



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Niko Vuoriranta

Paikoituskellarin valaistuksen saneeraus – Valaistuksien arvioinnit ja energiansäästöt

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

27.5.2019

Tekijä Otsikko	Niko Vuoriranta Paikoituskellarin valaistuksen saneeraus – Valaistuksien arvioinnit ja energiansäästöt
Sivumäärä Aika	56 sivua + 5 liitettä 27.5.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Sähköinsinööri Lauri Alanko Lehtori Tapio Kallasjoki Johtava sähköasentaja Teemu Murtola
<p>Opinnäytetyön aiheena oli toimistorakennuksen yhteydessä olevan pysäköintihallin toisen kellarikerroksen valaistuksen saattaminen nykyaikaan, jolla saataisiin aikaan valaistuksen yleinen parantaminen ja ylläpidon helpottuminen. Työn tavoitteena oli kartoittaa ja arvioida alkuperäistä valaistusta, nykytilannetta ennen saneeraustoimenpidettä ja uudistettua valaistusta keskenään, tuoden ilmi valaistustilanteiden erot valaistusteknisesti ja energiankulutuksen kannalta, sivuten myös projektin kustannuksia sekä takaisinmaksuaikaa.</p> <p>Työssä käytiin läpi kohteena oleva pysäköintihalli sekä keskeiset tekijät, joita valaistuksien arvioinnissa käytetään. Työssä kuvattiin vanhan, nykyisen sekä uuden valaistustilanteen rakenne ja ominaisuudet. Uuden valaistuksen toteutuksen prosessi käytiin läpi alusta loppuun. Valaistusratkaisusta koottiin erilaisia arvoja vertailun perusteiksi. Valaistuksien arviointia varten tilassa tehtiin valaistusmittauksia ja mallinnuksia. Valaistuksista sekä valaisimista otettiin myös sähkötekniisiä mittauksia. Saaduilla tuloksilla laskettiin lisäksi myös erilaisia arvoja vertailua varten. Valaisimia ja valaistuksia vertailtiin toisiinsa nähden ja käydään läpi velvoittava standardi sekä toteutuksien standardinmukaisuus. Lopuksi määritettiin valaistuksien energiankulutukset, niiden aikaansaama energiansäästö sekä uuden valaistuksen takaisinmaksuaika.</p> <p>Työn tuloksena saatiin monipuolisia vertailuarvoja valaistuksista ja niiden ominaisuuksista, joista päästiin selkeisiin johtopäätöksiin. Tuloksena saatiin myös valaistustilanteiden välinen elinkaarilaskema, josta nähdään led-valaistuksen tuomat säästöt. Saatujen tulosten kautta päästiin lopputulokseen, että uusi valaistusratkaisu on perusteltu ja led-valaistuksen avulla saadaan merkittävät hyödyt kaikilla vertailun osa-alueilla.</p>	
Avainsanat	pysäköintihalli, valaistus, mallinnus, led

Author Title	Niko Vuoriranta Lighting Renovation of the Parking Area – Evaluation of Lightings and Energy Savings
Number of Pages Date	56 pages + 5 appendices 27 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer Lauri Alanko, Electrical Engineer Teemu Murtola, Leading Electrician
<p>The purpose of this study was improving parking area's lighting up to date. Parking area is located as a part of an office building and has two floors. This study focused on the bottom floor. Main goal was to generally improve parking area's lighting and to make maintenance easier. The purpose was to estimate and chart differences between original lighting, current lighting before renovation and new rebuilt lighting. Revealing technical differences about lighting and energy consumption, as well as clarifying the costs and repayment period, were the main tasks.</p> <p>In this thesis, the parking area is presented and main factors which are used to estimate lightings are handled. Old, current and new lighting situations are described. Implementation of new lighting is described from start to the end. Lighting options, light sources and control systems of them are presented. Measurements from the area and making a model of the room, used as comparison are presented and explained. Electrotechnical measurements of the lighting's and a different light are also presented and explained. Calculations from received results to be used as comparison are explained. Different lights and lighting situations are compared in various ways against each other. Requirements of the standards are presented and compared to these different lightings of this parking area. Received energy conservation from different lightings energy consumptions and repayment period are defined at the end.</p> <p>The result is multiple comparison values and features of lightings. Another result is life cycle calculation. Savings caused by led-lighting can be seen from the calculation. As the conclusion, new led-lighting is justified and it has significant benefits in many ways.</p>	
Keywords	parking area, lighting, modelling, led

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Huomioitavat tekijät ja laatumääreet	2
3	Valaistus ennen työn aloitusta	8
3.1	Alkuperäinen valaistus	8
3.2	Vanha valaistus	11
4	Uusi valaistus	12
4.1	Valaisinsaneerauksen aloitus	12
4.2	Valaistuksen komponentit	13
4.3	Uuden valaistuksen toteutus	18
4.4	Loppukuva	20
5	Valaistuksen arviointi	21
5.1	Mittaukset	21
5.1.1	Valaistusvoimakkuuden mittaukset	21
5.1.2	Energiankulutuksen mittaukset	29
5.2	Mallinnukset	31
5.2.1	Loisteputkivalaistus	34
5.2.2	Led-valaistus	37
6	Tulosten vertailu	41
6.1	Valaistustekniset erot	41
6.2	Pysäköintihallin valaistuksen standardit	46
6.3	Tehon- ja energiankulutus	49
6.4	Elinkaarikustannukset	51
7	Yhteenveto	54
	Lähteet	55

Liitteet

Liite 1. Pysäköintihallin valaistusvoimakkuusmittauksien tulokset

Liite 2. Pysäköintihallin energiamittauksen tulokset

Liite 3. Loisteputkivalaistusmallinnuksen tulokset

Liite 4. Led-valaistusmallinnuksen tulokset

Liite 5. VALTTI-elinkaarikustannuslaskelman tulokset

1 Johdanto

Rakentamisen ja korjausrakentamisen määrä on jatkuvassa kasvussa, erityisesti pääkaupunkiseudulla. 1980- ja 90-luvulla rakennetut kiinteistöt ovat yleisesti peruskorjausta tarvitsevia kohteita nykypäivänä. Yksi peruskorjausta tarvitseva kohde on Ässäkeskus eli Suomen Osuuskauppojen Keskuskunnan SOK:n pääkonttori. Kiinteistö on vakuutusyhtiö Varman omistama ja sijaitsee Helsingin Vallilassa. Yhtiön pääkonttori on pysynyt samassa osoitteessa vuodesta 1991 lähtien, eli kiinteistön valmistumisesta asti. Varma ja SOK uudistivat vuokrasopimuksen vuonna 2017, jolloin Varma sopi toteuttavansa mit-tavan peruskorjauksen kiinteistön tiloihin, saatesanoinaan ”kiinteistö modernisoidaan vastaamaan nykyaikaisia teknisiä ja toiminnallisia vaatimuksia”. [1.] Osana peruskorjausta myös pysäköintihallin valaistus uusitaan.

Insinööriyön kohteena on osana peruskorjausta Ässäkeskuksen pysäköintihalli. Pysäköintihalli on kaksikerroksinen, joka sisältää pysäköintipaikkoja hallin ympärillä oleville rakennuksille sekä yrityksille. Pysäköintihallia ympäröi useampi asuinhuoneistoraken-nus, Ässäkeskus -toimistorakennus, S-market Vallila -päivittäistavarakauppa, 24 Pesula -itsepalvelupesula ja Puntti Vallila -kukkakauppa. Pysäköintihallin sisällä on myös auto-pesupaikka. Koko pysäköintihallin pysäköintipaikkojen määräksi voidaan arvioida noin 800 paikkaa.

Pysäköintihallista työn kohde rajautuu kiinteistörajaan Fleminginkatu 34:n puolelle eli Ässäkeskuksen kiinteistöön, jolla pysäköintipaikkoja on lähes kappaletta [1]. Työssä keski-tytään vain Ässäkeskuksen alemman kerroksen pysäköintihallin valaistukseen. Alueen pinta-ala on 1500m² ja pysäköintipaikkojen määrä 48.

Insinööriyö suoritetaan JHS-Sähkö Oy:n alaisena työnjohtajan, sähköasentajan, työn aikaisen suunnittelijan, valaistuksen arvioijan sekä työn dokumentoijan toimenkuvassa. Selvitysmuotoisen työn saatuja tuloksia ja huomioita tullaan soveltamaan kiinteistön py-säköintihallin toisen kerroksen valaistuksen saneeraukseen siirryttäessä.

Työssä dokumentoidaan valaistuksen saneeraus ja tutkitaan pysäköintihallin valaistuksen muutosta peruskorjauksen yhteydessä. Tavoitteena on kartoittaa valaistuksen aikaisempi tilanne sekä tilanne peruskorjauksen jälkeen. Valaistuksen laadun muutoksesta tullaan kokoamaan riittävästi tietoa, jotta nähdään tarkalleen peruskorjauksesta saavutettavat hyödyt.

2 Huomioitavat tekijät ja laatumääreet

Työn tuloksena syntyvän uuden valaistuksen ja vanhojen valaistustilanteiden arvioimiseen tarvitaan erilaisia ominaisuuksia, osatekijöitä ja laatua kuvaavia seikkoja. Insinöörityössä valaistustilanteiden arvioinnin perusteena käytetään seuraavia ominaisuuksia.

Väriämpötila

Väriämpötila kertoo, minkä väristä valoa valonlähde tuottaa. Sen yksikkö on Kelvin, K. Erilaiset valonlähteet säteilevät valoa eri väreillä, joka vaikuttaa valaistun kohteen visuaaliseen ilmeeseen. Kelvin-asteikko määrittää valon väriämpötilaa kylmän (16 000 K) ja lämpimän (1800 K) väliltä. Päivänvalo on väritään kylmää, 5000–8000 Kelviniä ja hehkulamppu on väritään lämmintä, 2700 kelviniä. Muiden lampputyyppeiden väriämpötilat osuvat näiden väliin. Tyypilliset sisätilojen valaistuksessa käytetyt väriämpötilat ovat nykyään 3000 ja 4000 kelviniä. Loisteputkilamppujen ja nykyaikaisten ledien avulla saadaan väriämpötilaa säädettyä näiden ääripäiden välillä (2700–6500 K).

Kiusahäikäisy

Kiusahäikäisyllä tarkoitetaan ylikirkasta kohdetta näkökentässä. Tästä aiheutuu epämiellyttävä tunne, joka rajoittaa normaalia näkemistä. Kiusahäikäisyä kuvataan häikäisyindeksin avulla. Unified Glare Rating eli UGR-arvolla, joka on säädetty tilakohtaisesti valaistusstandardeissa. Kun kiusahäikäisyn UGR-arvo jää määritetyn arvon alapuolelle, ei yleensä esiinny myöskään estohäikäisyä. Estohäikäisy estää näkemisen. Tiloissa, joiden läpi vain kuljetaan, esimerkiksi käytävät, sallitaan suurempi UGR-arvo, kuin tarkan näkemisen tiloissa, kuten näyttöpäätetyöskentelyä sisältävissä tiloissa. Kiusahäikäisyyn voidaan vaikuttaa valaisin- ja valaistussuunnittelun avulla.

Värintoisto

Värintoistolla kuvataan kuinka luonnollisena värit toistuvat. Se ilmoitetaan tavallisesti yleisen värintoistoindeksin R_a , avulla. Se kerrotaan arvona nollan ja sadan välillä. Mitä lähempänä sataa luku on, sitä paremmin värit toistuvat. Värintoistoindeksi vaihtelee valonlähteiden tyyppien välillä. R_a -indeksissä verrataan alle 5000 kelvinin värilämpötilan valonlähteen värintoistoa Planckin säteilijään, jota vastaavana voidaan pitää hehkulam-pun värintoistoa. Värilämpötilaltaan yli 5000 kelvinin valonlähteitä verrataan luonnonva-loon. R_a -indeksin lukuun ei voi täysin luottaa esimerkiksi valkoisien ledien kohdalla, joilla tyypillisesti on huono punaisen värin toisto, R9. R_a -indeksi ei huomioi tämän värin toistoa lainkaan. R_a -indeksi on kuitenkin arvo, joka esiintyy standardeissa ja suosituksissa tila-kohtaisen valaistuksen suunnittelussa. Tilat, joissa ei tarvita tarkkaa näkemistä, sallitaan suunniteltavaksi ja toteutettaviksi heikomman värintoistoindeksin omaavilla valaisimilla kuin esimerkiksi laadunvalvontatilat.

Valovirta

Valovirta on suure, joka kertoo valonlähteen tuottaman valon kokonaismäärän. Lampun tai valonlähteen valovirta saadaan painottamalla sen säteilytehoa määrätyllä silmänherk-kyyskäyrällä. Valovirran yksikkö on SI-järjestelmässä luumen, eli lm. Tunnus on Φ , josta käytetään myös tunnusta F [2]. Valovirtaa voidaan sanoa myös valon määräksi.

Valovirta alenee valonlähteen tyypistä ja lampun ominaisuuksista riippuen ajan saa-tossa. Kokonaisuutena katsoen valonlähde tai lamppu ovat osa valaisinta. Kun puhutaan valovirran alenemasta, täytyy siihen mahdollisesti huomioida niin valonlähteen tai lam-pun, liitäntälaitteen, suojuksien, heijastimien, kupujen ja muiden komponenttien valon tuottamisen, heijastuksen tai läpäisyn alenemat, riippuen minkä osan valovirran alene-masta on kyse. Lampun ja valaisimen valovirran alenemasta voidaan siis puhua erik-seen, mutta valaisimen valovirran alenemaan täytyy aina huomioida myös lampun, tai vaihtoehtoisella termillä sanotusti valonlähteen alenema.

Valovoima

Valovoima on suure, joka määräytyy valovirran ja säteilykulman perusteella. Valovoimalla kuvataan valon voimakkuutta, eli intensiteettiä. Se kertoo, kuinka suuri osa valovirrasta suuntautuu tiettyyn suuntaan. Säteilykulma ilmoitetaan steradiaaneina. Valovoimakkuus on yksiköltään kandela, eli cd. Sen tunnus on I. Se voidaan myös laskea kaavalla 1. [2.]

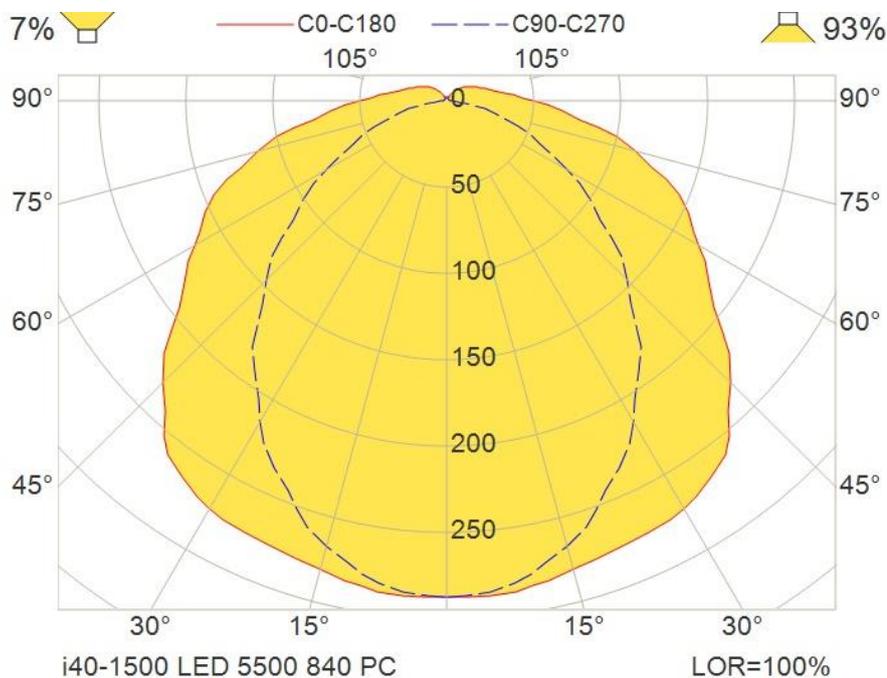
$$I = \frac{\Phi}{\text{sr}} \quad (1)$$

I on valovoima (cd)

Φ on valovirta (lm)

sr on steradiaani

Yhdessä valovirran ja valovoiman kanssa voidaan esittää valonlähteiden tai valaisimien valonjakokäyrät suhteellisessa asteikossa. Suhteellinen asteikko on yleisesti cd/1000lm, eli yksi kandela tuhatta luumenia kohti.



Kuva 1. Työssä käytetyn, Glamox i40 -valaisimen valonjakokäyrä [3].

Kuvan 1 Glamoxin valaisimen valojakokäyrästä saadaan laskettua valovoima esimerkiksi kolmeenkymmeneen asteeseen, kun tiedetään valovirta ($\Phi = 5571 \text{ lm}$) [3.].

$$I = \frac{\Phi \times I(30^\circ)}{1000 \text{ lm}} = \frac{5571 \text{ lm} \times 275 \text{ cd}}{1000 \text{ lm}} = 1532 \text{ cd}$$

Suhteellinen arvo kerrotaan valaisimen lamppujen valovirralla. Valonjakokäyriä voidaan esittää myös todellisin arvoin, kuten kapean valokeilan, eli avauskulman omaavilla valonlähteillä tai valaisimilla sekä led-valaisimilla, joiden valonlähde ei ole vaihdettavissa on tapana. [4.]

Valotehokkuus

Valotehokkuudella pystytään kertomaan valonlähteen tai valaisimen energiatehokkuus. Hyötysuhde tuotetun valon määrästä suhteessa kulutettuun tehoon nähden, eli valovirran suhde sähkötehoon. Valotehokkuus ilmaistaan arvona luumen per watti, lm/W. Valotehokkuus lasketaan yksinkertaisesti kaavan 2 mukaisesti.

$$\text{Valotehokkuus} = \frac{\Phi}{P} \quad (2)$$

Φ on valovirta (lm)

P on sähköteho (W)

Eri valonlähteiden valotehokkuuksia on esitetty taulukossa 1. Sama valonlähdekin voi olla hyvin valotehokas, kun toinen malli samaa valonlähdettä ei ole. Yleisesti puhutaan myös kokonaisvalotehokkuudesta tai valaisimen valotehokkuudesta, jolloin otetaan huomioon myös liitäntälaitteiden tai kuristimien tehonhäviöt ja valaisimien heijastimien, kuvun, optiikan tai muun rakenteen aiheuttamat valovirran alenemat.

Taulukko 1. Valonlähteiden keskimääräiset valotehokkuudet [5, 6].

Valonlähteiden valotehokkuudet 2019:	
Hehkulamppu	10 - 12 lm/w
Halogeenilamppu	12 - 24 lm/w
Elohopealamppu	30 - 60 lm/w
Pienloistelamppu	50 - 60 lm/w
Loistelamppu	60 - 100 lm/w
Monimetallilamppu	80 - 100 lm/w
Suurpainenatriumlamppu	130 - 160 lm/w
LED	140 - 170 lm/w

Muutama valonlähde on jo poistettu markkinoilta niiden alhaisen valotehokkuuden vuoksi, kun taas led-valaisimet yleistyvät korkean valotehokkuutensa vuoksi jatkuvasti, korvaten vanhoja valonlähteitä. Hehkulamput ovat kaikki erikoislamppuja mukaan lukematta poistuneet markkinoilta, kuten myös halogeenilamput pienoisjännitteisiä lukuun ottamatta. Myös elohopealamput sekä osa suurpainenatriumlampuista ovat poistuneet markkinoilta ja heikoimmilla valotehokkuuksilla olleet monimetallilamputkin ovat siirtyneet korvaavien valonlähteiden tieltä. [7.] Myöskin vanhat T12-loistelamput ovat poistuneet Euroopan markkinoilta [5].

Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuudella kuvataan kohteen saamaa valon määrää. Sen yksikkö on luksi, lx, ja tunnus E. Valaistusvoimakkuus voidaan mitata luksimittarilla tai laskea valovirran määrä pinta-alaa kohti, kaavan 3 tavalla.

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (3)$$

E on valaistusvoimakkuus (lx)

Φ on valovirta (lm)

A on pinta-ala (m²)

Valaistusvoimakkuus on yksi valaistussuunnitelun lähtökohta. Valaistusvoimakkuus voidaan ilmoittaa kyseisessä pisteessä, jolloin sen tunnus on E. Voidaan myös ilmoittaa

pienin valaistusvoimakkuus, jota merkitään yleisesti tunnuksella E_{MIN} sekä suurin valaistusvoimakkuus, jota merkitään tunnuksella E_{MAX} . Tärkeimpänä suunnittelun lähtökohdaksi pidetään tunnuksella E_m merkittävää keskimääräistä valaistusvoimakkuutta. Suunnitteluohjelmat, kuten Dialux, ilmoittavat suoraan 3D-mallinnuksesta saatavat valaistusvoimakkuuden arvot. Keskimääräinen valaistusvoimakkuus voidaan myös laskea mittaus tuloksista kaavan 4 osoittamalla tavalla.

$$E_m = \frac{E_1 + E_2 + \dots + E_n}{n} \quad (4)$$

E_m on keskimääräinen valaistusvoimakkuus

$E_1 + E_2 + \dots + E_n$ on valaistusvoimakkuuksien mittaus tulokset tasajakoisessa mittausruudukossa

n on mittauspisteiden/mittaus tulosten lukumäärä

Valaistuksen tasaisuus

Valaistuksen tasaisuus on toinen keskeinen asia valaistusta suunniteltaessa. Valaistuksen tasaisuutta kuvataan tunnuksella U_o tai E_{min}/E_m . Valaistuksen tasaisuus ilmoitetaan desimaalilukuna nollan ja yhden väliltä. Valaistuksen riittävällä tasaisuudella varmistetaan, ettei tilassa esiinny liian suuria kirkkausvaihteluja, jotka voivat häiritä normaalia näkemistä. Se määräytyy valaistun tilan pienimmän valaistusvoimakkuuden suhteena keskimääräiseen valaistusvoimakkuuteen, kuten kaavassa 5.

$$U_o = \frac{E_{\text{min}}}{E_m} \quad (5)$$

U_o on valaistuksen tasaisuus

E_{MIN} on tilan pienin valaistusvoimakkuus

E_m on tilan keskimääräinen valaistusvoimakkuus

Valaistuksen tasaisuus saadaan selville helpoiten suunnitteluohjelmaa käyttäen, mutta voidaan myös laskea mittaus tulosten perusteella laskemalla ensin keskimääräinen valaistusvoimakkuus.

3 Valaistus ennen työn aloitusta

3.1 Alkuperäinen valaistus

Pysäköintihalli valmistui vuonna 1991. Valaistus on toteutettu silloisen Asea Skandian valmistamilla LR-105/16 -loisteputkivalaisimilla. Valaisimia on sijoitettu tilaan yhteensä 62 kappaletta, kuvan 2 osoittamalla tavalla. Valaisimet sisältävät magneettiset kuristimet ja yhden 58-wattisen T8-loisteputken. Valaisin on kuitenkin alkuperäisesti ollut varustettu vanhalla T12 65 W -loisteputkella, sillä pohjassa sijaitseva tarra kertoo sen tehoksi 65 wattia. Valaisin on metallirungollinen ja siinä on opaalikupu. Valaisimet ovat suojausluokitukseltaan IP44, niiden tehoksi kerrotaan jo mainittu 65 wattia ja tehokertoimeksi 0,50. Tässä työssä tehdään valaisinta koskevat mittaukset, mallinnukset ja laskennat 58 watin T8-loisteputken avulla T12 -putken vaikean saatavuuden vuoksi. Ja siksi, että se on ollut viimeisin olemassa oleva valaistusratkaisu ennen muutoksia.



Kuva 2. Asea Skandia -loisteputkivalaisin asennettuna pysäköintihalliin.

Vanhasta valaisimesta ei löytynyt mistään tarkempia tietoja sen tuottamasta valovirrasta T12-loisteputkella, eikä tietenkään myöskään T8-putkella. Nykyisten T8-loisteputkien valovirran tuotto on 5200 luumenia, joka on arvo, jolla lähdetään valaistusta arvioimaan. Valaisimen rakenne ei ainakaan nykypäivänä enää sisältänyt heijastinkupua, ja opaalikuvun kellertymisen aiheuttaa valovirran läpäisyn merkittävää heikentymistä. Valaisimen sisältä löytyvät sokeripalat, kuristimen liitinsuojukset ja sisään asennetut johdot ovat kaikki hengenvaarallisia, niiden murentuessa kosketuksesta.

Valaisimet on sijoitettu kahden ja puolen metrin korkeuteen lattiapinnasta, ripustamalla katosta kierretangoiin. Valaisimet on johdotettu tähtimäisesti MMJ 3x2,5S -kaapelilla lähimpään betoniseen tukipalkkiin, jonne sähkönsyöttö tuodaan viisinkertaisella, paikoin kolmin- tai nelinkertaisella kaapelilla. Syöttävät haarat katoavat kattoelementtien sisälle putkitettuina, josta taas päätyvät lukemattomien kaapelien joukkoon pysäköintihallin reunaan kulkevalle kaapelihyllylle.

Pysäköintihallin valaisinasennuksista löytyi kaksi olemassa olevaa piirustusta. Toinen niistä oli suurikokoinen tasokuva, joka oli pysäköintihallin viereisen keskuksen piirustuskansiossa säilynyt melko vähäisellä käytöllä. Kuva oli kuitenkin erittäin kellertynyt ja hauraassa kunnossa. Toinen löytynyt kuva, ohjauspiirikaavio, sen sijaan oli saanut hieman käytön jälkeä, ollen monessa osassa, A4 -kokoisten paperien ollen revennyt irti nidonnasta. Alkuperäisestä pohjakuvasta tarkistetut valaisimien sijainnit on esitetty kuvassa 3. Sijaintipiirustus piirrettiin, kun uusi valaistusasennus oli suoritettu loppuun. Tästä on lisää tietoa myöhemmin luvussa 4.



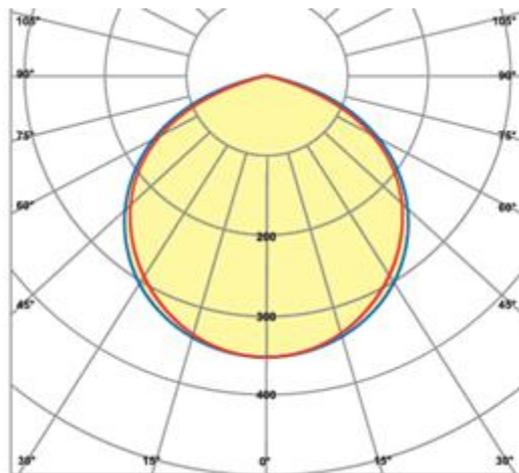
Kuva 3. Alkuperäinen valaistus, esitetty käsin piirrettyssä skannatussa kopiolla pohjakuvasta.

Valaistusta ohjattiin alkuperäisesti aikaohjauksella sekä tarvittaessa porrasvaloauto-
maattien ja painonappien avulla aikaohjauksen ollessa kytkeneenä valaistuksen pois
päältä. Valaistuksen ohjausta ohjauspiirikaaviosta selvittäessä todettiin, ettei valaistuk-
sen syöttö tule enää kyseiseltä keskukselta, johon se alkuperäisissä piirustuksissa oli
merkitty. Tasopiirustukseen merkitty ryhmä ja keskustunnus eivät johtaneet mihinkään.
Kun syöttäviä sulakkeita ei löytynyt mistään saatavilla olevista dokumenteista eikä kes-
kuksien merkinnöistä, päädyttiin avaamaan yhden valaisimen kupu, jonka jälkeen ruuvi-
liittimien välille aiheutettiin tahallinen oikosulku. Täten saatiin selville, mikä sulake mistä-
kin paloi ja mikä on valaistusta syöttävä ryhmä. Selvitetyt ryhmän takaa sammui kuiten-
kin vain muutama pysäköintihallin valaisin. Sama temppu suoritettiin seuraaville vielä
toiminnassa oleville valaisimille, mistä päästiin lopputulokseen, että valaistusta syöte-
tään normaalin sähkönsyötön takaa kolmella vaiheella, kahdesta eri ryhmästä, eli kuu-
della eri sulakkeella sekä lisäksi muutamien valaisimien syöttö tuli varavoimakoneen
sähkösyötön takaa yhdellä vaiheella. Valaistuksen syöttöjen tullessa monesta eri kes-

kuksesta, todettiin aikoinaan toteutetun aikaohjauksen olevan poistettu käytöstä. Valaistus lisäksi todettiin olevan toiminnassa läpi yön. Valaistus toimii siis täysin ilman ohjausta, palaen 24 tuntia vuorokaudessa, 7 vuorokautta viikossa.

3.2 Vanha valaistus

Alkuperäinen valaistus pysyi entisellään saaden osakseen vain huoltotoimenpiteitä, vuoteen 2014 asti. Tällöin alkuperäisten valaisimien 58 watin loisteputket korvattiin 35 watin led-putkilla. Led-putket ovat Sanpek LED Oy:n maahantuomia, kiinalaisvalmisteisia led-putkia, joille on määritetty tehoksi 35 wattia, valovirraksi 3500 luumenia ja värilämpötilaksi 4000 kelviniä. Kun maahantuojaan otettiin yhteyttä, saatiin valonjakokäyrä ja lisätietoa putkista. Valonjakokäyrä on esitetty kuvassa 4, minkä kautta saatiin varmistettua asennettujen putkien avautumiskulmaksi 120 astetta ja värinsoitinindeksiksi R_a80 . Putkien eliniäksi kerrottiin 50 000 tuntia.



Kuva 4. Käytetyn led-putken valonjakokäyrä [8].

Kuten on jo mainittu, pysäköintihalli ei ole tarkoitettu vain Ässäkeskuksen käyttöön, vaan myös muille ympäröiville kiinteistöille ja niiden asiakkaille. Ei ole tiedossa, kuka putkien vaihdon on tilannut, eikä siitä kuka ne on asentanut. Ässäkeskuksen huoltoyrityksellä, joka on vaihtunut vuoden 2014 jälkeen, ei ollut mitään dokumenttia putkien vaihdosta, kuten ei myöskään tällöinkään talossa jo toimineella sähköasennusyrityksen asentajalla. Asen-

nusta tarkastellessa, kun putkia oli aikoinaan vaihdettu, valaisinten magneettiset kuristimet oli jätetty paikalleen, ja vain sytytin oli korvattu led-putkien mukana toimitetuilla ”sytyttimillä”, joita valmistaja kutsuu nimellä LED-starter [9]. Todellisuudessa nämä ovat vain sulakkeita.

Valaistuksen ohjaukseen ei ole oletetusti tehty tämän muutostyön aikana mitään fyysisiä muutoksia, mutta aikaohjauksen määrittämää poissaoloaika on oletetusti koitettu pienentää alkuperäiseen valaistuksen säätöön nähden, vuosien varrella mm. päivittäistavarakaupan aukioloaikojen pidentyessä. Se, missä vaiheessa valaistuksen syötöt on vaihdettu alkuperäisestä, ei ole tietoa. Täten ei ole myöskään tiedossa, onko led-putkilla varustettu valaistus ollut jo alusta alkaen päällä jatkuvasti, vai vielä ohjauksen takana.

4 Uusi valaistus

4.1 Valaisinsaneerauksen aloitus

Ässäkeskusta oli saneerattu pienissä määrin jo useiden vuosien ajan, mutta vain talon toimistotilojen suhteen. Talossa sähkösaneerausta ja huoltotoimenpiteitä oli hoitanut JHS-Sähkö Oy. Kun varsinainen peruskorjaus alkoi pääurakoitsijan osalta, siirtyi yritys aliurakoitsijaksi siitä syystä, että yrityksen työntekijät tuntevat taloa ja sen sähköistystä. Osana peruskorjausta oli sovittu pysäköintihallin valaistuksen saneeraus nykyaikaan. Kuten koko peruskorjauksen ajan, sovittiin myös tämä urakka tehtäväksi talon normaalin käytön ohella päiväaikaan. Pysäköintihallin toinen kerros, jossa sijaitsee talon työntekijöiden pysäköintipaikkoja, oli siis jatkuvasti käytössä saneerausta tehdessä, mikä asetti työn suorittamiselle pieniä haasteita. Entistä valaistusta tuli pitää yllä jatkuvasti uuden valaistuksen käyttöönottoon asti pysäköintihallin normaalin käytön mahdollistamiseksi. Ässäkeskukselta tuli pyytää lupa parkkipaikkojen käyttöön asennustoimenpiteiden sitä vaatiessa.

Pysäköintihallista oli saatavilla työtä aloitettaessa kaksi tasopiirustusta sekä vanha ohjauspiirikaavio. Toinen piirustuksista sekä ohjauspiirikaavio olivat jo mainittuja, alkuperäisiä piirustuksia, vuodelta 1991. Tasopiirustus tältä vuodelta oli kooltaan A0. Toinen

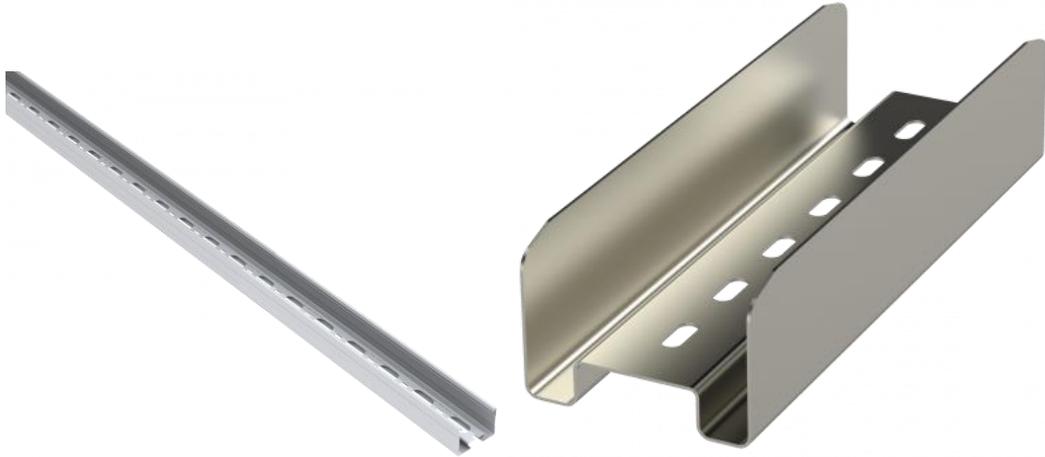
tasopiirustus toimitettiin peruskorjauksen pääurakoitsijan pyynnöstä ulkoiselta suunnittelutoimistolta. Piirustus saapui koossa A3, ilman mittakaavaa. Piirustuksessa oli esitettyä uusi valaistus.

Työ oli sovittu tehtäväksi valaistusriipustuskiskojen avulla, jotka kuvassa esitettiin. Kuvassa oli myös esitetty valaisimien sekä läsnäolotunnistimien sijainnit riipustuskiskoissa. Pääurakoitsija tilasi kaikki kohteen tarvikkeet työtä suorittavalle yritykselle. Valaisinriipustuskiskot, valaisimien tyypit ja läsnäolotunnistimet olivat siis ennalta määrätty.

Uutta asennuspiirustusta tarkasteltaessa huomattiin, että sen pohjana käytetty tasopiirustus oli hieman puutteellinen ja virheellinen. Jo aikaisemmin tehdyt johtoreitit tikashyllyineen eivät täysin pitäneet paikkaansa, eikä kaikkia valaisinriipustuskiskoja voinut sijoittaa piirrettyihin sijainteihin. Piirustuksessa ei ollut esitettyä lainkaan johdotusta ja läsnäolotunnistimien tiedot ja sijainnit olivat puutteelliset. Piirustus tarkistettiin pääurakoitsijan toimistolla, jossa piirrettiin käsin johdotus ja tarkennuksia sekä sijaintipäivityksiä, että täydennyksiä läsnäolotunnistimiin. Kuva noteerattiin suuntaa-antavaksi työpiirustukseksi, jonka avulla asennustyö voitaisiin aloittaa.

4.2 Valaistuksen komponentit

Uuden valaistuksen kaikki komponentit olivat jo ennalta tiedossa ja työtä aloitettaessa toimitettuna kohteeseen valmiina asennettaviksi. Kaikki asennukset oli suunniteltu tehtäväksi uusien valaisinriipustuskiskojen avulla. Valaisinriipustuskisko toimisi samalla niin komponenttien asennusalustana kuin johtoreittinäkin. Valaisinriipustuskisko oli Mekan valmistamaa MEK 70 -kiskoa. Tämä valaisinriipustuskisko on valmistettu kuumasinkitystä ja valkoiseksi maalatusta ohutlevystä, joka on vahvuudeltaan 0,75 mm. Yksi kisko on kuusi metriä pitkä. Kisko on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. MEK 70 -valaisinripustuskisko [10], sekä MEK J-70 PG -jatkokappale [11].

Meka valmistaa myös kyseiselle valaisinripustuskiskolle tarkoitettuja asennustarvikkeita. Kaikki käytetyt asennustarvikkeet ovat kuumasinkittyjä. Valaisinripustuskiskot yhdistetään toisiinsa MEK J-70 PG -jatkokappaleiden avulla (kuva 5), ja ripustetaan katosta kiila-ankkureiden, M10 -kierretankojen sekä MEK RK-70 PG -keskikannattimien avulla (kuva 6). Valaisimet sekä läsnäolotunnistimet kiinnitetään valaisinripustuskiskoon käyttäen MEK VM PG -valaisinkiinnikkeitä, joka on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. MEK RK-70 PG -keskikannatin [12], sekä MEK VM PG -valaisinkiinnike [13].

