaululla.



Kuva 7. Valaistusvoimakkuusmittauspisteet

Luonnonvalon vaikutus mittaustuloksissa huomioitiin sulkemalla kaikkien ikkunoiden sälekaihtimet ja vetämällä lisäksi verhot ikkunoiden eteen. Sää

otettiin huomioon mittamalla kaikki mittaukset samaan aikaan päivästä ja sään ollessa vastaava ensimmäiseen mittaukseen. Tällöin kaikilla mittauskerroilla luonnonvalon vaikutus olisi mahdollisimman samanlainen, eikä se vaikuttaisi mittaustuloksiin.

Luminanssi

Luminanssit eri pisteistä mitattiin Minolta CS-100 luminanssimittarilla (kuva 8). Luminanssimittari mittaa pintakirkkautta, eli sitä miten paljon pinnalle osuvasta valosta heijastuu katsojan silmään.

Mittauksissa asetutaan katsojan paikalle ja mitataan eri pintojen luminanssit.

Huoneen luminanssijakauma määräytyy pääasiassa seuraavien pintojen luminansseista

- näkökohde
- näkökohteen välitön lähiympäristö
- näkökohteen muu ympäristö
- katsojaa vastapäätä olevat pystypinnat
- ikkunat päivällä ja yöllä
- lattia eri kulmista
- katto eri kulmista
- valaisimet eri kulmista.



Kuva 8. Luminanssimittari Minolta CS-100

Luminanssiarvoja mitattiin lattiasta, katosta, valaisimesta suoraan alhaalta-päin, valaisimesta sivulta, liitutaulusta, pulpetista, valkoinen paperi pulpetilla ja seinäpinnoilta. Mittauksen tarkoitus oli selvittää, miten suuria luminanssitasojen eroja luokasta löytyy, eli rasittaako valaistus silmää.

Valonlähteen valaistusvoimakkuus

Metropolian Ammattikorkeakoulun valaistusmittauslaboratoriossa mitattiin kunkin valonlähteen tuottama valovirtaan verrannollinen valaistusvoimakkuus. Mittaukset toteutettiin integroivalla pallolla (Ulbrichtin pallo). Mittaustulosten avulla voidaan vertailla eri lamppujen valontuottoa.

Integroivan pallon periaate perustuu siihen, että pallon pinta heijastaa ja hajottaa valon hyvin. Pallon pinnan jokainen piste heijastaa siihen tulleen valon jokaiseen muuhun pallon pisteeseen, ja tämä toistuu useaan kertaan, jonka jälkeen pinnan valaistusvoimakkuus koostuu kahdesta komponentista: valonlähteen suoraan pinnalle säteilevästä valosta sekä pallon muiden osien heijastamasta valosta. [2, s. 108.]

Mittaukset tapahtuivat Minolta Illuminance meter T-1 mittarilla, ja mittauspiste oli sijoitettu niin, että valonlähteestä ei tullut lainkaan suoraa valoa mittarille.

Värintoistoindeksi

Värintoistoindeksi mitattiin myös integroivassa pallossa Gigahertz-Optik X4 Light Analyzer -mittarilla. Mittauspiste oli sama kuin valonlähteen valaistusvoimakkuuden mittauksissa, eli mittauspisteeseen ei tullut valonlähteestä lainkaan suoraa valoa.

5.2 Valaistusvaihtoehdot

Valaistusvaihtoehtoja korvaamaan vanha T8-loistelamppu on rajallisesti. Koko valaistusta uusittaessa vaihtoehtojen kirjo olisi suuri, ja silloin myös valaistuksen ohjausta voitaisiin parantaa huomattavasti. Työssä keskityttiin kuitenkin etsimään uusi valaistusvaihtoehto, joka säästäisi mahdollisimman paljon sähköenergiaa, ja sen hankinta ja asennuskustannukset olisivat mahdollisimman pienet.

Tutkittaviksi lamppuvaihtoehdoiksi valittiin T5-loistelamput sekä led-valoputket. Jotta saataisiin vertailupohjaa, mittaukset aloitettiin vanhoilla T8-loistelamppuilla, jotka olivat valmiiksi olleet jo käytössä jonkin aikaa.

Alkuperäiset loistelamput, joilla suoritettiin ensimmäinen mittaus, olivat DURALamp SpA F36T8/835, eli lampun teho on 36 W, värielämpötila 3 500 K ja värintoistoindeksi on 80. Toinen mittaus suoritettiin niin ikään perinteisillä T8-loistelamppuilla, jotka olivat tyyppiä Osram L36W/835, eli täysin samanlainen lamppu kuin alkuperäinen valmistajaa lukuun ottamatta. Mittaukset toteutettiin samalla tavalla kuin ensimmäisessäkin, mutta lampun vaihdon yhteydessä valaisimien heijastimet puhdistettiin liasta. Ennen mittauksia uusia loistelamppuja täytyy polttaa vähintään 100 tuntia, ennen kuin niiden valotehokkuus alkaa olla lähellä ilmoitettua.

Kolmannella mittaukskerralla valaisimiin oli asennettu T5-loistelamppu ja adapteri. T5-loistelamput olivat Radium Bonalux NL-T5 28W/840, joiden teho on 28 W, värielämpötila 4 000 K ja värintoistoindeksi 80. T5-loistelamppu on pituudeltaan 5,1 cm lyhyempi kuin T8-loistelamppu, jonka takia tarvitaan adapteri liittämään T5-loistelamppu valaisimeen. Käytetty adapteri oli Slimline SLT5, jonka asennuksen yhteydessä poistettiin sytyttimet valaisimesta ja tilalle asennettiin käynnistinsillat. Adapterissa huonona puolena on se, että adapteri peittää osan lampun pinta-alasta, jolloin kaikkea valotehoa ei päästä hyödyntämään heijastimen avulla (kuva 9).



Kuva 9. Slimline T5 -adapteri

Neljännessä ja viimeisessä mittauksessa lamppuvaihtoehto oli led-valoputki, tarkemmin sanottuna Valtavalon G2 Elite -led-valoputki VV18E120 (kuva 10), joka oli teholtaan 18 W, värielämpötilaltaan 4 500 - 5 000 K ja putken

värintoistoindeksiksi ilmoitetaan 60 - 80 (liite 1). Led-valoputkella on sama ongelma kuin T5-adaptoreilla, koska putki antaa valoa ainoastaan 150 °:een kulmassa, kun loistelampulla vastaava arvo on 360°.



Kuva 10. Led-valoputki VV18E120

Valtavalon led-valoputkien asennuksen yhteydessä sytytin poistetaan valaisimesta ja korvataan LED G2 -sytyttimellä. Putkia ei voi asentaa valaisimeen, jossa on elektroninen liitännälaitte, vaan ainoastaan magneettisella kuristimella varustettuun valaisimeen. Magneettisen kuristimen voi myös ohittaa, jolloin sähkötehoa säästyisi hieman enemmän, mutta tällöin led-valoputki saattaa palaa hieman kirkkaammin.

Led-valoputket ovat tuottaneet ongelmia lähiaikoina, sillä monissa malleissa havaittiin puute, joka asetti putkien asentajan vaaratilanteeseen. Turvatekniikan keskus TUKES tiedotti asiasta 20.4.2010. Tutkittuaan led-valoputkia testioloissa TUKES päätti kieltää kyseisten led-valoputkien käytön (liite 2). Valtavalon led-valoputket eivät kuitenkaan ole vaarallisia, eikä niissä ole kyseistä puutetta (liite 3).

6 MITTAUSTULOKSET

6.1 Tehomittaukset

Valaistuksen ottama sähköteho mitattiin kaikilla valaistusvaihtoehdoilla ryhmäkeskukselta (taulukko 6). Kaikki mittaustulokset on nähtävissä mittauspöytäkirjasta (liite 4).

Taulukko 6. Eri valaistusvaihtoehtojen mitatut sähkötekniset suuret

	Alkuperäiset T8-loistelamput	Uudet T8-loistelamput	T5-adapteri	Led-valoputket
P/W	696,2	701,9	510,4	270
I_{rms}/A	6	6	2,3	1,4
U_{rms}/V	228,9	229	227,2	232,1
$P_{valaisin}/W$	46,4	46,8	34,0	18,0

T8-loistelampuilla kuluu tehoa enemmän, koska loistehon osuus on suurempi kuin T5-loistelampuilla tai led-valoputkilla. T5-loistelamput toimivat elektronisella liitännälaitteella, joka sisältää loistehon kompensoinnin. T8-loistelampuilla liitännälaitteena on magneettinen kuristin, joten loistehon kompensointia ei ole, joka johtaa tehokertoimen huononemiseen ja sähkötehon kasvuun. Led-valoputkilla loistehon osuus on myös hyvin pieni, koska putken sytyttämiseen ei tarvita liitännälaitetta lainkaan.

