

Markku Korhonen

**ELINKAARIKUSTANNUKSIEN VERTAILU
VALAISTUSSANEERAUSKOHTEESSA**

ELINKAARIKUSTANNUKSIEN VERTAILU VALAISTUSSANEERAUSKOHTEESSA

Markku Korhonen
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma, sähköinsinööri

Tekijä: Markku Korhonen

Opinnäytetyön nimi: Elinkaarikustannuksien vertailu valaistussaneerauskohteessa

Työn ohjaajat: Heikki Kurki, Jyrki Kumpuniemi

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät/2017

Työssä selvitettiin Oulun kaupungin liikelaitoksen Oulun Tilakeskuksen hallinnoiman suurehkon monitoimitalon valaistuksen parantamisvaihtoehtoja. Kohteen valaistuksesta aiheutuva suuri energiankulutus piti saada pienemmäksi sekä valaisimien huoltokustannukset minimoitua.

Työn aiheena oli elinkaarikustannuksien vertailu eri tavoin toteutetuissa valaistusmuutoksissa koko elinkaariensa ajalta. Työhön valittiin kolme toteutusvaihtoehtoa ja laskettiin niiden aiheuttamat kustannukset asennuksesta elinkaaren loppuun asti. Tavoitteena oli saada lukijalle käsitys taloudellisesti edullisimmasta toteutustavasta.

Työssä kartoitettiin ensin valaistuksen nykyinen energiankulutus, huoltokustannukset, ohjaustavat ja ongelmakohdat. Dialux-valaistussuunnitteluohjelmaa apuna käyttäen valittiin sopiva uusi valaisin, jota käytettiin eri ohjaustavoilla. Ohjaustapojen vaikutuksia energiankulutukseen vertailtiin ja tehtiin elinkaarikustannuslaskelmat.

Jo pelkästään valaisimien vaihdolla oli mahdollista saada huomattavia säästöjä energiankulutukseen. Työn esimerkkikohteessa valaisimen teho laski 108 wattista 26 wattiin. Tehon laskun ansiosta energian kulutus laski niin paljon, että yli 700 valaisimien takaisinmasuaika saneerauksessa on vain noin neljä vuotta. Käytettäessä edes osittaista himmennystä saadaan valaisimen elinkaarta pidennettyä takaisinmaksuajan pysyessä kuitenkin lähes samana, vaikka investointikustannukset nousevatkin.

Asiasanat: valaistus, saneeraus, elinkaari

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in electrical engineering, electrical engineer

Author: Markku Korhonen

Title of thesis: Comparison of Life Cycle Costs for Lighting in Renovation of Community Center

Supervisors: Heikki Kurki, Jyrki Kumpuniemi

Term and year when the thesis was submitted: Spring/2017

The purpose of this thesis was to investigate the possibilities of improving lighting in a fairly large community center managed by the city of Oulu, Facilities management centre. Building's high energy consumption due to the lighting had to be reduced and the maintenance costs of the lighting minimized.

The objective of the thesis was to compare life cycle costs in lighting changes implemented in different ways. Three implementation options were selected and their costs were calculated from the installation until the end of their life cycle. The purpose of this study is to give the reader understanding of the most economically advantageous method of implementation.

The research started with surveying the energy consumption, maintenance costs, control methods and problem areas of the current lighting. A new and suitable light fitting was chosen by using the Dialux lighting design program and the light fitting was used in the different operating modes. The effects of operating modes on energy consumption were compared and life cycle cost calculations were made.

Just by changing the light fittings it was possible to obtain significant savings in energy consumption. In one of the example buildings in the research the power of the light fell from 108 watts to 26 watts. Due to the decrease of power the energy consumption decreased so much that the repayment time for more than 700 light fittings in renovation is only about four years. When using even a partial dimming in the light the life cycle of the light fitting can be extended while the repayment time remains almost the same even though the investment costs will rise.

Keywords: lighting, renovation, life cycle

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
LYHENTEET	7
1 JOHDANTO	8
2 VALAISTUS	9
2.1 Valaistuksen merkitys	9
2.2 Hyvinvointi	9
2.3 Taloudellisuus	10
3 VALAISIN	11
3.1 Loistelamppuvalaisin	11
3.2 LED-valaisin	12
3.3 Tulevaisuus	13
3.3.1 LED	14
3.3.2 OLED	15
3.3.3 Laser	15
4 VALAISTUSMUUTOKSEN TOTEUTUS	17
4.1 Nykytilanne	17
4.1.1 Toteutus	17
4.1.2 Ongelmat	20
4.2 Muutosehdotukset ilman valaisimen vaihtoa	22
4.3 Valaisimen vaihto	23
4.4 Liiketunnistimella varustettu LED-valaisin	25
4.5 Valaistuksen ja ohjausjärjestelmän uusiminen	27
4.6 Taloudelliset vaikutukset	28
4.6.1 Energiasäästöt	30
4.6.2 Elinkaarikustannukset	31
5 YHTEENVETO	34
LÄHTEET	36

Liite 1 Dialux-laskelmat käytävältä

Liite 2 VALTTI-elinkaarikustannuslaskuri

LYHENTEET

COB	Chips on Board
L (cd/m ²)	Luminanssi
LED	Light Emitting Diode
Laser	Light amplification by stimulated emission of radiation
Luksi (lx)	Valaistusvoimakkuus
OLED	Organic Light Emitting Diode
VAK	Valvonta-alakeskus

1 JOHDANTO

Valaistuksen merkitys usein unohtuu käyttäjiltä, koska sitä ei juurikaan ajatella sen toimiessa hyvin. Valaistuksen ollessa huono siihen yleensä kiinnitetään erityistä huomiota.

Valaistuksen parantamiseen on useita erilaisia keinoja, joilla saadaan mm. valaistusolosuhteet optimaaliseksi ja myös käyttäjäystävällisyys hyvälle tasolle. Kun valaistus saadaan korjattua ja käyttäjät ovat siihen tyytyväisiä, on tavoite näiltä osin saavutettu.

On paljon muitakin asioita, jotka valaistuksessa ja sen suunnittelussa pitää ottaa huomioon. Ennen kaikkea on kiinnitettävä huomiota valaistuksen toteutuksesta ja käytöstä aiheutuneisiin kustannuksiin. Valaisimien, asennus- ja ohjaustavan valintoihin pitää kiinnittää entistä enemmän huomiota tavoiteltaessa parasta mahdollista valaistusta. Myös erilaisiin tiloihin ja eri käyttötarkoituksiin on valittava aina tarpeen mukainen toteutustapa.

Valaistuksen muutos nykyaikaisempaan pitää olla myös järkevää. Esimerkiksi muutoksen takaisinmaksuaika ei saa olla ristiriidassa tiloille suunnitellun käyttöajanjakson kanssa. Ei ole kannattavaa suunnitella valaistusta, jolla olisi vielä käyttöikä jäljellä senkin jälkeen, kun tilojen elinkaari on suunniteltu päättyvän.

Työn tilaajalla, Liikelaitos Oulun Tilakeskuksella, oli tarve saada vertailupohjaa erilaisten valaistusmuutosten aiheuttamista kustannuksista pitemmällä aikajaksolla. Lähtökohtana tälle työlle oli oululaisen suurehkon monitoimitalon valaistusongelmat. Samassa kiinteistössä toimii koulu, kirjasto ja nuorisotilat. Valaistuksesta aiheutui suuri menoerä, joten käyttökustannuksia alentaviin toimenpiteisiin oli erityisesti tarvetta.

Tämän työn tavoitteena oli selvittää erilaisten saneeraustapojen kustannuserot sekä vaikutukset energiasäästöihin ja valaisimien elinkaareen. Työhön valittiin kolme ohjaustavoiltaan toisistaan poikkeavaa vaihtoehtoa, joista on helposti muokattavissa myös niistä hieman poikkeavia asennus- ja valaistusvaihtoehtoja.

2 VALAISTUS

Valon määrittämisessä on oikeastaan kaksi näkökohtaa. Se on silmän aistimaa valoa ja samalla myös sähkömagneettista säteilyä, jolla on hyvinvointia edistäviä ja biologisia vaikutuksia. Hyvä valaistus muodostuu useista eri tekijöistä. Hyvässä valaistuksessa on sopivassa suhteessa valoa näkemiseen, valoa katsomiseen ja valoa katsottavaksi. Huomioimalla nämä kaikki valaistuksen osa-alueet saadaan kokonaisuutena tasapainoinen lopputulos. (1.)

2.1 Valaistuksen merkitys

Valaistuksella on suuri merkitys ihmiselle. Hyvä valaistus auttaa jaksamaan ja nostaa vireystilaa. Epäsuoralla valaistuksella saadaan aikaan jännittäviä valon ja varjojen leikkejä, kun valo tulee katon tai muiden rakenteiden kautta. Tunnelmavalistus on rentouttavaa ja sitä voidaankin käyttää hyväksi esimerkiksi ennen nukkumaan menoa. Kohdevalaistuksella saadaan korostettua haluttuja kohteita, jos tavoitteena on saada rakenteet, pinnat tai sisustukselliset elementit paremmin esille. Yleisvalo taas helpottaa päivittäisiä askareita ja töiden tekemistä. Voidaankin sanoa, että valaistuksella on todella suuri merkitys ihmisten henkiseen ja jopa fyysiseenkin hyvinvointiin. (2.)

Valaistus on suurena osana luotaessa miellyttävää ja toimivaa ympäristöä oleskelulle ja työskentelylle. Tavoitteet ja ratkaisut liittyvät näkemiseen, jossa yhdistyvät niin valo ja sen tarve kuin henkilökohtaiset mieltymykset ja tarpeetkin. (3.)

2.2 Hyvinvointi

Vaikka valaistusta koskevia ohje- ja raja-arvoja ei ole työturvallisuutta koskevissa säädöksissä annettu, on työnantajan järjestettävä mahdollisimman hyvä valaistus vaarojen ja haittojen vähentämiseksi. Valaisimet on sijoitettava siten, että niistä ei aiheudu vaaraa eivätkä ne häiritsevästi häikäise silmiä. Valaistuksen on myös oltava tiloihin nähden riittävä, jotta työtilanteen vaatima valaistusvoimakkuus olisi riittävä vähentäen näin silmien rasittumista. Huono valaistus rasittaa, on epäviihtyisä, vähentää työtehoa ja voi olla jopa syynä työtapaturmiin. (4.)

On myös tutkittu, että positiivisimmat reaktiot tunne- ja vireystilaan saadaan, kun ympäröivän valon luminanssitaso on 100 cd/m². Samassa tutkimuksessa selvisi myös, että valon väriämpötilalla ei ollut merkitystä koehenkilöiden hyvinvointiin ja suorituskyykyyn. (5.)

2.3 Taloudellisuus

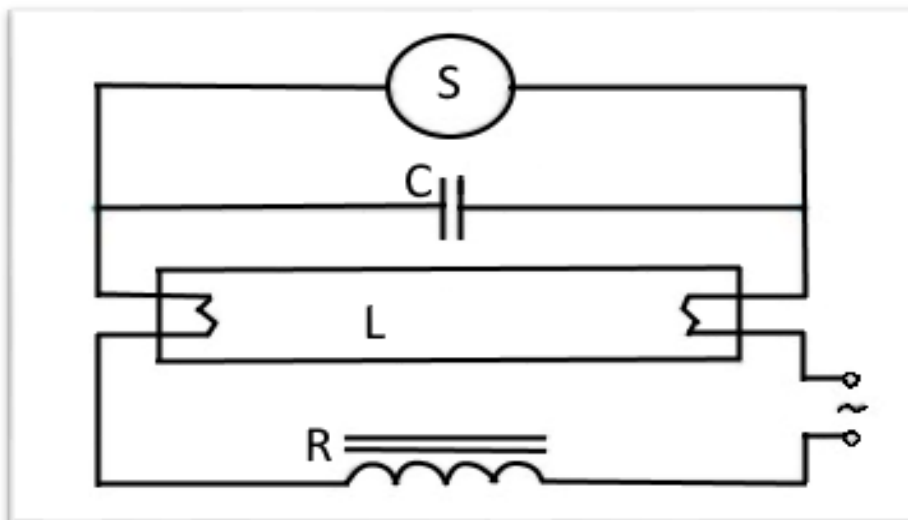
Joissain tapauksissa julkisensektorin kiinteistön valaistuksen osuus saattaa olla koko kohteen sähkönkulutuksesta jopa kolmannes. Tästä johtuen on erittäin oleellista, että valaistusta suunniteltaessa kiinnitetään erityisesti huomiota energiankulutukseen. Myös sovellettava valaisintekniikka vaikuttaa käyttökustannuksiin: esim. LED-valaisimet eivät vaadi elinkaarensa aikana juuri minkäänlaista huoltoa, kun taas loisteputkivalaisimet vaativat vähintään putkien uusimisen elinkaarensa aikana. Valaisinsuunnittelussa onkin otettava huomioon koko elinkaari, joka on oltava kohde huomioiden oikean mittainen. Suhteessa kohteen käyttöikänsä on kannattamatonta panostaa kalliimpaan ratkaisuun, jonka elinkaari on pitempi kuin itse rakennuksen elinkaari, mikäli tarjolla on elinkaareltaan optimaalisempi vaihtoehto. (6.)