Uudet valaisimet ovat Glamoxin valmistamia, i40-sarjan tiiviitä yleisvalaisimia vaikeisiin olosuhteisiin. Valaisimet ovat suojausluokituksestaan IP66, mekaaniselta suojausluokituksestaan IK08, ulkoisien mittojen ollessa lähes perinteistä 58W loisteputkivalaisinta vastaavat 1573 x 101 x 101 mm. Valaisimet ovat varustettuna DALI-liitäntälaitteilla, ja tuottavat 5571 luumenin valovirran hyvällä valonjaolla, 4000 kelvinin värilämpötilalla, värintoistoindeksin R_a ollessa yli 80. Valaisimen ottotehoksi sanotaan 38 wattia, josta valaisimen valotehokkuudeksi saadaan pyöristetysti 147 luumenia wattia kohden. Valaisimen eliniäksi luvataan oletetulla 25 asteen ympäröivällä lämpötilalla 100 000 tuntia, jolloin alkuperäisestä valovirrasta on jäljellä vielä 80 % viidelläkymmenellä prosentilla valaisimissa esiintyvistä ledimoduuleista ($T_{a25}=100\ 000h\ L80B50$). Valaisimet ovat tarkemmalta tyybiltään I40-1500 LED 5500 DALI 840 TW PC. Valaisin on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Glamox I40-1500 LED 5500 DALI 840 TW PC -valaisin [3].

Läsnäolotunnistimet ovat Esyluxin valmistamia. Läsnäolotunnistimina käytettiin sekä master-tunnistimia että slave-tunnistimia. Master-tunnistin, PD-C 360i/24 DUO DALI, luo oman DALI-väylän, jonka avulla se ohjaa väylään kytkettyjen valaisimien liitäntälaitteita. Slave-tunnistin, PD-C 360/24 Slave, toimii master-tunnistimen lisänä kasvattaen tunnistusalueen alaa. Slave-tunnistin kykenee toimittamaan master-tunnistimelle ainoastaan kärkitiedon havaitsemastaan läsnäolosta, eikä sisällä muuta teknologiaa kuten master-tunnistin.

Kallista, monimutkaista ja ohjelmoitavaa perinteistä DALI-järjestelmää ei tarvita, vaan järjestelmä toimii omana kokonaisuutenaan osoitteettoman väylätekniikan avulla. Kaikki

läsnäolotunnistimen luomaan väylään liitetyt valaisimien liitäntälaitteet toimivat yhtenä pakettina. Valaisimien liitäntälaitteiden saadessa jatkuvan sähkösyötön, eliminoidaan näiden läsnäolotunnistimien avulla monimutkaisten erillisten ohjauskytkentöjen tarve.

Läsnäolotunnistimille on mahdollista tuoda valaistuksesta riippumaton jännitteensyöttö, jolloin väylä on erotettuna valaistuksen sähkösyötöstä. DALI-väylä mahdollistaa yhtäaikaisen ohjauksen usean eri syötön tai vaiheen takana olevalle valaistuskokonaisuudelle. Valaistus voi olla usean eri syötön tai vaiheen takana esimerkiksi valaisimien suuren kokonaisuuden, suuren sähköntarpeen vuoksi tai syöttäessä osaa valaisimista esimerkiksi varavoimalähteen takaa. DALI-väylä mahdollistaa myös valaisimien himmentämisen ja asteittaisen päälle- ja poiskytkennän, mikä lisää valaisimien liitäntälaitteiden elinikää. DALI-väylää luovan laitteiston sähkönsyötön katketessa, ohjattava valaistus toimii kuten väylää ei olisi kytkettynä lainkaan. Tavallisesti valaisimia syötetään suoraan suojalaitteiden, kuten sulakkeiden, johdonsuoja-automaattien, vikavirtasuojakytkimien, valokaarivikasuojien tai yhdistelmien kautta, ilman ohjausta.

Läsnäolotunnistimet, sekä slave- että master-mallit omaavat 360 asteen ja 24 metrin tunnistusalueen. Liikkeen tunnistusetaisyys on 24 metriä, kun tunnistin on asennettu kolmen metrin korkeuteen. Läsnäolo havaitaan samaan korkeuteen asennettuna kahdeksan metrin etäisyydellä. Master-tunnistimessa on vakiovalonsäätö sekä valittavissa ennalta määritetyt täysautomaattinen tai puoliautomaattinen toimintatapa, joita voidaan muokata. Valaistus voidaan määrittää päälle liikettä havaitessa minuutin ja viidentoista minuutin väliselle ajalle. Tämän viiveen kuluttua valaistus voidaan määrittää 10–50 %:n valoteholle toimimaan tilassa suunnistusvalona. Suunnistusvalo voidaan määrittää poiskytketyksi tai alennetulla valoteholla päälle kytketyksi aikaviiveellä, minuutin ja tunnin välillä.

Tunnistimet asennettiin valaisinripustuskiskoon valmistajan pinta-asennusrasioiden, C IP54 (kuva 8), avulla. Sekä master-tunnistin että slave-tunnistin ovat asennettuina ulkomuodoiltaan toisiaan vastaavat. Tunnistimet erottaa toisistaan läsnäolon tunnistuksesta ilmoittavin eri värisien merkkiledien vilkunnasta. Tunnistinmalli on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. PD-C -sarjan läsnäolotunnistin [14], sekä Pinta-asennusrasia C IP 54 [15].

Asennukseen käytettiin myös Rekan valmistamia kaapeleita, MMJ5x1,5S tuli syöttönä keskukselta, master-läsnäolotunnistimille sekä valaisimille. Viisinkertaisen kaapelin ansiosta DALI-väylä voitiin kuljettaa valaisinten läpi samassa kaapelissa kuin sähkönsyöttö, eikä ylimääräistä väyläkaapelointia tarvittu. Asennuksessa käytettiin myös MMJ3x1,5S- ja MMJ3x1,5N -kaapeleita. Jakorasioina käytettiin Spelsbergin valmistamia 2K12- sekä 2K16 -kalvojakorasioita.



Kuva 9. Mobil-PDi/Dali -kaukosäädin [16].

Lopuksi läsnäolotunnistimien ohjelmointiin käytettiin valmistajan määrittämää, kuvassa 9 esitettyä Mobil-PDi/Dali -kaukosäädintä. Kaukosäätimen avulla master-tunnistimet voitiin ohjelmoida helposti ja täsmällisesti, juuri kuten haluttiin.

4.3 Uuden valaistuksen toteutus

Uutta valaistusta lähdettiin toteuttamaan valaisinripustuskiskojen asennuksella. Valaisinripustuskiskojen sijainnit määritettiin työpiirustuksen perusteella. Ripustuskiskoja ei voitu asentaa täysin kuvan mukaisesti, joka johtui ilmastointiputkien, vesilinjojen ja rakenteiden sijainneista. Kun valaisinripustuskiskot oli saatu asennettua paikoilleen, kiinnitettiin niihin valaisinpohjat kiskoihin tarkoitetuin kiinnitystarvikkein. Valaisimien sijoittelu ei vastannut muuttuneiden ripustuskiskojen sijaintien takia aivan suunniteltua, vaan valaisimet asennettiin niihin paikkoihin, joihin asennus oli mahdollista. Valaisimien määräksi saatiin yhteensä 48 kappaletta. Valaisimien asennuksen kanssa paikoin samanaikaisesti, ja tämän jälkeen, asennettiin läsnäolotunnistimien pohjat paikalleen vastaavilla asennustarvikkeilla, mahdollisuuksien mukaan työpiirustusta vastaaviin sijainteihin.

Kun kaikki valaisimien ja läsnäolotunnistimien pohjat oli asennettu paikoilleen, aloitettiin johdotus. Johdotus tehtiin työpiirustukseen piirretyn johdotuksen mukaisesti, lisäten haarakohtiin ja muihin tarvittaviin pisteisiin jakorasiat, läsnäolotunnistimille ja valaistukselle omansa. Kaikki valaisimet johdotettiin läpi MMJ 5x1,5S:n avulla, kaikki slave-tunnistimet johdotettiin läpi MMJ 3x1,5N:llä ja master-läsnäolotunnistimelle tuotiin sekä MMJ5x1,5S-että MMJ3x1,5N -kaapelit. Johdotus kytkettiin kiinni jokaiseen valaisimeen ja läsnäolotunnistimeen, kunnes syöttörasiaa kytkiessä todettiin asennuksen toimimattomuus. Kaikkien, yhteensä 48 valaisimien ollessa kytkettynä yhden kymmenen ampeerin sulakkeen taakse, ei sulake tulisi kestämään valaisimien tuomaa kuormaa. Valaisinvalmistajan sivuilta kyseisen valaisimen tiedot tarkistettaessa, todettiin kymmenen ampeerin sulakkeen taakse voitavan kytkeä maksimissaan 25 valaisinta. Valaistus tuli siis syöttää useammalla vaiheella, joten päädyttiin valaistukselle tuomaan uusi kolmivaihesyöttö, joka jaettiin ensimmäiseltä jakorasialta MMJ3x1,5S:n avulla. Valaisimien johdotusta muutettiin ja sekä ensimmäisen että toisen vaiheen taakse saatiin 18 valaisinta, kolmannen taakse 12 valaisinta.

Valaisinten kytkentämuutos mielessä pitäen päädyttiin tässä vaiheessa tarkastamaan myös läsnäolotunnistimien kytkennän oikeellisuus. Suunnitelman mukaisesti master-tunnistimia oli piirretty yksi kappale, johon kytketään yhteensä kahdeksan slave-tunnistinta. Läsnäolotunnistimien paketista löytyneiden kytkentäohjeiden mukaan yhteen mas-

ter-tunnistimeen voidaan kytkeä enintään kymmenen slave-tunnistinta. Toinen huomioon otettava seikka johti tämänkin kytkennän muutokseen, jotta se saataisiin toimintaan, sillä kytkentäohjeen mukaan yksi master-tunnistin kykenee ohjaamaan enintään 25:tä Dali-liitäntälaitetta.

Kytkeä muuttettiin niin, että jokaisen vaiheen takana olevat valaisimet tulivat ohjattavaksi oman master-tunnistimen avulla. Valaisinten jakorasioiden, joille toisen ja kolmannen vaiheen syötöt kaapeloitiin, lähimmät slave-tunnistimet vaihdettiin master-tunnistimiksi. Muutos vaati vain lähimmältä läsnäolotunnistimien jakorasialta lisäksi viisinkertaisen kaapelin kolmikertaisen rinnalle. Lisäksi läsnäolotunnistimien ja vaihekohtaisen valaisinjakorasian väliin lisättiin kaapeli, jota pitkin oikean master-tunnistimen väylä jaettiin tämän vaiheen takana oleville valaisimille. Kytkentämuutoksen osana jouduttiin jakorasioiden tai valaisinten väliltä poistamaan tarpeettomat kaapelit, jotta eri vaiheiden takana olevat syötöt eivät olisi yhteydessä toisiinsa. Läsnäolotunnistimien jakorasioille, joihin master-tunnistimet johdotettiin, kiinnitettiin huomiota, jotta koko läsnäolotunnistimien sähkösyöttö pysyy vain yhden, L1-vaiheen takana. Tämä sama vaihe kulkee slave-tunnistimien johdotuksen mukana MMJ3x1,5N-kaapelilla.

Slave-tunnistimet jätettiin kaikki ketjuun ja jokaiselle master-tunnistimelle tuotiin slave-tunnistimien kärkitieto. Näin slave-tunnistimen havaitessa liikettä, välittyy tämä tieto jokaisen vaiheen ohjaavalle master-tunnistimelle, jotka ohjaavat yhdessä valaistusta isona kokonaisuutena. Käytännön testaus osoitti kytkennän toimivuuden, joskin ainoastaan master-tunnistimen havaitessa liikettä, sytyttää se ainoastaan kyseisen vaiheen takana olevan valaistuksen ja vasta slave-tunnistimen havaitsema liike välimatkan päässä kytkee koko tilan, kaikkien vaiheiden takana olevan valaistuksen päälle. Master-tunnistimien sijaintien vuoksi tämä toimintatapa toimii varsin loistavasti, ylemmästä kerroksesta ajaessa kyseisen kerroksen toiselle puoliskolle, eli asuinkiinteistöjen pysäköintipaikoille, syttyy vain kulkemiseen tarvittavan vaiheen takana oleva valaistus. Samoin Ässäkeskukseen johtavasta ovesta kuljettaessa, syttyy ensin vain sisäänkäynnin alueella tarvittava valaistus. Kulkiessa pidemmälle, syttyy täten slave-tunnistimien avulla koko valaistus, jotta nähdään kulkea omalle pysäköintipaikalle.

Asennustyö saatettiin loppuun ohjelmoimalla läsnäolotunnistimet. Jokainen master-tunnistin täytyi ohjelmoida erikseen samoilla parametreilla, jotta valaistus saatiin toimimaan.

Ohjelmointi suoritettiin kauko-ohjaimella, jonka avulla saatiin asetettua jokaiseen tunnisteeseen täsmälleen samat asetukset. Valaistus asetettiin pysymään päällä liikettä havaitessa viiden minuutin ajaksi, kunnes valaistus himmenee kymmenen prosentin valoteholle. Himmennettynä valaistus pysyy päällä puoli tuntia ja sammuu kokonaan pois tämän jälkeen, ellei liikettä havaita. Mikäli tuona aikana havaitaan liikettä, valaistus kirkastuu takaisin täyteen valotehoon ja ajastus alkaa jälleen alusta.

4.4 Loppupiirustus

Asennus suoritettiin piirustuksella, johon oli jo valmiiksi punakynällä piirretty johdotus. Tämän johdotuksen muututtua sekä valaisinten ja läsnäolotunnistimien paikkojen hieman täsmennettyä, ei olemassa oleva piirustus pitänyt paikkaansa lähestulkoon lainkaan, kun otettiin vielä jo aiemmin olemassa olleiden johtoreittien poikkeamatkin huomioon. Ulkoiselta suunnittelutoimistolta ei piirustusta ollut saatavissa digitaalisessa muodossa lainkaan, joten ainoaksi vaihtoehdoksi saada toteutetusta työstä ajantasainen, realistinen piirustus, oli piirtää se täysin uudelleen käsin.

A3-kokoinen alkuperäinen työpiirustus asetettiin lasipöydän pinnalle, jonka päälle asetettiin tyhjä A3 paperiarkki. Lasipöydän alle tuotiin valoa, jolloin alla oleva työpiirustus näkyi läpi tyhjältä arkista. Kynän ja viivoittimen avulla, alkuperäistä vuoden 1991 tasopiirustusta silmäillen, piirrettiin tyhjään arkkiin paikkaansa pitävä pohjakuva. Pohjakuvan sekä alkuperäisten johtoreittien piirtämisen jälkeen piirustusarkista otettiin kopioita, joihin piirtämistä jatkettiin. Kopiot otettiin hieman vaaleampina kuin alkuperäinen piirros oli, jotta kuvaan seuraavaksi piirrettävät sähkökalusteet ja uudet johtoreitit näkyisivät tummempana ja tätä kautta paremmin, eivätkä sekoittuisi pohjakuvaan.

Yhteen kopioista piirrettiin ensin uudet valaisinripustuskiskot sekä valaisimien ja läsnäolotunnistimien realistiset sijainnit toteutetun työn perusteella. Arkista otettiin tässä vaiheessa vielä muutama kopio johdotuksen piirtämistä varten siltä varalta, että johdotus saataisiin esitettyä riittävän selkeästi, vaikka se vaatisikin yhden harjoituksen ennen onnistumistaan. Johdotuksen piirtäminen onnistui kuitenkin hyvin jo ensimmäisellä yrityksellä, jolloin aikaansaannosta voitiin noteerata asennuksen loppupiirustukseksi. Loppupiirustus on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Skannattu asennuksen loppupiirustus.

Uuden asennuksen loppupiirustuksen piirtämisen jälkeen piirrettiin yhteen vaaleista kopiaista vanhan valaistuksen piirustuksen mukaan valaisimien sijainti, jota hyödynnetään myöhemmin. Vanhojen valaisimien sijaintia esittävä piirustus on esitetty tekstissä aikaisemmin, alaluvussa 3.1 (kuva 3).

5 Valaistuksen arviointi

5.1 Mittaukset

5.1.1 Valaistusvoimakkuuden mittaukset

Yksi keskeinen tapa arvioida eri toteutuksien valaistusta oli mitata tilan valaistusvoimakkuutta luksimittarilla. Kun uusi valaistus oli toteutettu vanhan valaistuksen rinnalle, ja uuden valaistuksen dokumentoinnin aikana oli piirretty tilan pohjakuva, otettiin yksi kopi-

oista käyttöön tilan valaistuksen mittausta varten. Tilan mittojen perusteella tyhjiin pohjakuvaan merkittiin mittauspisteet standardin SFS-EN 12464-1 [17] suositusten mukaan, jota voidaan tässä työssä tulkita seuraavasti.

Työalueelle on laadittava arviointiruudukko, jonka osoittamista pisteistä valaistusvoimakkuusarvot mitataan. Ruutujen muodon suositellaan olevan suunnilleen neliö, ruudun piteuden suhde leveyteen tulisi olla välillä 0,5 ja 2. Ruudukon koon laskemiseksi on lisäksi ilmoitettu laskukaava 6.

$$p = 0,2 \times 5^{\log_{10}(d)} \quad (6)$$

$$p \leq 10 \text{ m}$$

p on ruudukon arviointipisteiden suurin etäisyys (m)

d on laskenta-alueen mitta (m)

Saatu mittaa vastaava arviointipisteiden lukumäärä lasketaan laskenta-alueen mitan suhteesta ruudukon arviointipisteiden suurimpaan etäisyyteen eli kaavalla 7.

$$n = \frac{d}{p} \quad (7)$$

n on arviointipisteiden lukumäärä, lähimmäinen kokonaisluku

d on laskenta-alueen mitta (m)

p on ruudukon arviointipisteiden suurin etäisyys (m)

Standardi huomauttaa myös, ettei arviointipisteiden etäisyys saisi olla valaisinväliä vastaava ja määrittää myös seinistä 0,5 metrin etäisyydelle ulottuvan vyöhykkeen pois jätettäväksi, ellei työalue sijaitse tällä alueella tai ulotu sille. Tässä työssä tulkitaan sen kuitenkin ulottuvan tälle alueelle asti, joten tämä seikka jätetään huomiotta.

Pysäköintihallin työtä käsittelevän Ässäkeskuksen osuus hallista mitattiin käyttäen laseretäisyysmittaria. Tilan suurimmaksi pituudeksi otettiin vaakasuoraan seinään nähden

nurkasta päätyseinään asti mittaamalla 68 metriä, ja seinästä kiinteistörajan ulommaiseen osuuteen leveydeksi mitattiin 28 metriä. Nämä mitat kaavaan numero 6 sijoittamalla saatiin mittauspisteiden etäisyydeksi seuraavaksi esitetyt mitat.

Mittauspisteiden etäisyys tilan pituussuuntaan:

$$p = 0,2 \times 5^{\log_{10}(68)} = 3,8186$$

Mittauspisteiden suurimmaksi etäisyydeksi saatiin siis 3,8 metriä, Valaisinsijoittelun vuoksi mittauspisteiden etäisyydeksi määräytyi kuitenkin lopulta 3,5 metriä, mitan ollessa riittävän pieni, jolloin kaksi tai useampi mittauspiste ei pysty sattumaan suoraan peräkkäisten valaisimien alle. Täten mittauspisteiden määräksi saatiin kaavan 7 mukaan:

$$n = \frac{68}{3,5} = 19,4286$$

Mittauspisteiden määrä pyöristettiin tästä mitasta kuitenkin ylöspäin eli kahteenkymmeneen kappaleeseen, kun työalue sijoittui tilan seiniin asti.