Kompensoiduissa T8-loistelamppu valaisimissa voitaisiin kompensointikondensaattori ottaa kokonaan pois, jos lamppu vaihdettaisiin T5-loistelampuksi tai led-valoputkeksi. Loistehon kompensointia ei tarvitsisi tehdä, jos valaistus uusittaisiin, jolloin esimerkiksi kompensointipattereiden uusimiseen ja huoltoon kuluvat rahat säästyisivät.

6.2 Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuus jokaisella valaistusvaihtoehdolla mitattiin 42 pisteessä (kuva 7), jonka lisäksi mitattiin viisi pistettä liitutaulun keskeltä metrin välein (liite 4).

Yhden valaisimen valovirtaan verrannollinen valaistusvoimakkuus mitattiin integroivalla pallolla uusille T8-loistelamppulle, T5-loistelampuille asennettuna adapteriin ja led-valoputkille. Yhden lampun valovirtaan verrannollisen valaistusvoimakkuuden arvojen suhdetta voidaan verrata lamppujen ilmoitettujen valovirtojen suhteeseen (taulukko 7).

Taulukko 7. Yhden lampun valovirtaan verrannollinen valaistusvoimakkuus sekä lampun valovirta

	Uusi T8-loistelamppu	T5-adapteri	Led-valoputki
E/lx	568	370	346
ϕ/lm	3 350	2 600	1 630

6.3 Luminanssi

Luminanssi mitattiin kaikilla valaistusvaihtoehdoilla samoista pisteistä (taulukko 8).

Taulukko 8. Luminanssimittaustulokset cd/m²

	Alkuperäiset T8-loistelamput	Uudet T8-loistelamput	T5-adaptteri	Led-valoputket
Lattia	84,3	93,8	86,5	57,2
Katto	45,9	44,4	41,8	28,1
Seinä 1	84,9	91,2	98,9	54,2
Seinä 2	66,7	63,2	68,2	34,4
Seinä 3	18,7	22,5	19,9	11,9
Seinä 4	13,2	12,8	13,2	6,65
Työtaso	141	159	127	93,9
Valkoinen paperi työtasolla	213	223	202	146
Valaisin suoraan alhaaltapäin	12 300	11 000	17 200	16 100
Valaisin sivusta	1 270	1 110	1 730	959

6.4 Värintoisto

Mittaukset suoritettiin uusilla T8-loistelamppuilla, T5-loistelamppuilla ja led-valoputkilla (taulukko 9).

Taulukko 9. Värintoisto

	Uudet T8-loistelamput	T5-loistelamput	Led-valoputket
R _a	83	81,3	71,6

7 MITTAUSTULOSTEN VERTAILU

7.1 Sähköteho

Uusilla ja vanhoilla T8-loistelamppuilla sähkönkulutus ja kaikki muutkin suureet ovat lähes identtiset (taulukko 6). Verrattaessa tuloksia on vertailukohteena käytetty uusia T8-loistelamppua, koska niillä tehdyt mittaukset ovat olosuhteiltaan samanlaiset kuin T5-adapttereilla ja led-valoputkilla. T5-loistelampuilla valaistuksen ottama virta pienenee 61,7 % ja sähköteho 27,3 % verrattuna T8-loistelamppuilla toteutettuun valaistukseen, jonka lisäksi loisteho putoaisi 97,1 % ja näennäisteho 62,7 % (taulukko10).

Taulukko 10. T5-adaptoreilla saatava säästö

	Loistelamput	Jännite U (V)	Virta I (A)	Pätöteho P (W)	Loisteho Q (VAr)	Näennäisteho S (VA)	cosφ
Uudet T8-loisteputket	L36W	229	6	701,9	1 176	1 370	0,51
T5-adapterit	NL28W	227,2	2,3	510,4	34,21	511,6	1
Erotus			3,7	191,5	1 142	858,4	

Led-valoputkilla saavutettaisiin vieläkin suurempi säästö sähkössä. Valaistuksen ottama virta pienenesi 77 % ja sähköteho vastaavasti 61,5 %. Loisteho pienenesi 93,1 % ja näennäisteho 79,4 % alkuperäisestä (taulukko 11).

Taulukko 11. Led-valoputkilla saatava säästö

	Loistelamput	Jännite U (V)	Virta I (A)	Pätöteho P (W)	Loisteho Q (VAr)	Näennäisteho S (VA)	cosφ
Uudet T8-loisteputket	L36W	229	6	701,9	1 176	1 370	0,51
LED-valoputket	E18W	232,1	1,4	270	81,5	282	0,96
Erotus			4,6	431,9	1 094,50	1 088	

Valaistuksen kokonaisteho muodostuu 15 valaisimesta, jolloin yhden valaisimen kuluttama teho saadaan laskettua kaavan 3 avulla.

$$P_{\text{valaisin}} = \frac{P}{15}, \quad (3)$$

missä

P on valaistuksen ottama mitattu kokonaisteho.

T8-loistelamppuilla yhden valaisimen kuluttama sähköteho on

$$P_{\text{valaisinT8}} = \frac{701,9 \text{ W}}{15} = 46,8 \text{ W}$$

Valaisimen kokonaistehonkulutus muodostuu lampun tehosta ja liitäntälaitteen kuluttamasta tehosta, joka saadaan vähentämällä lampun teho valaisimen ottamasta tehosta (taulukko 12). T8-loistelamppulla sytytys tapahtuu sytyttimen ja magneettisen kuristimen avulla. T5-loistelamppulla sytytys on toteutettu elektronisella liitäntälaitteella, ja led-valoputkilla lamppu syttyy heti,

kun lampun anodin ja katodin välille muodostuu jännite, eli toisin sanoen led-valoputki ei tarvitse syttymiseen liitännälaitteita.

Taulukko 12. Yhden valaisimen kuluttama sähköteho

	P_{valaisin}/W	P_{lamppu}/W	$P_{\text{liitännälaitte}}/W$
T8-loistelamppu	46,8	36	10,8
T5-adapteri	34,0	28	6,0
Led-valoputki	18	18	0,0

Led-valoputkilla valaisimen kokonaisteho muodostuu pelkästään lampun kuluttamasta tehosta (taulukko 12). T8-loistelamppu on teholtaan suurempi kuin vaihtoehtoiset lamput, ja liitännälaitte kuluttaa myös enemmän tehoa kuin muilla lamppuvaihtoehtoilla (taulukko 12). Sähkön kulutuksen kannalta led-valoputki on paras vaihtoehto. T5-loistelamput ovat myös T8-loistelamppua energiatehokkaampi vaihtoehto.

Mitatusta tehon arvosta voidaan laskea neliökohtainen wattimäärä. Luokkatilan pinta-ala on $A = 56,86 \text{ m}^2$, josta saadaan laskettua valaistuksen teho neliometriä kohden kaavan 4 avulla.

$$P_N = \frac{P}{A} \quad (4)$$

jossa

P on valaistuksen kuluttama kokonaisteho.

A on tilan pinta-ala.

T8-loistelamppuilla toteutettuna valaistuksen kuluttama sähköteho neliometriä kohden on

$$P_N = \frac{701,9 \text{ W}}{56,86 \text{ m}^2} = 12,34 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Luokan tehottiheys kertoo, kuinka monta wattia valaistus kuluttaa neliometriä kohden (taulukko13). Neliometrikohtainen teho on hyvä vertailuarvo verrattaessa erikokoisia tiloja keskenään.

Taulukko 13. Luokan tehottiheys

P_N	Uudet loistelamput	T5-adapteri	Led-valoputket	
W/m^2	12,34	8,98	4,75	

7.2 Valaistuksen kuluttama energia

Sähkötehon avulla saadaan helposti arvioitua valaistuksen kuluttama sähköenergia vuodessa. Tehomittauksissa saatujen tulosten avulla voidaan laskea luokan vuotuinen sähkönkulutus, kun opetustilan vuotuisiksi käyttötunneiksi voidaan olettaa 2 000 h, kuten standardissa SFS-EN 15193 ilmoitetaan. [11, s. 108.]