3 VALAISIN

Valaisimen määritelmän mukaan valaisin on laite, joka jakaa, suodattaa tai muuntaa yhdestä tai useammasta lampusta tulevan valon ja joka sisältää kaikki lampujen kiinnittämiseen, suojaamiseen ja verkkoon kytkemiseen tarpeelliset osat. Silloin kun erilaisilla valoteknisillä rakenteilla pyritään valonlähteen valonjaon muuttamiseen toivotulla tavalla, on kysymys valonhallinnasta. Valonjaon ohjaaminen ja säätely voi tapahtua käyttämällä hyväksi heijastumisen ja läpäisyn eri muotoja. (7.)

3.1 Loistelamppuvalaisin

Loistelamppuvalaisimessa valonlähteenä käytetään matalapaineista purkauslampua. Loistelamppujen valikoima on hyvin laaja. Kaikissa loistelampuissa toimintaperiaate on samanlainen, mutta ne voidaan jakaa rakenteen mukaan kaksi- ja yksikantaloistelamppuihin. Kaksikantaloistelamppuihin kuuluvat suoralla tai U:n muotoisella purkausputkella varustetut lamput, joissa lampun liitännät ovat purkausputken päissä. Yksikantaloistelamppuihin kuuluvat pisto- ja kierrekantaiset lamputyypit. Valaisin koostuu loisteputkesta, kondensaattorista, sytyttimestä ja kuristimesta (kuva 1). (8, s. 3.)

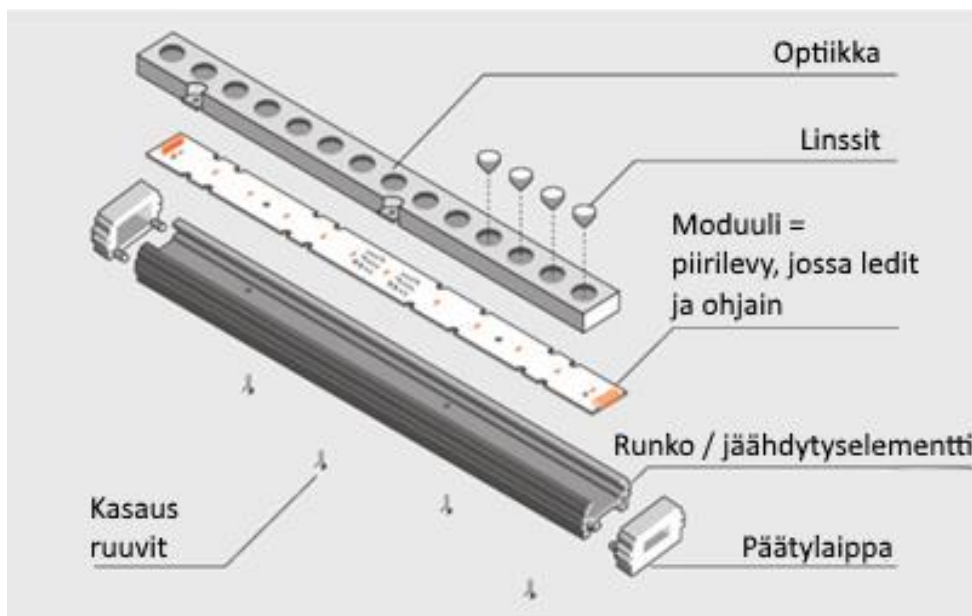


KUVA 1. Loisteputkivalaisimen osat: S = Sytytin, C = Kondensaattori, L = Loisteputki, R = Kuristin (9, s. 3)

Loistelamppujen toiminta perustuu sen sisällä olevan elohopean reagoimiseen sähköpurkauksessa. Tämän seurauksena syntyy ultraviolettisäteilyä ja lampun pintakerros muuttaa säteilyn näkyvän valon aallonpituudelle.

3.2 LED-valaisin

Nykyisin ollaan yhä enenevässä määrin siirtymässä valaistuksessa LED-tekniikkaan. Valmistusmenetelmien kehittyessä kuluttajahinnat ovat viime vuosina laskeneet niin paljon, että LED-valaisimet (kuva 2) alkavat olla erittäin kilpailukykyisiä esimerkiksi loistevalaisimiin nähden.



KUVA 2. Pelkistetty LED-valaisimen rakenne (10)

Perinteisiin valaisimiin verrattuna LED-valaisimien tekninen toteutus on täysin erilainen. LED ei tuota ultraviolettisäteilyä, minkä vuoksi se soveltuu erinomaisesti myös herkkien kohteiden valaisuun. Toisin kuin perinteisissä valonlähteissä LED-valaisimen sytyttäminen ei vähennä LEDin (kuva 3) käyttöikää. Himmentäminen puolestaan lisää käyttöikää huomattavasti. (11.)



KUVA 3. Yksi esimerkki valaisimissa käytettävästä pintaliitosledistä (12)

3.3 Tulevaisuus

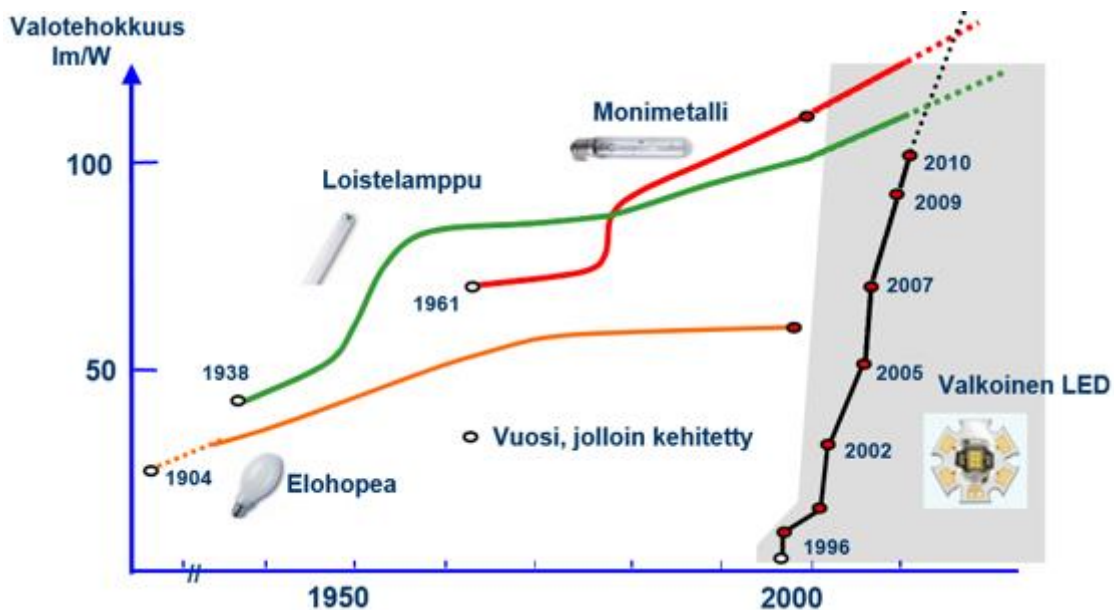
Yhä enemmän ollaan siirtymässä energiataloudellisempiin ratkaisuihin myös valaistuksessa. Määräykset kiristyvät ja tekniikka kehittyy, joten myös valaistuksessa on mentävä eteenpäin. Vaatimukset paremman valaistuksen puolesta kasvavat vuosi vuodelta ja uusia ratkaisuja on kehitettävä. (13.)

Vuonna 2012 voimaan tullut Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi asettaa energiatehokkuustavoitteeksi vuoteen 2020 mennessä 20 %:n säästön. EU-komissio on myös päättänyt asetuksista, jotka kieltävät tietyt lamputyypit niiden huonon energiatehokkuuden takia. Uusista lampuista pitää löytyä komission ohjeiden mukaisesti myös energiatehokkuusmerkintä. (14, s. 2.)

3.3.1 LED

Valonlähteenä LED on tänä päivänä tarjolla olevista kaupallisista vaihtoehdoista valotehokkuudeltaan ylivoimainen muihin vaihtoehtoihin verrattuna, jos ajatellaan, paljonko valoa saadaan tuotettua mahdollisimman pienillä tehoilla. Mitä valkoisemmaksi LEDin tuottama valo saadaan, sitä parempi valotehokkuus (yksikkö: lm/W) saavutetaan. (13.)

Kuten kuvasta 4 nähdään, on LEDin kehitys ollut huimaa lyhyellä aikavälillä. Toisin se saattaa johtua myös siitä, että valmistajat ovat pääosin keskittyneet pelkästään sen kehittämiseen. (13.)



KUVA 4. Valonlähteiden valotehokkuuden kehitys (13)

3.3.2 OLED

Suuret valmistajat panostavat tutkimus- ja kehitystoiminnassaan myös rakenteeltaan tasomaisiin, hyvin ohuihin, taipuisiin valonlähteisiin, jotka perustuvat ns. perinteiseen LED-tekniikkaan. OLED-kalvo säteilee valoa koko pinta-alaltaan (kuva 5). Itse asiassa tämä tekniikka on jo keksitty 1980-luvulla, mutta VTT:n kehittämän painomenetelmän ansiosta OLED-tekniikkaan perustuvia valopintoja voidaan valmistaa myös taipuisille muovipinnoille. Nyt valmistusteknologia alkaa olla sillä tasolla, että tuotetta voidaan ajatella suunnattavaksi kuluttajille. (15.)



KUVA 5. Ohut, taipuisa OLED-valonlähde (15)

3.3.3 Laser

Tulevaisuuden valaistustekniikkaan voidaan hyvinkin laskea jo lasertekniikka. Siinä valoa vahvistetaan optisesti erittäin paljon ja vahvistettu valovirta vapautetaan pistemäisesti, jolloin valopisteen halkaisija on vain muutaman millimetrin tuhannesosan kokoinen. Peilien ja linssien avulla tästä saadaan haluttu valokuvio. Tämä tekniikka on jo käytössä autoteollisuudessa joissakin automalleissa. (16.)

Koska sisävalaistuksessa pyritään parhaaseen mahdolliseen värintoistoon myös standardien (17) mukaisesti, ei laservalo sovellu tähän tarkoitukseen.

Puhtaassa suorassa laservalossa värinistöindeksi on nolla, koska laservalo sisältää vain yhtä aallonpituutta, joten laservalolla valaistuissa tiloissa ihminen ei erota eri värisävyjä (18). Tästä syystä ei laser sinällään sovellu sisätilojen valaistukseen toteutettaessa suoraa valaistusta, vaan se vaatii teknologisia ratkaisuja ympärilleen toimiakseen halutulla tavalla.

