



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Eino Paavola

# Loisteputkivalaistuksen korvaaminen led-valaistuksella kouluissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

30.5.2021

Tekijä Otsikko	Eino Paavola Loisteputkivalaistuksen korvaaminen led-valaistuksella kouluissa
Sivumäärä Aika	31 sivua 30.5.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Tapio Kallasjoki
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin itsenäisesti pyrkien kehittämään Espoon Tilapalveluliikelayoksen led-saneerauksen toteutusta. Espoon Tilapalveluliikelaiteos pyrkii muuttamaan omistamiensa tilojen valaistuksen led-pohjaiseksi osana kunta-alan energiatehokkuussopimusta (KETS) ja Espoon hiilineutraaliustavoitetta (HNE 2030). Tässä insinöörityössä keskitytään pohtimaan erilaisia ratkaisuja loisteputkivalaistuksen ja pienoisloisteputkivalaistuksen led-valaistukseksi muuttamisesta syntyneisiin laadullisiin ja teknisiin haasteisiin. Lisäksi huomioidaan taloudellinen näkökulma sekä mahdollisia toimintatapoja siirtymän sulavoittamiseksi.</p> <p>Saneerausta on lähdetty toteuttamaan loisteputkien ryhmävaihtona led-putkiin, kun 20 % tilan vanhoista valonlähteistä ei toimi. Tämä malli on johtanut haasteisiin teknisen toteuttamisen ja uuden valaistuksen ominaisuuksien suhteen, joka on ilmennyt liian heikkona valaistusvoimakkuuden tasona, valon tasaisuuden epätoivottuina muutoksina ja led-putkien toimimattomuutena.</p> <p>Tehdyn työn perusteella valaistussaneeraus on mahdollista toteuttaa kouluissa kustannustehokkaasti valaistuksen laatu huomioiden. Tämän toteuttaminen edellyttää laadukasta suunnittelua, testausta ja kilpailutusta. Yhteistyö muiden valaistussaneerausta toteuttavien kunnallisten toimijoiden kanssa voi tuottaa säästöjä suunnitteluun ja testaukseen.</p>	
Avainsanat	KETS, led, valaistus, loisteputki, valaistussaneeraus

Author Title	Eino Paavola Substituting Fluorescent Tube Lighting with Led Lighting in School Buildings
Number of Pages Date	31 pages 30 May 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Degree Programme in Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer
<p>This thesis study was carried out to independently evaluate and improve lighting renovation of Espoon Tilapalvelut -liikelaitos. Espoon Tilapalvelut -liikelaitos is striving to renovate the lighting of their properties into led-based solution as a part of municipality field's energy efficiency contract (KETS) and the goal of zero-level carbon dioxide emission city of Espoo (HNE 2030). The goal of this study was to brainstorm new solutions to technical and quality issues met in updating fluorescent lighting into led-based lighting system regarding the economical side for some generalizable solutions and possible procedures to smoothen the transition.</p> <p>The renovation has taken place when at least 20 % of room's old sources of light has malfunctioned, but this model alone has proven to be complicated in technical execution and quality of new lighting, which has resulted in too weak level of illuminance, unwanted unevenness of lighting and malfunctioning of the new led-based light sources.</p> <p>Based on this work the lighting renovation is possible to execute in school buildings cost efficiently while regarding the quality of lighting. Implementing this requires high quality designing and planning, testing and putting the renovation out to tender. Collaboration with other municipalities that are carrying out led renovation may provide savings in designing and testing process.</p>	
Keywords	KETS, led, lighting, fluorescent tube, lighting renovation

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Valaistuksen ominaisuudet ja laatutekijät	1
2.1	Värintoistoindeksi ja värilämpötila	1
2.2	Valaistusvoimakkuus ja valovirta	5
2.3	Valonjakokäyrä	8
3	Led-siirtymässä huomioitavaa T5- ja T8-valaisimilla	14
3.1	Tekninen toteutus	14
3.1.1	Valaisimen vaihtaminen	14
3.1.2	Loisteputkilampun korvaaminen ja valaisimen muutostyöt	15
3.2	Taloudellisuus	19
3.2.1	Korkeat tilat	19
3.2.2	Normaalikorkuiset tilat	24
4	Toteutus	26
5	Yhteenveto	28
	Lähteet	30

## 1 Johdanto

Espoo pyrkii muuttamaan omistamiensa tilojen valaistuksen led-pohjaiseksi osana kunta-alan energiatehokkuussopimusta (KETS) ja Espoon hiilineutraaliustavoitetta (HNE 2030). Valaistus on merkittävä osa kunnallisten kiinteistöjen energiankulutusta, ja led-tekniikan jatkuva kehittyminen on tehnyt sen soveltamisesta päästöjen vähentämiseksi houkuttelevan osaratkaisun. Muutosta on lähdetty toteuttamaan loisteputkien ryhmävaihtona led-putkiin, kun 20 % vanhoista lampuista on sammunut, mutta tämä on johtanut teknisiin ja laadullisiin ongelmiin. Tilapalvelut-liikelaitokselle korvaavina myydyt lamput eivät aina ole täyttäneet standardien suosituksia valon määrän ja valaistuksen tasaisuuden osalta, ja ovat siten muuttaneet tilojen valaistusta laadullisesti heikommaksi. Lisäksi hankitut lamput eivät aina ole olleet yhteensopivia valaisimen tekniikan kanssa, joka on johtanut lamppujen syttymättömyyteen tai rikkoontumiseen.

Tässä insinööriyössä keskitytään pohtimaan erilaisia ratkaisuja loisteputkivalaistuksen ja pienoiskoiteputkivalaistuksen led-valaistukseksi muuttamisesta syntyneisiin laadullisiin ja teknisiin ongelmiin. Lisäksi huomioidaan taloudellinen näkökulma, sekä mahdollisia toimintatapoja siirtymän sulavoittamiseksi.

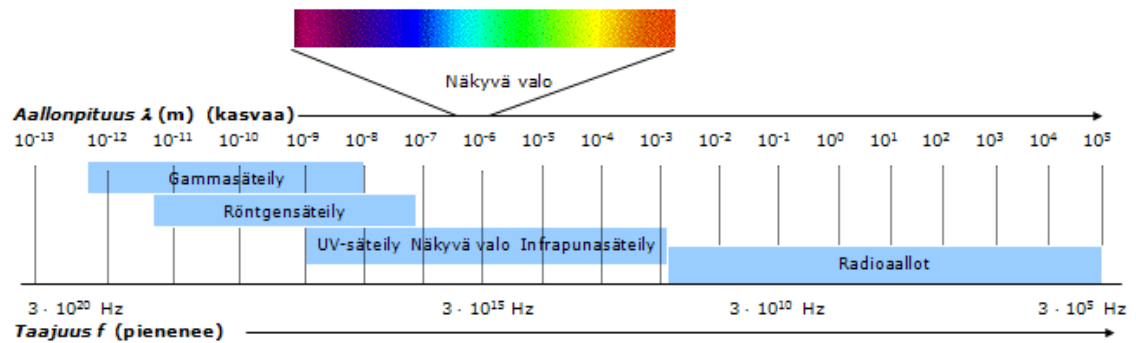
Tehdyn työn perusteella koulujen led-siirtymä voidaan toteuttaa laadukkaasti ja kustannustehokkaasti, kun valaistuksen suunnitteluun investoidaan ja saneeraus kilpailutetaan suunnitelmien perusteella. Yksittäisen luokkahuoneen valaistuksen onnistuneen saneerauksen suunnitelmia ja kustannus- sekä kannattavuuslaskelmia voidaan hyödyntää myös useissa muissa vastaavissa tiloissa.

## 2 Valaistuksen ominaisuudet ja laatutekijät

### 2.1 Värintoistoindeksi ja värilämpötila

Valaistuksella tarkoitetaan kokonaisuutta, joka on eri valonlähteistä, esimerkiksi lampusta tai auringosta emittoituvaa sähkömagneettista säteilyä sillä

aallonpituusalueella, jonka ihmissilmä kykenee havaitsemaan [1]. Näkyvän valon aallonpituusalue on noin 380–740 nm, josta silmämme yhteistyössä aivojemme kanssa muodostavat näkemämme värit aallonpituuden perusteella kuvan 1 havainnollistamalla tavalla [2].



Kuva 1. Sähkömagneettisen säteilyn aallonpituus ja taajuus [3].

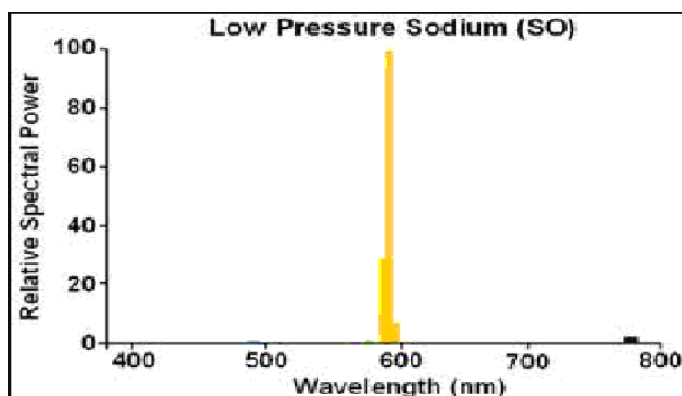
Valaistuksessa tämä tulee esiin siten, että erilaisilla valonlähteillä on erilainen värintoisto ja värilämpötila. Lämmin, eli matalan värilämpötilan valo toistuu oranssina ja kylmä, eli korkean värilämpötilan valo toistuu sinertävänä. [4.]



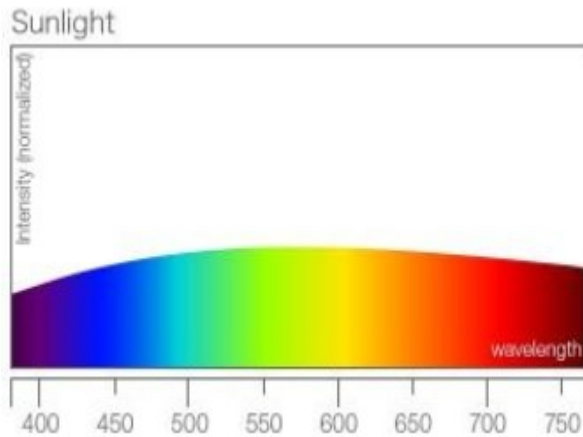
Kuva 2. Demonstraatio värilämpötilojen eroista käytännössä [4]

Huonon CRI:n, eli värintoistoindeksin ( $R_a$ -indeksi), valonlähde säteilee valoa kapealla aallonpituusalueella, jolloin osa väreistä ei toistu kunnolla tai lainkaan. Valaistuksen värintoisto voi olla lähes monokromaattista. Monokromaattinenkin valo voi sopia joihinkin sovelluksiin silloin, kun värintoistolla ei ole suurta merkitystä. Esimerkiksi pienpainenatriumlampun keltainen värintoisto on energiatehokas ratkaisu, sillä ihmissilmä on herkkä sen emittoimalle aallonpituusalueelle [5].