Vuotuinen sähköenergian kulutus saadaan laskettua kaavalla 5.

$$W_a = W \times t, \quad (5)$$

jossa

W on Valaistuksen kuluttama sähköenergia.

t on valaistuksen käyttötunnit.

T8-loistelamppuilla toteutettu valaistus kuluttaisi vuodessa

$$W_{aT8} = 0,7 \text{ kW} \times 2000 \frac{\text{h}}{\text{a}} = 1403,8 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Vuotuisen sähkönkulutuksen arvioinnissa on käytetty standardissa ilmoitettua käyttötuntien määrää (taulukko 14), joka on 2 000 h.

Taulukko 14. Valaistuksen arvioitu vuotuinen energian kulutus

W_a	Uudet T8-loistelamput	T5-adapteri	Led-valoputket
kWh/a	1 403,80	1 020,80	540

T5-adaptoreita käytettäessä vuotuinen säästö olisi 383 kWh ja led-valoputkilla vastaava luku olisi 863,8 kWh (taulukko14).

7.3 LENI-luku

LENI-luku on arvo, jonka avulla voidaan verrata rakennusten valaistuksen energiankulutusta silloin, kun rakennusten käyttötarkoitus on yhtäläinen, mutta rakennukset ovat kooltaan erikokoisia. LENI-luku kertoo tilan vuotuisen energiankulutuksen neliometriä kohden. Kaavan 6 avulla, saadaan laskettua työssä käytetyn luokkatilan LENI-luku. [11, s. 18.]

$$LENI = \frac{W_a}{A}, \quad (6)$$

jossa

W_a on tilan vuotuinen energiankulutus.

A on tilan pinta-ala neliömetreinä.

Pihkapuiston ala-asteen luokkatilan 109 pinta-ala on $A = 56,86 \text{ m}^2$. T8-loistelampuilla toteutetun valaistuksen LENI-luku on

$$LENI_{T8} = \frac{1403,8 \frac{kWh}{a}}{56,86 \text{ m}^2} = 24,69 \frac{kWh}{\text{m}^2}$$

Suurin LENI-luku arvo saatiin T8-loistelampuilla, kun taas pienin led-valoputkilla (taulukko 15).

Taulukko 15. Luokkatilan LENI-luku eri valaistusvaihtoehdoilla

LENI-luku	Uudet T8-loistelamput	T5-adapteri	Led-valoputket
$(kWh/a)/\text{m}^2$	24,69	17,95	9,50

Standardin *SFS-EN 15193 Rakennusten energiatehokkuus, valaistuksen energiatehokkuus* ilmoittama LENI-luku arvo opetustilojen rakennukselle on 34,9. Luokkatilan LENI-luvut (taulukko 15), ovat pienemmät kuin standardin arvo, joka tarkoittaa, että luokkatilan energiankulutus on selvästi alempi kuin mitä standardissa vaaditaan. [11, s. 108.]

Lukuja ei voi verrata kuitenkaan suoraan keskenään, koska lasketut arvot ovat vain yhden luokan energiankulutus. LENI-luku kattaa rakennuksen koko valaistuksen, johon kuuluu mm. luokat, käytävät, wc:t, ruokala ja liikuntasali. Luokkatilan lasketut LENI-luku arvot ovat kuitenkin hyvät, koska pääasiassa koulurakennuksen valaistus koostuu luokkatiloista, jolloin laskettujen arvojen perusteella voidaan päätellä, että standardin vaaditut arvot täyttyvät kaikilla lampuvaihtoehdoilla.

7.4 Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuus kertoo valovirran määrän pinta-alaa kohden. Kaikilla valaistusvaihtoehdoilla mitattiin 42 pistettä samasta kohtaa luokkaa noin 0,8 metrin korkeudelta lattiasta. Liitutaulusta mitattiin pystysuoralta pinnalta viisi mittauspistettä metrin välein.

Valaistusvoimakkuusmittauspisteiden keskiarvosta saadaan tilan keskimääräinen valaistusvoimakkuus E_m , joka lasketaan kaavan 7 mukaan.

$$E_m = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n}, \quad (7)$$

jossa

E_i on valaistusvoimakkuus i :nnen mittauspisteen kohdalla.

n on mittauspisteiden lukumäärä.

Luokkatilan keskimääräinen valaistusvoimakkuus oli huomattavasti parempi loistelampuilla kuin led-valoputkilla, kuten myös minimi- ja maksimi-arvot (taulukko 16).

Taulukko 16. Valaistusvoimakkuus luokassa

	Uudet T8-loisteputket	T5-adapteri	Led-valoputket
E_m/lx	560,33	553,33	366,26
E_{min}/lx	335	360	194
E_{max}/lx	835	810	547

Molemmilla loistelampuilla, niin T8 kuin T5, päästään lähes samaan tulokseen, kun taas led-valoputkilla tulos jää huomattavasti loistelamppujen tuloksista. Minimiarvo sekä maksimiarvo jäävät myös led-valoputkilla selvästi loistelamppujen vastaavista arvoista. T5-loistelamput häviävät niukasti T8-loistelamppuille, mutta adapteria käytettäessä se peitti osan loistelampun pinnasta ja näin haittasi valaisimen heijastimen täydellisen hyödyntämisen.

Valaistusvoimakkuuden tasaisuus luokassa oli loistelampuilla lähes sama, ja led-valoputkilla tulos oli jälleen heikompi (taulukko 17).

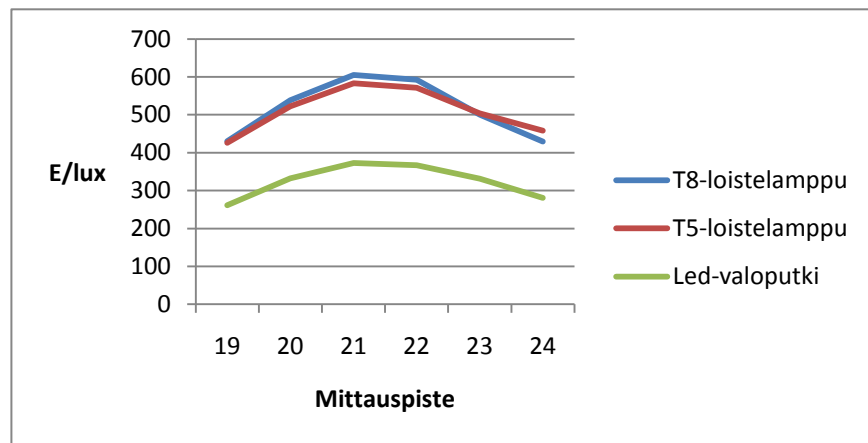
Taulukko 17. Valaistusvoimakkuuden tasaisuus

	Uudet T8-loisteputket	T5-adapteri	Led-valoputket
E_{min}/E_m	0,60	0,65	0,53
E_{min}/E_{max}	0,40	0,44	0,35

Valaistusvoimakkuuden tasaisuus tulisi olla työalueella vähintään $\geq 0,7$ ja lähiympäristössä $\geq 0,5$ standardin SFS-EN 12464-1 mukaan, kuten jo aiemmin

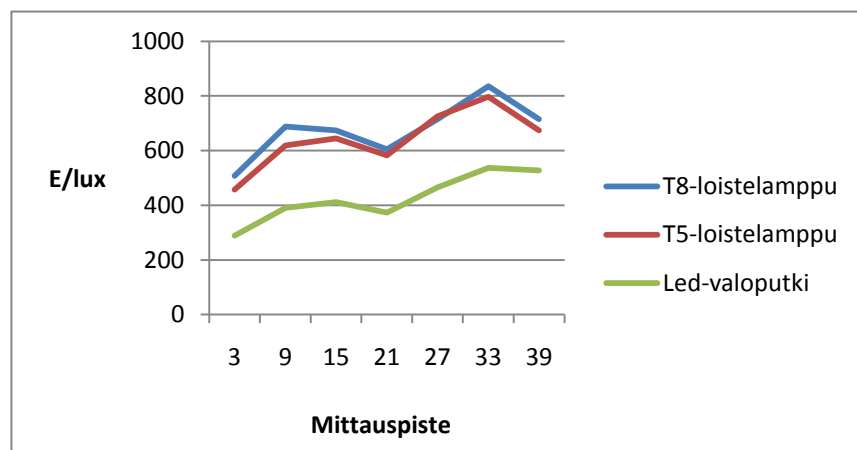
mainittiin. Standardin ilmoittamat luvut ovat valaistusvoimakkuuden minimiarvon suhde keskimääräiseen valaistusvoimakkuuteen, eli tässä luokkati-lassa standardin vaatimukset jäävät täyttymättä kaikilla lamppuvaihtoehdoil-la, mutta led-valoputki jää tässäkin vertailussa selvästi loistelamppujen tu-lokselle, jotka ovat lähempänä työalueen vaadittua arvoa. Tasaisuutta saa-taisiin parannettua vaihtamalla valaisimet uusiin ja suunnittelemalla va-laisimien sijoittelu uudestaan, mutta tässä työssä keskityttiin säilyttämään vanhat valaisimet.