4 VALAISTUSMUUTOKSEN TOTEUTUS

Vertailujen kohteeksi valitussa suuressa koulussa katsottiin aiheelliseksi tavoitella valaistukseen parannuksia huollon helpottamisen ja energiasäästöjen kannalta. Tavoitteet olisikin helppo toteuttaa, mutta menetelmiin tarvittiin selvennystä: mikä olisi taloudellisin keino elinkaarikustannuksiltaan unohtamatta muutoksista aiheutuvien kustannuksien takaisinmaksuaikaa. Takaisinmaksuaika pitäisi olla huomattavasti lyhyempi kuin elinkaari, jotta muutoksesta saataisiin mahdollisimman suuri hyöty. Muutostöiden ja myös mahdollisten uusien valaisimien takaisinmaksuaikaa taas saadaan lyhyemmäksi saavutettujen energiasäästöjen myötä.

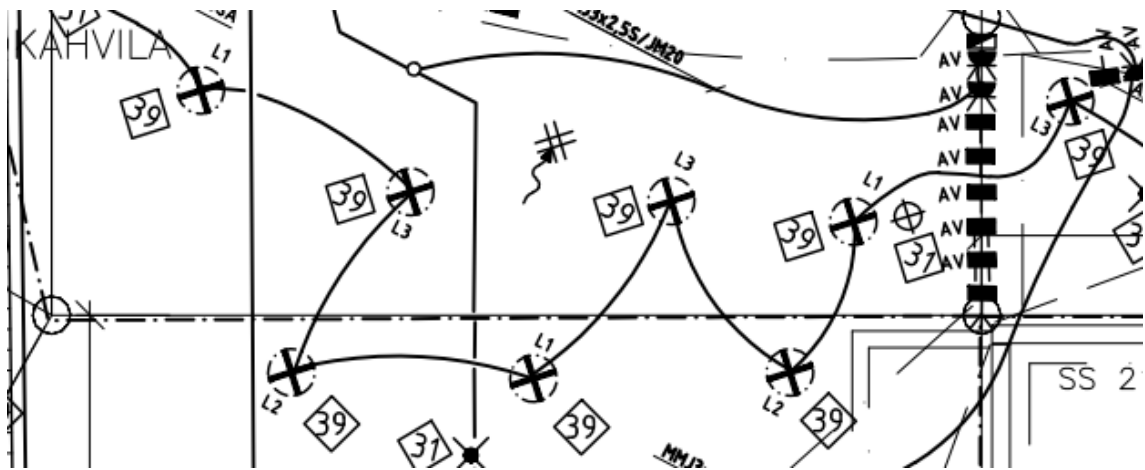
Tässä työssä keskitytäänkin käytävien, suurten aulojen ja ruokalan valaistukseen, koska nämä tilat on koettu kaikkein ongelmallisimmiksi käyttökustannuksien kannalta. Valaisimien liiallinen lämpeneminen lyhentää lamppujen ikää vaikuttaen huoltovälien tiheyteen ja energiankulutus on todella suurta verrattuna tällä hetkellä markkinoilla olevien valaisimien energiankulutukseen.

4.1 Nykytilanne

Kohteeksi valituissa tiloissa on ongelmallisia valaisimia yhteensä 721 kpl. Suurimmassa osassa niistä on 3 kpl ja osassa 4 kpl 36 watin loistelamppuja, joten valaisimien tehontarve on todella suuri.

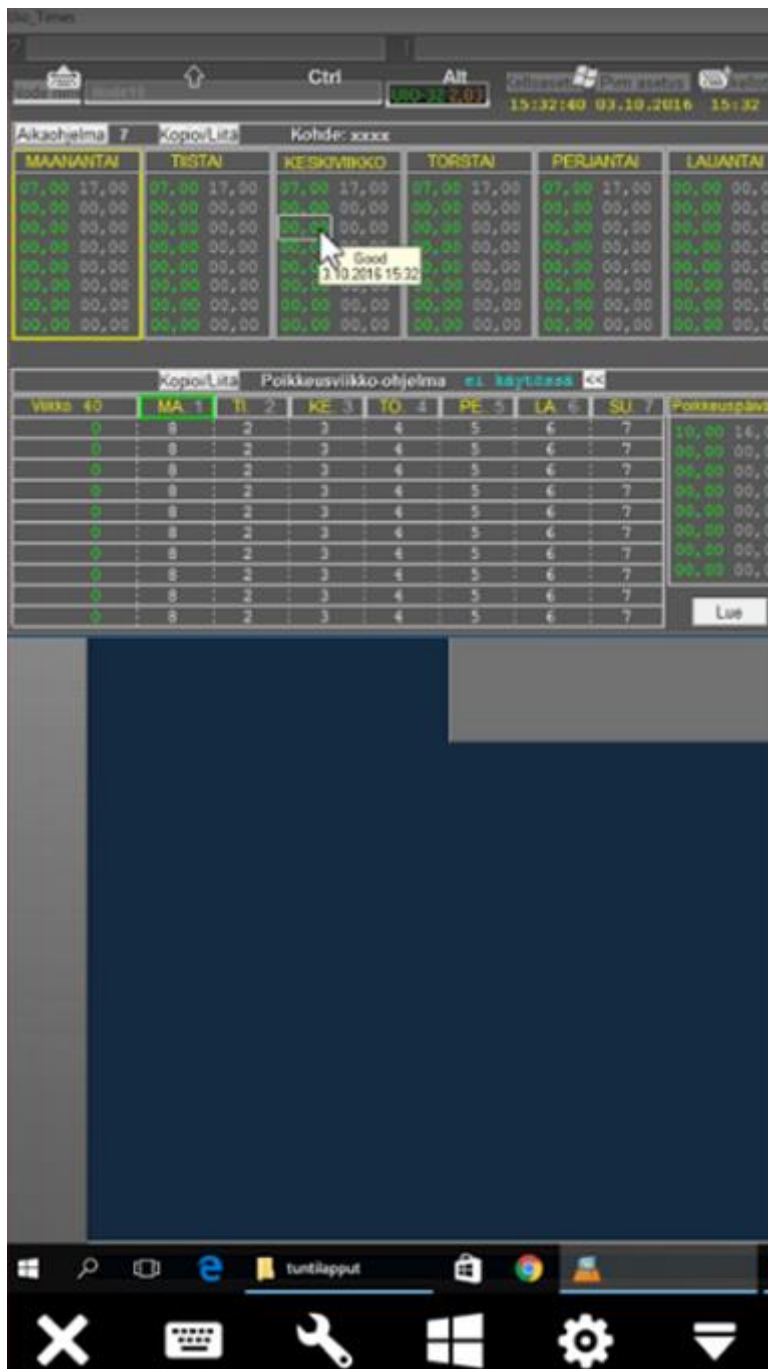
4.1.1 Toteutus

Valaisimet on asennettu T-rimoituksella toteutettuun alaslaskettuun kattoon. Valaisimien asennusväli on keskimäärin 1,8 metriä ja osassa tiloissa jopa tiheämmässäkin. Lisäksi ruokalassa on erittäin ylitehokkaita loistelampuilla varustettuja riippuvalaisimia: valaistusvoimakkuus näiden riippuvalaisimien alla työtasolla, eli noin 0,7 - 0,9 metrin korkeudella lattiatasosta mitattuna oli yli 1100 luksia. Tämä arvo ylittää moninkertaisesti suositusarvon, joka tässä tilassa on 200 lx (16). Valaisimet on kaapeloitu MMJ 5x2,5 S kaapelilla samaan ryhmäjohtoon, jossa joka kolmas valaisin on kytketty samaan vaihejohtimeen (kuva 6).



KUVA 6. Tasokuva valaisinasennuksen toteutuksesta

Valaistuksen ohjaus on toteutettu valvonta-alakeskuksen (VAK) aikaohjauksella. Tilojen vuorokausikäyttöajat on kartoitettu ja niihin perustuen valaistus syytetään automaattisesti käytön alkaessa ja sammutetaan, kun tiloissa ei kyseessä olevana vuorokautena ole toimintaa. Kuvassa 7 nähdään valaistuksen käyttöliittymä.



KUVA 7. Valaistuksenohjauksen käyttöliittymä matkapuhelimella tarkasteltuna

4.1.2 Ongelmat

Valaisimien suunnittelussa ei ole huomioitu lamppujen tuottamaa lämpöenergiaa ja valaisin kuumenee todella paljon. Tämä aiheuttaa lamppujen ennenaikaisen ikääntymisen, joten lamppuja joudutaan vaihtamaan todella usein. Valaisimissa on mahdollista käyttää 2G10-kannalla (kuva 8) olevia lamppuja joiden valmistaja lupaa niiden keskimääräiseksi kestoiksi 13 000 tuntia (19).



KUVA 8. 2G10-kannalla varustettu Osram:n loisteputkilamppu (19)

Todellisuudessa ylikuumentumisesta johtuen lamppujen keskimääräinen käyttöikä on 8000 tuntia, jota käytettiin laskelmissa. Valaisimissa on havaittavissa ylikuumentumisen merkkejä jo pelkästään silmämääräisessä tarkistuksessa. Valaisimen komponenteissa on selkeitä värimuutoksia (kuva 9).



KUVA 9. Nykyiset valaisimet kärsivät liiallisesta lämpenemisestä

Osassa tiloista on myös sähköenergian kulutuksen kannalta turhaan aikaohjaus valaistukselle. Esimerkiksi tulostushuoneessa ei valaistuksen tarvitse syttyä tietynä kellonaikana. Tilan käyttö on sen tyyppistä, että valaistus voi olla tunteja päällä, vaikka tiloissa ei kukaan olekaan. Näiden ongelmavalaisimien laskennallinen energiankulutus vuodessa on peräti 280 MWh. (Kaava 1.)

Valaistuksen energiankulutus lasketaan kaavalla 1 (20, s. 19).

$$Q_{\text{valaistus}} = kP \frac{\tau_d \tau_w 8760}{24 \cdot 7 \cdot 1000}$$

KAAVA 1

$Q_{\text{valaistus}}$ = valaistuksen energiankulutus vuodessa (kWh)

k = valaisimen käyttöaste, esim. himmennys

P = valaisimien ottoteho (W)

τ_d = käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa (h)

τ_w = käyttöpäivien lukumäärä viikossa (d)

Käyttöaste nykyisillä valaisimilla oli 1, koska himmennystä ei ollut käytössä. Valaisimen ottotehona käytettiin 108 wattia. Liitäntälaitteen ottoteho ei ollut tiedossa, joten se jätettiin huomioimatta. Käyttötunteja seitsemänä päivänä viikossa oli 10.

4.2 Muutosehdotukset ilman valaisimen vaihtoa

Vaihtoehtoja parannuksiin on yleensä useita, mutta tietoisuus kaikin puolin edullisimmasta ei ole helppo. Heti alkuun kartoitettiin uudelleen tilojen käyttöasteet, millä saatiinkin muutama tunti nipistettyä valaistuksen päälläoloaika joistakin tiloista. Lisäksi mittauksilla todettiin, että käytävillä valaistusvoimakkuus kolmella lampulla per valaisin oli keskimäärin 450 lx ja kahdella lampulla 250 lx. Jopa kahdella lampulla saatu mittaustulos ylittää valaistusvoimakkuussuositukset (17). Koska valaisimen sisäinen kaapelointi mahdollisti kahden lampun käytön, saatiin valaisimien tehoa alennettua kolmanneksella.

Mittaukset suoritettiin Testo 540 -valaistusvoimakkuusmittarilla (kuva 10), joka olikin sopivan kokoinen taskussa kuljetettavaksi. Mittari varmistettiin luotettavaksi vertailemalla sen antamaa mittaustulosta kahden muun paremmin varustellun mittarin antamiin tuloksiin.



KUVA 10. Testo 540 -valaistusvoimakkuusmittari

4.3 Valaisimen vaihto

Yleensä halvin saneerausratkaisu kertainvestoinnissa on pelkän valaisimen uusiminen nykyaikaisempaan pienempitehoiseen valaisimeen. Vaikka nykyiset loistelamppuvalaisimet ovat vain 8 vuotta vanhoja, on tekniikka kehittynyt sinä aikana huomasti. Jo pelkästään LED-tekniikkaan siirtyminen alentaa energiankulutusta paljon.