Pienpainenatriumlamppuja ei kuitenkaan enää suunnitella sijoitettavaksi uudiskohteisiin osin juuri niiden huonon värintoiston takia.

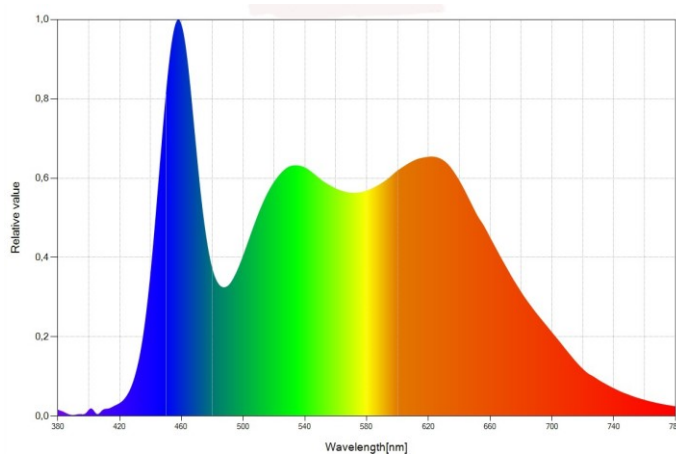


Kuva 3. Pienpainenatriumlampun lähes monokromaattinen aallonpituusalue, CRI 0, 1700 K.



Kuva 4. Päivänvalo, CRI 100. Auringonvalon värilämpötila riippuu auringon ja tarkastelijan suhteellisesta sijainnista, säästä ja ilmanlaadusta. Auringonvalon värilämpötila voi vaihdella hyvin lämpimästä hyvin kylmään.

Hyvällä värintoistoindeksillä suurin osa väreistä tai kaikki värit toistuvat, mutta valon värilämpötila kuitenkin vaihtelee säteilyn aallonpituuksien intensiteetin mukaan, kuten kuva 5 osoittaa.



Kuva 5. Erään led-putken spektrijakauma, CRI >80, n. 5000 K, viileä valkoinen valo.

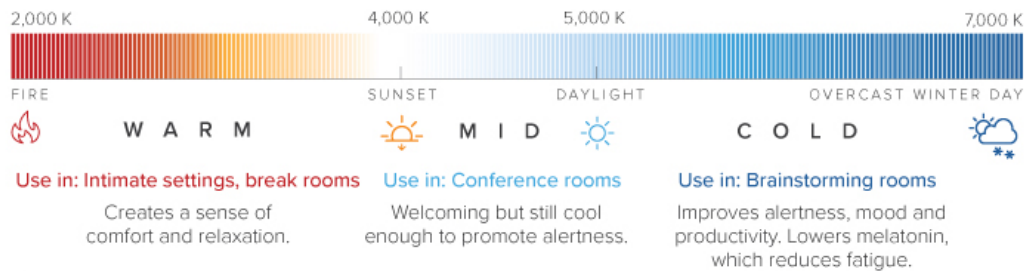
Valon värilämpötilan vaikutuksesta ihmiseen on tehty lukuisia tutkimuksia. Mediassa on ollut esillä älylaitteiden tuottama sininen/kylmä valo, joka voi hankaloittaa nukahtamista, mikäli ihminen operoi näitä laitteita illalla. Tämä perustuu siihen, että melatoniinin tuotanto häiriintyy sinisestä aallonpituudesta, jota luonnossa esiintyy enemmän päivällä kuin auringon noustessa tai laskiessa. Tätä joissakin olosuhteissa haitallista vireyttä



ylläpitävää vaikutusta voidaan kuitenkin myös hyödyntää valaistavan kohteen funktiosta riippuen.

### How Lighting Affects Productivity

One of the most striking factors influencing how we work is the color temperature — measured in Kelvin (K) — of the light sources we're exposed to on a regular basis.



Sources:  
<http://www.westinghouselighting.com/color-temperature.aspx>  
<https://www.jcircadianrhythms.com/articles/10.1186/1740-3391-5-2/>

Kuva 6. Väriämpötila vaikuttaa ihmisen hormonituotantoon ja sitä kautta mielentilaan, tuottavuuteen ja tarkkuuteen [6].

Lämpimällä valolla on rauhoittava vaikutus, kun taas kylmä valo vähentää melatoniinin tuotantoa ja siten pitää vireyttä yllä [7]. Valaistuksen väriämpötilaa hyödyntämällä voidaan siis tukea ihmisen biologista vuorokausirytmää. Julkisissa tiloissa, kuten koulut ja kirjastot, on aukioloaikojen ja käyttötarkoitusten vuoksi usein järkevää käyttää viileää päivänvaloa. Esimerkiksi potilashuoneissa väriämpötilan säädettävyys ihmiselle luonnollisen vuorokausirytmien mukaan on kuitenkin huomioitava seikka potilaan hyvinvoinnin kannalta. Sen on myös havaittu lyhentävän toipumisaikoja. [8].

## 2.2 Valaistusvoimakkuus ja valovirta

Valaistusvoimakkuus (tunnus  $E$ , yksikkö  $lx$ ,  $lm / m^2$ ) on pinnalle osuvan valovirran (tunnus  $\Phi$ , yksikkö  $lm$ ) suhde valaistavan pinnan alaan (tunnus  $A$ , yksikkö  $m^2$ ) kaavalla  $E = \frac{\Phi}{A}$ . Tietyn valaistusvoimakkuuden saavuttamiseksi täytyy siis tietää joko käytettävä valovirta tai valaistava pinta-ala, mutta käytännössä aina valaistavan kohteen pinta-ala on tiedossa ja tarvittava valovirta määritellään sen perusteella. Haluttu sisätilojen valaistusvoimakkuus määritellään usein standardin SFS-EN 12464-1 vähimmäisvaatimuksien mukaisiksi, jolloin se työsuojeluhallinnon tulkinnan mukaan

täyttää myös työturvallisuuslain 23.8.2002/738 34 § määritelmän riittävän tehokkaasta valaistuksesta. [9; 10.]

Taulukko 1. Oppilaitosten valaistuksen tason ja laadun raja-arvoja, sisävalaistusstandardi SFS-EN 12464-1.

Tila, tehtävä tai toiminta	$\bar{E}_m$ lx	$UGR_L$ –	$U_o$ –	$R_a$ –	Erityisvaatimukset
Luokkahuoneet, opetustilat	300	19	0,60	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
Luokkahuoneet iltaikäytössä ja aikuisopiskelijoille	500	19	0,60	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä
Auditorio, luentosali	500	19	0,60	80	Valaistuksen tulisi olla säädettävä erilaisiin A/V -tarpeisiin
Liitutaulut ja kirjoitustaulut	500	19	0,70	80	Suuntaheijastumisia on vältettävä Esiintyjä/opettaja on valaistava sopivalla pystysuoralla valaistusvoimakkuudella
Havaintopöytä	500	19	0,70	80	Luentosaleissa 750 lx
Piirustussalit	500	19	0,60	80	
Piirustussalit taidekoulussa	750	19	0,70	90	5 000 K < $T_{CP}$ 6 500 K.
Teknisen piirustuksen salit	750	16	0,70	80	
Harjoitussalit ja laboratoriot	500	19	0,60	80	
Käsityöluokat	500	19	0,60	80	
Teknisen työn opetustilat	500	19	0,60	80	
Musiikkiluokat	300	19	0,60	80	
ATK-luokat (valikko-ohjaus)	300	19	0,60	80	Tietokonenäytöt, katso 4.9
Kielistudiot	300	19	0,60	80	
Valmisteluhuoneet ja työpajat	500	22	0,60	80	
Sisäänkäyntihallit	200	22	0,40	80	
Kulkuväylät, käytävät	100	25	0,40	80	
Portaat	150	25	0,40	80	
Oppilaiden yhteistilat ja kokoontumistilat	200	22	0,40	80	
Opettajainhuoneet	300	19	0,60	80	
Kirjasto: kirjahyllyt	200	19	0,60	80	
Kirjasto: lukutilat	500	19	0,60	80	
Opetusvälinevarastot	100	25	0,40	80	
Urheiluhallit, voimistelusalit, uima-altaat	300	22	0,60	80	Katso harjoitustilanteita varten EN 12193.
Kouluruokat	200	22	0,40	80	
Keittiö	500	22	0,60	80	

Huomioitava raja-arvoja ovat keskimääräisen valaistusvoimakkuuden huoltoarvon  $E_m$  ja värinotoindeksi  $R_a$  (= CRI) lisäksi taulukon  $UGR_L$ , eli suurin sallittu kiusahäikäisyarvo

ja  $U_0$ , eli valaistuksen tasaisuus, joka kuvaa työalueen pienimmän valaistusvoimakkuuden suhdetta sen keskimääräiseen valaistusvoimakkuuteen. Valaistuksen valaistusvoimakkuus ei saisi laskea alle huoltoarvon.

Kiusahäikäisyarvon toteaminen valaistusta suunnitellessa voi olla ongelmallista korvatessa loisteputkia led-putkilla, sillä korvaavilla led-putkilla on loisteputkia korkeampi pintaluminanssi ja ne siten voivat häikäistä joissakin valaisimissa, joissa loisteputki ei häikäissyt. Loisteputkivalaisinten valmistajan antama taulukkoarvo kiusahäikäisyyllä pätee vain loisteputkikäytössä. Valaistuksen tasaisuus  $U_0 = \frac{E_{min}}{E_m}$  eli valaistusvoimakkuuden minimiarvo jaettuna valaistusvoimakkuuden keskiarvolla, on merkityksellinen terveydellisistä ja esteettisistä syistä. Suuri valaistusvoimakkuuden vaihtelu voi aiheuttaa suurta pintaluminanssin vaihtelua, ja sitä kautta näköväsymystä silmien jatkuvan sopeutumistarpeen vuoksi. Valaistusvoimakkuuden suuri vaihtelu voi myös tuottaa tilaan ei-toivottuja varjoja. [11.]