Valaistusvoimakkuuden arvoista piirrettiin kuvaajat luokan poikittaissuun-nassa (kuva 11) ja pitkittäissuunnassa (kuva 12).



Kuva 11. Luokan valaistusvoimakkuus luokan keskeltä poikittaissuunnassa mitattuna

Aallon huippu on keskellä luokkaa olevan mittauspisteen kohdalla, joka on luonnollista, koska keskelle luokkaa tulee valo eniten ja reunoille vähiten (kuva 11). Led-valoputkien kuvaaja on samanlainen kuin loistelampuillakin, mutta sen taso on vain alempana.



Kuva 12. Luokan valaistusvoimakkuus luokan keskeltä pitkittäissuunnassa mitattuna

Valaistusvoimakkuus luokan pitkittäissuunnassa muodostaa kuvaajan, joka kulkee luokan takaosasta eteen (kuva 12). Valaistusvoimakkuus on suurin luokan etuosassa, mutta luokan edessä on liitutaulun valaisimet, jotka nostavat valaistusvoimakkuuden tasoa luokan edessä. Led-valoputkien kuvaaja on jälleen samanmuotoinen loistelamppujen kanssa, mutta sen taso on alempana.

Valaistusvoimakkuus wattia kohden kertoo, miten monta luksia saadaan yhtä wattia kohden, eli miten paljon valoa saadaan yhdellä watilla kullakin valaistusvaihtoehdolla (taulukko 18).

Taulukko 18. Valaistusvoimakkuus wattia kohden

	Uudet T8-loistelamput	T5-adapteri	Led-valoputket
lx/W	0,80	1,08	1,36

Led-valoputkilla saadaan eniten valoa yhtä wattia kohden (taulukko 18), mutta led-valoputket antoivat valoa vain noin 150 °:een kulmassa, jolloin kaikki valo kohdistuu alaspäin ja heijastin on täysin hyödytön. Tämä haittaa myös epäsymmetrisien valaisimien käyttöä, joiden heijastimien avulla valo saadaan suunnattua haluttuun suuntaan.

Loistelampuilla toteutettu valaistus sallisi luokkatilan käytön myös aikuisopetuksessa (taulukko 3), mutta led-valoputkilla tulos jää niin alhaiseksi, että aikuisopetukseen valon määrä ei riitä. Standardissa SFS-EN 12464-1 asetetut arvot muille tiloille, kuten piirustussaleille, vaativat 500 lx (taulukko 3). Alasteen luokkatilassa järjestetään monia eri oppitunteja samassa tilassa, kuten esimerkiksi kuvataide, jolloin led-valoputkilla toteutettu valaistus ei olisi riittävä standardin mukaan. Liitutaululle on esitetty myös oma vaatimus valaistusvoimakkuudelle (taulukko 3), joka on 500 lx.

Liitutaulun keskimääräinen valaistusvoimakkuus ei täytä standardin arvoa led-valoputkien osalta (taulukko 19).

Taulukko 19. Liitutaulun keskimääräinen valaistusvoimakkuus eri valaistusvaihtoehdoilla

	Uudet T8-loistelamput	T5-adapteri	Led-valoputket
E_m/lx	542,6	510,2	288

Yhden lampun tuottamasta valovirtaan verrannollisesta valaistusvoimakkuudesta (taulukko 7) nähdään, että T8-loistelamppu tuottaa eniten valoa, mutta tämä johtuu lähinnä siitä, että T5-adapteri peittää osan T5-loistelampusta, eikä T5-loistelamppu pääse säteilemään kunnolla integroivan pallon pinnalle, kuten ei myöskään led-valoputki. Erillään ilman heijastimen tuomaa apua verrattuna T5-loistelamppu adapterilla ei ole juurikaan led-valoputkea parempi, mutta valaisimeen asennettuna T5-loistelamppu ja adapteri on huomattavasti parempi vaihtoehto kuin led-valoputki.

7.5 Luminanssi

Luminanssi kuvaa pinnan kirkkautta, eli miten suuri osa pintaan tulevasta valosta heijastuu näkijän silmään. Seinä 1 on luokkatilan vasemmanpuoleinen seinä luokan edestä katsottaessa, seinä 2 on ikkunoiden puoleinen seinä eli oikealla puolella oleva seinä edestä katsottuna, seinä 3 luokan takaseinä ja seinä 4 luokan edessä oleva seinä (taulukko 8). Etu- ja takaseinän 3 ja 4 arvot poikkeavat suuresti sivuseinien arvoista 1 ja 2, mutta tämä selittyy sillä, että takaseinä oli lähes kokonaan nuppitaulun peitossa, ja etuseinä oli käytännössä pelkkää liitutaalua, kun taas sivulla olevat seinät olivat valkoisia.

Tuloksia verrattaessa keskenään nähdään, että led-valoputkilla toteutettu valaistus antaa huomattavasti pienemmät arvot, kuin muilla valaistusvaihtoehdoilla. T5-loistelampuilla mitatut arvot ovat samaa luokkaa perinteisten T8-loistelamppujen kanssa. Mittaustulokset eivät ole millään valaistusvaihtoehdolla näköergonomian kannalta hyvät (taulukko 8), mutta arvojen parantaminen edellyttäisi koko valaistuksen uudelleen suunnittelemista.

7.6 Värintoisto

T8- ja T5-loistelamput täyttävät standardin SFS-EN 12464-1 vaatimukset värintoistolle kaikissa opetustiloissa, paitsi taidekoulun piirustussalissa, joka vaatii $R_a = 90$ värintoistoindeksin. Led-valoputkilla värintoisto jää liian alhaiseksi, eikä sitä voi käyttää opetustilan valaistukseen, koska standardin vaatimukset eivät täyty (vertaa taulukon 3 ja 9 arvoja).

7.7 Häikäisyindeksi

Häikäisyindeksin arvioinnissa käytettiin valaistussuunnitteluohjelmaa nimeltä Dialux, jonka avulla saatiin arvioitua eri valaistusvaihtoehtojen UGR-arvoja

(taulukko 20). Dialuxin avulla luotiin luokkatilan mukainen huone, johon haettiin eri valaisimet, jotka vastaisivat mahdollisimman hyvin alkuperäistä valaisinta eri lamppuvaihtoehdoilla.

T8- ja T5-loistelamppujen valovirtaa vastaavat valaisimet löytyivät helposti, mutta led-valoputkia ei löytynyt ohjelmasta. Arvioinnissa käytettiin T5-loistelamppuvalaisinta, joka on hyvin kapea, jolloin valo tulee katsojan näkökenttään kapeassa keilassa. Käytetyn valaisimen valovirta oli hyvin lähellä led-valoputken valovirtaa. Ohjelman antamat tulokset eivät ole täysin realistiset, mutta ne antavat osviittaa todellisista arvoista.

Taulukko 20. Dialux UGR -arvot

	T8-loistelampput	T5-loistelampput	Led-valoputket
UGR	19	19	21

Arvoja verrattaessa standardin 12464-1 vaadittuihin arvoihin (taulukko 3) huomataan, että led-valoputkia simuloivat valaisimet antavat liian suuren arvon.

T8-loistelamppuvalaisimet, joita valaistussuunnitteluohjelmassa käytettiin, ovat mallia Philips Delta 212TCS 1 x TL-D36 W/830 CON D6, T5-loistelamppuvalaisimet ovat vastaavasti Philips Delta 212TCS 1 x TL5-28 W/830 HF L1 ja led-valoputkia kuvaavat valaisimet ovat Philips Indolight TBS315 1 x TL5-24 W/830 HF T M6-H.

8 VALAISTUKSEN TALOUDELLINEN ARVIONTI

Kaikilla valaistusratkaisuilla huoltokustannukset ovat hieman erilaiset. Valaistuksen huollossa on otettava huomioon lamppujen polttoaika, eli miten usein lamppuja tarvitsee vaihtaa.