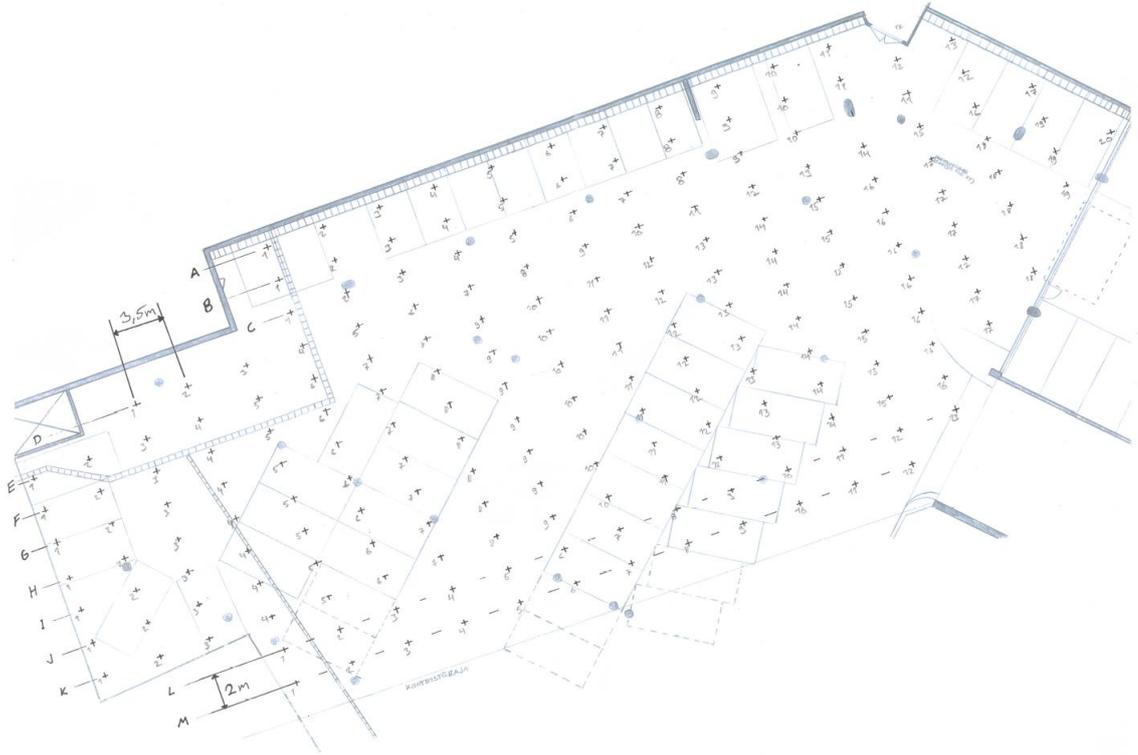
Mittauspisteiden etäisyys tilan leveyssuuntaan kaavan 6 mukaan:

$$p = 0,2 \times 5^{\log_{10}(28)} = 2,0538$$

Mittauspisteiden suurimmaksi etäisyydeksi saatiin siis vastaavasti kaksi metriä. Täten mittauspisteiden määräksi saatiin kaavalla 7:

$$n = \frac{28}{2,0} = 14$$

Mittauspisteiden lukumäärä leveyssuuntaan oli siis 14 kappaletta. Arviointiruudukon ruudun leveyden suhde pituuteen saatiin täten lukuun: 3,5 m / 2,0 m = 1,75. Luku osuu suositellun 0,5:n ja 2:n väliin, joten mittauspisteitä alettiin tämän pohjalta sijoittamaan tyhjälle pohjakuvulle.



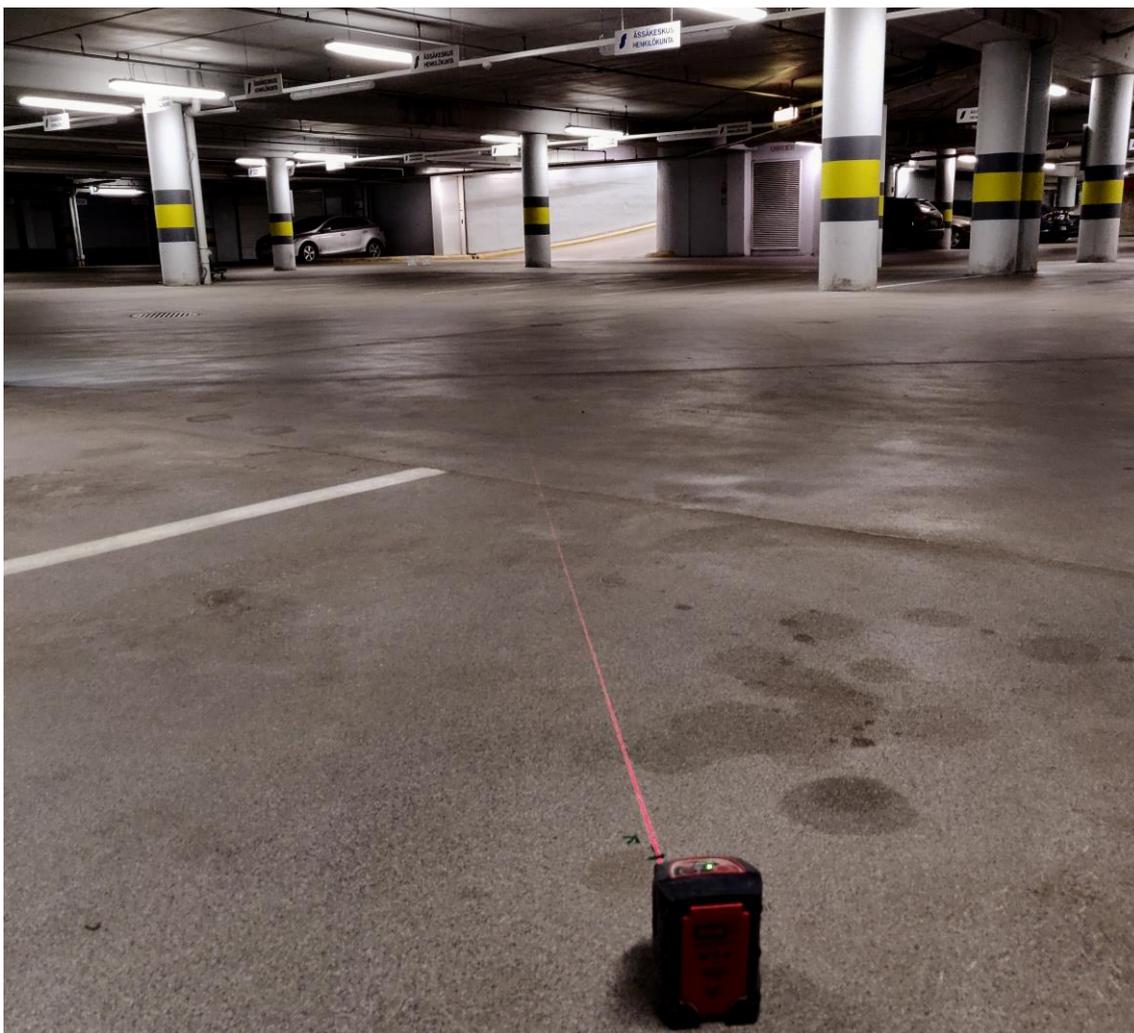
Kuva 11. Mittauspisteiden sijainnit piirrettynä pohjakuvaan.

Mittauspisteet sijoitettiin käsin mitoittaen ja piirtäen tyhjään pohjakuvaan, kuvan 11 mukaisesti. Koska tila ei ollut suorakulmion muotoinen, mittauspisteiden määrät eri riveissä vaihtelivat. Jokainen rivi nimettiin aakkosellisesti, ja jokaisen rivin mittauspisteet numeroitiin, jotta mittaustilanteessa voitiin tarkistaa mittausten oikea määrä helposti. Neljästoista mittausrivi päätettiin unohtaa, sen sijoituessa oikeasti suurimmalta osin viereisen kiinteistön puolelle. Kuvassa ilmenevä kiinteistöraja oli siis hieman vinossa oikeaan pyssäköintihallin kattoon piirrettyyn rajaan nähden. C-linjasta yksi mittauspiste sijoittui myös suoraan pylvään kohdalle. Mittauspisteitä ei ruvettu siirtämään tämän vuoksi, vaan kyseinen piste jätettiin kokonaan pois. Mittauspisteitä saatiin yhteensä 204 kappaletta.

Koska mittaus tuli toteuttaa sekä uudelle että vanhalle valaistukselle, vertailukelpoiset tulokset saataisiin ainoastaan samoista paikoista mittaamalla. Mittaus aloitettiin siis merkitsemällä mittauspisteiden sijainnit. A- sekä B-linjan ensimmäiset mittauspisteet mitoitettiin kuvassa vasemmalla sekä ylhäällä näkyvistä seinistä rullamitan avulla. Mittauspisteet merkittiin lattiaan tussilla pienen ruksin avulla. Samalla tavalla mitoitusta tehtiin A- ja

B-linjan yhdeksänsistä mittauspisteistä mittaamalla rullamitalla oikeat etäisyydet samasta yläpuolella näkyvästä seinästä ja sen lisäksi mittauspisteiden vasemmalla puolella olevasta pienestä pätkästä seinää. Kun nämä neljä mitoituspistettä oli määritetty merkitsemällä lattiaan, asetettiin aivan seinän viereen linjalaser. Laser kytkettiin päälle niin, että sen pystysuorainen linja lävisti merkityt A- ja B-linjan pisteet. Tämän jälkeen merkattiin laserin osoittamaan linjaan mittanauhalla seuraavan linjan vastaavassa kohdassa sijaitseva mittauspiste, jota jatkettiin aina viimeiseen, eli M-linjaan saakka. Vastaavasti samat työvaiheet suoritettiin toisien piirrettyjen A- ja B-linjan merkkaukspisteiden merkkien osoittamiin kohtiin.

Kun pysäköintihallin lattiaan oli tussimerkinnöin merkitty jokaisen kuvaan määritetyn linjan A–M -linjoista kaksi kiintopistettä, asetettiin linjalaser toiseen päähän kuvan 12 osoittamalla tavalla niin, että linja lävistää jälleen nämä kaksi mittauspisteinä merkittyä pistettä. Kun linja oli saatu asetettua oikeaksi, otettiin 3,5 metriä pitkä sähköputki, jonka toinen pää asetettiin aina edelliseen merkkiin. Putken toiseen päähän, laserin osoittamaan linjaan asetettiin pala teippiä merkiksi mittauspisteestä. Putken toinen pää siirrettiin jälleen teipillä merkattuun kohtaan ja merkattiin uudella teipillä taas uusi mittauspiste. Kun kaikki mittauspisteet oli merkitty laserin osoittamaan suuntaan, siirrettiin laser toiseen päähän tilaa, johon pisteet oli jo merkattu ja kohdistettiin jälleen samojen tussimerkintöjen avulla oikeaan linjaan. Näin päästiin merkkamaan toinenkin pää kyseisestä kirjaintunnuksella varustetun linjan mittauspisteistä. Kaikkien linjojen mittauspisteet merkattiin vastaavalla tavalla. Muutama mittauspiste sijoittui tällä tavoin pylväiden taakse, johon laser ei osoittanut. Niiden mittauspisteet sijoitettiin rullamitan avulla mitaten.



Kuva 12. Laser lattian tasolla osoittamassa K-linjan mittauspisteiden oikeaa linjaa. Pysäköintihallissa päällä vain vanha valaistus.

Kun kaikki mittauspisteet oli merkitty teipinpaloilla, merkittiin kaikkien teippien osoittamat sijainnit vielä varmuudeksi tussin avulla lattiapintaan. Kaikki mittaustoimenpiteet tuli suorittaa myöhään illalla ja yöllä sen vuoksi, että pysäköintihalli on taas käytössä normaalisti seuraavana aamuna. Tussimerkintöjen sekä teipinpalojen avulla varmistettiin, etteivät merkinnät kulu pois tai lähde auton renkaiden avulla pysäköintihallia käyttävien autojen mukaan, mittauksien asettuessa eri illalle kuin mittauspisteiden merkintä.

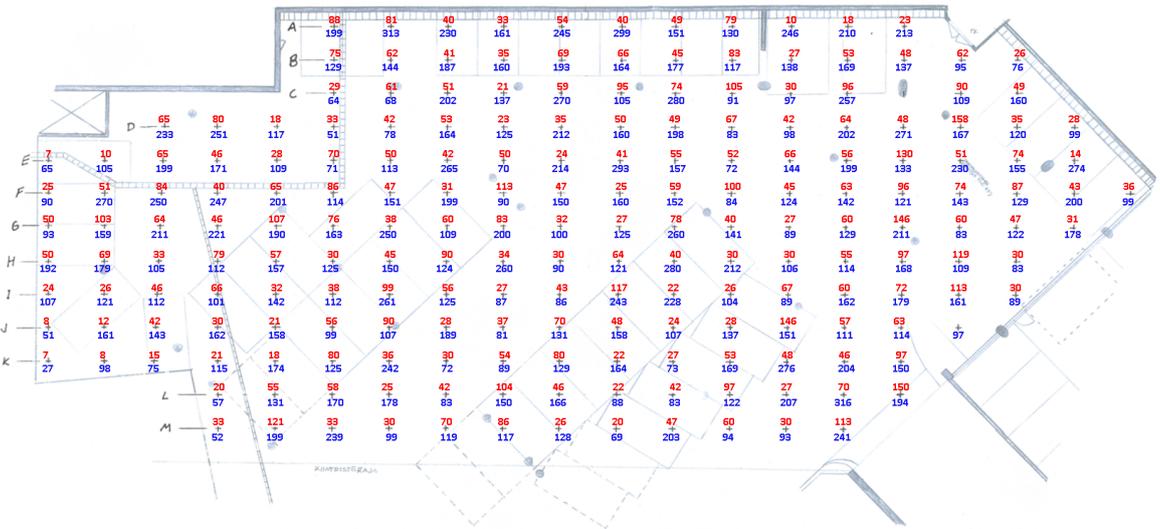
Valaistusvoimakkuuden mittaukset suoritettiin valaistusvoimakkuusmittarin eli luksimitarin avulla. Standardissa SFS-EN 12464-1 – Sisätyöpaikkojen valaistus [17] on määri-

tetty pysäköintihalleja koskevat valaistusvaatimustaulukot. Siinä ylläpidettävät valaistusvoimakkuudet ja tasaisuudet on määritetty lattian tasolle. Täten mittaukset otettiin latti-antasolta. Mittarin valaistusvoimakkuutta mittaava kaapelin päässä roikkuva anturi kiinnitettiin sähköputken päähän vinosti ja mittarin runko, josta myös mittaustulos näkyy, kiinnitettiin putken yläpäähän kuvan 13 mukaisesti. Näin putkesta kiinni pitämällä mit-taaja kykeni seisomaan kauempana mittauspisteestä, häiriten mittaustuloksen oikeelli-suutta itse luomiensa varjojen ja ympäriltä tulevan valon peittämisellä mahdollisimman vähän. Mittari, jolla valaistusvoimakkuudet mitattiin, oli malliltaan Ideal 61-686.



Kuva 13. Mittausasetelma, jolla tilan valaistusvoimakkuudet mitattiin lattiantasolta.

Mittaukset suoritettiin sekä led-putkilla varustettujen valaisimien luomasta valaistuksesta uuden valaistuksen ollessa kytkettynä pois päältä, sekä uudesta valaistuksesta vanhojen valaisimien ollessa poiskytkettynä. Mittaustulokset kirjattiin ensin mittaushetkellä ylös puhelimeen muistiinpanosovellukseen, jonka jälkeen tulokset siirrettiin tietokoneelle Excel-taulukkoon. Mittaustulokset on esitetty kuvassa 14 mittauspistekuvaan sijoitettuna sekä työn lopussa liitteenä Excelin pdf-tulosteena (liite 1).



Kuva 14. Mittaustulokset sijoitettuna mittauspistekuvaan. Vanhan valaistuksen mittaustulokset esitetty punaisella, uuden valaistuksen tulokset sinisellä. Mittaustulokset ovat lukseja (lx).

Excel-taulukkosovelluksella laskettiin myös mittaustulosten mukainen keskimääräinen valaistusvoimakkuus laskemalla kaikki mittaustulokset yhteen ja jakamalla tämän jälkeä mittauspisteiden lukumäärällä. Vanhan led-putkilla varustettujen valaisimien valaistuksessa tilaa, saatiin valaistuksen keskimääräiseksi valaistusvoimakkuudeksi täten heikko 53,69 luksia. Uuden valaistuksen keskimääräinen valaistusvoimakkuus laskettiin samalla tavalla ja tulokseksi saatiin 151,09 luksia.

Valaistuksen tasaisuus voitiin laskea saadun keskimääräisen valaistusvoimakkuuden ja mitatun pienimmän valaistusvoimakkuuden avulla kaavaa 8 käyttäen.

$$U_0 = \frac{E_{\min}}{E_m} \quad (8)$$

U_0 on valaistuksen tasaisuus

E_{\min} on tilan pienin valaistusvoimakkuus

E_m on tilan keskimääräinen valaistusvoimakkuus

Sijoittamalla mitatut sekä lasketut tulokset kaavaan numero 8, saadaan sekä uuden, että vanhan valaistuksen tasaisuudet:

Vanhan valaistuksen tasaisuus, U_0 :

$$U_0 = \frac{7}{53,69} = 0,1304$$

Uuden valaistuksen tasaisuus, U_0 :

$$U_0 = \frac{27}{151,09} = 0,1787$$

5.1.2 Energiankulutuksen mittaukset

Valaistuksien todellisia energiankulutuksia mittaamaan saatiin ABB:n valmistama kolmi-vaiheinen energiankulutusmittari, A43 212-100. Mittari on DIN-kiskoon asennettavaksi tarkoitettu standardin IEC 62052-11 mukainen elektroninen suorakytkentäinen energia-mittari. Mittarin virrankesto on 80 ampeeria per vaihe, jännitteen vaihtelun ollessa kolme kertaa sadasta voltista kolme kertaa viiteensataan volttiin asti, nimellisen jännitteen ollessa kuitenkin 230 ja 400 volttia vaihtojännitettä, viidenkymmenen tai kuudenkymmenen hertsin taajuisista vaihtosähköä. [18.]

Mittari kytkettiin kiinni vanhan valaistuksen oletettuun syöttöön heti, kun oli mahdollista. Tässä vaiheessa ei kuitenkaan tiedetty vielä sitä, ettei koko pysäköintihallin valaistusta syötetäkään vain niiden kolmen vaiheen ja yhden ryhmän avulla, joihin mittari kytkettiin. Mittari ehti olla kiinni tässä syötössä viikon verran, kunnes tulokset otettiin ylös ja mittari siirrettiin mittaamaan uuden valaistuksen energiankulutusta. Tämä viikon kestänyt mit-taustulos paljastui täysin hyödyttömäksi, kun huomattiin sen mitanneen vain pientä osaa pysäköintihallin valaistuksesta. Tämä huomattiin vasta siinä vaiheessa, kun vanhaa va-laistusta yritettiin saada pois käytöstä uuden valaistuksen valmistuttua ja valaistusvoi-makkuusmittauksien lähentyessä. Tulokset otettiin muistiin vain puhelimitse otta-malla mittarista, eikä arvoihin kiinnitetty huomiota sillä hetkellä lainkaan.