Valaistussuunnittelussa ennen ledien suosiota valaistuksen tasaisuus on huomioitu valaisimia valitessa sillä oletuksella, että niissä käytetään ympärisäteilevää valonlähdetä, kuten loisteputkilamppua tai monimetallilamppua. Tilan alkuperäinen valaistus voi siis muuttua, kun valaisinrunkoon asennetaan ei-ympärisäteilevä valonlähde kuten led-lamppu, joka ei täysin tai lainkaan hyödynnä valaisimen heijastimia ja niillä aikaansaatu valaisimen alkuperäistä valonjakokäyrää, eli valovoiman intensiteetin jakautumista eri säteilykulmiin. Tämä lampun vaihdolla toteutettu alkuperäisen valaistussuunnitelman mukaisen valaistuksen muutostyö ilman suunnitelmaa todennäköisemmin heikentää valaistuksen laatua kuin parantaa sitä.

Led-valaistukseen siirryttäessä huomioitavaa on myös, että korvattavien loisteputkilamppujen elinikä määritellään siten, että nimellispolttoian jälkeen 50 % lamputista on rikki [12], kun taas led-lampuilla käytetään LXXB50-merkintää. Esimerkiksi L70B50 tarkoittaa sitä, että ihanteellisissa käyttöolosuhteissa 50 % lamputista tuottaa 70 % alkuperäisestä valovirrastaan nimellispolttoian jälkeen. Loisteputkilamppujen ryhmävaihtoväli määritetään usein lamppujen rikkoontuneisuusprosentin kautta, joten led-lamppujen hidas himmeneminen tuo uusia haasteita ryhmävaihdon tarpeellisuuden määrittelyyn. Tilojen käyttäjä ei välttämättä aina laita helposti merkille

valaistusvoimakkuuden laskeneen alle ohjearvojen, kun muutos on hidasta ja kokonaan pimentyneitä lamppuja ei välttämättä ole.

### 2.3 Valonjakokäyrä

Piirrettynä esitettyssä valonjakokäyrässä tarkastellaan valonlähteen valovoimaa per 1000 lumenia (cd/klm) useimmiten kahdella C-tasolla valaisimen pituusakseliin (valonjakokäyrän katkeamaton viiva) ja poikittaisakseliin nähden (katkoviiva) [16]. Valonjakokäyrä voidaan myös esittää numeerisessa muodossa, jolloin C-tasoja on tyypillisesti useita. Valaistussuunnittelija pystyy valonlähteiden valonjakokäyrien avulla laskemaan pinnan pisteen valaistusvoimakkuuden, kun pinta on kohtisuoraan tulevaan valoon nähden neliölain mukaisella kaavalla  $E(\text{lux}) = I(\text{cd}) / (d(\text{m}))^2$ . Muissa tapauksissa pinnan pisteen valaistusvoimakkuuden voi laskea kosinilain mukaisella kaavalla  $E_h = (I_\alpha / d^2) * \cos \alpha$ . Nämä kaavat eivät ota huomioon pinnoista heijastuvaa valoa.

$E$  = pisteen x valaistusvoimakkuus

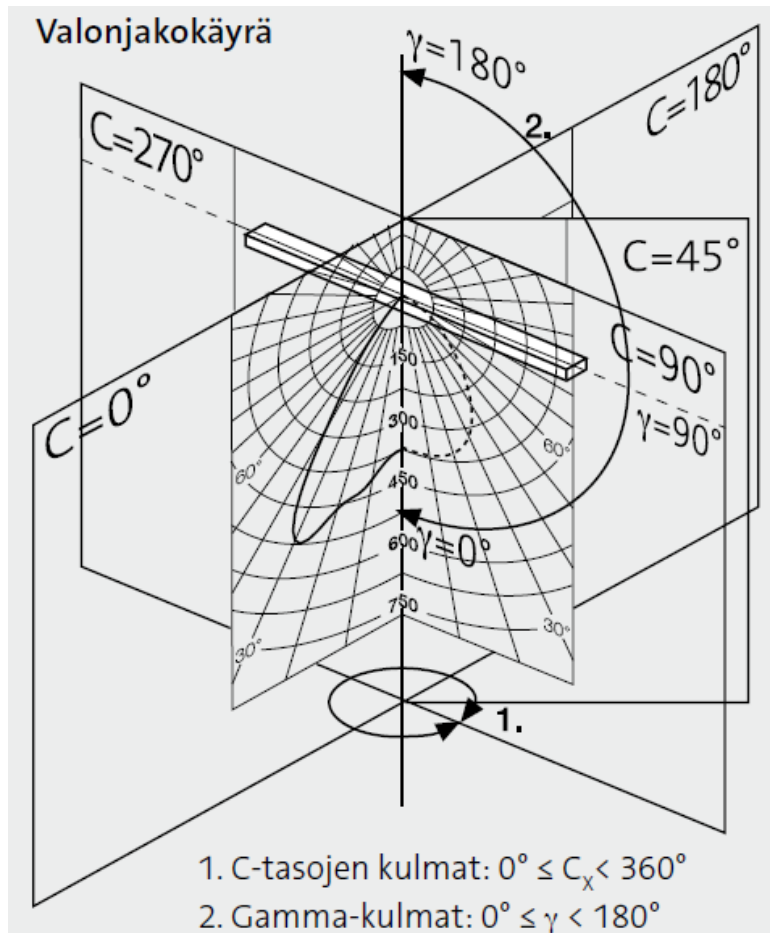
$I$  = pisteeseen x kohdistuva valovoima, joka saadaan valonlähteen valovirran tuhannesosan ja valonjakokäyrän pisteen x arvon tulosta

$d$  = pisteen x etäisyys valonlähteen keskikohdasta

$E_h$  = vaakasuoran tason valaistusvoimakkuus tarkasteltavassa pisteessä y

$I_\alpha$  = valovoima tarkasteltavan pisteen y suuntaan

$\alpha$  = pinnan normaalin ja valon tulosuunnan välinen kulma pisteessä y.

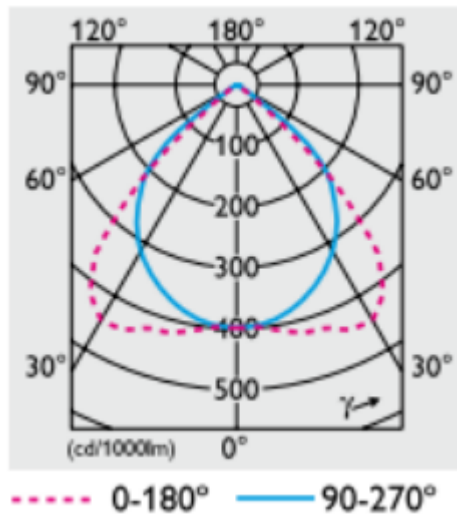


Kuva 7. Havaintokuva valonjakokäyrän tulkintaperiaatteesta [16].

Valonlähteen valonjako määritellään mittauksin tyypillisesti valmistajan toimesta. Valaisimen alkuperäisesti suunnitellun valonlähteen valonjakokäyrän muuttuessa myös valaisimesta tulevan valon valonjakokäyrä muuttuu, ja se tulisi mitata, mikäli uutta valonjakokäyrää halutaan käyttää apuna valaistussuunnittelussa. Mitä identtisempi uusi valonjakokäyrä on vanhaan valonjakokäyrään nähden, sitä vähemmän pintojen suhteelliset valaistusvoimakkuudet muuttuvat, jolloin riski valaistuksen näkyvään laadulliseen heikkenemiseen vähenee.

Sisätyökohteiden valonlähde valitaan onnistuneesti valaistavan tilan tarpeet, tilan haluttu profiili, standardin SFS-EN 12464-1 vaatimukset, tilan olosuhteet ja tilan valaistuksen elinkaarikustannukset huomioiden.

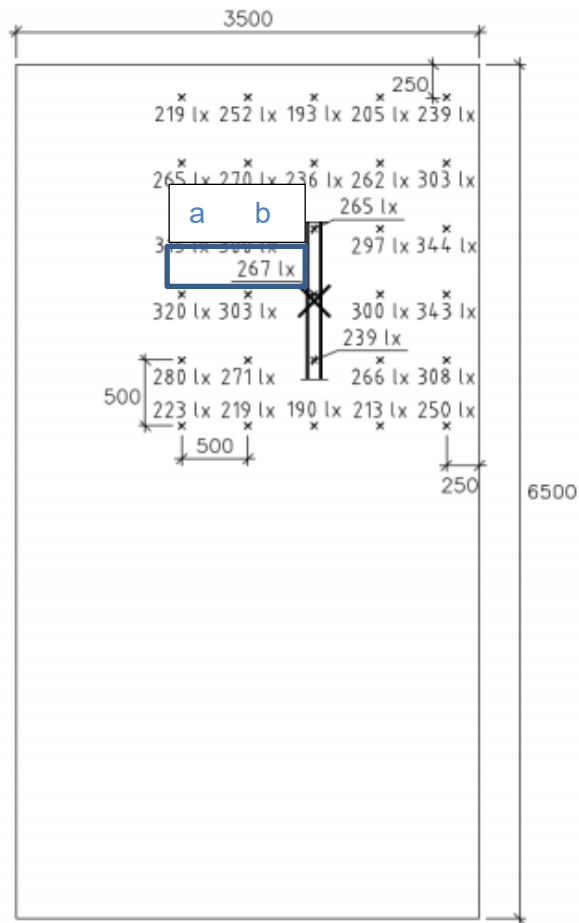
Valaistusta suunniteltaessa on valonjaon osalta tärkeää huomioida tilan valaistuksen tasaisuus, sylinterivalovoimakkuus, seinä- ja kattopintojen valaistusvoimakkuus [15] sekä mahdollinen kohdevalaistus työpisteille, taiteelle tai muuten korostettaville alueille. Kuvassa 8 on esitetty erään valaisimen valonjakokäyrä, kun siinä käytetään tasaisesti ympärisäteilevää valonlähdettä. Kun valaisimeen asennetaan ei-ympärisäteilevä valonlähde kuten led-putki, valaisimen valaistusvoimakkuusjakauma muuttuu.



Kuva 8. Philipsin TBS 600 HF-P D7-60 PI -valaisimen valonjakokäyrä [13].