Valaisimeksi tähän kohteeseen valittiin Fagerhultin valmistama Recesso Beta Opti -valaisimen (21), joka on erityisesti suunniteltu oppilaitoksiin ja nimenomaan T-listoilla toteutettuun kattorakenteeseen. Valaisimen valoteho on valmistajan ilmoittamana 3000 lm ja teho 26 W, joka on vain 28 % nykyisen valaisimen tehosta. Valaistusvoimakkuuden riittävyys tarkistettiin Dialux-valaistus-suunnitteluohjelmalla ja se todettiin todella hyvin suositukset täyttäväksi (kuva 11). (Liite 1.)



KUVA 11. Dialux-ohjelmalla saatu isolux-käyrät kohtisuorasta valaistusvoimakkuudesta



KUVA 12. Dialux-ohjelmaan mallinnettu käytävätila ja valokuva samasta tilasta nykyisillä valaisimilla

Valitun Recesso Beta Opti -valaisimen tarkemmat ominaisuudet voidaan lukea taulukosta 1.

TAULUKKO 1. Recesso Beta Opti -valaisimen ominaisuudet (21)

Teho	26 W
Koko	600x600 mm
Paino	3 kg
Väriämpötila	4000 K
Valaisimen valovirta	3000 lm
Valoteho	115,4 lm/W
Valovirran alenema, L₉₀B₅₀	50000 h

Taulukosta 1 voidaan nähdä myös valmistajan lupaama valaisimen elinikä valovirran alenemana, eli milloin valaisin on uusittava. L₉₀ tarkoittaa tämän valaisimen kohdalla sitä, että 50 000 käyttötunnin kuluttua 3000 lumenin valovirrasta

on jäljellä 90 %. B_{50} taas on vikaantumiskerroin, joka tarkoittaa käyttöiän aikana tapahtuvaa asteittaista vikaantumista prosentteina. Tässä valaisimessa 50 000 käyttötunnin kuluttua 50 %:ssa LED-moduuleista valovirta on vähintään L-arvon ilmoittamassa arvossa. Nämä ovat erityisen tärkeät arvot vertailtaessa kustannussäästöjä eri valaisimien kesken. (22.)

Valaistuksen ohjaustapa säilyy entisellään, joten muutokset kohdistuvat pelkään valaisimeen.

4.4 Liiketunnistimella varustettu LED-valaisin

Toisena vaihtoehtona oli käyttää samaa Recesso Beta Opti -valaisinta kuin edellisessäkin vaihtoehdossa, mutta lisättyä valaisinvalmistajan omalla kiinteällä e-Sense SmartSwitch -älykkäällä valaistuksen ohjauksella (kuva 13). Tämä lisävaruste ohjaa valaisinta siten, että tilassa liikuttaessa valaistusvoimakkuus on suurimmillaan, ja kun tilassa ei ole liikettä, valaistusvoimakkuus alenee automaattisesti ennalta säädettävään arvoon säädettävän viiveen jälkeen. (23.)

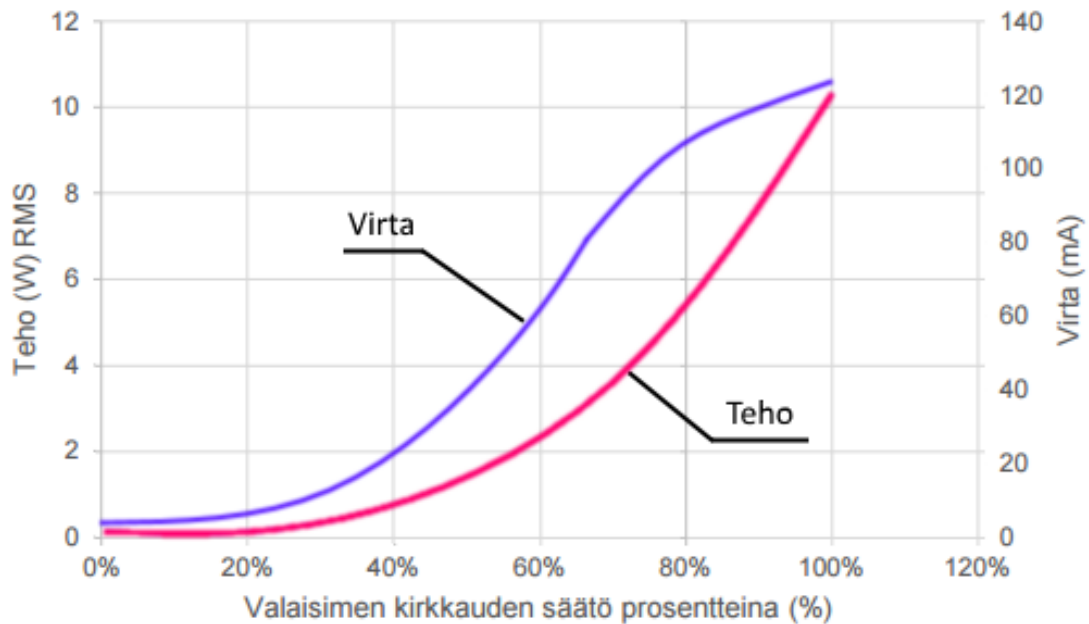


KUVA 13. Valaisimeen integroitava e-Sense-ohjausmoduuli (23)

Tämä ohjaustapa oli mielestäni järkevä ratkaisu tämän tyyppisille tiloille: liikkuminen käytävillä painottuu pääasiassa välitunneille, ja kun on kyse koulutiloista joissa lapset liikkuvat, valaistusta ei voida energiasäästösyistäkään sammuttaa kokonaan, jotta lasten turvallisuudentunne säilyy. Näistä syistä e-Sense SmartSwitch -älykkäällä valaistuksen ohjauksella voidaan ohjata valaistusvoimakkuus 30 %:iin silloin, kun tiloissa ei ole liikettä. Koska liikkuminen tiloissa ei

ole säännönmukaista, voidaan olettaa, että keskimäärin valaistuksen käytöstä noin puolet olisi alennetulla voimakkuudella ja puolet täydellä voimakkuudella.

Himmennettäessä valaisinta sen tehontarve ei ole lineaarinen. Tästä syystä alennettaessa valaisimen kirkkautta 40 %:iin, sen tehontarve laskee noin 10 %:iin (kuva 14).

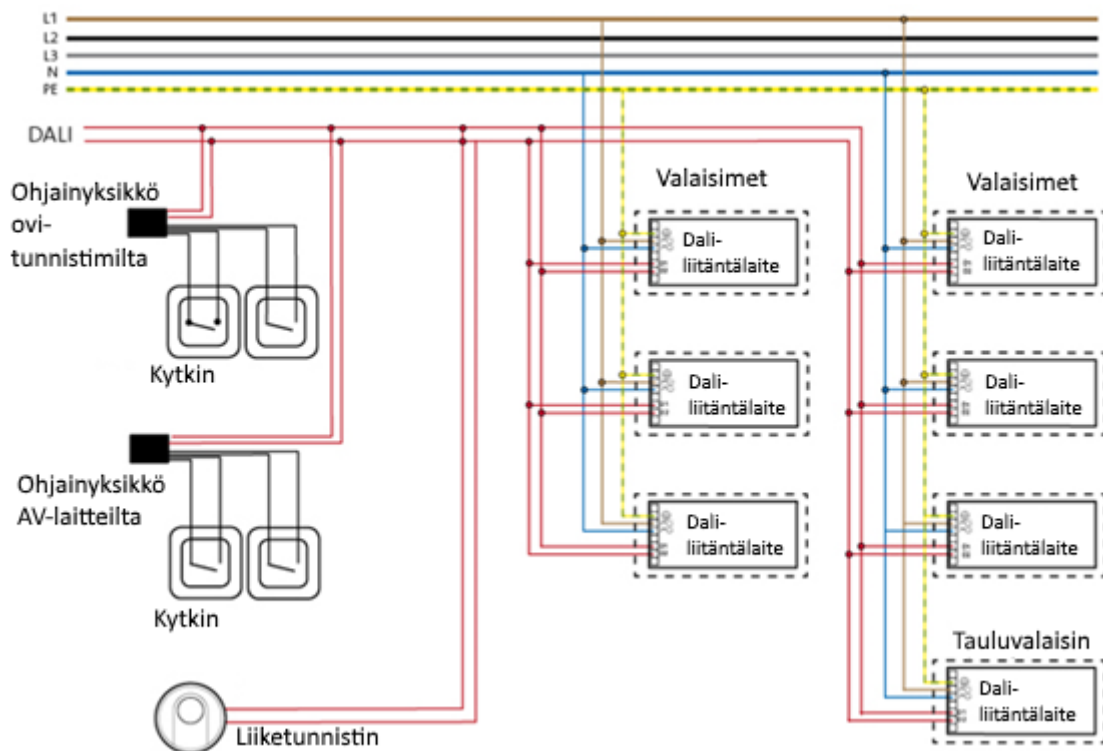


KUVA 14. Virran ja tehon käyttäytyminen suhteessa himmennykseen (24, s. 30)

Poissaolohimmennystä käytettäessä valaisimen keskimääräinen laskennallinen tehontarve laskee 26 watista 14 wattiin. Tästä energiansäästöstä saatava hyöty supistuu hieman korkeamman hankintahinnan seurauksena, mutta pidemmällä aikajaksolla säästöä kuitenkin syntyy.

4.5 Valaistuksen ja ohjausjärjestelmän uusiminen

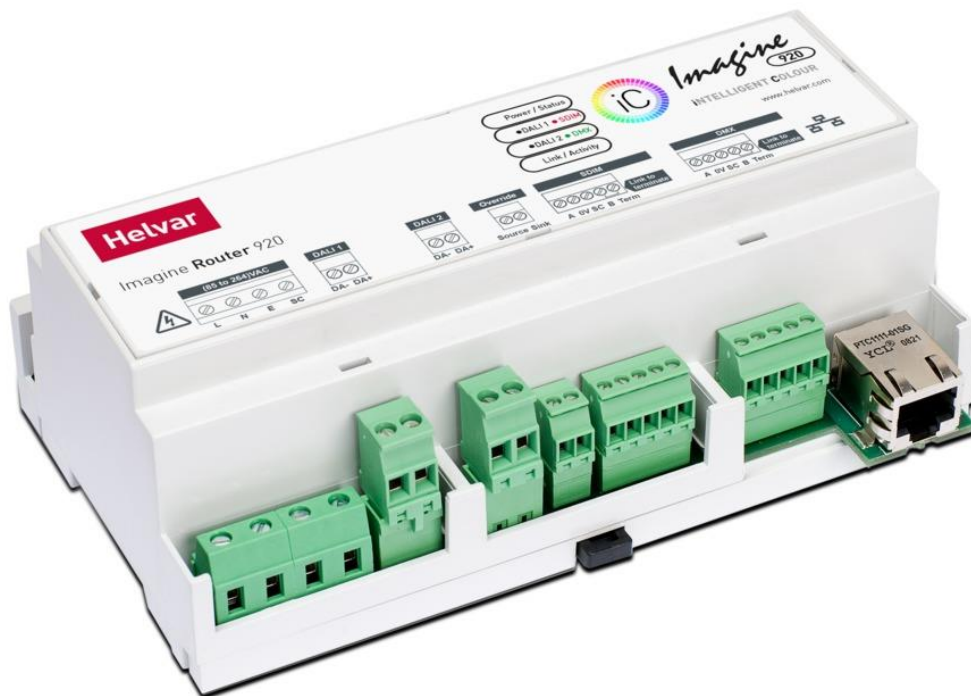
Kolmanneksi muutosvaihtoehdoksi valittiin koko valaistusjärjestelmän uusiminen. Siinä valaistuksen ohjaukseen käytettäisiin Helvarin valmistamaa Digidim-tuoteperheen ohjelmoitavaa DALI-valaistusjärjestelmää (25). Tämän ratkaisun ongelmaksi osoittautui heti alkukartoituksessa kaapelointi. Dali-järjestelmässä oleellisena edellytyksenä DALI-väylä, joka vaatii kaksi johdinta lisää nykyisen viiden johtimen lisäksi (kuva 15). Ohjaustieto valaisimille siirtyy DALI-väylän kautta.