Liitäntälaitteen tyyppi on otettava myös huomioon, eli onko käytössä magneettinen kuristin vai elektroninen liitäntälaitte, koska tämä vaikuttaa lampun käyttöikänsä. Elektroninen liitäntälaitte esilämmittää loistelampun katodit ennen sytyttämistä, joka pidentää lampun käyttöikää verrattuna magneettiseen kuristimeen. Liitäntälaitte vaikuttaa myös sähkönkulutukseen, kuten aiemmassa kappaleessa todettiin. Kyseisen koulun tapauksessa valaisin pysyy samana kaikissa valaistusvaihtoehdoissa, jolloin valaisimet tulisi puhdistaa yhtä usein kaikilla lamppuvaihtoehdoilla.

Lamppujen hinta ja asentamiseen kuluva aika muodostavat investointikustannukset. Huoltokustannukset ovat samat kaikilla lamppuvaihtoehdoilla. Lamppujen hankinnassa ei kannata tuijottaa liikaa investointikustannuksiin, vaan pitää arvioida, miten nopeasti uusi lampputyyppi maksaa itsensä takaisin säästämällä sähköenergiaa ja näin pienentäen sähkölaskua.

8.1 Investointikustannukset

Kaikilla lamppuvaihtoehdoilla kuluu asentamiseen sama aika, koska kaikissa tapauksissa täytyy lamppu ja sytytin vaihtaa vastaaviin osiin, eikä kuristinta tarvitse ohittaa tai valaisimelle tehdä mitään muitakaan muutoksia. Verrattaessa investointikustannuksia voidaan verrata hankintahintaa suoraan, koska jokaisen lamppuvaihtoehdon asentamiseen kuluisi yhtä paljon rahaa. T8-loistelamppujen investointikustannukset ovat huomattavasti pienemmät, kuin T5-adaptoreilla ja led-valoputkilla (taulukko 21).

Taulukko 21. Lamppuvaihtoehtojen hinnat

Lamppu	Hinta/€
Uudet loistelamput Osram L36W/835	78,97
T5-adapterit SlimLine SLT5 Radium Bonalux NL-T5 28W/840	549
LED-valoputket VV18E120	534

Huomioitava asia on, että kun T5-adapterit on kerran ostettu, täytyy jatkossa ostaa enää T5-loistelamput palaneiden tilalle. Uudet T5-loistelamput maksavat 60 €, joka sisältyy ilmoitettuun kokonaishintaan (taulukko 21), kun led-valoputket maksavat jokaisella ostokerralla 534 €.

8.2 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika kertoo, miten nopeasti tuote maksaa oman hintansa takaisin ostajalle käyttökustannuksia pienentämällä. Laskuissa käytetään Helsingin Energian sähköhintaa kWh kohden, joka on päiväsähkölle 7,01 c/kWh ja yösähkölle 6,42 c/kWh. Päiväsähkäksi lasketaan aika kello seitsemästä aamulla ilta kahdeksaan asti. Koska kyseinen koulu on ala-aste, voidaan olettaa, että koulussa ei ole opetusta kello kahdeksan jälkeen, joka tarkoittaa, että laskuissa voidaan käyttää päiväsähkön hinnoittelua.

Sähkönsiirron hinnaksi Helsingin Energia ilmoittaa 3,44 c/kWh ja sen lisäksi on sähkövero, jonka hinta on 1,08609 c/kWh. Kaavan 8 avulla saadaan laskettua jokaisen valaistusvaihtoehdon euromääräinen sähkönkulutus.

$$K_{\text{sähkö}} = W_a \times (\text{Sähkön hinta} + \text{Siirtomaksu} + \text{Sähkövero}) \quad (8)$$

T8-loistelampuilla vuotuinen sähkölasku olisi

$$K_{\text{sähköT8}} = 1403,8 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \times (0,0701 + 0,0344 + 0,0108609) \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 161,94 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Vuotuinen säästö euroina on huomattavan suuri led-valoputkilla, mutta T5-loistelampuilla toteutettu valaistus tuottaisi myös säästöä koululle (taulukko 22).

Taulukko 22. Sähkönkulutus euroina

$K_{\text{sähkö}}$	Uudet T8-loistelamput	T5-adapteri	Led-valoputket
€/a	161,94	117,76	62,29

Säästöä kertyy vuositasonalla 44,18 €, kun käytetään T5-adaptoreita ja T5-loistelamppuja T8-loistelamppujen sijaan. Led-valoputkilla säästö olisi 99,65 € vuodessa T8-loistelamppuhin verrattuna.

Valaisimien polttoaika opetustiloissa vuodessa on 2 000 h, kuten luvussa 7.2 *Valaistuksen kuluttama energia* todettiin. T8-loistelampuille luvataan noin 13 000 h käyttöikä ja T5-loistelampulle vastaava luku on 20 000 h.

2 000 h vuotuisella polttoajalla, T8-loistelamput tulisi vaihtaa aina kuuden ja puolen vuoden välein ja T5-loistelamput 10 vuoden välein. Vuoden aikana T5-loistelamput säästävät 44,18 € ja kun T5-adapterien hankinta ja uudet T5-loistelamput maksoivat 488,33 € enemmän kuin T8-loistelamput saadaan takaisinmaksuaika laskettua kaavalla 8.

$$T_{\text{takaisin}} = \frac{\text{Investointikustannusten erotus}}{\text{Vuotuisen kulutuksen erotus}} \quad (8)$$

$$T_{\text{takaisinT5}} = \frac{(549 - 78,97) \text{ €}}{(161,94 - 117,76) \frac{\text{€}}{\text{a}}} = 11,05 \text{ a} \approx 12 \text{ a}$$

T5-adapterit maksaisivat itsensä takaisin 12 vuodessa, minkä aikana T8-loistelamput täytyisi uusiksi, johon kuluisi rahaa 42,37 €. T5-loistelamput tulisi

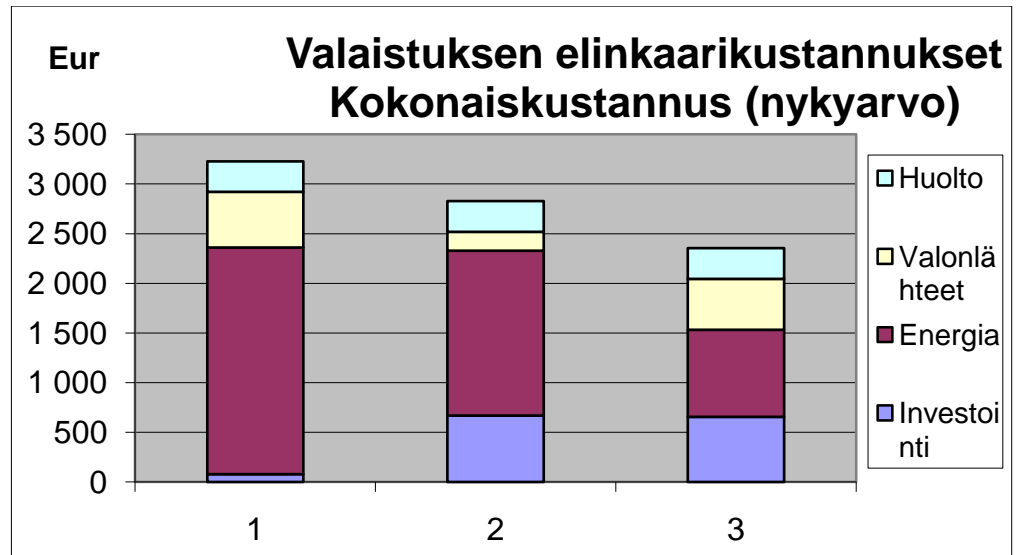
uusina myös kertaalleen, mikä maksaisi 60 €. 12 vuoden aikana T5-adapterit olisivat kuluttaneet 1 413,12 €, kun taas T8-loistelamppuilla vastaava luku olisi 1 943,28 €. Kokonaisuudessaan T8-loistelamput olisivat käyttäneet (1 943,28 + 84,74) € = 2 028,02 € sähköön, uusiin lamppuihin ja investointikustannuksiin, kun taas T5-loistelamput olisivat kuluttaneet samassa ajassa (1 413,12 + 530,7 + 60) € = 2 003,82 €, eli T5-adapttereilla olisi 12 vuodessa säästetty jo 24,2 €. Jos valaistus vaihdettaisiin T8-loistelampusta T5-adapttereihin ja T5-loistelamppuihin, ne alkaisivat tuottaa säästöä koululle jo alle 12 vuodessa, minkä jälkeen säästöä vanhaan tulisi 44,18 € vuodessa.