Lasse Anttonen on tarkastellut opinnäytetyössään [13] korvaavan valonlähteen käyttämisestä syntyviä muutoksia tilan valaistusvoimakkuuteen, kun valaisin säilyy alkuperäisenä.

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



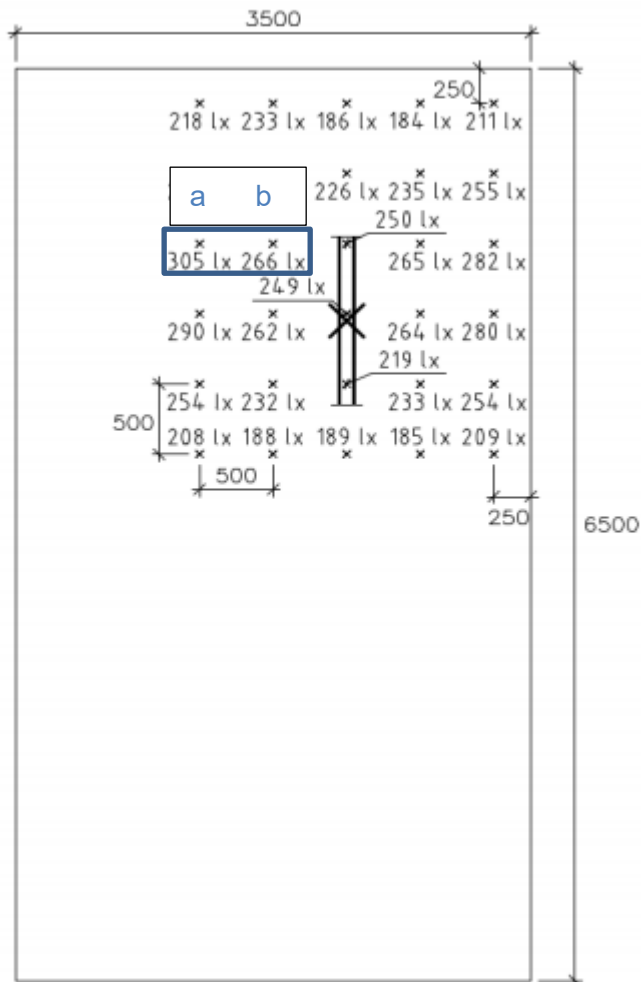
Huoneen korkeus 3m  
 Laskentapisteeet lattian tasossa  
 Valaisimen asennuskorkeus on 2600 mm  
 Keskimääräinen valaistusvoimakkuus = 265 lx

Kuva 9. Loisteputkien valaistusvoimakkuuden jakauma Philipsin TBS 600 HF-P D7-60 PI - valaisimessa [13].

LED-loisteputket

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

Valaistusvoimakkuus lattialla



Huoneen korkeus 3m

Laskentapisteet lattian tasossa

Valaisimen asennuskorkeus on 2600 mm

Keskimääräinen valaistusvoimakkuus = 238 lx

Kuva 10. Led-putkien valaistusvoimakkuuden jakauma Philipsin TBS 600 HF-P D7-60 PI - valaisimessa [13].

Kuvissa 7 ja 8 havainnollistuvat valonjaon muuttuminen lattiatasolla, kun samassa valaisimessa käytetään keskenään erilaisten valonjakokäyrien valonlähteitä. Alkuperäisiin kuviin lisätyissä rajauksissa havaitsemme, että kyseisissä pisteissä loisteputkilampun valaistusvoimakkuus kasvaa pisteestä b pisteeseen a  $(315 \text{ lx} / 300 \text{ lx} - 1) * 100 \% =$



5,0 %, kun vastaava lukema led-lampulla on  $(305 \text{ lx} / 266 \text{ lx} - 1) * 100 \% = 14,7 \%$ . Useamman valaisimen ryhmissä, riippuen valaisinten keskinäisistä etäisyyksistä, tämä luku voi kertaantua, ja joissakin tapauksissa aiheuttaa näkyviä kirkkauseroja pinnoille, kun osa pisteistä jää alkuperäistä valaistusta heikommin valaistuksi, ja osassa valaistusvoimakkuus kasvaa alkuperäisestä. Pahimmillaan joidenkin pisteiden luminanssi voi kasvaa häiritseväksi.

Huomionarvoista on myös eri valonlähteillä aikaansaattava keskimääräinen valaistusvoimakkuus. Moni valmistaja markkinoi led-putkia korvaavina tuotteina loisteputkilampuille, vaikka valaisimesta lähtevä todellinen valovirta korvaavalla led-putkella olisi merkittävästi alhaisempi kuin korvattavalla loisteputkilampulla. Rärkeimmillään tämä on johtanut siihen, että erään ikkunallisen liikuntasalin keskimääräinen valaistusvoimakkuus loisteputkilamppujen led-putkilla korvaamisen jälkeen ylitti päivällä tilan keskimääräisen valaistusvoimakkuuden ohjearvon vain 5-10 %:lla valojen ollessa päällä. Tämä johtaa siihen, että pimeän aikaan ohjearvoon ei mahdollisesti päästä, sekä siihen, että lamppujen käyttöikä on markkinoitua lyhyempi, mikäli valaistusvoimakkuuksien ohjearvoista halutaan pitää kiinni. Liikuntasalissa ei suoritettu mittauksia päivänvalo huomioiden. Silmämääräisesti todettiin, että tila ei hämärtenyt merkittävästi, kun valot laitettiin pois päältä.

Led-lamput ja -valaisimet tulisi aina ylimitoitaa ohjearvosta himmenemisen ja rikkoontumisen takia huoltoväliä silmällä pitäen. Esimerkiksi jos tilaan, jossa keskimääräisen valaistusvoimakkuuden ohjearvo on 300 lx vaihdetaan led-lamput, jotka antavat heti asennuksen jälkeen keskimäärin tasan 300 lx, pitäisi ne vaihtaa käytännössä heti ensimmäisen käytön jälkeen, jos ohjearvoja halutaan noudattaa absoluuttisesti. Ylimoitituksen määrä riippuu käytetystä lampusta ja/tai valaisimesta ja halutusta huoltovälistä.

### 3 Led-siirtymässä huomioitavaa T5- ja T8-valaisimilla

#### 3.1 Tekninen toteutus

##### 3.1.1 Valaisimen vaihtaminen

Loisteputkivalaisinten korvaaminen led-valaisimilla on valaistuksen laadun suhteen helpoin ratkaisu, kun uusien valaisinten valaistusominaisuuksia voi suoraan verrata vanhojen valaisinten ja valonlähteiden ominaisuuksiin. Valaisinten vaihtamisessa tarvitaan sähköalan ammattihenkilöä vanhojen valaisinten irrottamiseen ja uusien valaisimien kytkemiseen, sekä valaisinten tuleviin ryhmävaihtoihin, mikäli valaisimen vaihtaminen sisältää mitään sähkötöitä. Valaisimien vaihtaminen voi kiinnitystavasta riippuen olla huomattavasti hitaampaa kuin putkien vaihtaminen, ja vanhoilla loisteputkivalaisinrungoilla on monesti hyödynnettävää elinkaarta jäljellä. Led-valaisimien muoto ja koko voi poiketa korvattavasta loisteputkivalaisimesta. Kattopintaa voi joutua maalaamaan, jos led-valaisin on korvattavaa pitkään käytettyä loisteputkivalaisinta pienempi, tai vaihtoehtoisesti tyytyä katon värieroihin. Alakattoon asennettavissa valaisimissa alkuperäisen valaisimen upotusreikä voi myös olla liian suuri tai väärän muotoinen, jolloin reikää voi jäädä näkyviin valaistusteknisiltä ominaisuuksiltaan sopivaa led-valaisinta asennettaessa. Tämä johtaa joko alakaton muutostöihin tai sekä ulkomitoiltaan, asennusmitoiltaan että valaistusteknisiltä ominaisuuksiltaan sopivan valaisimen etsimiseen. Sopimustukkureiden valaistusportfolion rajattu koko huomioiden alakaton muutostyö on monesti ainoa ratkaisu, kun valaistuksen laadusta halutaan pitää kiinni.

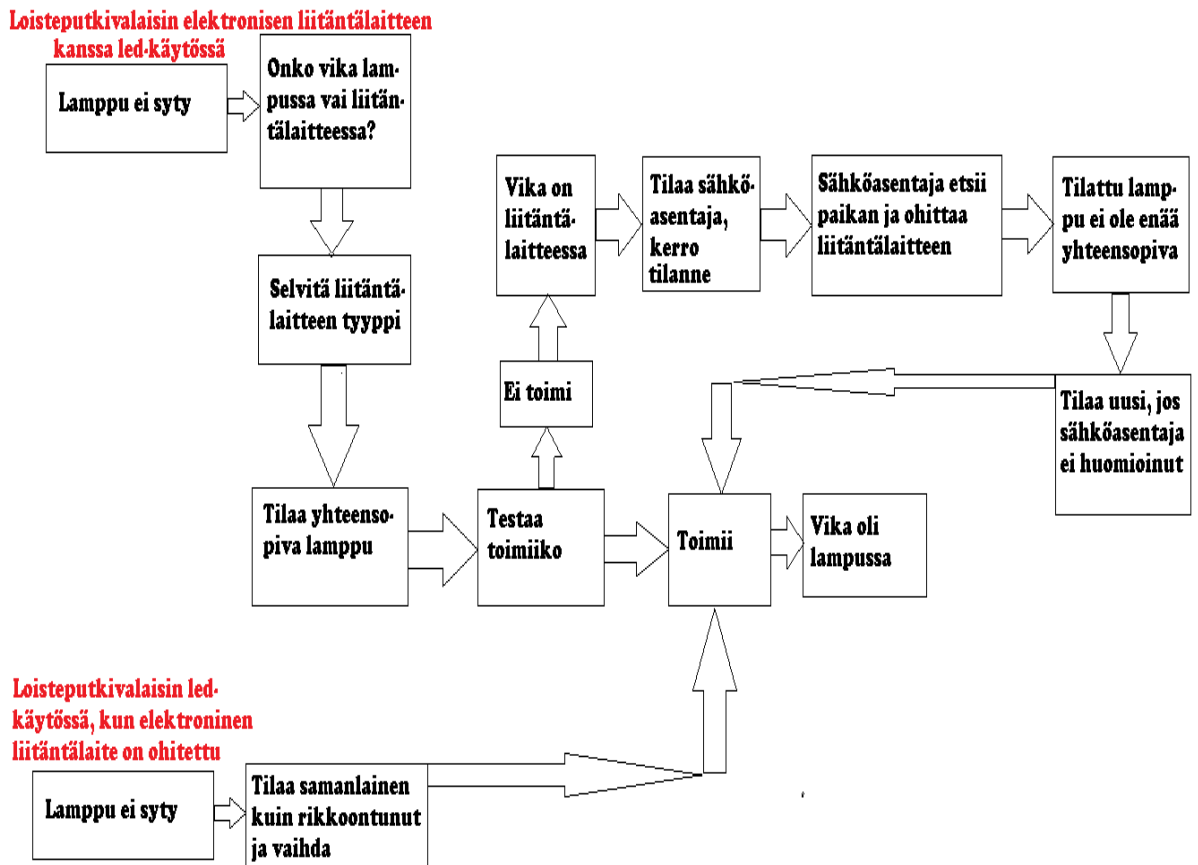
Valaisimien uudistaminen siis osaltaan kasvattaa led-siirtymän kustannuksia poistoina ja investointeina sekä kasvattaa tulevia huoltokustannuksia. Led-valaisimien etuna on tiedossa olevat valaistusominaisuudet sekä valaisinrunkojen sopivuus led-käyttöön. Loisteputkivalaisimissa ei ole kiinnitetty huomiota ledien jäähdytykseen, ja lämpö lyhentää led-lampun polttoikää merkittävästi. Nyrkkisääntönä on ledin eliniän puolittuminen lähiympäristön lämpötilan noustessa kymmenellä asteella [17].