KUVA 15. DALI-järjestelmän kaapeloinnin periaatekaavio (26)

DALI-väylän kaapeleiden puuttuminen tarkoittaa sitä, että kaapelointia joudutaan lisäämään tai jopa suunnittelemaan osittain uudestaan. Tämän kokoisessa kiinteistössä, jossa valaistusmuutos kohdistuu koko rakennuksen alalle, uudelleen kaapelointi tuo lisäkustannuksia investointiin. Jotta DALI-järjestelmästä saataisiin mahdollisimman suuri hyöty, on tiloihin asennettava lisäksi vielä erilliset liiketunnistimet (kuva 15). Tunnistimet vaativat myös oman kaapeloinnin, joten lisäkustannuksia kahteen edelliseen ratkaisuvaihtoihin nähden syntyy.

DALI-järjestelmä tarvitsee toimiakseen myös virtalähteen sekä ohjelmointipisteen. Tähän työhön valittiin 920-mallin reititin (kuva 16), joka sijoitetaan sähkökeskukseen mahdollisimman keskeiselle paikalle valaisimiin ja muihin DALI-järjestelmän laitteisiin nähden. Ongelmaksi tässä kohteessa osoittautui valaisimien määrä, koska DALI-reititin mahdollistaa korkeintaan 128:n osoitteellisen DALI-laitteen yhdistämisen ja ohjauksen yhdellä reitittimellä. 721 valaisinta vaatii jopa 6 reititintä kattamaan kaikki muutoksessa vaihdettavat valaisimet. DALI-kaapelin maksimipituus, 300 metriä, ei tule ongelmaksi, koska joka tapauksessa joudutaan käyttämään useampaa reititintä. (27.)



KUVA 16. Helvar 920 -reititin DALI-järjestelmään (27)

4.6 Taloudelliset vaikutukset

Investoinnin kustannuksiin vaikuttaa moni tekijä: katon rakenne, asennuskorkeus, kaapelireitit ja -läpiviennit sekä asennusten monimutkaisuus, joka vaikuttaa asennustyön määrään. Tässä kohteessa oli T-listalla toteutettu alaslaskettu katto (kuva 17), joten itse valaisimen asennus on tehty helpoksi. Valaisinta käytännössä vain nostetaan ylöspäin, kunnes se napsahtaa kiinni T-listan olakkeen

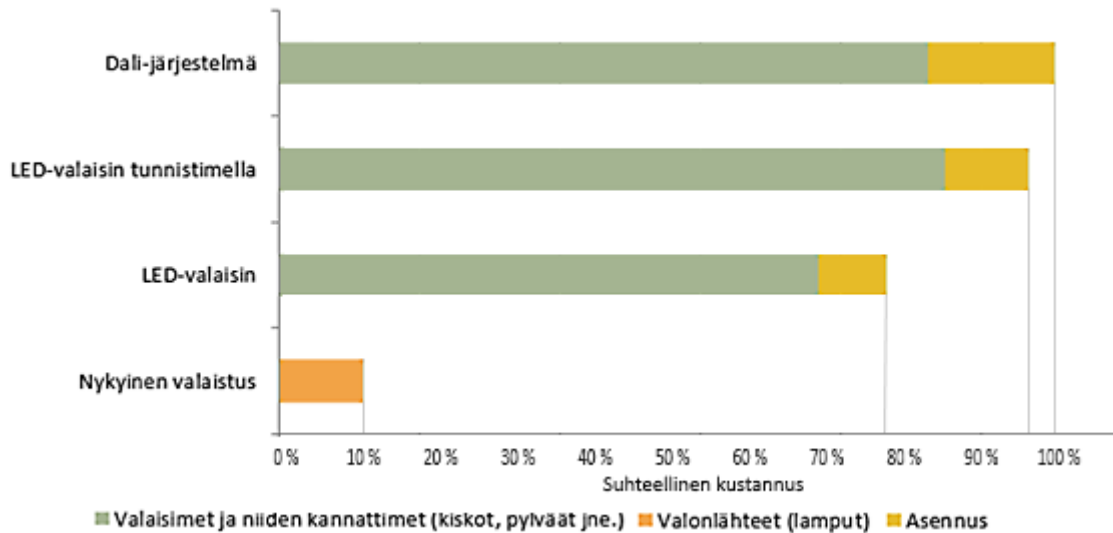
päälle. Työssä käytetyistä muutosratkaisuista DALI-järjestelmässä joudutaan lisäämään kaapelointia kytkentöjen tekemiseen, joten siinä asennustöihin käytettävä aikakin on pitempi kuin muissa vaihtoehdoissa. Myös asennustyöhön käytetty aika vaikuttaa kustannuksiin. Ensimmäisessä vaihtoehdossa vaihdetaan pelkästään valaisin, mutta tunnistimella varustetussa valaisimessa joudutaan lisäksi säätämään tunnistimen herkkyys, jos tehdasasetukset jostain syystä ei tilanteeseen sovi.



KUVA 17. Työssä käytetty valaisin asennettuna T-listalla toteutettuun alakattoon (21)

Investointikustannuksien vertailu oli aika haastavaa, koska eri asiakkailta on omat sopimukset valmistajien kanssa ja siitä johtuen kilpailutuksessa annetut tarjoukset usein poikkeavat toisistaan. Hinnoittelussa käytettiin apuna Sähköinfo Oy:n julkaisemaa Sähköurakan yksikkökustannuksia -teosta (27), josta saatiin suuntaa antava hinnoittelu valaisimen, kaapeleiden ja liiketunnistimien asennuksille. Käytin hyväksi myös omaa työelämässäni saama hinnoittelukokemusta. On muistettava, että kilpailutuksessa saadut tarjoukset poikkeavat tässä työssä käytetyistä investointikustannuksista. Kuitenkin energiasäästöjen ja elinkaari-kustannusten vertailu on sinällään sama, vaikka valaisimen lähtöhinta olisi joko 200 € tai 250 €, kun työssä käytettiin samaa valaisinta kaikissa vaihtoehdoissa. Vain valaisimen lisävarusteet poikkesivat toisistaan.

Hankinta- ja asennuskustannukset poikkesivat jonkin verran toisistaan. Työssä vertailtiin vaihtoehtoja keskenään prosentuaalisesti (kuva 18), jolloin samaa vertailua on helpompi käyttää myös muissa eri kokoisissa hankkeissa. Kuvassa 18 nähdään eri vaihtoehtojen investointikustannuksien jakaantuminen.



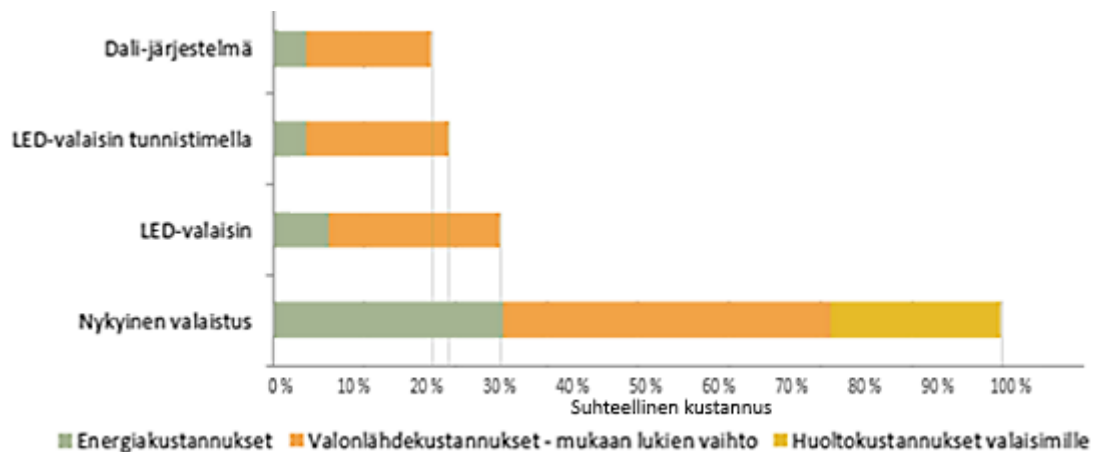
KUVA 18. Investointikustannuksien jakautuminen eri vaihtoehtoisissa (29)

4.6.1 Energiasäästöt

Työssä käytettiin Motiva Oy:n yhteistyössä alan eri toimijoiden kanssa julkaisemaan Valti-elinkaarilaskuria (liite 2). Laskuri on Excel-taulukko, johon annetaan valaistusmuutoksesta yksityiskohtaiset tiedot ja taulukko antaa hyvinkin vertailukelpoiset tulokset. Taulukossa muutosvaihtoehtoja vertaillaan nykytilanteeseen, ja pylväsdiagrammit havainnollistavat saadut tulokset todella hyvin vertailtaviksi. Ongelmana on vain liiketunnistimilla aikaan saatavien säästöjen arviointi ja laskenta. Sitä kun ei voi mitenkään ennustaa tarkasti varsinkaan koulurakennuksessa, jossa lapsia liikkuu. Tässä käytetty kerroin onkin muodostunut alan toimijoiden keskuudessa keskiarvoksi. (29.)

Energiasäästöt saadaan pääasiassa siten, että valaisin vaihdetaan pienitehoisempaan. Loput säästöt energiakustannuksiin saadaan himmennyksellä ja ohjausteknisin keinoin. Liiketunnistusta käytettäessä LED-valaisimen energiankulutus saadaan laskettua melkein puoleen. Valaistus on vain silloin täydellä teholla, kun tilassa ollaan.

Kuvasta 19 nähdään, että vaihdettaessa pelkkä valaisin saadaan energiakustannukset tiputettua alle kolmannekseen nykytilasta. Kun vielä lisätään liiketunnistus, energiankulutus laskee edelleen. Laskennassa käytettiin 15 vuoden aikajaksoa.



KUVA 19. Käyttökustannuksien jakautuminen 15 vuoden aikana myös energiankulutus huomioiden (29)

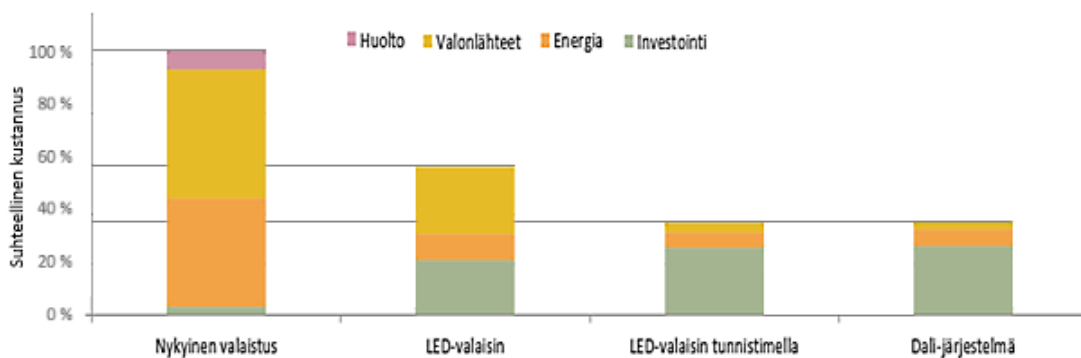
4.6.2 Elinkaarikustannukset

Valaisimen elinkaaren, eli valaisimen käyttöiän aikana syntyvät kustannukset kertovat, kuinka taloudellinen valaistus on. Kustannukset sisältävät energia- ja huoltokustannukset investoinnista valaisimen uusimiseen asti. Huoltokustannukset koostuvat valaisimen puhdistuksesta ja tässä työssä käytettävän LED-valaisimen huoltokustannuksia ei oikeastaan synny. Laadukas moduulivalaisin on niin hyvin tehty, ettei sen sisälle pääse epäpuhtauksia. Nykyiselle valaistukselle huoltokustannuksia kertyy loistelamppujen vaihdosta ja valaisimen puhdistuksesta noin kahden vuoden välein.