Led-valoputkilla vuotuinen säästö sähköstä on 99,65 € T8-loistelamppuihin nähden, mutta investointikustannukset ovat 491,63 € suuremmat. Kaavan 8 avulla saadaan laskettua led-valoputkien takaisinmaksuaika.

$$T_{\text{takaisinLED}} = \frac{491,63 \text{ €}}{99,65 \frac{\text{€}}{\text{a}}} = 4,93 \text{ a} \approx 5 \text{ a}$$

Led-valoputkilla takaisinmaksuaika olisi viisi vuotta, minkä jälkeen ne alkaisivat tuottaa säästöä 99,65 € vuodessa. Led-valoputkille luvataan vähintään 20 000 h käyttöikää, joka on sama kuin T5-loistelampulla, mutta parhaimmillaan ne kestävät 50 000 h. Led-valoputkien eliniällä tarkoitetaan aikaa, jossa valoteho on pudonnut 70 % alkuperäisestä.

Led-valoputket maksavat 491,63 €, jonka ne säästävät viidessä vuodessa sähköstä. Huonoimmassa tapauksessa putket kestävät vain 10 vuotta, minkä aikana ne tuottavat jo 547,24 € säästöä. Parhaimmassa tapauksessa led-valoputket palavat 25 vuotta, ja niiden eliniän aikana koulu säästäisi 2 194,16 €. Elinkaarikustannukset ovat pienimmät led-valoputkilla, kun taas suurimmat kustannukset ovat T8-loistelampuilla (kuva 13).



Kuva 13. Valaistusvaihtoehtojen elinkaarikustannukset

Pylväs numero 1 on T8-loistelamppujen, numero 2 on T5-loistelamppujen ja numero 3 on led-valoputkien elinkaarikustannus (kuva 13). Elinkaarikustannusten apuna käytetty taulukko perustuu Ruotsin energiaviranomaisten laskentamalliin (liite 5). Led-valoputkilla saavutettaisiin suurin säästö, ja T5-loistelampuilla saadaan myös säästöä aikaan T8-loistelamppuihin verrattuna. Säästöt, joita esitettiin, ovat ainoastaan yhdestä luokkahuoneesta, mikä on hyvä huomioida.

9 YHTEENVETO

Työssä oli tarkoituksena löytää korvaava valonlähde vanhalle T8-loistelampulle. Yleisin liitäntälaitte T8-loistelampulle on magneettinen kuristin, joka on jäämässä pois markkinoilta tulevaisuudessa sen suuren tehohäviön johdosta. Tutkittavassa kohteessa oli juuri magneettisilla kuristimilla varustetut T8-loistelamppuvalaisimet, joille etsittiin korvaavaa lamppua niin, että uusi lamppu voitaisiin asentaa yhtä helposti kuin uudet T8-loistelamput. Tällöin valaistuksen uusimiseen ei kuluisi rahaa muuten kuin tarvikkeiden hankkimisessa.

Uudet valaistusratkaisut ovat tietenkin kalliimpia ostaa, mutta niiden hyöty huomataan vasta käytössä, kun ensimmäinen sähkölasku saapuu. Tilat, joissa on paljon valaistusta, kuten esimerkiksi toimistotilat ja koulut, kuluttavat huomattavan määrän sähköä valaistukseen vuodessa. Mitä suurempi rakennus sitä enemmän valaisimia ja sitä enemmän sähköä kuluu. Suurissa rakennuksissa jo pienikin säästö yhdestä yksittäisestä valaisimesta

tarkoittaa suurta rahallista säästöä vuotuisella tasolla, jos se sama pieni säästö saadaan talon jokaisesta valaisimesta.

Valaistusta uusittaessa ei voida tietenkään keskittyä pelkästään sähkön kulutukseen, ja miten paljon siinä voidaan säästää, vaan täytyy huomioida myös se, että valaistuksen laatu ei huonone. Vaikka uusi lamppu kuluttaisi huomattavasti vähemmän sähköä kuin vanha, sitä ei voitaisi harkita uudeksi valonlähteeksi, jos sen valontuotto, värintoisto ja muut valaistuksen kannalta tärkeät ominaisuudet olisivat huonot.

Työssä tutkitut led-valoputket eivät soveltuisi luokkahuoneen valonlähteeksi, koska niiden tuottama valaistusvoimakkuus on niin alhainen, ettei se riitä standardin *SFS-EN 12464-1 Valo ja valaistus* määrittämään arvoon, kuten käy myös verrattaessa värintoisto-ominaisuuksia. Led-valoputket säästäisivät huomattavan paljon energiaa vuodessa, mutta niiden tuottama valo ei ole riittävän hyvä tähän tilaan.

Led-valoputket häviävät niin selvästi loistelampuille valaistusvoimakkuuden vertailussa, koska valaisimissa on alumiiniheijastin. Heijastin hyödyntää loistelampusta saatavan valon huomattavasti paremmin, kuin led-valoputkista, koska loistelamput lähettävät valoa 360°:een kulmassa ja led-valoputket vastaavasti 150°:een kulmassa, mikä tarkoittaa, että valaisimen heijastin jää kokonaan käyttämättä.

Sähköä säästyisi tässä kyseisessä kohteessa huomattavasti led-valoputkilla, mutta valon laadusta jouduttaisiin tinkimään liikaa, minkä takia kyseinen lamppuvaihtoehto ei ole sopiva ratkaisu valaistuksen uusimiseen tässä kohteessa. Led-valoputket olisivat varmasti hyvä vaihtoehto johonkin toiseen tilaan, jossa olisi erilaiset valaisimet tai valon määrän tarve olisi pienempi. Esimerkiksi käytävävalaistukseen led-valoputket sopisivat varmasti paremmin.

T5-adapterit ja T5-loistelamput ovat jo paljon varteenotettavampi vaihtoehto valaistuksen uusimisen kannalta. Energian kulutus on pienempi kuin T8-loistelamputilla ja valon laatu ei heikkene juuri lainkaan. T5-loistelamput ovat värintoistoltaan ja valaistusvoimakkuudeltaan riittävän hyvät korvaamaan vanhat T8-loistelamput, sillä ne täyttävät standardin *SFS-EN 12464-1* vaatimat arvot. T5-loistelamput maksaisivat itsensä takaisin lähes oman

elinikänsä aikana, jonka jälkeen säästöä tulisi huomattavasti enemmän, koska kalliita adaptereita ei tarvitsisi ostaa yhtä useasti kuin T5-loistelamppuja.

Loppuratkaisuna voidaan todeta, että T5-adapterit ja T5-loistelamput olisivat paras vaihtoehto valaistuksen uusimiseen, koska ne täyttävät standardissa vaaditut arvot ja kuluttavat vähemmän energiaa, kuin T8-loistelamput. Korkeasta hankintahinnasta huolimatta T5-adapterit on kannattava ostos, koska pidemmällä aikavälillä ne maksavat itsensä takaisin ja säästävät luontoa ja rahaa.

T8-loistelampulle on olemassa parempia vaihtoehtoja, jotka ovat energiatehokkaampia. T5-loistelamput ovat myös valoteknisiltä ominaisuuksiltaan samaa luokkaa T8-loistelamppujen kanssa, minkä takia ne olisivat järkevä vaihtoehto korvaamaan vanhat lamput lähes kaikissa tilanteissa. Led-valoputkilla voitaisiin korvata T8-loistelamput tiloissa, joissa valon määrälle ja värinvalon sävylle ei ole asetettu niin suuria vaatimuksia.