### 3.1.2 Loisteputkilampun korvaaminen ja valaisimen muutostyöt

Loisteputkivalaisimeen voi vaihtaa suoraan yhteensopivan led-putken. Käytännön haasteita kuitenkin tulee siinä, että julkisissa tiloissa käytettävien loisteputkivalaisinten elektronisten liitännälaitteiden malleja ei ole dokumentoitu, ja yksittäisessä kohteessa voi olla useampia malleja huoltojen seurauksena. Yhteensopimaton pari johtaa joko siihen, että led-lamppu ei toimi halutulla tavalla tai rikkoontuu ennen aikojaan. Joissakin tapauksissa led-lamppu ei syty siksi, että se ei matalamman tehonkulutuksensa vuoksi ylitä elektronisen liitännälaitteen minimivirtaa, vaikka se olisikin muuten yhteensopiva. Lisäksi liitännälaitteet tulevat lopulta elinikänsä päähän, jolloin niitä pitää vaihtaa, jotta lamput toimisivat, ja tämä kasvattaa juoksevia huoltokustannuksia.

Pienissä tiloissa yksittäisen liitännälaitteen rikkoutuminen voi aiheuttaa sähköasentajan huoltokäynnin, ja vaikka laite ei ole kallis eikä huoltotoimenpide ole vaativa, voi pelkkiin matkoihin ja huoltotoimenpidettä odottavan tilan etsimiseen kulua runsaasti aikaa. Elektronisen liitännälaitteen energiahäviöt eivät ole merkittäviä liitännälaitteen tehokertoimen ollessa jopa 0,98.

Elektroninen liitännälaitte kannattaa led-käyttöön siirtyessä ohittaa pääosin huoltojen helpottamiseksi. Kiinteistönhoidon tulisi ilman ohitusta pahimmillaan tilata yksittäiseen tilaan useita erilaisia led-lamppuja ja selvittää vaihdettaessa mikä lamppu kuuluu mihinkin valaisimeen.

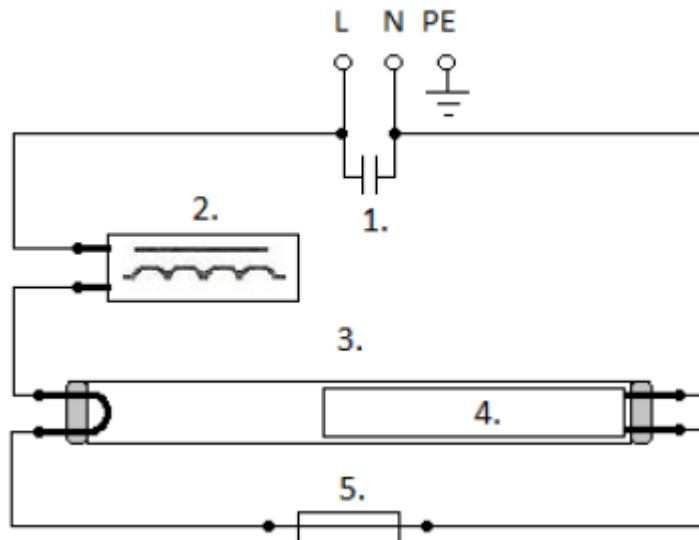


Kuva 11. Yksinkertaistettu prosessikaavio toimenpiteistä, kun lamppu ei toimi.

Kuvasta 11 poiketen vikana voi myös olla sulakkeen, johdonsuojakatkaisijan tai vikavirtasuojakytkimen toiminta, tai muu sähköinen vika, kuten liitoskohtien pettäminen, sytyttimen rikkoontuminen tai johtimen katkeaminen. Suojalaitteiden aktivoituminen ja sytyttimen rikkoontuminen tulisi rajata pois ennen uuden lampun tilaamista. Muiden vikakohtien etsiminen alkaakin tyypillisesti siitä, kun uusi lamppu ei syty ja vian rajausta on suoritettu. Myös elektronisella liitäntälaitteella varustetuissa valaisimissa uusi lamppu voidaan tilata suoraan pimentyneen lampun tiedoilla, mikäli lamppu on alun perin valittu oikein. Prosessikaaviossa kuitenkin havainnollistuu huoltoprosessin raskaus vanhemmissa kohteissa, joissa liitäntälaitteiden tyyppi ei usein ole saman mallinkaan valaisimissa homogeeninen sähkökunnossapidon loisteputkikäyttöön kohdistuvien huoltotoimenpiteiden seurauksena.

Magneettisella virranrajoittimella, eli kuristimella toimivissa loisteputkivalaisimissa ei esiinny samankaltaisia yhteensopivuusongelmia, mikäli niihin valitaan soveltuva led-

putki. Kuristin ja kompensointikondensaattori ovat kuitenkin rikkoontuvia sekä led-käytössä turhia ja energiaa kuluttavia komponentteja, jotka sähköasentaja voi ohittaa tai poistaa niiden rikkoutuessa. Molemmat komponentit on syytä ohittaa tai poistaa samalla kerralla joko kapasitiivisen loistehon minimoimiseksi tai magneettisen kuristimen tehonkulutuksen ja huoltotarpeen vuoksi. Kyseisten oheislaitteiden poistamisella saavutetaan led-käytössä noin 15 % parempi energiatehokkuus [18].



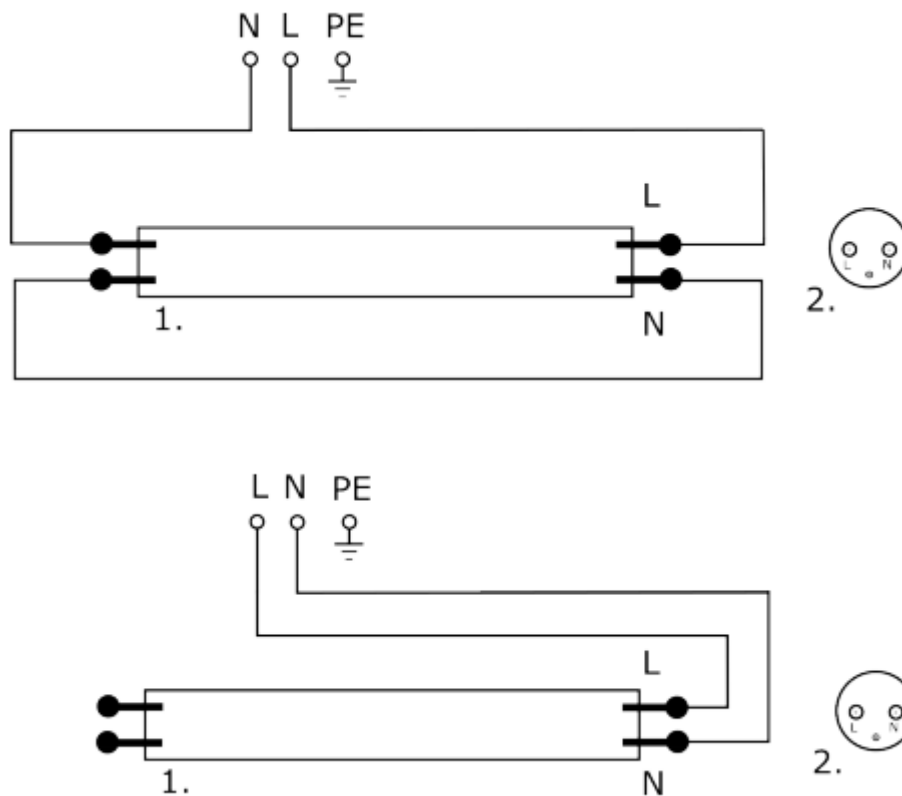
Kuva 12. 1. Kompensointikondensaattori, 2. Magneettinen kuristin, 3. led-putki, 4. led-putken sisäinen elektronikka, 5. EMP-sytytin [19].

KytKentäkuvassa loisteputkivalaisimen laitteita ei ole ohitettu tai poistettu. Magneettisen kuristimen rikkoutuessa virtapiiri lampulle katkeaa, jolloin valaisimen huoltaminen vaatii sähköasentajan käynnin. KytKentäkuvan perusteella virta kulkee yhä kondensaattorin läpi tuottaen verkkoon kapasitiivista loistehoa, vaikka kuristin olisikin rikki. Huomioitavaa led-putkeen vaihdettaessa on perinteisen loisteputkivalaisimen sytyttimen korvaaminen EMP-sytyttimellä.

Led-putki on usein valotehokkuudeltaan ja tehokertoimeltaan korvattavaa loisteputkilamppua parempi, joten saman valaistusvoimakkuuden saavuttamiseksi magneettisen kuristimen läpi kulkee led-käytössä vähemmän virtaa kuin sen alkuperäisessä käytössä, jolloin kuristimen induktiivisen loistehon tuotto on suunniteltua alhaisempi. Tämä johtaa siihen, että kompensointikondensaattori on käyttöön

ylimitoitettu ja valaisin tuottaa verkkoon kapasitiivista loistehoa myös kuristimen ollessa käytössä.