Mittari kytkettiin tämän jälkeen käyttöön pysäköintihallin uuden valaistuksen syöttöön. Mittarin lukemat otettiin ylös kytkentätilanteessa. Mittari ehti mittaamaan uuden valaistuk-sen energiankulutusta valaistuksen ohjausjärjestelmän kuluttaman energian sisältyessä

mittaukseen, vastaavan tasan viikon ajan, eli 168 tuntia. Tulos on esitetty kappaleen lopusta löytyvässä taulukossa. Mittarista voitiin myös nähdä vaihekohtaisesti hetkellinen näennäisteho, pätöteho, loisteho, tehokerroin, virrankulutus sekä vaihejännite. Näiden arvot on esitetty mittauspöytäkirjassa, joka löytyy liitteenä työn lopusta (liite 2).

Kun vanhan valaistuksen kuluttamaa energiaa ei saatu mitattua useamman syötön ansiosta, päädyttiin mittaamaan vain yhden valaisimen arvot energiankulutusmittarilla, joka kerrottiin todellisuudessa asennettujen valaisimien lukumäärällä. Tällä tavoin saatiin suuntaa antava tulos valaistuksen energiankulutuksesta. Valaisimen energiankulutus mitattiin vanhaa valaistusta simuloiden led-putken kanssa valaisimen ollessa irrotettuna pysäköintihallista, pöydällä pistorasiasta sähköä syöttämällä energiankulutusmittarin lävitse. Mittaus tehtiin uudelleen vastaavalla tavalla sen jälkeen, kun valaisimeen oli vaihdettu led-putken ja sulakkeen tilalle satoja tunteja palanut, käytetty loisteputki ja sytytin. Tämä mittaus ja sen tulos vastaavat alkuperäisen valaistuksen energiankulutusta. Valaisimen vanhuudesta johtuvan erittäin heikon kunnan takia eristeet rapisivat irti johdoista ja liittimistä, joten varsinaista energiankulutusta ei päästy mittaamaan, kun valaisinta ei uskallettu jättää päälle pidemmäksi aikaa valvomatta. Mittarista luettiin kuitenkin kummankin mittaustilanteen aikana samat hetkellisarvot kuin uutta valaistusta mitattaessa. Tulokset ja arvot merkittiin ylös mittauspöytäkirjaan. Saatujen arvojen ja lukemien perusteella luodut laskut on esitetty laskukaavoineen ja tuloksineen yksityiskohtaisesti mittauspöytäkirjassa (liite 2). Tuloksena saadut kokonaisenergiankulutuksen arvot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Energiankulutuksen tulokset pysäköintihallin eri valaistusvaihtoehdoilla, sisältäen laskukaavat ja laskujen tulokset.

Energianmittauksen tulokset Ässäkeskus pysäköintihalli K2			
	Uusi valaistus	Vanha valaistus	Alkuperäinen valaistus
Energiankulutus (kWh) t = 168 h	120,26	382,27	785,37
		36,7W/kpl*62kpl*168h	75,4W/kpl*62kpl*168h

5.2 Mallinnukset

Pysäköintihallista tehtiin valaistusmallinnukset sekä alkuperäisestä valaistustilanteesta että uudesta valaistuksesta DIALux 4.13 -ohjelman avulla. DIALux on DIAL:in kehittämä ja ylläpitämä työpöytäohjelmisto, josta on saatavilla myös mobiilisovellus. Ohjelman avulla voidaan mallintaa, suunnitella ja laskea valaistusta sisä- sekä ulkotiloissa. Tunnetut valaisinvalmistajat tekevät valaisinkohtaisia suunnittelutiedostoja, joita voidaan ohjelmassa käyttää. Ohjelmaan voidaan tuoda pohjalle myös dwg- tai drw-muodossa oleva viitekuva tai 3D-mallinnus, johon valaisimia voidaan sijoittaa, mallintaa ja laskea. [19.]

Pysäköintihallin valaistusmallinnus aloitettiin ensin skannaamalla tilasta käsin piirretyt kuvat, joista kaksi esitettiin jo aiemmin (kuva 3. ja kuva 10.). Koska piirustukset eivät olleet mittakaavassa, tuli ne ensin muuntaa sellaisiksi, jotta niitä voitaisiin käyttää. Tätä varten otettiin käyttöön CADS-suunnitteluohjelmisto. Ohjelman avulla luotiin uusi projekti, jonka mittakaavaksi asetettiin 1:1. Skannattu piirustus tuotiin ohjelmaan viitekuvaksi, josta osoitettiin kaksi pistettä, joiden välinen todellinen etäisyys tiedettiin. Todellinen etäisyys määritettiin ensimmäisestä kerroksesta toiseen kerrokseen johtavan ajorampin seinien välisestä mitasta. Näin viitekuva saatiin oikeaan, yhden suhde yhteen kokoon. Kuvan oikea skaalautuminen varmistettiin vielä alkuperäisen 1:50 mittakaavan piirustuksesta, sisäänkäyntioven ja viereisen suljetun autohallin osan liukuoven leveydestä ja todettiin oikeaksi.

Pohjalla viitekuvana sijaitsevan pdf-tiedoston suora muuntaminen dwg-muotoon osoitautui mahdottomaksi CADS-ohjelmiston avulla, joten ohjelmiston avulla päädyttiin piirtämään koko tila uudelleen viitekuvan päälle. Ohjelmistoon piirrettiin 2D-mallina viivojen ja muiden muotojen avulla seinät, pylväät sekä ovien paikat. Taustalla olleesta viitekuvasta piirrettiin myös parkkiruutujen sijainnit ja muut merkittävät yksityiskohdat. Kun pohjakuva oli saatu piirrettyä pdf-viitekuvan päälle, poistettiin viitekuvan näkyvyys ja tallennettiin kuva dwg-muotoon.

Kun pohjakuva oli saatu määritettyä realistiseen kokoon, avattiin DIALux-ohjelmisto. DIALuxin kanssa luotiin uusi sisätilaprojekti, joka nimettiin Valaistusmallinnus-nimellä. Esiin pomppaavan Tilaeditorin kohdalla painettiin vain OK, kun tilan määrittämistä varten tarvittiin ensin viitekuva. Seuraavaksi CADS:in kanssa luotu dwg-muotoinen pohjakuva

sijoitettiin projektiin kohdasta Tiedosto ja Tuo, DWG- tai DXF-tiedosto. Esiin ponnahtava ikkuna käytiin läpi valiten oikeasta sijainnista löytyvä juuri CAD:n avulla tehty kuva, jonka jälkeen määritettiin mitoiksi millimetrit. Tämän jälkeen valittu viitekuva pomppasi aikaisemmin määrittämättömän tilan viereen. Tuodun viitekuvan oikeat mitat varmistettiin ohjelmiston mittanauhatoiminnon avulla vastaavista pisteistä, kuin CAD-sovelluksen avulla mittakaavan oikeaa määrittystä tarkasteltaessa.

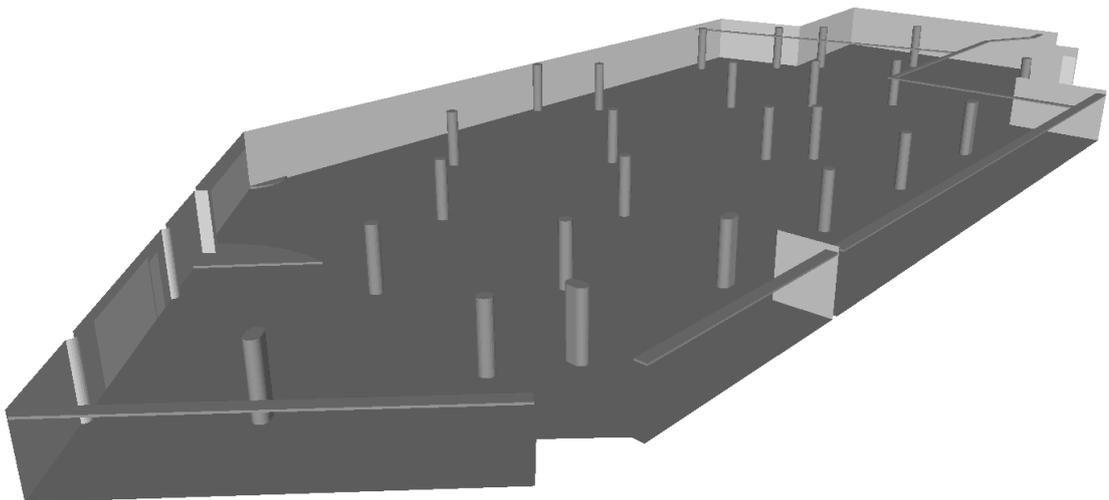
Kun DIALuxiin oli onnistuneesti saatu sijoitettua oikeissa mitoissa oleva viitekuva, painettiin piirtoikkunan kohdalla hiiren oikealla ja valittiin kohta muokkaa tilan geometriaa. Oletuksena ollut tila tuli aktiiviseksi, jonka neljä nurkkapistettä raahattiin viitekuvan, eli piirrettävän tilan kauimmaisiin nurkkapisteesiin. Pisteet voitiin raahata viitekuvan nurkkapisteesiin kätevästi, kun vasemmassa yläaidassa oli aktiivisena ikoni, jossa on DXF-tekstin yllä magneetti. Tämän ansiosta hiiri tarttuu automaattisesti objektia sijoittamalla tai muuta toimintoa suorittamalla viitekuvan nurkkiin tai muihin pisteisiin. Tilan muut nurkkapisteeset saatiin lisättyä painamalla tilan keskellä jossain kohdassa hiiren oikeaa ja valitsemalla lisää piste. Kun kaikki nurkat oli sijoitettu tilaan, määritettiin tilan korkeus vasemmalta tilaeditorin ikkunasta, tässä tapauksessa 2,8 metriä ja painettiin OK. Mallinnettava tila rajattiin kiinteistörajaan sekä ajorampin alkuun. Mallinnuksien tuloksissa ei siis oteta huomioon lainkaan tilan ulkopuolisten valaisimien luomaa valovoimaa tilan rajojen sisäpuolelle. Ajorampin valaistuksen jäädessä pois, rampin alun valaistusvoimakkuus on huomattavasti todellista pienempi. Samoin heti kiinteistörajan toisella puolella on sijoitettu useita valaisimia, jotka todellisuudessa lisäävät tilan valaistusvoimakkuutta, joita ei mallinnuksessa huomioida.

Näin saatiin viitekuvana esitetystä pohjakuvasta tehtyä 3D-malli. Tilan pinnat määritettiin betoniksi ja heijastussuhteiksi valittiin 50/50/27 %. Katon ja seinien ollessa pääosin paljasta, vaaleaa betonia, niiden heijastussuhteeksi arvioitiin siis 50 prosenttia. Koska lattia on myös väriltään vaaleaa betonia, mutta pinnoitettu kulutuksen kestävyuden parantamiseksi, arvioitiin sen heijastussuhteeksi hieman normaalia kahtakymmentä prosenttia suurempi, 27 prosenttia.

Tilaan sijoitettiin seuraavaksi kaikki muut objektit. Ensimmäisenä määritettiin kaikki tilassa esiintyneet ovet oikeilla mitoilla ja niiden oikeat mallit (sisään- tai ulospäin aukeava, saranapuoli, perus tai kaksiovinen malli ja oven materiaali). Tämän jälkeen luotiin pylväät

käyttämällä pursotuskappaleita. CADS:in kanssa piirretyt ympyrät eli pylväät ovat viitekuvassa monikulmioita, eli ne sisälsivät monta tartuntapistettä, joihin pursotuskappaleen pisteet oli helppo kohdistaa. Pursotuskappaleen korkeudeksi määritettiin sama kuin huonekorkeus ja sijoituskoordinaatit määritettiin oikeiksi. Muutamaa tehtyä pursotuskappaleita eli pylväsmallia kopioitiin ja ne sijoitettiin oikeisiin paikkoihin. Tilassa esiintyi myös korokkeet sisäänajorampin kummallakin puolella, jotka luotiin vastaavasti pursotuskappaleiden avulla.

Seuraavaksi luotiin myös tilassa sijaitsevien muuttumattomien johtoreittien mallit. Johtoreitit olivat oikeasti tikashyllyä, mutta piirrettiin mallinnuksessa samalla tavalla pursotuskappaleiden avulla umpinaisiksi, jolloin ne näyttävät levyhyllyiltä. Pysäköintiruutujen rajojen mallinnukseen ei löydetty järkevää toteutustapaa, joten ne jäivät näkymättömiin lopullisessa mallinnuksessa. Pohjalla olevassa viitekuvassa niiden sijainnit kuitenkin näkyvät pohjapiirrosesityksessä. Tilaan sijoitettiin vielä niin kiusahäikäisyn mittauspiste, eli UGR-katsoja, kuin sylinterivalaistusvoimakkuuden mittauspistekin. Sylinterivalaistusvoimakkuuden mittauspiste sijoitettiin pysäköintialueen keskelle, korkeuteen 1,6 metriä. UGR-katsoja sijoitettiin tilaan johtavan ajoväylän etukulmaan, korkeuteen 1,2 metriä, josta se on suunnattuna pysäköintihallin perälle. Näin tilasta saatiin luotua mahdollisimman realistinen 3D-malli, valmiina eri valaistusvaihtoehtojen mallinnukseen. 3D-malli on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Tilasta DIALuxin avulla luotu niin sanottu tyhjä 3D-mallinnus pysäköintihallista, johon valaisintoteutuksia lähdettiin mallintamaan.

Saadusta tiedostosta otettiin kaksi kopiota sekä loisteputkivalaistuksen mallinnukseen että uuden valaistuksen mallinnukseen omansa. Kuvassa 15 näkyy saadun tiedoston 3D-näkymä, jonka mallinnusta jatkettiin seuraavissa vaiheissa. Niiden tulokset ja mallinnukset on esitetty seuraavissa kappaleissa.

5.2.1 Loisteputkivalaistus

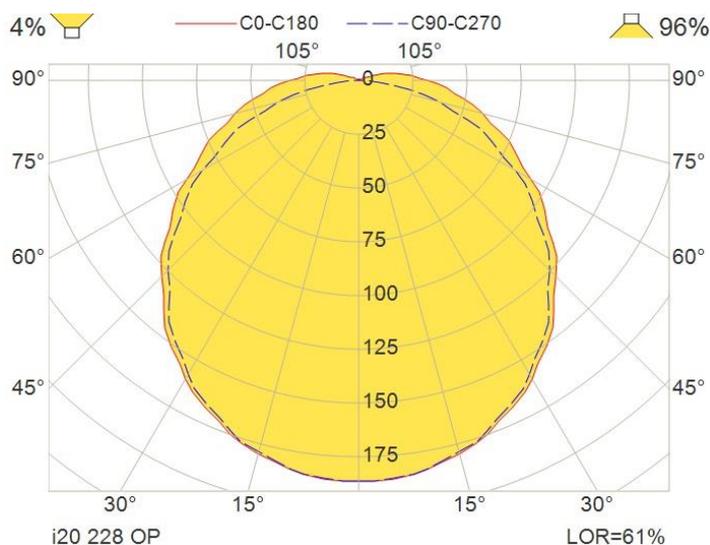
Kun tilasta oli tehty valaistusvoimakkuusmittauksia sekä led-putkilla varustettujen vanhojen valaisimien valaistessa tilaa että uuden led-valaistuksen kanssa, ei alkuperäisestä loisteputkivalaistuksesta ollut mitään arvoja saatavilla. Tästä syystä päädyttiin tekemään valaistusmallinnus tilasta, joka simuloisi alkuperäisen valaistuksen tasoa ja laatua. Kuten mainittu, loisteputket ovat olleet alun perin 65 -wattisia T12-loisteputkia, mutta välissä ne oli vaihdettu 58 W:n T8-loisteputkiin. Energiankulutuksen mittaukset tehtiin T8-putken avulla, joten myös mallinnus tehtiin näiden putkien pohjalta.

Alkuperäisten valaisimien sijainnit piirrettiin aikaisemmin käsin piirrettyyn pohjakuvaan, joka esitettiin työssä aikaisemmin (kuva 3.). Tämä valaisinsijoituspiirustus skannattiin ja sijoitettiin vastaavalla tavalla CADS:iin viitekuvaksi aikaisemmin piirretyn pohjakuva-viitekuvan tilalle ja se skaalattiin vastaavalla tavalla oikeaan kokoon. Pohjalla näkyvän uuden viitekuvan perusteella tilaan sijoitettiin valaisimet, jotka asetettiin oikeisiin kulmiin. Näin saatiin loisteputkivalaistuksen mallinnukseen tarvittava viitekuva DIALuxia varten tallennettua dwg-muotoon.

DIALuxilla piirretyn 3D-mallinnuksen toinen kopio avattiin ja siihen sijoitettiin CADS:llä päivitetty viitekuva. Seuraavaksi tuli löytää valonjakotiedosto, jota käytettäisiin mallinnuksessa. Vanhasta Asea Skandia -valaisimesta ei löytynyt mitään vastaavia tiedostoja, tai oikeastaan valaisinvalmistajalta ei tiedostoja löytynyt lainkaan. Tämä ei ollut mikään yllätys, olihan valaisinmalli jo ainakin 18 vuotta vanha, jolloin ei nykypäivän suunnittelutyökaluja ollut. Täten päädyttiin etsimään valaisinta, josta valonjakotiedosto oli saatavilla, joka vastaisi mahdollisimman pitkälti alkuperäistä valaisinta. Haasteeksi muodostui ensinnäkin T8-loisteputki, mutta myös opaalikupu. Nykyiset valaisimet kun alkavat olla erittäin pitkälti jo led-valaisimia, ja tämän kautta suljetut valaisimet ovat kirkaalla kuvulla. Lisäksi nykyiset valaisimet ovat muodoltaan lähes poikkeuksetta pyöreämpiä, eivät niin neliskanttisia kuin tämä vanha valaisin.

Vaihtoehtoja kartoittaessa päästiin lopputulokseen, ettei suoraan vastaavaa valaisinta löydy. Siirryttiin siis miettimään vastaavia vaihtoehtoja, pääasiana oli että valaisin on varustettu opaalisella kuvulla/häikäisysuojalla ja valovirta olisi riittävän lähellä realistista. Valaisinta etsittiin Glamox:n tuotevalikoimasta, tämän valmistaessa suuria määriä teollisuusvalaisimia. Glamox:n nettisivujen kautta tuotevalikoimaa katsellessa voitiin asettaa erilaisia suotimia valikoiman pienentämiseksi. Valikoimasta valittiin ensin teollisuusvalaisin-kategoria ja sen jälkeen valonlähteeksi testattiin T8-loistelamppua, tulosten jäädessä nolnaan. Valonlähdevaihtoehdoksi valittiin myös T5-loistelamppu, jolloin saatiin kolme hakutulosta ja yhdessä niistä oli opaalin häikäisysuoja.