LÄHTEET

- [1] Kallasjoki, Tapio, *Valaistustekniikan perusteet*. Opetusmateriaali. Metropolia ammattikorkeakoulu. 2007.
- [2] Ahponen, Veikko – Kasurinen, Esko – Timonen, Tapani, *Valaistuksen laskenta, mittaukset ja huolto*. Suomen Sähköurakoitsijaliitto ry ja Suomen Valoteknillinen Seura ry. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy. 1996.
- [3] Nyman, Kari, *Valaistus. Yleisohjeet* [online-tietokanta, viitattu 9.5.2010]. Sähkötieto ry. 15.10.2003.
- [4] Forsman, Sanna, *Valonlähteiden ominaisuudet* [online-tietokanta, viitattu 9.5.2010]. Sähkötieto ry. 15.11.2009.
- [5] Jumppanen, Jari, *Valaistusohjeistus standardin EN 12464 mukaisesti* [online-tietokanta, viitattu 9.5.2010]. Sähkötieto ry. 15.9.2002.
- [6] Niskanen, Heta, *LED-valaistusjärjestelmät* [online-tietokanta, viitattu 9.5.2010]. Sähkötieto ry. 15.5.2008.
- [7] Varsila, Markku, *Kouluvalaistuksessa on uutta opittavaa osa 1. Valo 1(2009)*, s.14 - 18
- [8] D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. *Rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta*, Ohjeet 2007.
- [9] Varsila, Markku, *Kouluvalaistuksessa on uutta opittavaa osa 2. Valo 2(2009)*, s.14 - 19
- [10] SFS-EN 12464-1 *Valo ja valaistus*. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. Suomen standardoimisliitto.
- [11] SFS-EN15193 *Rakennusten energiatehokkuus. Valaistuksen energiatehokkuus*. Suomen standardoimisliitto

LIITE 1 VALTAVALON ELITE LED-VALOPUTKEN TUOTEKORTTI

Malli:	VV9E60	VV18E120	VV22E150
Nimellisteho (W):	9W	18W	22W
Sähköverkon jännite:	230V		
Sähköverkon taajuus:	50-60Hz		
Valovirta:	n.800 lumenia ¹	1630 lumenia ¹	2100 lumenia ¹
Pituus:	60 cm	120 cm	150 cm
Takuu:	2 vuotta		
Liitäntä:	G13		
Käyttölämpötila:	-20°C -+40°C ²		
Käyttöilmankosteus:	< 95%		
Valon säteilykulma:	n. 150°		
Kotelon suojausluokka:	IP20		
Kotelon materiaali:	PC-muovi,alumiini		
LED:	144 kpl SMD	288 kpl SMD	384 kpl SMD
Värintoistoindeksi (Ra):	60-80 ³		

LIITE 2 TUKES TIEDOTE 20.4.2010

Loistelamppua korvaavat led-valoputket todettu vaarallisiksi

20.04.2010

Loistelamppua korvaavissa led-valoputkissa on todettu erittäin vakava puute, joka vaarantaa lampun vaihtajan turvallisuuden. Led-valoputkea vaihdettaessa on mahdollista saada sähköisku putken toisesta päästä toisen pään ollessa kiinni lampunpitiimessä.

Turvatekniikan keskus Tukes on testauttanut markkinoilta hankkimiaan led-valoputkia akkreditoituissa testauslaboratorioissa. Tähän mennessä saatujen tutkimustulosten perusteella kaikki testatut led-valoputket ovat olleet vaatimusten vastaisia, koska niistä aiheutuu sähköiskun vaara lampun vaihdon yhteydessä. Kaikki Tukesin testauttamattomat led-valoputket ovat rakenteeltaan sellaisia, että ne voidaan asentaa standardinmukaisesti mitoitettujen loistelamppujen tilalle tavallisiin loistelamppuvalaisimiin.

Testautetuissa led-valoputkissa 230 V:n jännite syötetään valaisimen loistelampunpitiimien kautta valoputken päihin. Tällöin on vaarana saada sähköisku, koska lamppua vaihdettaessa toisen pään ollessa kiinni lampunpitiimessä voi helposti koskettaa lampun toisen pään paljaita koskettimia, jotka ovat jännitteisiä led-valoputken välityksellä.

Led-valoputkia on markkinoitu sähköä säästävänä vaihtoehtona erilaisiin kohteisiin standardinmukaisen loistelampun tilalle. Valoputkia on markkinoitu myös useissa Internetin verkkokaupoissa.

Led-valoputken asentaminen valaisimeen edellyttää valaisimen rakenteeseen muutoksia. Valaisimesta on poistettava sytytin, jotta lamppu toimii. Usein myös kuristin neuvotaan ohitettavaksi tehohäviöiden pienentämiseksi. Muutettu valaisin ei jälkeinpäin enää sovellu alkuperäiseen käyttötarkoitukseensa. Led-valoputken asentaminen loistelampulle tarkoitettuun valaisimeen ei vastaa valaisinvalmistajan tarkoittamaa käyttöä. Valaisimen käyttötarkoituksen sekä rakenteen muuttaminen edellyttävät aina uutta vaatimustenmukaisuuden arviointia, jotta tuotteen turvallisuus varmistetaan. Vastuu valaisimen turvallisuudesta siirtyy muutostöiden tekijälle.

Riskin aiheuttavia led-valoputkia on Tukesin arvioiden mukaan käytössä Suomessa useita tuhansia. Tukes muistuttaa käyttäjiä ja asentajia valaisimien muutostöihin liittyvistä vastuukysymyksistä ja kehottaa led-valoputkien käyttäjiä selvittämään myyjältä tuotteiden soveltuvuuden kyseessä olevaan valaisimeen. Lisäksi tulee selvittää mahdolliset valaisimen käytössä ja huollossa edellytettävät erityistoimenpiteet. Todettu turvallisuuspuute voi tulla esiin mahdollisesti pitkänkin ajan kuluttua, kun led-valoputkia vaihdetaan tai siirretään muihin valaisimiin.

Lisätietoja:

turvallisuusinsinööri Olli Tiainen, puh. 010 6052 517
ylitarkastaja Mika Toivonen, puh. 010 6052 653

LIITE 3 VALTAVALON TIEDOTE LED-VALOPUTKIEN TURVALLISUUDESTA

7.5.2010

Valtavalo Oy:n lehdistötiedote, vapaa julkaistavaksi heti

Valtavalon LED-valoputket ensimmäisenä ja toistaiseksi ainoana vaatimuksenmukaisia Suomessa

Turvatekniikan keskus (Tukes) on vuodenvaihteessa 2009-2010 testauttanut markkinoilla olevia LED-valoputkia. LED-valoputkille tyypillisen asennuksenaikaisen turvallisuusrisikin vuoksi osa niistä on todettu vaatimustenvastaisiksi. Tukes on tiedottanut tästä asiasta 20.4.2010.

Valtavalon myynnissä olevat LED-valoputkituotteet ovat vaatimuksenmukaisia uuden G2-innovaation ansioista. Taustalla on Suomessa tehty tuotekehitys, jonka avulla Valtavalo pyrkii vahvistamaan asemaansa Suomen johtavana LED-valoputkien toimittajana. "Uudessa Valtavalon G2-innovaatiossa Tukesin huomauttamaa turvallisuusriskiä ei ole, koska asennusvaiheessa mahdollisesti irralaan olevaan putken päähän ei tule jännitettä" kertoo Valtavalo Oy:n toimitusjohtaja **Markku Laatikainen**. "Haluamme turvata oman tutkimus- ja tuotekehitystyön tulokset ja olemmekin hakenneet patenttia tälle keksinnölle", kertoo keksijä **Tuukka Prykäri**. Tuotekehittäjä Prykäri työskentelee myös Oulun yliopiston Optoelektroniikan ja mittaustekniikan laboratoriossa väitöskirjatutkijana.

Tukesin tiedotteen uutisointi herättänyt osin aiheettomiakin pelkoja

Tukesin tiedotteesta ja erityisesti siitä seuranneesta uutisoinnista voi saada virheellisen kuvan, että asennuksenaikainen riski koskisi kaikkia LED-valoputkia ja yleisesti koko LED-valoputkitekniikkaa. Tämä ei kuitenkaan pidä paikkaansa, kuten Valtavalon G2-innovaatio osoittaa.

Tukesin huomauttaman LED-valoputkien asennuksenaikaisen riskin toteutuminen vaatisi asentajalta

suurta huolimattomuutta. Käytännössä riskin realisoituminen tarkoittaisi seuraavaa tapahtumasarjaa:

- Asentaja ei sammuttaisi virtoja valaisimesta asennuksen ajaksi.
- Asentaja asettaisi LED-valoputken vain toisen pään valaisimeen paikalleen sekä pyöräyttäisi putkea niin, että pinnit kontaktoituisivat valaisimen kantaan.
- Asentaja koskettaisi tämän jälkeen vapaan putken pään pinnejä.
- Lisäksi kytketty pääty pitäisi olla valaisimen vaihejohdossa, jotta vapaan pään pinnit tulisivat jännitteellisiksi. Tämä tarkoittaa, että edellä kuvattujen asennusvirheiden jälkeen, asentajalla olisi 50 % todennäköisyys saada sähköisku.