Pelkän kondensaattorin rikkoutuminen voi jopa parantaa valaisimen tehokerrointa led-putkien kapasitiivisen luonteen vuoksi, eikä se vaikuta valaisimen toimintaan. [20]



Kuva 13. Kytkentäkuva loisteputkivalaisimen komponenttien ohittamisesta led-käyttöön [19].

Kuvassa esitetään tämän hetken huoltovarmimmat ja energiatehokkaimmat kytkennät, eli loisteputkikäyttöön tarkoitettujen komponenttien ohittaminen. Valaisimeen asennettavan led-putken tulee tässäkin käytössä olla yhteensopiva muuhun kytkentään, eli tässä verkkojännitteellä käytettävä. Suoralla verkkojännitteellä käytettäessä EMP-sytytintä ei tarvita.

Elektronisen liitäntälaitteen, kompensointikondensaattorin ja kuristimen ohittaminen ovat valaisimen muutostöitä, joita saa tehdä vain sähköalan ammattilainen. Valaisinvalmistajan vastuu valaisimen turvallisuudesta ja muusta

vaatimuksenmukaisuudesta siirtyy muutostyön tekijälle. Valaisimiin tulee laittaa uusi arvokilpi, josta käy ilmi muutostyön tekijän yhteystiedot sekä muutoksen laatu sekä selkeä maininta siitä, että valaisimet on muutettu led-käyttöön. Perinteisen sytyttimen korvaamista EMP-sytyttimellä ei lueta tällaiseksi muutostyöksi. [14.]

## 3.2 Taloudellisuus

### 3.2.1 Korkeat tilat

Lamppujen tai valaisimien vaihto korkeassa tilassa vaatii telineen tai henkilönostimen, joka kasvattaa ryhmävaihdon ja huoltotyön kustannuksia. Telineen kasaaminen, käyttöönottotarkastus, siirtely ja siinä liikkuminen on aikaa vievää työtä verrattuna matalamman tilan tikkailla tapahtuvaan työhön, ja voi jopa kaksinkertaistaa resursoinnin tarpeen suhteessa tikastyöhön. Henkilönostimella itse työ on telinetyöskentelyä nopeampaa, mutta vuokra ja kuljetukset maksavat enemmän, eikä nostinta aina voi käyttää esimerkiksi lattiamateriaalin tai kulkuväylien ahtauden takia.

Korkeissa tiloissa voi monesti olla suotavaa käyttää pidemmän polttoajan led-lamppuja tai valaisimia huoltovälin harventamiseksi, mikäli valaisimen likaantumisen ei katsota olevan merkityksellistä valaistuksen hyötysuhteen kannalta, kuten silloin, jos valaisimen heijastimet päätetään jättää hyödyntämättä. Valonlähteet voidaan myös ylivoimaisesti käyttää maksimoimiseksi, mutta tämä kasvattaa energiankulutusta. Mikäli 50 000 h käyttöä 20 W:n led-putki ylivoimitettaisiin 10 %-lla ja käytettäisiin sen sijaan 22 W:n led-putkea se saisi lisää käyttöikää, mutta kuluttaisi enemmän energiaa kuin ei-ylivoimitettu. Sähkön hinta ja energiatehokkuus huomioiden led-putkien ylivoimitaminen ei välttämättä kannata edes korkeissa tiloissa, vaikka huoltokustannukset ovat normaalikorkuisia tiloja matalammat. Taulukoissa esitetyt 10 %-lla ylivoimitetut led-putket ja -valaisimet eivät todellisuudessa ole polttoajaltaan 10 % parempia. Led-valonlähteiden valovirran alenema ei ole lineaarinen vaan eksponentiaalinen ja valaisimen käyttölämpötila on suurempi korkeampitehoisilla led-putkilla. Nämä huomioiden ylivoimitetun led-putken tai -valaisimen käyttökustannukset ovat taulukoissa esitetyt arvoja korkeammat.

Taulukko 2. Korkea tila, jossa on 40 kpl kaksiputkisia valaisimia. Vaihtotyö kestää huoltomieheltä päivän.

20W led-putki						
	€/h	€/pv	€/kpl	€/MWh	yksikköä	euroa
Huoltomies	30				7,5	225
Nosturivuokra		70			1	70
Nosturin siirrot			160		1	160
Sähkön kulutus				100	80	8000
Lampun hinta			5		80	400
Yhteensä						<b>8855</b>
				tuntia		snt/h
			Huoltoväli	50000		17,71
22W led-putki						
	€/h	€/pv	€/kpl	€/MWh	yksikköä	euroa
Huoltomies	30				7,5	225
Nosturivuokra		70			1	70
Nosturin siirrot			160		1	160
Sähkön kulutus				100	96,8	9680
Lampun hinta			5,2		80	416
Huoltoväli						<b>10551</b>
				tuntia		snt/h
			Huoltoväli	55000		19,18364
					ero, %	8,320928

Ylimiittäminen ei tässä esimerkkilaskelmassa kannata taloudellisesti eikä energiataloudellisesti. Valojen käyttäminen maksaa ylimitoitettussa esimerkissä 8,3 % enemmän ja kuluttaa 10 % enemmän sähköä. Hinnat ovat todellista vastaavia arvioita ALV 0 % talvella.



Taulukko 3. Saman tilan arvioidut käyttö- ja huoltokustannukset, mikäli tilaan asennettaisiin saman valotehokkuuden led-valaisimet led-putkikäyttöön muutettujen valaisinten tilalle. Sähköasentajalla kestää työssä kolme päivää.

40W led-valaisin						
	€/h	€/pv	€/kpl	€/MWh	yksikköä	euroa
Sähköasentaja		263			3	789
Nosturivuokra		70			3	210
Nosturin siirrot			160		1	160
Sähkön kulutus				100	80	8000
Valaisimen hinta			14		40	560
Yhteensä						<b>9719</b>
				tuntia		snt/h
			Huoltoväli	50000		19,438
44W led-valaisin						
	€/h	€/pv	€/kpl	€/MWh	yksikköä	euroa
Sähköasentaja		263			3	789
Nosturivuokra		70			3	210
Nosturin siirrot			160		1	160
Sähkön kulutus				100	96,8	9680
Valaisimen hinta			15		40	600
Huoltoväli						<b>11439</b>
				tuntia		snt/h
			Huoltoväli	55000		20,79818
					ero, %	6,99754

Ylimittaminen ei kannata tässäkään tapauksessa, vaikka ero on pienempi korkeampien vaihtokustannusten takia. Valaisinten huoltoväli voi olla taulukon arvoa lyhyempi, sillä ilmoitettu led-valaisimen käyttöikä ei sisällä erillisen led-liitäntälaitteen käyttöikä.

Taulukossa 2 ja 3 huomioitavaa on ratkaisujen hinta. Taulukon 2 ratkaisu, jossa valaistusta ei ylimitoiteta ja valonlähteenä käytetään led-putkia, on noin 900 € halvempi kuin taulukon 3 vastaava ratkaisu, jossa valonlähteenä käytetään led-valaisimia, kun ratkaisujen valotehokkuus oletetaan samaksi.

Pitkä huoltoväli on energiatehokkuuden kannalta ongelmallista silloin, kun käytetään korkean avauskulman led-lamppua loisteputkivalaisimessa, sillä heijastimet likaantuvat ja menettävät hyötysuhdettaan. Lyhyempi huoltoväli on siis heijastinten puhdistamisen ja siten valaisimen valotehokkuuden kannalta oleellista. Heijastinten puhdistaminen on tehokasta suorittaa lamppuja vaihdettaessa.

Korkeissa tiloissa loisteputkivalaisinten avauskulma on tyypillisesti pienempi kuin matalissa tiloissa, eli luokkaa 60°, jolloin niissä voidaan mahdollisesti käyttää 60° avauskulman led-lamppuja. Tilanne olisi ideaali, mikäli loisteputkivalaisinten heijastimet voisi jättää kokonaan hyödyntämättä led-lamppujen kanssa, jolloin niiden likaantuminen ei vaikuttaisi valaistusvoimakkuuteen ja siten huoltoväliin tai valaisimen valotehokkuuteen lainkaan. Yksittäinen huolellisesti suunniteltu, arvioitu, mitattu ja dokumentoitu muutostyökohde tuo mahdollisuuden monistaa ratkaisua muihin samankaltaisiin tiloihin taloudellisesti kannattavimmalla tavalla ilman mainittavaa valaistuksen laadun heikkenemistä. Valaistuksen laadun arviointiin ja mittaukseen on suositeltavaa käyttää tuoreinta julkaisua ST-kortiston kortista ST 58.07, Valaistuksen laadun arviointi ja mittaus.

Monistamisessa on teoriassa tärkeää huomioida monistettavan tilan ala, valaisinten kiinnityskorkeus, lukumäärä ja etäisyydet toisistaan ja seinistä, valaisinten valonjakokäyrien samankaltaisuus, tilan pintojen heijastuskertoimet ja tilan käyttötarkoitus. Led-lamppujen loisteputkilamppuja huomattavasti korkeamman pintaluminanssin vuoksi myös itse lamppuista aiheutuva häikäisy tulee huomioida tilaa uusittaessa.

Käytännössä on kuitenkin helpompaa tehdä muutostyö yksittäiseen tilaan mitaten tilan valaistusvoimakkuus ja luminanssi ennen ja jälkeen valaisimen muutostyön, jonka jälkeen samaa led-lamppua voi tilakohtaisen arviointikäynnin jälkeen käyttää samankaltaisiin loisteputkivalaisimiin samankaltaisissa tiloissa, mikäli valaistuksen laatu

on pysynyt rajoissa mitatussa kohteessa. Tilakohtaisessa arviossa tulee todeta myös lampuista mahdollisesti aiheutuva häikäisy.

Valaistuksen laadun arviointi ja mittaus voi olla työläs prosessi. Ulkoa tulevan valon määrä olisi hyvä minimoida esimerkiksi peittämällä ikkunat, jotta vanhan ja uuden valaistuksen mittaustulokset sisältäisivät mahdollisimman vähän sään, kellonajan tai vuodenajan aiheuttamia poikkeamia.