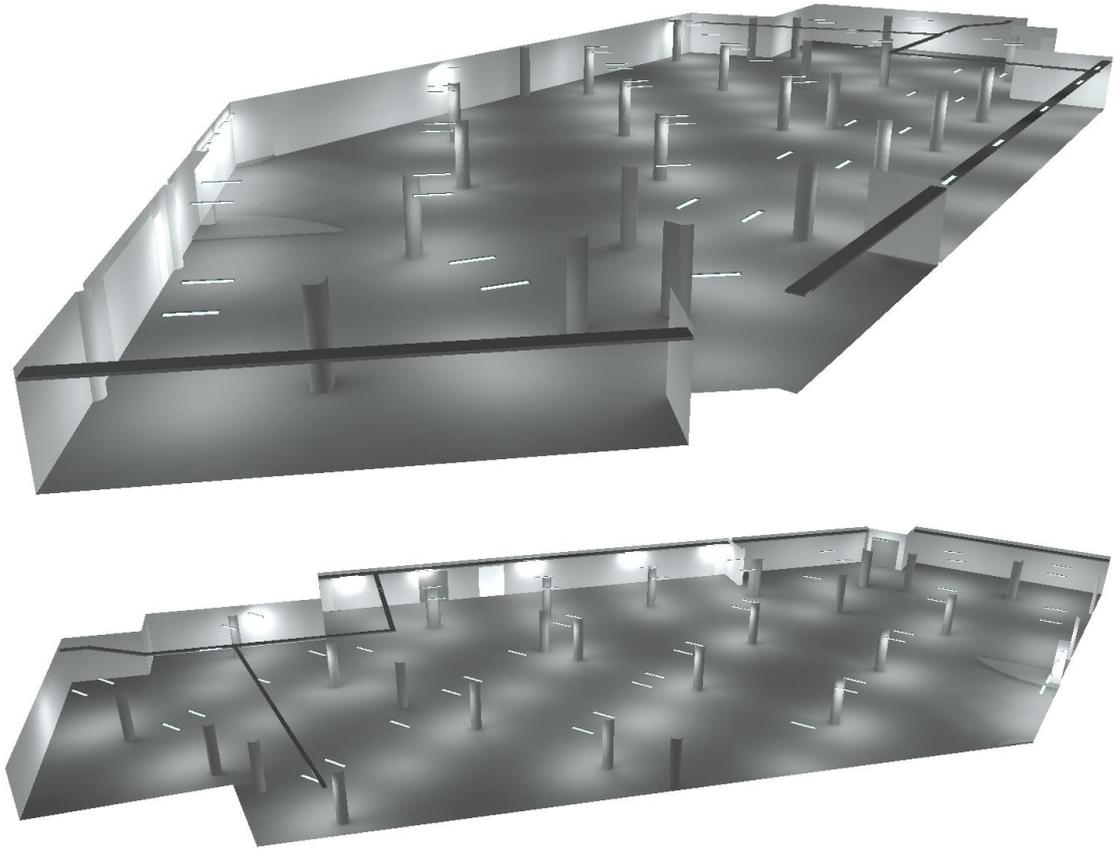
Mallinnusta varten valikoitui siis Glamox i20 -sarjan valaisin, i20 228HF OP. Tämän valaisimen valonlähteenä toimivat 28 -wattiset T5-loisteputket. Loisteputkia on siis kaksi kappaletta, joiden yhteenlaskettu valovirta on 5200 luumenia, 2600 luumenia kappale. Tämä yhteisvalovirta on vastaava kuin yhden 58 -wattisen T8-loisteputken valovirta, joka on myöskin 5200 luumenia. Alkuperäisen valaistuksen rakennusajankohtana loisteputkilamppujen valovirta ei tietenkään ole ollut yhtä suuri kuin nykyisten putkien, mutta sekä tehonmittaukset, kuin mallinnuskin suoritettiin nyt vastaavan putken valovirralla. Valaisimen fyysiset mitat osuivat sennepäin, pituudesta jäi puuttumaan 30 senttimetriä, joka voi mallinnustuloksiin hieman vaikuttaa. Opaaliakryylistä valmistetun kuvun myötä valonjakoa voidaan kuitenkin pitää vastaavana tämän, ja vanhan valaisimen kanssa, mikä mallinnuksen tuloksiin eniten vaikuttaa. Valonjakokäyrä on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Mallinnuksessa käytetyn Glamox i20 -valaisimen valonjakokäyrä [20].

Glamoxin sivuilta ladattiin DIALuxiin soveltuva valonjakotiedosto valaisimelle. Soveltuvia tiedostomuotoja löytyi sivulta sekä uld- että ies-tiedostomuodossa. Ladattu valonjakotiedosto valaisimesta ladattiin DIALuxiin ylhäältä Tiedosto-kohdasta valitsemalla tuo valaisintiedostot. Tuotu valaisin ilmestyy vasemmalle kohtaan projekti ja käytetyt valaisimet, josta voitiin kyseinen valaisinmalli raahata piirustusalueelle. Piirustusalueella valaisin valitsemalla se voitiin raahaamalla kohdistaa dwg-pohjakuvassa esiintyneiden valaisinsymbolien kohdalle. Kun valaisin oli valittuna, voitiin se kääntää oikeaan kulmaan raahaamalla sinisestä pallosta viivan päässä. Mikäli asentoa ei saatu täysin oikeaksi, sitä voitiin hienosäätää vasemmalta valikosta objektin geometria, kohdasta pyöritys. Asennuskorkeus määritettiin kolmannelta välilehdeltä samassa ikkunassa, kun valaisin on valittuna. Asennustapa muutettiin pinta-asennuksesta käyttäjän määrittelemään ja valaisimen asennuskorkeudeksi asetettiin tilasta mittanauhalla määritetty 2,5 metriä. Näin yhden valaisimen sijainti oli määritetty oikeaksi. Tällä tavoin määritettyä valaisinta kopioitiin ja kopiot vain raahattiin oikeaan paikkaan sekä määritettiin niille oikea kulma, tarvittaessa hienosäätöä käyttäen.

Kaikkien valaisinten sijoituksen jälkeen voitiin pitää valaistusmallinnusta valmiina. Ohjelmasta otettiin valaistustilanteen tulokset ulos valitsemalla ylälaidasta tulokset ja aloita laskelma. Tilasta valittiin laskettavaksi mukaan sekä objektit, että valaisimet ja painettiin OK. Laskutoiminnon jälkeen tilaan sijoitetut valaisimet syttyvät 3D-mallissa ja lasketut tulokset nähdään vasemmalta alta tulokset-välilehdeltä valitsemalla projekti. Tässä vaiheessa huomattiin, että ohjelmaan tehdyn tilan tai jonkin sen komponentin määrittäminen on mennyt vikaan, lattiapinnan pienimmän valaistusvoimakkuuden jäädessä alle kuuteen luksiin. Ongelmaa yritettiin ratkaista, kaikki tilan määrittäykset käytiin läpi ja testattiin, joko tulokset muuttuivat, mutta ei, ongelmaa ei saatu poistettua. Ongelma vaikuttaa siis pienimpään vallitsevaan valaistusvoimakkuuteen ja tätä kautta valaistuksen tasaisuuden laskenta-arvoon mallinnuksesta.



Kuva 17. Kuvankaappaukset pysäköintihallista, jossa on mallinnettu vanha loisteputkivalaistus.

Seuraavaksi valikoitiin, mitä tietoja halutaan tulostukseen näkyviin. Tästä projektista valikoitiin tulostettavaksi ainoastaan neljä sivua: tilan yhteenveto, tilan lattiatason Isolux-käyrät (E) ja tilan laskelmapisteiden sekä UGR-katsojan tuloksien yleisnäkymät. Vasemmalta ylhäältä painetaan tulostimen kuvaa, valikoidaan halutut sivut sekä pdf-tulostin ja tulostetaan. Saatu tuloste on liitteenä työn lopussa (liite 3). Näkymä tilasta 3D-mallina valaisinten ollessa päällä on esitetty kuvassa 17 kahdesta eri kuvakulmasta.

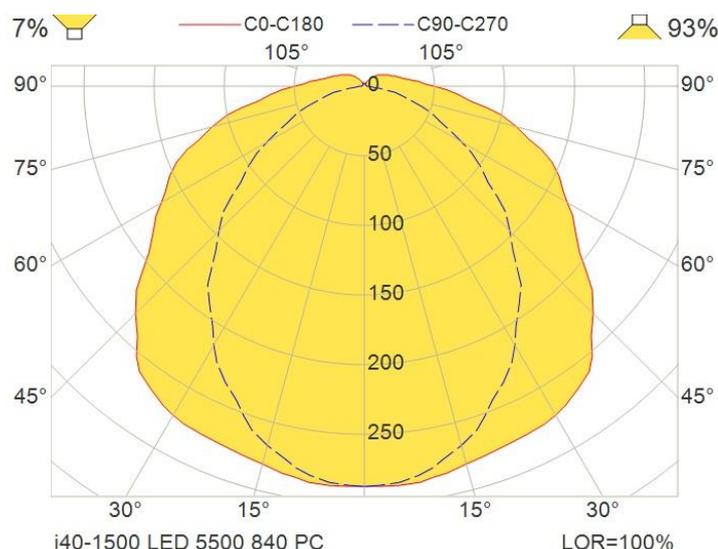
5.2.2 Led-valaistus

Uuden valaistuksen mallinnus aloitettiin vastaavalla tavalla kuin edellä, sijoittamalla pohjalle viitekuvaksi uuden valaistuksen loppupiirustuksen versio, josta CADs:illä muokkauksen aikana oli jätetty piirtämättä liiketunnistimet ja kaikki johdotukset sekä rasiat. Piirustukseen oli piirretty siis vain valaistusriipustuskiskojen sijainnit sekä niihin kiinnitetyt valaisimet. Valaisinriipustuskiskojen sijaintia kuvattiin vain piirtämällä viivat ja valaisimet

yleisillä symboleilla oikeisiin kulmiin ja sijainteihin. Tämä piirustus sijoitettiin siis vastavasti pelkän pohjakuvan viitekuvan tilalle, jolloin valaistukseen liittyvät komponentit saatiin näkyviin CADs:issä, jossa piirtämällä ne saatiin näkyviin DIALuxiin viitekuvaksi luotu dwg-kuva sijoittamalla.

Kun viitekuva oli saatu päivitettyä DIALuxiin, valaistusripustuskiskot piirrettiin tilaan käyttämällä valmista muotoa, kuutiota. Kuution mitoituksi määriteltiin kiskon oikeat mitat, eli 70 millimetriä leveä ja 50 millimetriä korkea. Piirretyn kiskon pituus määräytyi pohjakuvan mukaan skaalaamalla. Kuution, eli valaisinripustuskiskon sijainniksi määriteltiin korkeus, joka päättyi olemaan 2,525 metriä, jolloin alapinnan korkeus tilan lattiapinnasta määräytyi vastaavaksi kuin valaisimien oikea asennuskorkeus, eli 2,5 metriä. Kuutio sijoitettiin tilaan mittojen syöttämisen jälkeen painamalla sijoita, ja raahattiin pohjakuvassa esiintyvän viivan, joka kuvasi ripustuskiskon paikkaa, kohdalle. Kuutiota skaalattiin pituussuunnassa riittävästi, jotta osattiin määrittää se oikeaan linjaan. Linja määritettiin oikeaksi valitsemalla objekti ja raahaamalla sinisestä pallosta, jolloin objekti kääntyi. Kulmaa hienosäädettiin jälleen tarvittaessa. Ensimmäistä oikeaan sijaintiin ja oikeilla mitoilla varustettua kuutiota kopioitiin ja liitettiin, josta objekti raahattiin seuraavan valaisinripustuskiskon sijaintiin. Näin jouduttiin säätämään kopiosta, toisesta valaisinripustuskiskosta ainoastaan kulmaa sekä objektin pituutta. Pituuden muutos onnistui valitsemalla objekti ja hiiren oikealla painamalla kohtaa skaalaa. Näin voitiin ottaa kuution sivusta kiinni ja raahata se sopivan mittaiseksi. Ainoana poikkeuksena tästä toimintamallista oli tilan yksi valaisinripustuskisko, jonka sijainti poikkesi muista, korkeuden puolesta. Tämän korkeus määritettiin kymmenen senttiä, eli 0,1 metriä matalammaksi kuin muiden.

Tällä tavalla, kun kaikki valaisinripustuskiskot oli mallinnettu tilaan, haettiin toteutuksessa käytetyn valaisimen valmistajan sivuilta oikean valaisimen valonjakotiedosto. Valaisinvalmistajan sivuilta saatiin myös valonjakokäyrä, kuva 18.

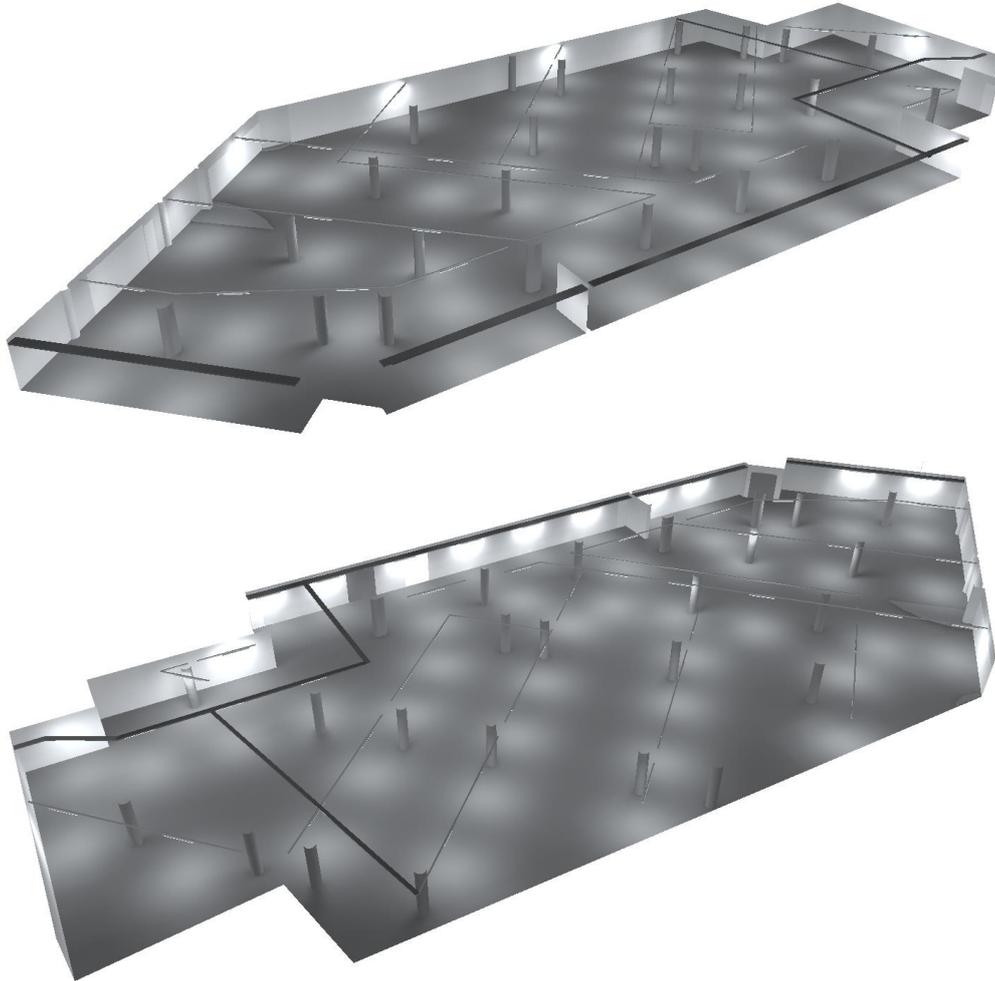


Kuva 18. Glamox i40-1500 LED 5500 840 PC -valaisimen valonjakokäyrä kuvamuotoisena .jpeg-tiedostona, ladattuna valmistajan verkkosivustolta [3].

Tietokoneelle ladattu uld-muotoinen valonjakotiedosto valaisimesta ladattiin DIALuxiin ja sijoitettiin piirustusalueelle. Valaisin valittuna se voitiin raahaamalla kohdistaa jälleen dwg-pohjakuvassa esiintyneiden valaisinsymboleiden keskelle, nyt tilassa sijaitsevien valaisinripustuskiskojen keskelle, oikeaan paikkaan. Kun valaisin oli valittuna, voitiin se myös kääntää oikeaan kulmaan täysin vastaavasti kuin aikaisemmassa vaiheessa ripustuskiskojen ja aikaisemman mallinnuksen kanssa toimittiin. Samalla tavalla myös asennustapa muutettiin jälleen pinta-asennuksesta käyttäjän määrittelemään ja valaisimen asennuskorkeudeksi asetettiin 2,5 metriä, eli valaisinripustuskiskon alapinta. Määritettyä valaisinta kopioitiin jälleen, kopiot raahattiin oikeaan paikkaan ja määritettiin oikea kulma. Poikkeuksena jouduttiin muuttamaan matalammalla sijaitsevaan valaisinripustuskiskoon sijoitettujen valaisimien asennuskorkeus vastaavaa kymmentä senttiä matalammaksi.

Kaikkien valaisinten sijoituksen jälkeen valaistusmallinnus oli valmis. Ohjelmasta otettiin valaistustilanteen tulokset ulos, ja myös tässä mallinnuksessa havaittiin olevan sama ongelma kuin aikaisemmassa mallinnuksessa, valaistuksen minimiarvon suhteen, ja sitä kautta valaistuksen tasaisuuden laskussa. Tilasta valittiin samalla tavalla laskettavaksi mukaan taas sekä objektit että valaisimet ja mallinnuksesta valikoitiin tulostettavaksi samat neljä sivua, kuin aikaisemmastakin mallinnuksesta. Tilan yhteenveto, tilan lattiata-

son Isolux-käyrät (E) ja tilan laskelmapisteiden sekä UGR-katsojan tuloksien yleisnäkymät. Tuloste tästäkin tilasta on liitteenä työn lopussa (liite 4). Näkymä tilasta 3D-mallina on esitetty kuvassa 19 kahdesta eri kuvakulmasta.



Kuva 19. Kuvankaappaukset pysäköintihallista, johon on mallinnettu uusi led-valaistus.

6 Tulosten vertailu

6.1 Valaistustekniset erot

Valaistuksien ja valaisimien vertailu aloitettiin tekemällä taulukot kaikista kolmesta valaisimesta sekä valaistuksesta. Taulukoihin kerättiin tärkeimmät ominaisuudet ja erot tilanteiden välillä. Taulukoita tukemaan tehtiin myös muutamia laskutoimituksia, jotka auttoivat tuomaan eroja selkeämmin esille, sekä luomaan arvoja niiden puuttuessa.