Himmenninvalaisinta ja DALI-järjestelmää käytettäessä päästään pitempään elinkaareen, eli valaisin tuottaa valoa luvatus määrän osittaisen himmennuksen ansiosta vielä senkin jälkeen, kun täydellä teholla palava LED-valaisin on jo niin himmeä, että se joudutaan vaihtamaan. Verrattaessa uusia vaihtoehtoja nykyiseen, on nykyiset lamput pitänyt uusia jo ennen kolmatta käyttövuotta. Jo

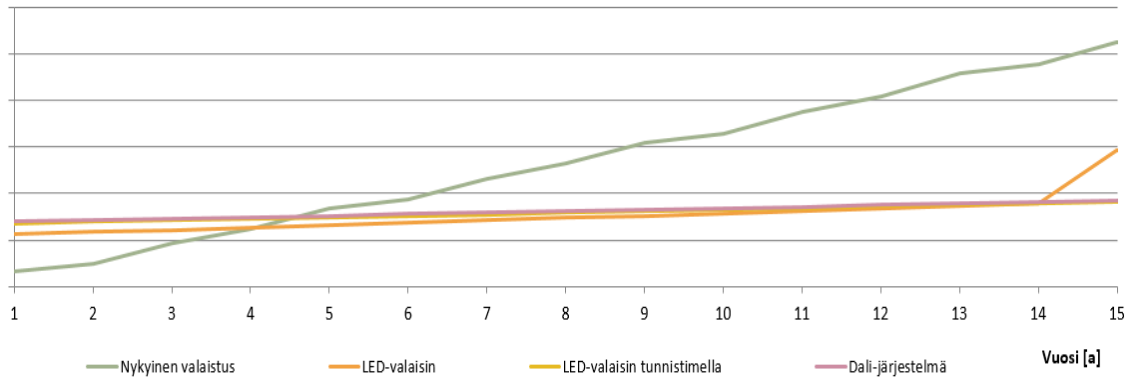
pelkkä LED-valaisin toimii vielä senkin jälkeen, kun nykyiseen valaisimeen on uusittu loistelamput noin kuudesti.

Elinkaarivertailussa kustannuksia verrataan pisimmän elinkaaren omaavaan vaihtoehtoon (kuva 20). Vaihtoehdossa, jossa vaihdetaan pelkkä valaisin, on jo ehtinyt kertyä kustannuksia valaisimen uusimisesta, kun osittain himmennetyssä ja DALI-järjestelmässä elinkaari vielä jatkuu. Kun valaisinta käytetään koko ajan täydellä teholla, se myös vanhenee nopeammin. 14. vuoden kohdalla (kuva 21) sen käyttötunnit tulevat täyteen, eli se on elinkaarensa lopussa. Himmennettäessä valaistusta käytetään valaisimia alivirralla, jolloin valaisin ei kulu niin nopeasti ja saadaan elinkaarta pidemmäksi.



KUVA 20. Valaistuksesta aiheutuvien kustannusten jakautuminen pisimmän elinkaaren omaavan vaihtoehdon aikana (29)

Kuvassa 21 on selkeästi havainnollistettu eri vaihtoehtojen elinkaarikustannuksien kertyminen. Nykyratkaisussa kustannukset kasvavat huomattavasti nopeammin suuren energiakulutuksen ja lyhyen lamppujen käyttöiän takia. Selkeää on myös, että jos uuden valaistuksen vain 14 vuotta tai vähemmän, kannattaa valita pelkkä valaisimen vaihto. Jos tarve uudelle valaistukselle on enemmän kuin 14 vuotta, on himmennys oikea ratkaisu.



KUVA 21. Valaistuksen elinkaarikustannuksien nykyarvon kertyminen (29)

Taulukossa 2 vertailutulokset ovat helposti luettavissa ja nähdään eri muutosvaihtoehtojen erot ja niihin johtaneet eroavaisuudet.

TAULUKKO 2. Muutosvaihtoehtojen tärkeimmät eroavaisuudet

	Nykyinen valaistus	LED-valaisin	LED-valaisin tunnistimella	Dali-järjestelmä
Valaisimen teho, W	108	26	26	26
Ohjaustapa	On/Off	On/Off	Läsnäolo himmennys	Läsnäolo himmennys
Käyttöikä, h	8000	50000	50000	50000
Käyttöaste, %	100	100	60	60
Käyttötunnit, vrk	10			
Energiakulutus, MWh/a	280,3	67,5	40,5	40,5
Elinkaari, a	2	14	23	23
Takaisinmaksuaika, a		4	4	4

5 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli saada selvä käsitys taloudellisimmasta ratkaisusta, jolla voidaan uusien valaistus Oulun kaupungin hallinnoimaan monitoimitaloon.

Työssä tavoiteltiin erityisesti valaistusmuutoksesta saatavaa säästöä energiankulutuksesta ja elinkaarensa aikana syntyvistä kustannuksista vertailemalla ohjaustavaltaan erilaisia toteutusratkaisuja.

Työssä käytettiin silmämääräisen tarkastelun lisäksi valaistusvoimakkuusmittaria nykyisen tilanteen kartoittamiseen. Uusien valaisimien valitsemisen apuvälineenä oli vapaasti käytettävissä oleva Dialux-valaistussuunnitteluohjelma. Suurena apuna energialaskelmissa oli Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3. Kurssia, jolla D3:sta käsiteltiin, kritisoitiin opintojen yhteydessä, mutta tässä työssä siitä oli apua.

Työssä käytettiin energiasäästöjen ja elinkaarikustannuksien arvioimiseen Valtti-elinkaarilaskuria, jonka on julkaissut Motiva Oy yhdessä alan eri toimijoiden kanssa. Valmis laskuri nopeuttikin työn etenemistä huomattavasti, kun ei tarvinnut itse tehdä saman asian tekevää Excel-laskentasovellusta.

Jo pelkästään valaisimien vaihdolla saatiin huomattavia energiasäästöjä. Valaistuksen tarvitsema sähköteho aleni peräti 28 %:iin. Takaisinmaksuaika tällä ratkaisulla energiasäästöjen ansiosta olisi noin 4 vuotta, joka on todella hyvä tämän suuruisissa investoinneissa. Valaistuksen ohjaustavalla on suuri merkitys valaisimien eliniän määrityksessä. Käytettäessä himmennystä edes osittain käyttöaikana, esimerkiksi oppituntien aikana, jolloin käytävillä ei liikuta, saadaan käyttöikää pidennettyä merkittävästi. Valaisimia voidaan jopa hieman ylittää ja käyttää niitä alivirralla hieman himmeämpinä kuin niiden luvattu valaistusvoimakkuus on. Näin saadaan käyttöikää pidennettyä ilman, että investointikustannukset kasvavat kovinkaan paljon. Kaikki valinnat on tehtävä käyttötarpeen mukaan. Dali-järjestelmää ei kannata tähän kohteeseen valita, vaan valaisimien kiinteä tunnistin riittää saamaan erinomaisia tuloksia asennuskustannuksien pysyessä kohtuullisina.

Työssä saatuja vertailutuloksia on helppo käyttää muissakin kohteissa muuttamalla vain vähän lähtötietoja. Tästä syystä työstä on apua monessa valaistus-saneerauksessa erilaisissa kohteissa. Varsinkin, kun 2000–2010-luvuilla oli valaistuksen suunnittelussa painoarvo enemmän arkkitehtonisilla näkökulmilla kuin energiasäästöissä, ovat tämän tapaiset muutossaneeraukset aika yleisiä. Nykyään painotetaan enemmän elinkaariajattelua, jolloin energiansäästöjen kannalta paras mahdollinen valaistus ei välttämättä ole järkevin vaihtoehto. Koko rakennuksen elinkaaren jälkeinen valaistuksen elinikä on tavallaan hukkaan heitettyä investointia.

LÄHTEET

1. Jokiniemi, Jukka – Vilpponen, Mikael. Innolux. 2014. Valaistussuunniteluopas. Saatavissa: http://www.innolux.fi/sites/default/files/Valaistussuunnitteluopas_RGB.pdf. Hakupäivä 29.1.2017.
2. Röynä, Jonna. Valaistussuunnittelu. Saatavissa: <http://www.jonnaröyna.com/palvel.html>. Hakupäivä 29.1.2017.
3. Valaistusjärjestelmät. Sähköala.fi. Saatavissa: http://www.sahkoala.fi/kiinteistoala/sahkojarjestelmat/fi_FI/Valaistusjarj/. Hakupäivä 29.1.2017.
4. Valaistus. 2017. Työsuojelu.fi. Saatavissa: <http://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/fysikaaliset-tekijat/valaistus>. Hakupäivä 29.1.2017.
5. Govén, T – Laike, T – Pendse, B – Sjöberg, K. 2009. The background luminance and colour temperatures influence on alertness and mental health. Fagerhult. Saatavissa: http://www.fagerhult.com/globalassets/global/light_support/research/the-backgronund-luminance-and-colour-temperatures-influence-on-alertness-and-mental-health.pdf. Hakupäivä 5.2.2017.
6. Kokonaistaloudelliset valaistushankinnat. Motiva. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/4328/Kokonaistaloudelliset_valaistushankinnat.pdf. Hakupäivä 29.1.2017.
7. Nurmi, Tapani. Valaistustekniikka. Saatavissa: http://www.leenakorpien.fi/archive/svt_opus/13valaistustekniikka.pdf. Hakupäivä 5.2.2017.
8. Iso-Heiniemi, Marko. 2010. Teknitaloudellinen tarkastelu T5-loistelampujen käytöstä. Opinnäytetyö. Oulu: Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/16820/Iso-Heiniemi_Marko.pdf. Hakupäivä 5.2.2017.
9. Honkanen, K. Valaistustekniikka. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Saatavissa: http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/STEK_Valaistustekniikka.pdf. Hakupäivä 5.2.2017.

10. Led-moduulit: oikea led-valaistusratkaisu – energiatehokas ja pitkäikäinen. Osram. Saatavissa: https://www.osram.fi/osram_fi/uutiset--tie-dot/led/ammattitietoa/teknologiat/led-moduulit/index.jsp. Hakupäivä 11.2.2017.
11. Tietoa LEDeistä. Sarsa yhtymät. Saatavissa: <http://sarsayhtyma.fi/led-valot/>. Hakupäivä 11.2.2017.
12. LUXEON CoB with CrispWhite Technology. Lumileds. Saatavissa: <http://www.lumileds.com/products/luxeon-cob-with-crispwhite>. Hakupäivä 17.3.2017.
13. Martikainen, Marko. 2010. Valaistuksen tulevaisuus. Osram. Saatavissa: <http://eis.fi/wordpress/wp-content/uploads/2010/04/Valaistuksen-tulevaisuus.pdf>. Hakupäivä 12.2.2017.
14. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/27/EU. 2012. Direktiivit. Euroopan Unioni. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:FI:PDF>. Hakupäivä 15.3.2017.
15. Suomi, Mika. 2016. Oledit valtaavat valaistukselle tilaa uusista paikoista. Sähköala.fi. Saatavissa: http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/valaistus/fi_FI/OLED/. Hakupäivä 12.2.2017.
16. Laser light for headlights: latest trend in car lighting. 2017. Osram. Saatavissa: https://www.osram.com/osram_com/news-and-knowledge/automotive-special/trends-in-automotive-lighting/laser-light-new-headlight-technology/index.jsp. Hakupäivä 12.2.2017.
17. SFS-EN 12464-1. 2011. Sisävalaistusstandardi. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
18. Riikola, Toivo. Fagerhult. Saatavissa: <http://docplayer.fi/6522717-Sisalto-valaistustekniikan-perusteita.html>. Hakupäivä 5.3.2017.
19. OSRAM DULUX F. Pienoisloistelamput. Osram. Saatavissa: http://www.osram.fi/osram_fi/tuotteet/lamput/pienloistelamput/osram-dulux-f/index.jsp?productId=ZMP_59167. Hakupäivä 19.2.2017.