LED-valoputken asennuksen aikaista riskiä voi myös verrata perinteisen hehkulampun tai energiasäästölamppun asentamiseen. Hehkulampun asennuskanta on myös jännitteellinen ja täysin kosketeltavissa, jos asennus tehdään valot päällä. Tämä lienee yksi suurimmista sähköiskujen aiheuttajista Suomessa, mutta siitä huolimatta hehku- ja energiasäästölampujen turvallisuuteen ei kohdisteta huomiota.

"Valtavolalle tuotteiden turvallisuus on tärkeintä ja joidenkin markkinoilla olleiden LED-valoputkien asennuksen aikainen riski on todellinen. Haluamme kuitenkin oikaista tällä tiedotteella virheellisiä käsityksiä, joita olemme kuulleet omilta asiakkailtamme", huomauttaa Laatikainen.

Lisätiedot

Markku Laatikainen
toimitusjohtaja
Valtavalo Oy

p. 050 071 7190
markku.laatikainen@valtavalo.fi

Valtavalo Oy on Suomen johtava LED-valoputkien toimittaja. Asiakkaat koostuvat pääosin suurista yrityksistä ja julkisesta sektorista. Valtavalo valmistaa tuotteet yhteistyössä kumppaniensa kanssa käyttäen edistyksellistä LED- teknologiaa ja korkealaatuisia komponentteja. Toiminta-ajatuksena on maahantuoda ja myydä tuotteet mahdollisimman suoraan ilman kustannuksia kerryttäviä välikäsiä. www.valtavalo.fi

LIITE 4 MITTAUSPÖYTÄKIRJA

DURALamp SpA Florence-Italy F36T8/835 X5104						
Teho/Energia				Valaistusvoimakkuus		
				E/lx		
P	696,2	W		1	338	
S	1362	VA		2	466	
Q	1171	Var	ind.	3	512	
PF	0,51			4	478	
cos ϕ	0,51			5	401	
I _{rms}	6	A		6	289	
U _{rms}	228,9	V		7	539	
				8	668	
				9	724	
				10	650	
Liitutaulun valaistusvoimakkuus				11	553	
	E/lx			12	360	
1	331			13	590	
2	615			14	671	
3	691			15	696	
4	671			16	641	
5	514			17	541	
				18	402	
Mittau tulokset mitattu keskeltä taulua 1m				19	575	
välein ikkunanpuoleisesta seinästä alkaen				20	585	
				21	591	
				22	570	
				23	463	
				24	422	
				25	568	
				26	564	
				27	702	
				28	713	
				29	613	
				30	498	
				31	555	
				32	723	
				33	800	
				34	794	
				35	741	
				36	552	
				37	453	
				38	608	
				39	724	
				40	731	
				41	698	
				42	469	

Osram L36W/835 LUMILUX White 3350 lm 20 000 h						
Teho/Energia				Valaistusvoimakkuus		
				E/lx		
P	701,9	W		1	362	
S	1370	VA		2	455	
Q	1176	Var	ind.	3	508	
PF	0,51			4	475	
cos ϕ	0,51			5	414	
I _{rms}	6	A		6	335	
U _{rms}	229	V		7	459	
				8	603	
				9	688	
				10	679	
Liitutaulun valaistusvoimakkuus				11	588	
				12	443	
	E/lx			13	454	
1	330			14	601	
2	569			15	674	
3	662			16	653	
4	651			17	582	
5	501			18	440	
Mittaustulokset mitattu keskeltä taulua 1m				19	430	
välein ikkunanpuoleisesta seinästä alkaen				20	538	
				21	605	
				22	592	
				23	500	
				24	429	
				25	483	
				26	604	
				27	715	
				28	706	
				29	616	
				30	490	
				31	499	
				32	680	
				33	835	
				34	811	
				35	571	
				36	532	
				37	381	
				38	576	
				39	715	
				40	715	
				41	654	
				42	444	

SlimLine SL T5		Radium Bonalux NL-T5 28W/840 Bonalux White 2900 lm	
Teho/Energia		Valaistusvoimakkuus	
			E/lx
P	510,4 W	1	370
S	511,6 VA	2	420
Q	34,21 Var	3	457
PF	0,99	4	491
cosφ	1	5	409
I _{rms}	2,3 A	6	360
U _{rms}	227,2 V	7	482
		8	589
		9	619
		10	658
Liitutaulun valaistusvoimakkuus		11	582
	E/lx	12	448
1	288	13	461
2	557	14	561
3	620	15	644
4	608	16	609
5	478	17	570
		18	439
Mittaustulokset mitattu keskeltä taulua 1m		19	426
välein ikkunanpuoleisesta seinästä alkaen		20	522
		21	583
		22	571
		23	504
		24	458
		25	482
		26	581
		27	725
		28	716
		29	586
		30	535
		31	445
		32	650
		33	797
		34	810
		35	722
		36	523
		37	425
		38	593
		39	674
		40	632
		41	639
		42	472

Valtavallo LED-valoputki VV18E120 4500-500 K						
Teho/Energia			Valaistusvoimakkuus			
			E/lx			
P	270	W		1	194	
S	282	VA		2	272	
Q	81,5	Var	ind.	3	289	
PF	0,86			4	293	
cos ϕ	0,96			5	279	
I _{rms}	1,4	A		6	218	
U _{rms}	232,1	V		7	277	
				8	391	
				9	391	
				10	415	
Liitutaulun valaistusvoimakkuus				11	372	
	E/lx			12	281	
1	162			13	276	
2	302			14	380	
3	342			15	411	
4	337			16	383	
5	297			17	367	
				18	279	
Mittaustulokset mitattu keskeltä taulua 1m				19	261	
välein ikkunanpuoleisesta seinästä alkaen				20	332	
				21	373	
				22	367	
				23	331	
				24	281	
				25	326	
				26	396	
				27	465	
				28	466	
				29	406	
				30	313	
				31	302	
				32	485	
				33	537	
				34	547	
				35	476	
				36	351	
				37	309	
				38	444	
				39	528	
				40	513	
				41	492	
				42	314	

LIITE 5 VALAISTUSKUSTANNUSTEN VERTAILULASKELMA

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		1x36	1x36	1x36
Valmistaja				
Tarkempi määrittely (esim. lamputyyppi, teho, ...)		T8 1x36W	T5 1x28W	LED 1x18
Lukumäärä	kpl	15	15	15
Yksikköhinta	eur/kpl	0	33	0
Valaisinkustannus	eur	0	489	0
Lamput				
Teho/lamppu mukaan lukien liitäntälaitteen häviöt	W	46,8	34	18
Lukumäärä/valaisin	kpl	1	1	1
Yksikköhinta	eur/kpl	5	4	36
Lamppukustannus	eur	79	60	534
Asennus				
Materiaali- ja työkustannukset/valaisin	eur	0	8	8
Valaistuksen ohjaus	eur	0	0	0
Muut kustannukset	eur	0	0	0
Asennuskustannukset	eur	0	120	120
INVESTOINTIKUSTANNUKSET YHTEENSÄ				
	eur	79	669	654
KÄYTTÖKUSTANNUKSET				
Energiakustannukset				
Asennettu teho mukaan lukien liitäntälaittehäviöt	W	702	510	270
Käyttöaika	h/y	2 000	2 000	2 000
Käyttökerroin		1,00	1,00	1,00
Energiankulutus / vuosi	MWh/är	1,40	1,02	0,54
Sähköenergian hinta	eur/kWh	0,12	0,12	0,12
Energiakustannus / vuosi	eur/y	161	117	62
Laskentakerroin 1		14,13	14,13	14,13
Energiakustannusten nykyarvo	eur	2 282	1 658	878
Valonlähdekustannukset - mukaan lukien vaihto				
Valonlähteen elinikä	h	13 000	20 000	20 000
Vaihtoväli	vuosia	7	10	10
Vaihtokustannus / kpl	eur	15	15	15
Laskentakerroin 2		1,84	0,68	0,68
Valonlähdekustannusten nykyarvo	eur	560	193	513
Huoltokustannukset				
Huoltokustannus valaisinta kohden	eur/kpl	10	10	10
Käyttöaika ennen huoltoa	h	10 000	10 000	10 000
Huoltoväli	vuosia	5	5	5
Laskentakerroin 3		2,05	2,05	2,05
Huoltokustannusten nykyarvo	eur	308	308	308
KÄYTTÖKUSTANNUKSET YHTEENSÄ				
		3 150	2 158	1 698
KOKONAISKUSTANNUS (NYKYARVO)				
	eur	3 229	2 827	2 352