Taulukkoon otettiin vertailuun Osramin valmistama nykyaikainen tyypillinen 58 W T8-loistelamppu (4000 kelviniä, 5200 luumenia, R_a80 ja 20 000 tuntia [21.]), jollaista käytettiin hyväksi myös tehonmittauksia tehtäessä. Vertailussa käytettiin myös mallinnuksesakin käytettyä Glamox i20-valaisinta, sekä loisteputkivalaisimen, että lediputkivalaisimen kohdalla. Valaisinvalmistajan ilmoittaman valaisimen (3196 lm) ja valonlähteen (5200 lm) valovirran arvojen avulla laskettiin led-putken kanssa varustetun valaisimen valovirta kaavalla numero 9, johon sijoitettiin arvot [20].

$$\Phi_{\text{ledputkivalaisin}} = \left(\frac{\Phi_{\text{loisteputkivalaisin}}}{\Phi_{\text{loisteputkilamppu}}} \right) \times \Phi_{\text{ledputkilamppu}} = \left(\frac{3196 \text{ lm}}{5200 \text{ lm}} \right) \times 3500 \text{ lm} = 2151 \text{ lm} \quad (9)$$

Taulukkoon laskettiin vertailun vuoksi myös valonlähteiden sekä valaisimien valotehokkuudet. Valaisimien valotehokkuuden laskennat tehtiin mitatuista tehoista. Laskut tehtiin kaavoilla numero 10 ja 11.

$$\text{valonlähteen valotehokkuus} = \frac{\Phi_{\text{valonlähde}}}{P_{\text{valonlähde}}} \quad (10)$$

$$\text{valaisimen valotehokkuus} = \frac{\Phi_{\text{valaisin}}}{P_{\text{valaisinmitattu}}} \quad (11)$$

Näiden laskutoimitusten sekä valaisinvalmistajan että putkien valmistajien sivuilta tiedot keräämällä saatiin jokaisesta tilanteesta käytetyistä valaisimista riittävät tiedot vertailua varten. Arvot kerättiin Excel-tilaukseen, jossa eri valaisimien arvot olivat vierekkäin. Taulukoon lisättiin myös maininta mistä merkitty arvo on peräisin. Saatu vertailu on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Valaisinkohtaisten tietojen vertailutaulukko.

Valaisinkohtaiset erot			
Suure	Loisteputkivalaisin	Led-putkivalaisin	Led-valaisin
Suojausluokitus (<i>ilmoitettu</i>)	IP44	IP44	IP66
Väriämpötila (<i>ilmoitettu</i>)	4000 K	4000 K	4000 K
Värintoistoindeksi (<i>ilmoitettu</i>)	Ra 80	Ra 80	Ra 80
Valonlähteen teho (<i>ilmoitettu</i>)	58 W	35 W	38 W
Valaisimen ottoteho (<i>mitattu</i>)	75,4 W	36,7 W	39,7 W
Tehokerroin (<i>ilmoitettu</i>)	0,5	ei ilmoitettu	ei ilmoitettu
Tehokerroin (<i>mitattu</i>)	0,469	0,972	0,956
Valonlähteen valovirta (<i>ilmoitettu</i>)	5200 lm	3500 lm	ei ilmoitettu
Valaisimen valovirta	3196 lm (<i>ilmoitettu</i>)	2151 lm (<i>laskettu</i>)	5571 lm (<i>ilmoitettu</i>)
Valonlähteen valotehokkuus (<i>laskettu</i>)	89,7 lm/W	100 lm/W	ei ilmoitettu
Valaisimen valotehokkuus (<i>ilmoitettu</i>)	ei ilmoitettu	ei ilmoitettu	147 lm/W
Valaisimen valotehokkuus (<i>mit. tehosta</i>)	42,4 lm/W	58,6 lm/W	140,3 lm/W
Valonlähteen keskim. elinikä (<i>ilmoitettu</i>)	20 000 h	50 000 h	ei ilmoitettu
Valaisimen elinikä (<i>ilmoitettu</i>)	ei ilmoitettu	ei ilmoitettu	100 000 h (L80B50 Ta25)

Loisteputkivalaisimen ollessa sama valaisin kuin lediputkivalaisin voidaan todeta sen sekä uuden led-valaisimen kummankin olevan suojausluokitukseltaan tilaan soveltuvat. Kaikki vaihtoehdot ovat väriominaisuuksiltaan toisiaan vastaavat, väriämpötila on kaikissa tapauksissa tilaan sopiva, niin sanottu kylmän viileä ja värintoistoindeksi todetaan jokaisessa samaksi, eli R_a-luokitus on 80. Todellisuudessa kun katsotaan tämänhetkistä tilannetta, on loisteputkivalaisimen kupu pahasti kellertynyt, mikä laskee sekä loisteputken että lediputken avulla ulos hohtavan valon väriämpötilaa usealla sadalla kelvinillä.

Valaisinten eliniän arviointi on suhteellista, uusien led-valaisinten ollessa varustettuna kiinteällä valonlähteellä, joka ei käytännössä ole vaihdettavissa. Käytännössä voidaan siis lukea uusien led-valaisimien valonlähteen eliniäksi sama 100 000 tuntia. Uudella led-valaisimella on kaksi kertaa pidempi elinaika led-putkeen verrattuna, ja jopa viisi kertaa pidempi elinaika perinteiseen loisteputkeen verrattuna. Vanhat valaisimet ovat olleet toiminnassa jo 28 vuotta, josta voidaan sanoa niiden toimineen loisteputkillalla varustettuna 24 vuotta, led-putkillalla 4 vuotta. Todellisuudessa jos ajatellaan vanhan valaisimen koko elinikää, eivät vanhat loisteputket olleet 25 vuotta sitten yhtä pitkäikäisiä kuin nykyiset loisteputket. Tämä voitaisiin huomioida, jos haluttaisiin tarkkoja laskelmia eliniän alusta asti, mutta tämä vertailu ja valaistuksen arviointi on tehty vain nykypäivän loistelamppuja tähän valaisimeen soveltaen.

Valaisimien tuottamissa valovirroissa on myös suuria eroja. Vanhan valaisimen opaali-pintaisen kuvun ansiosta valaisimen hyötysuhde laskee merkittävästi. Kun loisteputki valonlähteenä tuottaa 5200 luumenin valovirran, loisteputkivalaisin tuottaa tämän avulla vain noin 3200 luumenin valovirran. Vastaavasti kun led-putki tuottaa 3500 luumena, valaisimesta ulos pääsevä valovirta on vain noin 2150 luumena. Todellisuudessa valaisimen heikko (mallivalaisimen ilmoitettu 61 %) hyötysuhde on vieläkin heikompi valaisimen vanhuuden ja kuvun kellertymisen vuoksi. Kun verrataan valaisimen tuottamia valovirtoja, on uuden led-valaisimen yli 5500 luumenin valovirta täysin ylivoimainen loisteputkella varustetun valaisimen 3500 luumeniin ja led-putkella varustetun valaisimen 2150 luumeniin nähden.

Kun katsotaan valaisimien valotehokkuuksia, saadaan aikaiseksi suuria eroja valaisimen heikon hyötysuhteen takia. Led-putken valotehokkuus on tasan sata luumena wattia kohden ja loisteputki jää kymmenen luumena tämän alle. Mutta kun valonlähteet ovat sijoitettuna valaisimiin ja tätä verrataan valaisimien todellisuudessa kuluttamiin tehoihin, valotehokkuus muuttuu merkittävästi, jääden neljäänkymmeneen kahteen ja viiteenkymmeneen kahdeksaan luumeniin wattia kohden. Kun led-valaisimen valonlähteen valovirtaa ei ole tiedossa erikseen, ei valaisimen hyötysuhdetta tiedetä. Valaisimen valotehokkuus on kuitenkin yli kolme kertaa loisteputkella varustettua ja yli tuplasti led-putkella varustettua valaisinta parempi, tuottaen wattia kohti yli 140 luumena.

Valaisinten mitatut tehokertoimet käsitellään myöhemmin, mutta taulukosta myös nähdään, kuinka suuri ero on vanhan valaisimen kuluttamassa tehossa valonlähteen tehoon nähden. Loisteputken ollessa kiinni valaisimessa magneettinen kuristin aiheuttaa myös erittäin heikon tehokertoimen, myös huikkeen 17,4 watin eli 23 prosentin tehohäviön. Samaa valaisimeen asennettava led-putki ei kuristimen toimintaa tarvitse, joten tätä merkittävää tehohäviötä ja tehokertoimen heikkenemistä, ei tapahdu.

Toinen taulukko vertailua varten tehtiin valaistuksesta, valaistustilanteista kokonaisuutena. Taulukkoon koottiin mittaustulokset ja mallinnustulokset sekä muutama laskettu arvo. Loisteputkivalaistuksesta on ilmoitettu vain mallinnuksesta saadut arvot ja led-putkilla varustetusta valaistuksesta on ilmoitettu ainoastaan mitatut arvot. Uudesta led-valaistuksesta on ilmoitettu kummatkin arvot, niiden ollessa saatavilla. Kiusahäikäisyn sekä sylinterivalaistusvoimakkuuden arvot poimittiin mallinnuksesta. Koska loisteputkilla sekä

led-putkilla tehty valaistus sisältää samat valaisimet, voitiin loisteputkivalaistuksen mallinnuksen kiusahäikäisyn arvon olettaa olevan sama led-putkilla toteutetussa valaistuksessa.

Taulukko 4. Valaistuskohthaisten tietojen vertailutaulukko.

Valaistustekniset erot			
Suure	Loisteputkivalaistus	Led-putkivalaistus	Led-valaistus
Lattiapinnan keskimääräinen valaistusvoimakkuus (<i>mallinnus</i>)	93 lx (alenema huomioitu)	ei tiedossa	124 lx (alenema huomioitu)
Lattiapinnan keskimääräinen valaistusvoimakkuus (<i>mitattu</i>)	113,32 lx (laskettu/arvio ilman alenemaa)	53,69 lx (alenema huomioitu)	151,09 lx (ilman alenemaa)
Lattiapinnan valaistuksen tasaisuus (<i>mallinnus</i>)	0.059	ei tiedossa	0.068
Lattiapinnan valaistuksen tasaisuus (<i>mitattu</i>)	0.1404 (arvioitu)	0.1304	0.1787
Kiusahäikäisy (<i>mallinnuksesta</i>)	22	22 (sama kuin edellä)	25
Sylinterivalaistusvoimakkuus pysäköintialueella (<i>mallinnuksesta</i>)	34 lx	ei tiedossa	53 lx
Ohjaustapa	ON	ON	Läsnäolotunnistus

Pysäköintihallin lattian valaistusvoimakkuuksia sekä valaistuksen tasaisuutta voidaan arvioida taulukossa 4 olevien arvojen perusteella. Led-valaistuksen kohdalla huomataan mitatun sekä mallinnetun tilan arvojen poikkeama, joka johtuu siitä, että mittaustulokset on otettu uudesta valaistuksesta noin viidenkymmenen tunnin käyttöajan jälkeen. Mittaustuloksissa ei siis ole huomioitu tilan alenemakerrointa, mallinnustuloksissa on. Led-putkivalaistuksessa tilan alenemakerroin on jo huomioitu, todellisuudessa kuluneen ajan vuoksi. Led-valaistuksesta laskettiin mallinnuksen ja mitatun tulosten kerroin (1,2184), jonka avulla saatiin loisteputkivalaistukselle vertailua helpottava vain puhtaasti suuntaa antava arvo ilman alenemakerrointa, kertomalla mallinnuksen tulos lasketulla kertoimella. Mallinnuksessa lattiapinnan valaistuksen tasaisuuden laskentaa myös häiritsee jokin ohjelmallinen seikka, joten mallinnuksen tuottamaan tasaisuuteen ei ole uskomista. Loisteputkivalaistuksen lattiapinnan valaistuksen tasaisuus arvioitiin kuitenkin vertailua varten hieman suuremmaksi kuin led-putkilla varustetun valaistuksen mittausten kautta laskettu tasaisuus, suuremman kokonaisvalaistusvoimakkuuden ansiosta.

Lattiapinnan keskimääräistä valaistusvoimakkuutta katsottaessa mitatuista/arvioiduista tuloksista, voidaan uuden led-valaistuksen sanoa olevan noin 50 % suurempi kuin vanha

loisteputkivalaistus, ja noin kolme kertaa suurempi kuin aikaisempi led-putkilla toteutettu valaistus. Valaistuksen tasaisuus on myös parempi uudella valaistuksella, vaikkei mikään hyvä olekaan, ollen kuitenkin mitatuista ja arvioituista tuloksista noin 30 prosenttia parempi.

Pysäköintihallin kiusahäikäisyä arvioitiin mallinnukseen sijoitetun UGR-katsojan avulla, joka sijoitettiin keskelle ajoväylää katsomaan sisääntuloväylältä tilan perälle päin. Vanhojen valaistustilanteiden sekä loistelamppuvalaistuksen että lediputkivalaistuksen käytäessä samaa opaalikuvulla varustettua valaisinta jää kiusahäikäisyn määrä pienemmäksi kuin uusilla kirkaskupuisilla valaisimilla. Tilasta otettiin ohjelmallisesti myös sylinterivalaistusvoimakkuuden arvot loisteputkivalaistusmallinnuksessa ja led-valaistusmallinnuksessa. Nämä mittauspisteet olivat pysäköintialueelta. Uuden led-valaistuksen kanssa sylinterivalaistusvoimakkuus oli tietenkin korkeampi johtuen yleisesti suuremmasta valaistusvoimakkuudesta. Valaistuksien ohjaukset toivat suurimman eron eri valaistuksien välillä. Vanhan valaistuksen palaessa jatkuvasti yötä päivää uusi valaistus on ohjattu läsnäolotunnistimien avulla, jonka hyötyjä tarkastellaan alaluvussa 6.3.

Kokonaisuudessaan valaisimia ja valaistustilanteita vertaillen jokainen oli erilainen. Loisteputkivalaisimet toivat suuren valaistusvoimakkuuden, led-valaisimet vieläkin suuremman. Lediputkilla varustetut vanhat valaisimet olivat pienitehoisia, mutta niin myös uudet led-valaisimet. Valotehokkuutta katsoessa uusi led-valaisin on kuitenkin kiistattomasti paras. Loisteputket ovat lyhytikäisiä, mutta valaisimet erittäin pitkäikäisiä. Led-putket tuovat näihin valaisimiin pitkäikäisempään valonlähdettä samalla vaivalla, vähentäen merkittävästi tehontarvetta mutta tuottavat huomattavasti heikomman valaistusvoimakkuuden. Ledivalaisimet ovat käytännössä kertakäyttöisiä, mutta erittäin pitkäikäisiä ja valotehokkuudeltaan voittamattomia. Uuden led-valaistuksen tuodessa myös läsnäolo-ohjauksen on valaistuksen uusinta jo energiankulutusta silmällä pitäen järkevää. Lisäksi kun vanhan valaisimen opaalikuvun aiheuttama valonjako on palloa muistuttava, on uuden valaisimen valonjako huomattavasti paremmin tilaan sopiva ja valaistuksen tasaisuutta nostava ratkaisu. Vanhat valaisimet ovat myös tässä iässä jo käytännössä vaarallisessa kunnossa, joten niiden korvaaminen uusilla oli pakollista. Valaistuksen uusimisen yhteydessä asennettu valaisinripustuskisko toimii tulevaisuudessa myös hyvänä johdoreittinä muillekin asennuksille, kuten valvontakameroille.

6.2 Pysäköintihallin valaistuksen standardit

Sisätyöpaikkojen valaistusta koskeva standardi SFS-EN 12464-1 määrittää yleisiä vaatimuksia sekä pysäköintihallia suoraan koskevia vaatimuksia ja ohjeita valaistuksen laadulle. Pysäköintihallin vaatimukset on esitetty kohdassa Julkiset kokoontumistilat – Pysäköintihallit, taulukko 5.34. Vaatimukset koottiin taulukkoon 5. [17.]

Taulukko 5. Standardin SFS-EN 12464-1 [17] määrittämät valaistuksen ominaisuudet pysäköintihalleille.

Pysäköintihallin:	Em lx	UGRL	Em/Emin	Ra	Erytisvaatimukset
Sisään-/ulosajorampit päivällä	300	25	0,4	40	1 & 2
Sisään-/ulosajorampit yöllä	75	25	0,4	40	1 & 2
Ajoradat	75	25	0,4	40	1 & 2
Pysäköintialueet	75	-	0,4	40	1, 2 & 3
Lipunmyynti	300	19	0,6	80	4 & 5
Em = Ylläpidettävä valaistusvoimakkuus					
UGRL = Kiusahäikäisyindeksin maksimiarvo					
Em/Emin = Ylläpidettävän valaistusvoimakkuuden tasaisuus					
Ra = Värintoistoindeksi minimiarvo					
<i>Erytisvaatimukset:</i>					
1=Valaistusvoimakkuus lattiantasolla.					
2=Turvavärien tulee olla tunnistettavissa.					
3=Hyvä pystypinnan valaistusvoimakkuus helpottaa kasvojen tunnistusta ja lisää siten turvallisuuden tunnetta.					
4=Ikkunoista tulevia heijastuksia on vältettävä.					
5=Ulkoa tuleva häikäisy on estettävä.					

Työn kohteena olevassa pysäköintihallissa ei ole varsinaisia sisään- tai ulosajoramppeja, koska kohde on pysäköintihallin toisessa kerroksessa. Työ lisäksi rajattiin kiinteistörajaan, joka kulki kohdassa, josta kerrosten välinen ajoramppi alkaa. Tilassa ei myöskään ole lipunmyyntipistettä, joten tila jää sisältämään ainoastaan ajoratoja sekä pysäköintialueita. Standardista sovelletaan siis ajoratojen ja pysäköintialueiden määritettyjä arvoja. Koska kummankin määritetyn alueen ylläpidettävä valaistusvoimakkuus, valaistuksen tasaisuus sekä vaadittava värintoisto ovat samoja, voidaan koko tilaa katsoa vain yhtenä kokonaisuutena. Pysäköintialueiden osalta ei kiusahäikäisyindeksiä määritetä,

mutta näiden alueiden ollessa valaistu samojen valaisimien kanssa kuin ajoradat, voidaan kiusahäikäisyn määritettyä arvoa ajoradoille soveltaa myös näihin alueisiin. Standardi kertoo myös erikoisvaatimuksia näille alueille, joista tässä kohteessa sovelletaan kolmea. Valaistusvoimakkuuden määritetyt arvot ovat lattiapinnasta, turvavärit tulee olla tunnistettavissa sekä pystypinnan hyvä valaistusvoimakkuus helpottaa tunnistusta ja lisää turvallisuuden tunnetta.

Standardin vaatimuksia verratessa saatuihin tuloksiin todetaan, että vanha loisteputki-valaistus täyttää vaaditun ylläpidettävän keskimääräisen valaistusvoimakkuuden sekä tilan häviökertoimen ja valaisimen ikääntymisen aiheuttaman valaistuksen aleneman jälkeen, että ennen sitä (113 lx ja 93 lx). Uuden led-valaistuksen avulla ylläpidettävä valaistusvoimakkuus täyttää myös hienosti standardin vaatimukset (151 lx ja 124 lx), mutta vanha led-putkivalaistus tilasta mitatuin tuloksin eli alenemakerroin huomioon ottaen ei täytä vaatimuksia, keskimääräisen valaistusvoimakkuuden jäädessä 53 luksiin.