20. D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37188/D3-2012_Suomi.pdf. Hakupäivä 26.2.2017.
21. Recesso Beta Opti. Fagerhult. Saatavissa: <http://www.fagerhult.com/fi/Tuotteet/Recesso/Recesso-Beta-Opti/>. Hakupäivä 29.2.2017.
22. Ledien elinikä. Glamox. Saatavissa: <http://glamox.com/fi/ledien-elinika1>. Hakupäivä 29.2.2017.
23. Älykäs valaistusjärjestelmä. Fagerhult e-sense. Saatavissa: <http://docplayer.fi/6803540-Fagerhult-e-sense-alykas-valaistusjarjestelma.html>. Hakupäivä 5.3.2017.
24. Arponen, Joonas. 2016. DLT-protokolla ja sen käytettävyyden arviointi valaisinjärjestelmässä. Opinnäytetyö. Turun Ammattikorkeakoulu, Elektronikka. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/107243/Joonas_Arponen.pdf?sequence=1. Hakupäivä 5.3.2017.
25. DIGIDIM - Ohjelmoitavat ratkaisut. Helvar. Saatavissa: <https://www.helvar.com/fi/ratkaisut/digidim/>. Hakupäivä 5.3.2017.
26. Installation example – classroom with DALI-dimming. Fagerhult. Saatavissa: <http://www.fagerhult.com/fi/Tunable-white/Henkilokohtaista-valoa/Kuinka-tekniikka-toimii-kaytannossa/>. Hakupäivä 5.3.2017.
27. 920-reititin. Valaistusohjausjärjestelmät. Helvar. Saatavissa: <https://www.helvar.com/fi/tuotteet/920/>. Hakupäivä 11.3.2017.
28. Sähköinfo Oy. 2017. Yksikkökustannukset. Sähköurakan yksikkökustannuksia 2016/II.
29. Valtti-elinkaarikustannuslaskuri. 2016. Motiva Oy. Saatavissa: <https://valaistustieto.fi/laskuri/>. Hakupäivä 12.3.2017.

Monitoimitalo

26.2.2017

DIALux

Monitoimitalo / Projektin kuvaus

Monitoimitalo

Käytävä

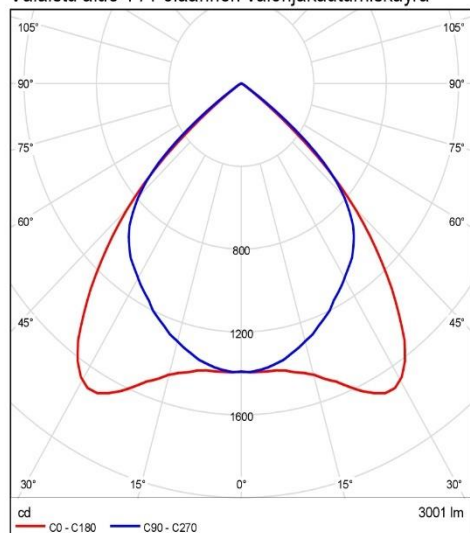
Tekijä:
Markku Korhonen

Monitoimitalo

26.2.2017

Ympäristö 1 / Rakennus 1 / Kerros 1 / Fagerhults Belysning AB 25788 Recesso Beta Opti 2cell 600 840 1xLED 25788 /
Valaisintietoarkki (1xLED 25788)**DIALux****Fagerhults Belysning AB 25788 Recesso Beta Opti 2cell 600 840 1xLED 25788**

Absoluuttinen fotometria
Valaisimien valovirta: 3000 lm
Teho: 26.0 W
Valoteho: 115.4 lm/W

Valaistu alue 1 / Polaariset valonjakautumiskäyrät**Asennus**

Upotetaan T-profiilikattoon, jossa on näkyvät kannatinprofiilit (15 tai 25 mm). Ei sovellettu muihin kattotyyppeihin. Voidaan asentaa myös ilmastoituun alakattorakenteeseen. Ei saa peittää eristävällä materiaalilla. Lisätietoja asennusohjeessa kotisivuillamme.

Kytettä

Jousiliitinkytkentärämiä 3x2,5 mm² (valonsäätöön 5x2,5 mm²).
Voidaan toimittaa pistotulppaisella liitosjohdolla tai Wieland- sekä Wago -pistoliitinjärjestelmiin sopivina.

Rakenne

Runko valkoiseksi maalattu teräslevy (RAL 9016). Ilman läpivirtausaukko rungon häikäisysuojan sivuilla.

Häikäisysuoja

Beta Opti - kaksoisparabolinen pienluminanssoptiikka, jossa puoliikkkaasta metallidusta alumiinista (heijastussuhde >92 %) valmistetut sivuheijastimet ja poikkilamelit. Integroitu opaalkalvo, joka poistaa ledien aiheuttaman kiusahäikäisyn. Valoaukossa suojamuovi, joka poistetaan loppusuorituksen jälkeen.

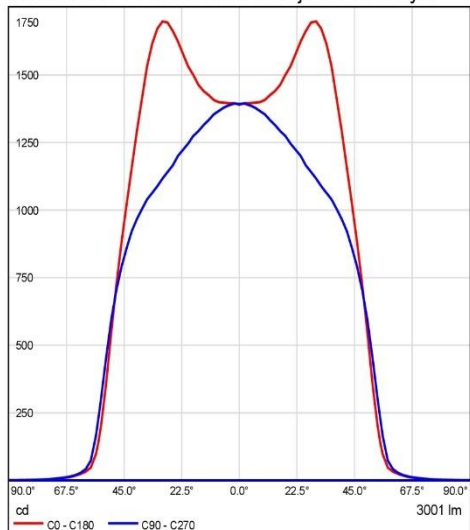
Monitoimitalo

26.2.2017

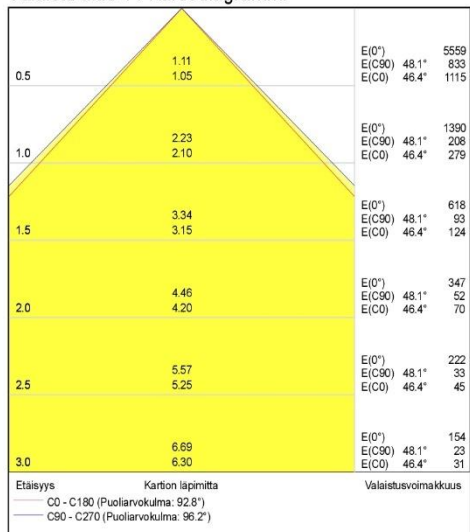
Ympäristö 1 / Rakennus 1 / Kerros 1 / Fagerhults Belysning AB 25788 Recesso Beta Opti 2cell 600 840 1xLED 25788 / Valaisintietoarkki (1xLED 25788)

DIALux

Valaistu alue 1 / Lineaarinen valonjakautumiskäyrä



Valaistu alue 1 / Kartiodiagrammi



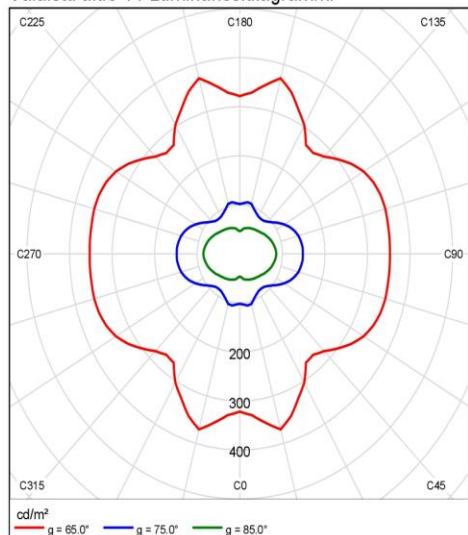
Monitoimitalo

26.2.2017

Ympäristö 1 / Rakennus 1 / Kerros 1 / Fagerhults Belysning AB 25788 Recesso Beta Opti 2cell 600 840 1xLED 25788 / Valaisintietoarkki (1xLED 25788)

DIALux

Valaistu alue 1 / Luminanssidiagrammi



Valaistu alue 1 / UGR-diagrammi

Häikäisyarvot UGR:N mukaan													
		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30		
		50	30	50	30	30	50	30	50	30	30		
		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
Tilan koko		Näkökulma poikittain					Näkökulma pitkittäin						
X	Y	Lampun keskiviivaan					Lampun keskiviivaan						
2H	2H	18.5	19.5	18.8	19.7	19.9	17.9	18.8	18.1	19.1	19.3		
	3H	18.4	19.2	18.7	19.5	19.7	17.7	18.6	18.0	18.8	19.1		
	4H	18.3	19.1	18.6	19.4	19.6	17.6	18.5	18.0	18.7	19.0		
	6H	18.2	19.0	18.5	19.2	19.5	17.6	18.3	17.9	18.6	18.9		
	8H	18.2	18.9	18.5	19.2	19.5	17.5	18.2	17.9	18.5	18.9		
	12H	18.1	18.8	18.5	19.1	19.4	17.5	18.2	17.9	18.5	18.8		
4H	2H	18.4	19.2	18.7	19.4	19.7	17.7	18.5	18.0	18.8	19.1		
	3H	18.2	18.9	18.6	19.2	19.5	17.6	18.3	17.9	18.6	18.9		
	4H	18.1	18.7	18.5	19.1	19.4	17.5	18.1	17.9	18.4	18.8		
	6H	18.1	18.6	18.5	18.9	19.3	17.5	18.0	17.9	18.3	18.7		
	8H	18.0	18.5	18.5	18.9	19.3	17.4	17.9	17.8	18.3	18.7		
	12H	18.0	18.4	18.4	18.8	19.2	17.4	17.8	17.8	18.2	18.6		
8H	4H	18.0	18.5	18.5	18.9	19.3	17.4	17.9	17.8	18.3	18.7		
	6H	18.0	18.3	18.4	18.7	19.2	17.3	17.7	17.8	18.1	18.6		
	8H	17.9	18.2	18.4	18.7	19.1	17.3	17.6	17.8	18.1	18.5		
	12H	17.9	18.1	18.3	18.6	19.1	17.2	17.5	17.7	18.0	18.5		
	12H	4H	18.0	18.4	18.4	18.8	19.2	17.4	17.8	17.8	18.2	18.6	
		6H	17.9	18.2	18.4	18.7	19.1	17.3	17.6	17.8	18.1	18.5	
8H		17.9	18.1	18.3	18.6	19.1	17.2	17.5	17.7	18.0	18.5		
Vaihtelee katsojan paikkaa valaisimien etäisyyksien tarkastelemiseksi S													
S = 1.0H		+2.0 / -7.0					+1.9 / -4.2						
S = 1.5H		+3.4 / -17.4					+3.1 / -15.7						
S = 2.0H		+5.4 / -20.5					+4.8 / -18.7						
Vakiotaulukko		BK00					BK00						
Korjaustekijä		-0.1					-0.7						
Korjatut häikäisyarvot suhteessa 3001lm Kokonaisvalovirta													

UGR-arvojen laskenta perustuu CIE-julkaisuun 117. Spacing-to-Height-Ratio = 0.25

Monitoimitalo

26.2.2017

Ympäristö 1 / Rakennus 1 / Kerros 1 / Käytävä / Tilan yhteenveto

DIALux

Käytävä



Tilan korkeus: 2.400 m, Käyttötason korkeus: 0.000 m, Reuna-alue: 0.000 m
 Heijastussuhteet: Katto 70.0%, Seinät 50.0%, Lattia 20.0%, Alenemakero: 0.80

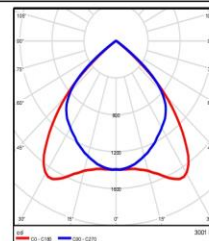
Käyttötaso

Pinta	Tulos	Keskiarvo (ohje)	Min.	Maks.	Min./keskim.	Min./maks.
1 Käyttötaso 1	Kohtisuora valaistusvoimakkuus [lx]	329 (200)	184	369	0.559	0.499

Numer Kappalemäärä

0

1	10	Fagerhults Belysning AB 25788 Recesso Beta Opti 2cell 600 840 Absoluuttinen fotometria Valaisimien valovirta: 3000 lm Teho: 26.0 W Valoteho: 115.4 lm/W
---	----	---



Lamppujen kokonaisvalovirta: 30010 lm, Valaisinten kokonaisvalovirta: 30000 lm, Kokonaisteho: 260.0 W, Valoteho: 115.4 lm/W

Ominaisliitäntäteho: 4.33 W/m² = 1.32 W/m²/100 lx (Pohjapinta-ala 60.00 m²)

Monitoimitalo

26.2.2017

DIALux

Ympäristö 1 / Rakennus 1 / Kerros 1 / Käytävä / Käyttötaso 1 / Isolux-käyrät / Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva)