Monistaminen vähentää suhteellisia kustannuksia, joten on huomionarvoista pohtia, että kannattaako monistamisessa ottaa käyttöön kuntarajat ylittävä tietopankki. Yksittäisen liikuntasalin valaistuksen muutostyön laadullisen onnistumisen toteaminen voi olla monistettavissa kymmeniin, tai jopa satoihin liikuntasaleihin koko Suomessa. Led-siirtymä on kunta-alan energiatehokkuussopimuksen myötä ajankohtaista suuressa mittakaavassa, ja yhteistyö voi siten tuottaa mittavia säästöjä valaistuksen laadun varmistamiseen. Myös tilakohtaiset kannattavuuslaskelmat ja vertailut valaistuksen uudistamisratkaisuista on monistettavissa.

Tietopankissa voisi olla esimerkiksi seuraavat tiedot yksittäisestä tilasta ja tilan valaisimista, kun loisteputkivalaisimet muutetaan led-putkikäyttöön:

- valaisinten asennuskorkeus
- käyttötarkoitus, tilan keskimääräisen valaistusvoimakkuuden huoltoarvo
- valaisinten lukumäärä per 10m<sup>2</sup>
- loisteputkilamppujen valovirta per valaisin
- valaisinten sijoittelu ja tilan muoto, tasokuva
- valaisimen valonjakokäyrä ympärisäteilevällä valonlähteellä
- korvaavana käytetyn led-putken tiedot
- mittaustulokset.

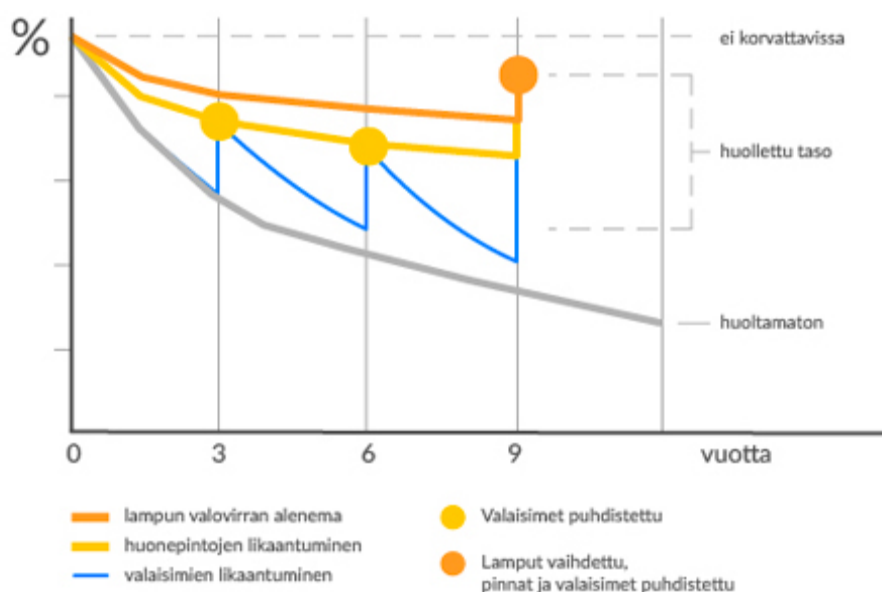
Valaisinten asennuskorkeuden ja -tiheyden, valaistusvoimakkuuden huoltoarvon ja alkuperäisen valaisinkohtaisen valovirran perusteella tietopankista voisi rajata yhteneväisiä kohteita, mikäli valaisimet on sijoitettu symmetrisesti ja tilan muoto on yhtenevä. Mikäli myös kohteissa käytettyjen valaisinten valonjakokäyrät ympärisäteilevällä valonlähteellä ovat yhtenevät, on ensimmäisessä tilassa

menestyksekkäästi korvaavana käytetty led-putki suurella todennäköisyydellä hyvä ratkaisu myös toiseen vastaavan kaltaiseen tilaan, kuten liikuntasaliin.

### 3.2.2 Normaalikorkuiset tilat

Normaalikorkuisissa tiloissa käytettävien loisteputkivalaisimien avauskulmat ovat tyypillisesti suurempia kuin korkeissa tiloissa tasaisen valaistuksen ja riittävän sylinteri- ja vaakatason valaistusvoimakkuuden suhteen saavuttamiseksi. Tämän vuoksi matalissa tiloissa on loisteputkia korvatta käytettävä korkeamman avauskulman led-putkia vastaavan valaistuksen tasaisuuden saavuttamiseksi, ja putkien asennussyvyyden seurauksena tämä johtaa usein valaisimen heijastimien hyödyntämiseen. Eräältä valonlähdevalmistajalta löytyy valikoimasta 320° avauskulman led-putki, joka hyödyntää valaisimen alkuperäisiä heijastimia lähes loisteputken lailla, ja sille on ilmoitettu 50 000 h:n käyttöikä. Loisteputkilampuilla (noin 10 000 h:n käyttöikä) valaisinhuolto on kunnalla toteutunut lamppujen ryhmävaihdon yhteydessä. Valaisinten huoltoväli led-putkikäytössä siis noin viisinkertaistuu, mikäli huolto suoritetaan myös jatkossa valonlähteiden ryhmävaihdon ohella.

Valmistaja ilmoittaa loisteputkivalaisimille valaistushyötysuhteen, eli LOR-arvon, joka kuvaa valaisimesta ulos tulevan valovirran suhdetta ympärisäteilevän valonlähteen valovirtaan valaisimen ollessa puhdas. Valaisimen heijastimien hyödyntäminen siis heikentää valaistuksen energiatehokkuutta, ja heijastimien likaantuminen heikentää heijastimien hyötysuhdetta.



Kuva 14. Huollon vaikutus valon määrään loisteputkilampuilla [21].

Suureen avauskulmaan valoa säteilevien led-putkien käyttäminen loisteputkivalaisimissa normaalikorkuisissa tiloissa on energiatehottomampi ratkaisu kuin korkeissa tiloissa, joissa heijastimia ei välttämättä tarvitse juurikaan hyödyntää tasaisen valaistuksen saavuttamiseksi. Tiiviit ja pinnalta helposti puhdistettavat led-valaisimet voivat olla normaalikorkuisissa tiloissa led-putkiratkaisua edullisempi vaihtoehto huolimatta mahdollisesti korkeammista huoltokustannuksista, sillä niissä ei hyödynnetä käytön kannalta epäolennaisia heijastimia. Valaisinvalmistaja määrittää led-valaisimien valonjakoa myös led-komponentteja suuntaamalla, jolloin valoa ei absorboidu heijastimeen heikentämään valotehokkuutta.

Korkean tilan taulukoista käy ilmi, että haastavissakin asennusolosuhteissa valtaosa led-valaistuksen elinkaarikustannuksista syntyy sähkön kulutuksesta. Tämä tarkoittaa sitä, että heijastimia hyödyntäviä led-putkia ei kannata ylivoimaisesti likaantumisen takia, vaan ennemminkin tyytyä valmistajan ilmoittamaa käyttöikä lyhyempään vaihtoväliin, mikäli valaisimia ei huolleta valonlähteen vaihtojen välissä.

Led-valaisimilla toteutettu valaistuksen uudistaminen on valaistuksen laadun kannalta led-putkilla toteutettua uudistamista helpompi ratkaisu. Valaisinvalmistajalta saa

valaisimista valaistussuunnittelun kannalta oleelliset tiedot, tai valaisinvalmistaja voi suositella korvaavaa valaisinta saadessaan korvattavan valaistuksen tiedot.

#### 4 Toteutus

Kunnallinen led-siirtymä on mittava projekti sähkötyön osalta. Yksittäisen loisteputkivalaisimen muuttamisessa tai vaihtamisessa led-pohjaiseksi kestää sähköasentajalta hyvissä olosuhteissa 15-30 minuuttia huomioimatta selvitystyötä ja logistiikkaa. Yksittäisessä tuhannen loisteputkivalaisimen koulussa tämä tarkoittaisi 250 h - 500 h urakkaa pelkän asennustyön osalta, mikäli koko kiinteistön loisteputkivalaisinten elektroniset liitännälaitteet päätetään ohittaa huoltotyön helpottamiseksi, kuristimet tehonkulutuksen minimoimiseksi ja ennakoivana huoltotyönä sekä kuristimien kompensointikondensaattorit kapasitiivisen loistehon välttämiseksi, tai mikäli päädytään ratkaisuun, jossa vanhoja loisteputkivalaisimia korvataan led-valaisimilla.

Yksittäisen yksinkertaisenkin valaistuksen muutostyön toteuttamiseen voi mennä huomattavasti aikaa. Mikäli pienen tilan toiseen loisteputkivalaisimeen tulee sähköinen vika, työvaiheet voivat muodostua esimerkiksi seuraavalla tavalla:

- Kiinteistönhoitaja siirtää työn sähkökunnossapitoon todettuaan tilanteen.
- Sähköasentaja käy paikalla etsimässä tilan ja selvittämässä sopivan huoltotoimenpiteen (1 h).
- Sähköasentaja käy hakemassa sopivat led-putket tai -valaisimet tukusta (1 h).
- Sähköasentaja tekee muutostyöt loisteputkivalaisimille tai asentaa led-valaisimet ja kuittaa työn valmiiksi (1 h, 2 valaisinta).

Kyseisessä työelämässä monesti vastaan tulleessa esimerkissä toimintatapa voi olla myös seuraavanlainen:

- Kiinteistönhoitaja siirtää työn sähkökunnossapitoon todettuaan tilanteen.

- Sähköasentaja menee paikalle tietäen paikan ja sopivat huoltotoimenpiteet (30 min).
- Sähköasentaja joko käy tukussa matkalla kohteeseen, tai tarvittavat tuotteet on tilattu etukäteen (30 min).
- Sähköasentaja tekee muutostyöt useamman tilan loisteputkivalaisimille tai asentaa led-valaisimet useampaan tilaan ja kuittaa työn valmiiksi (6 h, 12 valaisinta).

Ensimmäisessä esimerkissä yhden loisteputkivalaisimen led-siirtymään kuluu aikaa n. 1,5 h ja toisessa esimerkissä noin 35 min. Toisen esimerkin menestyksekkäs toteuttaminen vaatii kiinteistön valaistuksen kartoittamista, tilakohtaista valaistussuunnitelmaa ja työn koordinoitua. Työn koordinoitua ei alkuvaiheen jälkeen mene juurikaan aikaa, mikäli suunnitelmat on huolellisesti laadittu ja työtä suorittavat henkilöt eivät vaihdu usein.