Käyttötaso 1

Mittakaava: 1 : 200

Kohtisuora valaistusvoimakkuus (Pinta)

Keskiarvo (todellinen): 329 lx, Min.: 184 lx, Maks.: 369 lx, Min./keskim.: 0.559, Min./maks.: 0.499,

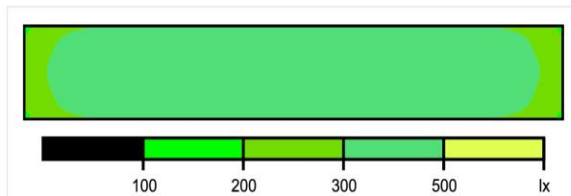
Monitoimitalo

26.2.2017

DIALux

Ympäristö 1 / Rakennus 1 / Kerros 1 / Käytävä / Käyttötaso 1 / Väärävärilt / Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva)

Käyttötaso 1



Mittakaava: 1 : 200

Kohtisuora valaistusvoimakkuus (Pinta)

Keskiarvo (todellinen): 329 lx, Min.: 184 lx, Maks.: 369 lx, Min./keskim.: 0.559, Min./maks.: 0.499,



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

Versio 1.0

VALAISTUSRATKAISUJEN ELINKAARIKUSTANNUSLASKENTA Sisävalaistuslaskenta

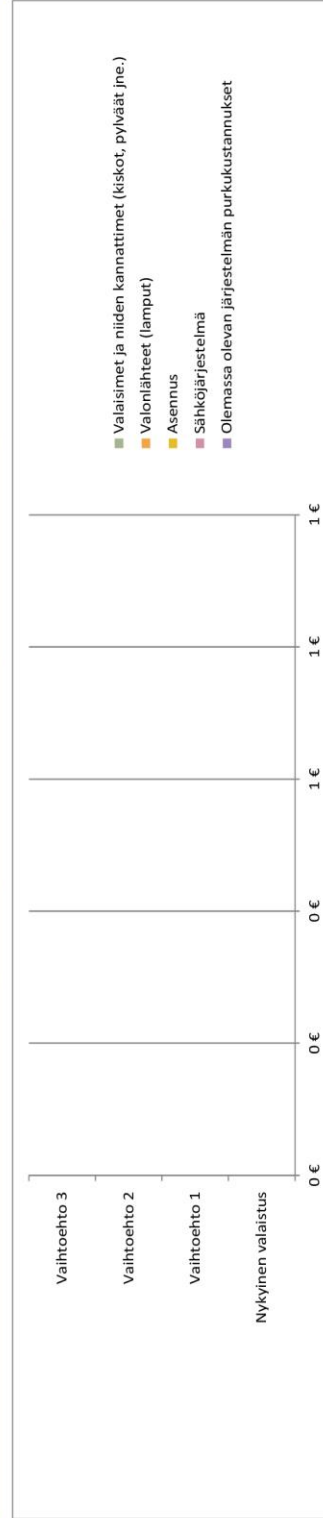
HANKKEEN KUVAUS: Kirjoita tähän hankkeen nimi
PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ: XX.XX.2016

ELINKAARIKUSTANNUSLASKENNAN LÄHTÖTIEDOT - MUUTA TARVITTAESSA		VALAISINTIEDOT - täytä nämä tiedot		VALAISTUSTEKNISET TIEDOT (ei vaikuta laskentaan)		VALAISIMIEN KÄYTTÖIKÄ JA VALAISTUKSEN OHJAUS - täytä nämä tiedot			
Laskenta-aika	a								
Laskentakorko (tuottovaatimus, lainakorko)	%	20							
Vuotuinen energian hinnannousu	%	4,00							
Vuotuinen valonlähteiden hinnannousu	%	2,00							
Vuotuinen huoltokustannusten hinnannousu	%	2,00							
Vaihtoehdon nimi	-		Nykyinen valaistus		Vaihtoehto 1		Vaihtoehto 2		Vaihtoehto 3
Valaisimimäärä	kpl								
Valonlähteiden lukumäärä/valaisin	kpl								
Teho/valonlähtede mukaan lukien liitäntälaitteen häviöteho	W								
Valmistaja (ei vaikuta laskentaan)	-								
Takuuaika (ei vaikuta laskentaan)	Vuosia								
Valaistusvoimakkuus työskentelyalueella, E _m / pintaluminanssi, L	-								
Valaistuslaskennassa käytetty huoltokerroin / alenemakerroin, MF	-								
Valonlähteen valovirran pysyvyytikerroin, LLMF	-								
Valonlähteiden elonjäämiskerroin, LSF	-								
Valaisimen valovirran alenema, LMF	-								
Huonepintojen likaantumiskerroin, RSMF	-								
Valaistuksen tasaisuus, U ₀	-								
Värintoistoindeksi, Ra	-								
Väriämpötila, K	-								
Häikäisyindeksi, UGR	-								
Valonlähteen (lampun) elinikä	h	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000
Hyväksyttävä valovirran alenema elinkaaren lopussa	%	20	20	20	20	20	20	20	20
Kerroin L, osuus alkuperäisestä valovirrasta käyttöajan lopussa	%	80	80	80	80	80	80	80	80
Kerroin C, osuus kullekin valonlähteistä käyttöajan lopussa	%	2	2	2	2	2	2	2	2
Käyttöaika vuodessa tunteina valikosta tai itse annettuna	h/vuosi	876	876	876	876	876	876	876	876
Käyttötarkeitusluokkavalikko valaistuksen ohjausta varten	-		Olohuone	Olohuone	Olohuone	Olohuone	Olohuone	Olohuone	Olohuone
Valaistuksen ohjaustavasta riippuva käyttöaikaero (luku/valikko)	-		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Valaisimien huoltoväli (esim. puhdistus)	vuosia	4	4	4	4	4	4	4	4



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

Täytä joko 3 ensimmäistä riviä 55-57 TAI rivit 59-68. Jos syötät tietoa kaikille riveille 55-68, niin vain 3 ylimmän rivin 55-57 sisältöä käytetään laskemassa.			
INVESTOINTIKUSTANNUSTEN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT	Nykyinen valaistus	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2
Valaistuksen kokonaiskustannus	€		
Valonlähtöiden (lamppujen) kokonaiskustannus	€		
Asennuksen ja muun tekniikan kokonaiskustannus	€		
Valaisimen yksikköhinta	€/kpl		
Muut kustannukset valaisimista	€		
Valonlähtöiden (lamppujen, LED-modulien) yksikköhinta	€/kpl		
Materiaali- ja työkustannukset/valaisin	€/valaisin		
Valaistuksen ohjausjärjestelmä ja kaapelointi	€		
Käyttöönottokustannukset	€		
Muut kustannukset investointiin liittyen	€		
Sähkökeskukset	€		
Tehomaksur sähköliittymässä	€		
Olemassa olevan järjestelmän purkukustannukset	€		
INVESTOINTIKUSTANNUSTEN YHTEENVETO			
Valaisimet ja niiden kannattimet (kiskot, pylväät jne.)	0	0	0
Valonlähteet (lamput)	0	0	0
Asennus	0	0	0
Sähköjärjestelmä	0	0	0
Olemassa olevan järjestelmän purkukustannukset	0	0	0
INVESTOINTIKUSTANNUKSET YHTEENSÄ	0	0	0



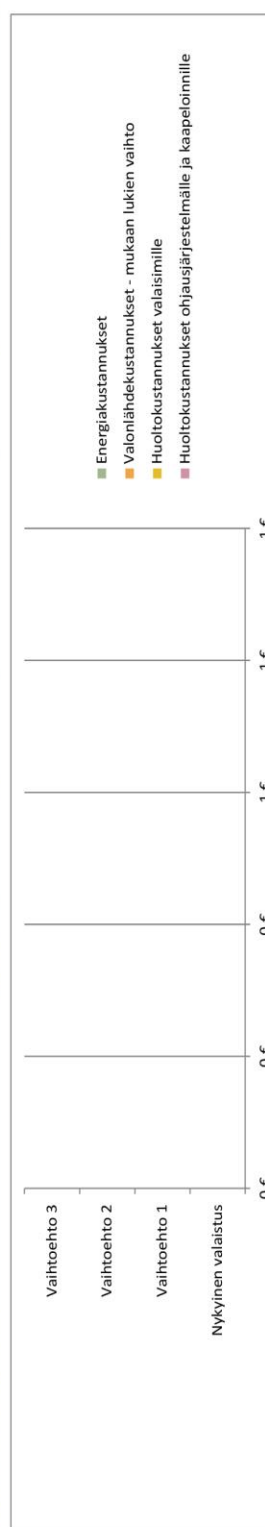


Vaihto- ja valaistuksen laskentayökalu toimitetaan sellaisenaan ja käytettäväksi käyttöohjeen mukaiseen tarkoitukseen. Laskentayökalun käyttö on käyttäjän vastuulla. Motiva ei myönnä sovellykseen liittyen mitään takuita tai takuuvoittoa. Motiva ei vastaa mistään suorasta tai epäsuorasta vahingosta, joka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

KÄYTTÖKUSTANNUSTEN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT - täytä nämä tiedot	€/vuosi	Nykyinen valaistus	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3
Leasing / ESCO -maksu - jos tämä annetaan, muuta kuluja ei lasketa					
Sähköenergian hinta	€/kWh				
Tehomaksut sähkösiirrosta	€/vuosi				
Valonlähteet: vaihtokustannus massavaihdossa (valonlähde ja työ)	€/kpl				
Valonlähteet: vaihtokustannus yksittäisvaihdossa (valonlähde ja työ)	€/kpl				
Valaisimet: ennakoitu huoltokustannus huoltovälin lopussa	€/kpl				
Valaisimet ja kannattimet: vuosihuoltokustannus	€/kpl/vuosi				
Ohjaus- ja kaapelointi: ennakoitu huoltokustannus huoltovälineille	€				
Ohjaus- ja kaapelointi: käyttöaika ennen huoltoa (huoltoväli)	vuosia				
Valaistuksen peruskorjaus, uusintainvestointi tms.: kustannus	€				
Valaistuksen peruskorjaus: käyttöaika ennen investointia	vuosia				

Asemattu teho mukaan lukien liitäntätehviöt	W	0	0	0	0
Valaistuksen käyttökäytökerrain aikaisemmin annettuna	-	1,00	1,00	1,00	1,00
Laskettu energiankulutus / vuosi	MWh/a	0,00	0,00	0,00	0,00
Laskettu valonlähteiden (lampujen) vaihtoväli	vuosia	57	57	57	57
Aiemmin annettu valaisimien huoltoväli (puhdistus)	vuosia	4	4	4	4

KÄYTTÖKUSTANNUSTEN YHTEENVETO	Nykyinen valaistus	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3
Energiakustannukset	€/vuosi	0	0	0
Valonlähdekustannukset - mukaan lukien vaihto	€/vuosi	0	0	0
Huoltokustannukset valaisimille	€/vuosi	0	0	0
Huoltokustannukset ohjausjärjestelmälle ja kaapeloinnille	€/vuosi	0	0	0
Käyttökustannukset yhteensä	€/vuosi	0	0	0





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

Valonlähdekustannusten nykyarvo					
Vaihtoehdon nimi	Nykyinen valaistus	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3	
Investointikustannus yhteensä	€	0	0	0	0
Leasing / ESCO maksun nykyarvo	€	0	0	0	0
Energiakustannusten nykyarvo	€	0	0	0	0
Valonlähdekustannusten nykyarvo	€	0	0	0	0
Valaisimien huoltokustannusten nykyarvo	€	0	0	0	0
Ohjausjärjestelmien huoltokustannusten nykyarvo	€	0	0	0	0
Elinkaarikustannuksen nykyarvo	€	0	0	0	0

Nykyarvoilla laskettu takaisinmaksuaika elinkaarikustannuksiltaan kalleimpaan vaihtoehtoon verrattuna	vuosia	-	-	-
Sisäinen korkokanta vasemmanpuoleiseen tapaukseen verrattuna	vuosia	Tähän verrataan	ei voi laskea	ei voi laskea

Valaistuksen elinkaarikustannukset



VALAISTUKSEN ELINKAARIKUSTANNUSTEN NYKYARVON KERTYMINEN