Yksinkertaisin ja kustannustehokkain toteutustapa voi olla yhden tai useamman kiinteistön valaistussaneerauksen kilpailuttaminen urakkamuotoisena vuoteen 2025 mennessä valmistuvana projektina. Kilpailutuksen järjestäjä voi kartoittaa kiinteistön ja määrittellä saneerausmenetelmän ja korvaavan tekniikan tilakohtaisesti laatuksineen. Kilpailutuksen voittanut sähköurakoitsija tekee valaistussaneerauksen sovitussa järjestyksessä ajallisesti mahdollisimman tasaisesti kiinteistöhoitoa konsultoiden, jolloin sähköurakoitsija vastaa valaistuksen osalta myös kiinteistön sähkökunnossapidosta kiireettömissä tapauksissa. Urakkamuotona voidaan käyttää esimerkiksi kokonaishintaurakkaa tai yksikköhintaurakkaa, ja siihen voidaan sisällyttää sekä työt että hankinnat tai vain työt.

Tuntityönä tipoitain toteutettava saneeraus on tuntityön valvonnan, pieniin kokonaisuuksiin jaetun työn tehokkuuden ja hankkeen suunnittelussa aikataulussa valmistumisen kannalta urakkamuotoista projektia huomattavasti kalliimpi ja epävarmempi prosessi. Osan investoinneista, kuten kuristimien ja kompensointikondensaattoreiden ohituskustannukset, on voitu katsoa lykkääntyvän ja siten säästävän rahaa korkokustannuksissa. 20 W:n led-putkivalaisimessa näiden komponenttien ohittamatta jättäminen tarkoittaa kuitenkin valaisimelle noin 15 % eli 3,5 W korkeampaa energiankulutusta [18]. Mikäli yksittäisen valaisimen komponenttien ohittamisessa kuluu arvioitu 35 minuuttia taulukon 3 mukaisella sähköasentajan 35 €/h tuntihinnalla niiden ohittaminen per valaisin maksaa noin  $35 \text{ min} / 60 \text{ min/h} * 35 \text{ €/h} = 20$

€. Vuodessa ohittaminen tarkoittaa 2000 h/a valaisimen polttoilla ja 10 snt/kWh energianhinnalla  $2000 \text{ h/a} * 3,5 * 10^{-3} \text{ kW} * 0,1 \text{ €/kWh} = 1,4 \text{ €/a}$  säästöä energiankulutuksessa, kun komponenttien tulevaa rikkoontumista ja vaihtokustannusta ei huomioida. Ohittamisesta syntyville investointikustannuksille muodostuisi tässä tapauksessa siten yksin vähentynyt energiankulutus huomioiden  $1,4 \text{ €/a} / 20 \text{ €} * 100 \% = 3,5 \%/\text{a}$  tuotto. Tulevien huoltokustannusten väheneminen vaikuttaa tuottoarvioon korottavasti.

## 5 Yhteenveto

Uuden tekniikan käyttöönotto vanhan päälle tai tilalle tuottaa monesti ongelmia alasta riippumatta. Valaistuksen laatuun voi, ja tuleekin panostaa hyvään pohjatyöhön perustuvalla suunnitellulla toteutuksella. Tiloja valaistaan käyttäjien viihtyvyyden, hyvinvoinnin ja terveyden vuoksi, eikä valaistuksen laadun tulisi tämä huomioiden olla ainakaan heikompaa kuin alkuperäinen. Laadun varmistaminen ei vaadi oppilaitoksissa mittavia investointeja, mikäli pohjatyö on hyvällä tasolla ja yhteistyö toimii jopa yli kuntarajojen. Etenkin valaisinten huoltajien (kiinteistönhoito, sähkökunnossapito) ymmärrystä tarpeista tulisi kartoittaa, ja lähteä suunnittelemaan teknisiä ratkaisuja käytännössä esiintyvät ongelmat huomioiden. Uudistetun valaistuksen laadullisiin heikkouksiin saa parhaan näkökulman tilojen käyttäjiltä, mikäli suunnittelua ei ole tehty tai toteutettu.

Led-putkien käyttö loisteputkivalaisimissa on heijastimien hyötysuhde, valonjako ja valaisimen huoltoväli huomioiden lisäselvitystä vaativa seikka energiatehokkuutta ja todellista käyttöikää ajatellen. Nopea vaihdettavuus ja vanhan valaisinrunгон käytettävyyys on led-putkien etu led-valaisimiin verrattaessa, mutta led-valaisinta täytyy mahdollisesti vaihtaa harvemmin, sekä sillä voidaan mahdollisesti saavuttaa parempi valotehokkuus ja polttoikä normaalissa huonekorkeudessa. Tämä vaatisi lisäselvityksiä.

Led-putkiin siirryttäessä voidaan ainakin vanhempien koulujen osalta todeta, että loisteputkien oheislaitteiden ohittaminen kannattaa aina. Ohittamisella saavutetaan säästöjä joko ohituksesta syntyvän energiatehokkuuden tai selkeämpien huoltotoimenpiteiden kautta. Uudemmissa kouluissa elektroniset liitäntälaitteet eivät ole



niin monenkirjavia kuin pitkään huolletuissa kiinteistöissä, joten led-putkien yhteensopivuusongelmat on vanhoihin kohteisiin verrattuna vähäisempi riski, kun putket valitaan oikein.

Led-siirtymä on suuressa kunnassa pelkän sähkötyön osalta kokonaisuudessaan miljoonien eurojen projekti. Projektilla on aikataulu ja selkeä tavoite, joten se tulisi kustannussäästöjen ja ajallisen toteutumisen vuoksi suunnitella, jakaa osiin ja kilpailuttaa.

## Lähteet

- 1 Rihlama, Seppo. 1997. Värioppi. s. 10. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 2 Starr, Cecie. 2005. Biology: Concepts and Applications. s. 94. Kalifornia: Brooks/Cole.
- 3 Yleistä spektroskopiasta. Verkkoaineisto. Opetushallitus. <[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmat\\_5-1\\_yleista\\_spektroskopiasta.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmat_5-1_yleista_spektroskopiasta.html)>. Luettu 25.07.2020.
- 4 McLellan, Paul. 2017. What is color temperature. Verkkoaineisto. Lightbulbs.com <<https://www.lightbulbs.com/blog/what-is-color-temperature>>. Luettu 25.07.2020.
- 5 Robinson, S. J.; Schmidt, J. T. 1984. Fluorescent penetrant sensitivity and removability - What the eye can see, a fluorometer can measure. Materials evaluation 42. s. 1029-1034.
- 6 Giang, Vivian. 2017. Verkkoaineisto. Pohjois-Carolinan yliopisto. <<https://onlinemba.unc.edu/news/how-lighting-affects-productivity>>. Luettu 26.07.2020.
- 7 Boyce, Peter Robert. 2003. Human Factors in Lighting. s. 100-106. Florida: CRC Press.
- 8 Saarelainen, Joonas. 2019. Terveystieteiden tutkimuskeskuksen valaistus. Verkkoaineisto. Winled Oy. <<https://www.winled.fi/blogi/artikkeli/Terveystieteiden-tutkimuskeskuksen-valaistus>>. Luettu 30.07.2020
- 9 Työolojen fysikaaliset tekijät: valaistus. 2020. Verkkoaineisto. Työsuojeluhallinto. <<https://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/fysikaaliset-tekijat/valaistus>>. Päivitetty 31.08.2020. Luettu 06.08.2020
- 10 Työturvallisuuslaki. 23.08.2002/783. 34 §.
- 11 Laine, Lauri. 2019. Päiväkotien ja koulujen valaistus. Verkkoaineisto. Winled Oy. <<https://www.winled.fi/blogi/artikkeli/P%C3%A4iv%C3%A4kotien-ja-koulujen-valaistus>>. Luettu 06.08.2020.

- 12 Lampputieto. Lamppujen pakkausmerkinnät. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <<https://lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-pakkausmerkinnat>>. Luettu 07.08.2020.
- 13 Anttonen, Lasse. 2019. T5-loisteputkien korvaaminen LED-valoputkilla toimistotiloissa. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 14 Loisteputkivalaisimien muuttaminen led-valoputkikäyttöön. Verkkoaineisto. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. <<https://tukes.fi/sahkotyot-ja-urakointi/loisteputkivalaisimen-muuttaminen-led-valoputkikayttoon>>. Luettu 02.05.2021.
- 15 Jumppanen, Jarmo; Kallasjoki, Tapio. 2017. ST 58.02 Valaistuksen toteutus standardin SFS-EN 12464-1 mukaisesti. Espoo: Sähkötieto ry.
- 16 Valaistussuunnittelijan käsikirja. 2009. Fagerhult Oy. <<https://docplayer.fi/3704275-Valaistussuunnittelijan-kasikirja.html>>. s. 462. Luettu 02.05.2021.
- 17 Led luminaire lifetime: recommendations for testing and reporting. 2014. Verkkoaineisto. Yhdysvaltojen energiaministeriö. <[https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/01/f19/led\\_luminaire\\_lifetime\\_guide\\_sept2014.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/01/f19/led_luminaire_lifetime_guide_sept2014.pdf)>. Luettu 02.05.2021.
- 18 Heiskanen, Juha. Miksi kuristajat kannattaa poistaa valaisimista Led-loisteputken asennuksen yhteydessä? Verkkoaineisto. Valoram Oy. <<https://valoram.fi/blogi/miksi-kuristajat-kannattaa-poistaa-valaisimista-led-loisteputken-asennuksen-yhteydessa>>. Luettu 03.05.2021.
- 19 KytKentäohje Philipsin EM- ja 230V-yhteensopiville ledivaloputkille. 2016. Verkkoaineisto. Philips Lighting Finland Oy. <[https://images.philips.com/is/content/PhilipsConsumer/PDFDownloads/Finland/ODLI20160331\\_001-UPD-fi\\_FI-Philips\\_EM-ja-230V-yhteensopivien\\_ledivaloputkien\\_kyt\\_kent%C3%83%C2%A4ohje.pdf](https://images.philips.com/is/content/PhilipsConsumer/PDFDownloads/Finland/ODLI20160331_001-UPD-fi_FI-Philips_EM-ja-230V-yhteensopivien_ledivaloputkien_kyt_kent%C3%83%C2%A4ohje.pdf)>. Luettu 03.05.2021.
- 20 Ylimannila, Jouko. 2011. Led-valolähteen asennusvaihtoehdot. Insinööriyö. Oulun ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta. s. 38-40.
- 21 Valaistustieto. Huolto ja energiatehokkuus. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <<https://valaistustieto.fi/energiatehokas-valaistus/huolto>>. Luettu 08.05.2021.