Valaistukselle määritetyt tasaisuudet standardeissa eivät täyty yhdelläkään valaistustavalla, ainakaan arviolta ja mittaustulosten perusteella, mallinnuksen virheellisistä tuloksista puhumattakaan. Valaistustapojen ylläpidettävien valaistuksen tasaisuudet jäivät kaikki alle 0,2, kun määritetty ylläpidettävä valaistuksen tasaisuus on 0,4. Heikon valaistuksen tasaisuuden tässä tilanteessa selittää valaisimien sijoituksen haasteet sekä vanhojen valaisimien valonjaon muoto.

Standardin määräämä värinvalo täyttyy jokaisella valaistustavalla, näiden R_a -indeksin ollessa kaikissa 80, määrätyn minimin ollessa vain 40. Täten voidaan sanoa erityisehdon kaksi, turvavärien tunnistettavuuden, täyttyvän. Standardin määräämä kiusahäikäisyn maksimiarvo alittuu myös jokaisella valaistuksella, led-valaistuksen ollessa kuitenkin äärirajoilla.

Kolmannen määritetyn erikoisehdon eli hyvän pystypinnan valaistusvoimakkuuden arviointiin ei ole annettu tässä standardin kohdassa suoraan minimiarvoja. Saman SFS-EN 12464-1 -standardin kohdassa 4.6.2 Keskimääräinen sylinterivalaistusvoimakkuus toimiloissa, määritetään ylläpidettävän keskimääräisen sylinterivalaistusvoimakkuuden tasoksi 50 luksia tasaisuuden ollessa yhtä kuin tai yli 0,10. Määritettyjä arvoja sovelle-

taan sisätiloissa sekä toimintatiloissa seisovalle henkilölle 1,6 metrin korkeudella lattiasta. Tällä tavoin voidaan määrittää pysäköintihallista sylinterivalaistusvoimakkuus. Tulokset tätä varten otettiin sekä loisteputkivalaistuksen, että uuden led-valaistuksen mallinnuksesta, jotka esitettiin aikaisemmin taulukossa 4. Tuloksina saadaan vanhalla loisteputkivalaistuksella huonompi kuin määritetty 50 luksia, 34 luksia, tasaisuuden ollessa 1.00. Uudella led-valaistuksella samasta pisteestä mitattu sylinterivalaistusvoimakkuus ylitti juuri ja juuri määrätyn 50 luksia ollen 53 luksia ja tasaisuuden ollessa tasan 1.00. Led-putkivalaistuksen yleisen valaistusvoimakkuuden ollessa vielä loisteputkivalaistusta heikompi ei tilasta saada loisteputkivalaistuksen sylinterivalaistusta parempia tuloksia, eli kolmannen erityisehdon voidaan katsoa toteutuvan ainoastaan uudella led-valaistuksella.

Kokonaisuutena katsoen yksikään valaistustilanne ei täytä täysin nykyisen standardin SFS-EN 12464-1 asettamia vaatimuksia. Ylläpidettävän keskimääräisen valaistusvoimakkuuden täyttää vanha loisteputkivalaistus sekä uusi led-valaistus, valaistuksen tasaisuutta ei täytä yksikään valaistustilanne, värinoton sekä UGR-indeksin vaatimukset täyttyvät jokaisessa tilanteessa ja hyvän muodonannon erityisvaatimuksen täyttää ainoastaan uusi led-valaistus.

Kohteen suunnittelu olisi tullut toteuttaa niin, että jokainen standardin vaatimus olisi täytynyt. Tämän insinööriyön sisältöön ei kuulunut kuitenkaan tilan valaistuksen suunnittelu alusta asti, vaan valmiiksi suunniteltua sovellettiin käytännössä kuten pystyttiin, eikä standardin vaatimuksia otettu huomioon työtä suorittaessa lähtötietojen puuttuessa. Alkuperäisen suunnittelun olisi tullut olla parempaa, jotta kaikki seikat olisivat täyttyneet.

Tämä standardi SFS-EN 12464-1 on myös uudistumassa työn tekohetkellä, jonka arvioidaan tulevan voimaan vuoden kuluttua, keväällä 2020. Standardiin aiotaan uudistettaessa lisätä suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä eri tilojen valaistuksen suhteen, kuten ylläpidettävän keskimääräisen valaistusvoimakkuuden minimiarvon lisäksi suositeltu ylempi suunnitteluarvo. Pysäköintihallin valaistusta suunniteltaessa määrätään myös tilan katto- sekä seinäpinnoille ylläpidettävä keskimääräinen valaistusvoimakkuus ja lisäksi sylinterivalaistusvoimakkuudelle määrätään arvot suoraan tila- tai tehtäväkohtaisesti. [22.]

6.3 Tehon- ja energiankulutus

Tässä luvussa viitataan työn kohdassa 5.1.2 esiteltyyn mittaukseen ja sen pohjalta saattuihin tuloksiin, joiden mittauspöytäkirja on esitetty liitteenä (liite 2). Mittauspöytäkirjasta tehtiin tiivistetty versio tätä tehon- ja energiankulutusta sekä energiansäästöä koskevan arvioinnin pohjaksi, joka on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Valaistustilanteiden mittaustulokset tiivistetysti.

	Uusi valaistus	Vanha valaistus	Alkuperäinen valaistus
Energiankulutus (kWh) t = 168 h	120,26	382,27	785,37
Hetkellinen jännite (L1) (V)	231,4	234,0	234,0
Hetkellinen virta (A)	8,5	12,4	43,4
Hetkellinen näennäisteho (VA)	1996,4	2337,4	9963,4
Hetkellinen pätöteho (W)	1903,8	2275,4	4674,8
Hetkellinen loisteho (var)	-420,9	-99,2	8735,8
Hetkellinen tehokerroin (cosφ)	0,956	0,972	0,469

Taulukossa 6 esitetyt vanhan eli led-putkivalaistuksen sekä alkuperäisen eli loisteputki-valaistuksen arvot on laskettu yhden valaisimen mittaustulosten perusteella. Mittaustavan ja laskutoimitusten kautta saadut tulokset ovat suuntaa antavia, koska niissä ei huomioida johtojen sekä muiden asennukseen sisältyvien komponenttien aiheuttamaa impedanssia, tätä kautta virran kasvua, jännitteen alenemaa, tehon kasvua eikä tehokerroimen muutosta. Tuloksia voidaan kuitenkin pitää vertailukelpoisina.

Aloitetaan valaistustilanteiden tehonkulutuksia arvioimalla. Uuden valaistuksen pätötehon kulutus sisältäen läsnäolotunnistimilla toteutetun valaistuksen ohjauksen, on teholtaan hieman yli 1900 wattia, josta saadaan valaisimien määrällä (48 kpl) jaettuna yhden valaisimen tehoksi 39,7 wattia. Vastaava näennäistehon kulutus on hieman alle kaksi tuhatta voltiampeeria, loistehon ollessa kapasitiivista ja sen määrän ollessa 420 varia. Saatujen tehonmittauksien perusteella tehokertoimeksi määräytyi 0,956.

Kun vastaavia arvoja tarkastellaan tilassa aiemmin olleesta led-putkilla toteutetusta valaistuksesta, on pätötehon kulutus lähes 2300 wattia, jonka kautta saadaan yhden valaisimen energiankulutukseksi 36,7 wattia valaisimien määrän ollessa 62 kappaletta. Led-

putkivalaistuksen näennäistehon kulutus oli yllättävän pieni, hieman reilu 2300 volttilampereita. Tästä aiheutui hyvä tehonkerroin, 0,972. Kulutettu loisteho oli uuden led-valaistuksen tavoin kapasitiivista, laskennalliselta suuruudeltaan vain alle sata varia. Todellisuudessa kun mitattuihin ja laskettuihin tehoihin sekä tehokertoimeen huomioidaan asennuksen aiheuttama tehohäviö, ollaan suhteessa lähellä uuden led-valaistuksen arvoja.

Alkuperäisen loisteputkivalaistuksen suhteen saatiin jo erittäin merkittäviä eroja verraten ledien avulla toteutettuihin valaistuksiin. Loisteputkivalaistuksen viedessä yli 4600 watin pätötehon yhden valaisimen tehoksi määräytyi 75,4 wattia. Pätötehon määräksi saatiin huikeat lähes 9000 varia induktiivista tehokertoimen ollessa onneton 0,469. Tästä saatiin valaistuksen kuluttamaksi näennäistehoksi aavistuksen vaille kymmenen kilovolttilampereita. Jälleen todellisuudessa johdot ja muut asennuksen osat muuttavat saatuja tuloksia, tässä tilanteessa positiivisesti, lisäten kapasitiivista kuormaa ja täten kumotessa hieman asennuksen induktiivista kuormaa.

Eri valaistustilanteita vertailtaessa on pätötehon kulutus uudella led-valaistuksella led-putkilla toteutettuun valaistukseen nähden yli 16 prosenttia ja loisteputkivalaistuksella lähes 60 prosenttia pienempi. Samalla tavalla, kun verrataan loistehon kulutusta uuden valaistuksen ja vanhojen valaistuksien välillä, on loistehon kulutus led-putkilla varustettuun valaistukseen nähden 76 prosenttia suurempi, mutta loisteputkivalaistukseen nähden jopa 95 prosenttia pienempi. Pätötehon kulutus on kuitenkin uudella valaistuksella jälleen lähes 15 prosenttia pienempi kuin led-putkivalaistuksella ja jopa 80 prosenttia pienempi kuin loisteputkivalaistuksella. Kiinteistössä sijaitsevan loistehon kompensoinnin ansiosta valaistuksen loistehon muutoksesta ei tarvitse olla huolissaan. Kun verrataan tehonkulutusta saadun valaistuksen valaistusvoimakkuuteen, on uusi led-valaistus voittamaton valinta vanhoihin valaistustilanteisiin nähden.

Uuden valaistuksen ollessa läsnäolotunnistimilla ohjattu mitattiin sen energiankulutukseksi viikon ajalta vain hieman yli 120 kilowattituntia. Uusi valaistus on palanut himmennettynä suurimman osan ajasta, ollut täysin sammuneena sekä täydellä valoteholla. Näiden suhdetta ei päästy mittaamaan, mutta uuden valaistuksen energiankulutus laskettuna jatkuvasti päällä olevana, saadaan viikon energiankulutukseksi 335,40 kWh. Läsnäolotunnistuksella ohjattu valaistus kuluttaa siis noin 64 % vähemmän energiaa,

kuin jatkuvasti päällä oleva valaistus, jos verrataan tätä valaistuksen ohjausta suhteessa aikaisempaan ohjaamattomaan valaistukseen.

Vanhojen valaistuksien energiankulutukset viikon ajalta laskettiin hetkellisen tehonkulutuksen avulla ensin kertomalla valaisimien määrällä (62 kappaletta). Valaistuksien ollessa täysin ohjaamattomia eli palavan ympäri vuorokauden voitiin saatu tehonkulutus kertoa viikkotuntimäärällä eli 168 tunnilla. Tuloksena saatiin vanhan, eli led-putkilla toteutetun valaistuksen viikon energiankulutukseksi hieman yli 380 kilowattituntia, ja alkuperäisen, eli loisteputkivalaistuksen energiankulutukseksi yli 780 kilowattituntia. Todellisuudessa valaistuksien energiankulutukset ovat näitä laskettuja arvojakin suuremmat tehohäviöiden vuoksi.

Kun vanhojen valaistuksien energiankulutuksia verrataan uuteen läsnäolo-ohjattuun led-valaistukseen, tuo se jopa 68,5 % energiansäästön led-putkilla toteutettuun ohjaamattomaan valaistukseen nähden ja huikkeen 84,7 % energiansäästön loisteputkilla toteutettuun, myös ohjaamattomaan valaistukseen nähden. Valaistuksen toteutus nykyaikaisilla led-valaisimilla sekä hyvin toimivalla valaistuksen ohjauksella tuo siis mukanaan erittäin suuret energiansäästöt, jos lähtötilanteena on vanhat valaisimet ja yksinkertaisesti ohjattu tai jopa täysin ohjaamaton valaistus.

6.4 Elinkaarikustannukset

Kun eri valaistustilanteiden kaikki arvot oli saatu todennettua niin mittaamalla, mallintamalla kuin laskemallakin, tehtiin lopuksi elinkaarikustannuksia kuvaava laskelma VALTTI-elinkaarikustannuslaskurilla. VALTTI on laskentatyökalu, joka on tarkoitettu valaistustilanteiden ja vaihtoehtojen elinkaarikustannusten vertailuun. Laskuri on hankintadirektiivin mukainen laskentatyökalu elinkaarikustannuksille, joka on kaikille avoin. VALTTIa on ollut mukana kehittämässä niin alan asiantuntijat, hankkijat kuin alan yrityksetkin. Elinkaarilaskelmassa voidaan huomioida kunnossapidon, huollon, investoinnin sekä energian kustannuksia. [23.]

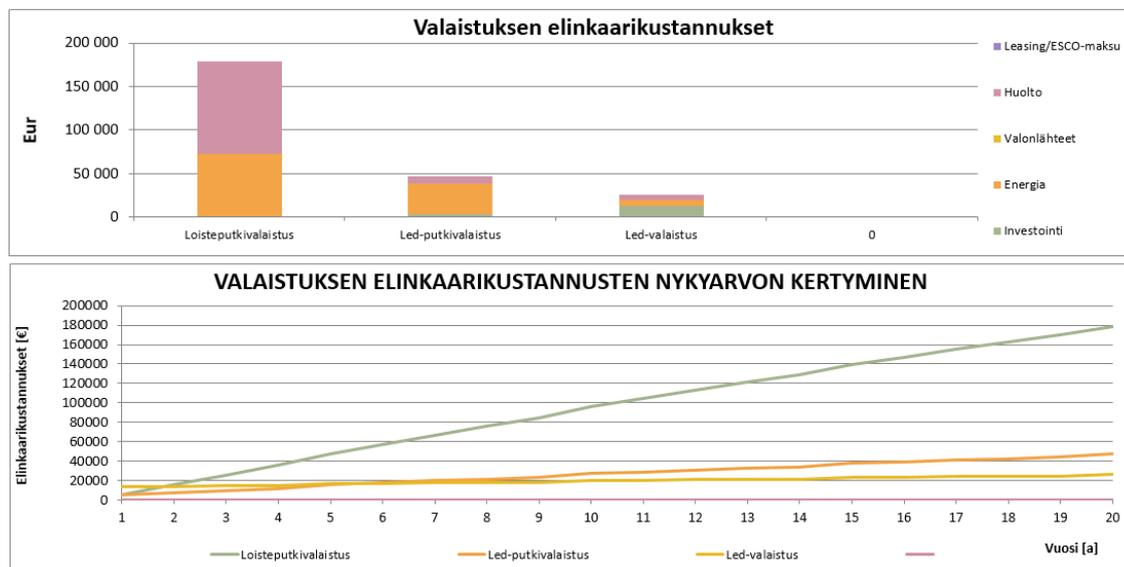
Laskuri ladataan omalle tietokoneelle xlsx-muodossa eli Excelin kanssa yhteensopivana tiedostomuotona. Tässä laskennassa jätettiin lähtötiedot oletusarvoihin, pois lukien vuotuinen valonlähteiden hinnannousu, joka asetettiin nolnaan prosenttiin. Valaisintiedot joka

tilasta täytettiin, tehoksi merkittiin mittaamalla ja laskemalla saadut arvot. Valaistustekniset tiedotkin täytettiin, vaikka niillä ei laskentaan vaikutusta olekaan. Valaisimien käyttöön ja valaistuksen ohjauksen arvot täytettiin, kertoimet jätettiin oletusarvoihin, vanhojen valaistusten käyttöaika vuodessa asetettiin olemaan 8760 tuntia eli jatkuvasti päällä, led-valaistukselle asetettiin toimistorakennuksen 2686 tunnin käyttöaika vuodessa. Ohjauksen puuttuminen merkittiin vanhoihin valaisimiin ja uuteen valaistukseen määritettiin käyttöaikakerroin oikeasti toteutuneen 64 %:n energiansäästön suhteesta ohjaamattomaan, perusteella 0,64:ksi. Huoltoväliksi asetettiin viisi vuotta.

Valaistuksen investointikustannuksiin jätettiin vanhojen valaistustilanteiden kohdalla valaisimen yksikköhinnat nolville, valaisimien jo sijaitessa tilassa. Uuden led-valaisimen hinta katsottiin SLO-sähkötukun nettisivustolta, 230 euroa [24], josta otettiin pois 30 % eli yrityksen alennusprosentti. Valaisimen kappalehinnaksi jäi siis 161 euroa. Valonlähteen hinnoiksi määritettiin loisteputkella 3 euroa [25] ja led-putkella 42 euroa [26]. Materiaali- ja työkustannuksiksi laskettiin vanhojen valaistuksien kohdalla 60 euron tuntihinnalla 5 minuutin vaihtotyöksi 5 euroa, uudella valaistuksella puolen tunnin työ vastaavalla tuntihinnalla, eli 30 euroa. Muita kustannuksia ei vanhojen valaistustilanteiden osalta merkitty, mutta uuden valaistuksen ohjausjärjestelmän ja kaapeloinnin hinnaksi arvioitiin 2500 euroa, käyttöönottokustannuksiksi muutama tunti ohjausjärjestelmän ohjelmointiin, eli 120 euroa ja olemassa olevan järjestelmän purkukustannuksiksi 20 tunnin työ eli 1200 euroa.

Käyttökustannuksiin määritettiin sähköenergian hinnaksi 11 snt/kWh ja tehomaksuksi vuodessa loisteputkivalaistuksen kohdalla 400 euroa, led-valaistuksien kohdalla 380 euroa vuodessa. Valonlähteiden vaihtotavaksi määritettiin yksittäisvaihto, loisteputkivalaistuksen työn ja valonlähteen hinnaksi 8 euroa, led-putken kohdalle 47 euroa ja led-valaisimen kohdalle 240 euroa. Ennakoiduksi huoltokustannukseksi huoltovälin lopussa arvioitiin 40 euroa jokaisen valaistustilanteen kohdalla ja vuosihuoltokustannukseksi 1 euro valaisinta kohden vuodessa. Valaistuksen uusintainvestoinniksi heikon kunnon takia merkittiin vanhalle loisteputkivalaistukselle valaisimen hinta, 60 euroa kappale, uusien putkien hinta 3 euroa kappale ja työ 40 euroa kappale, yhteensä tuloksena 6400 euroa. Led-putkivalaistukselle määritettiin putkien hinnan erotuksen verran enemmän kustannusta, eli 8800 euroa. Näiden peruskorjauksen ajankohdaksi määritettiin yksi vuosi. Uu-

delle valaistukselle ennen peruskorjausta määritettiin käyttöajaksi 25 vuotta, kustannuksiksi 10 000 euroa. Näin saatiin laskurista valaistustilanteiden elinkaarikustannukset, jotka on esitetty kuvassa 20, sekä liitteenä työn lopussa (liite 5).



Kuva 20. Kuvankaappaus saaduista VALTTI-elinkaarilaskurin elinkaarikustannuksista eri valaistusvaihtoehdoilla.

Saaduista elinkaarilaskennoista nähdään, että uusi led-valaistus on investointikustannukseltaan suuri, mutta kaikki tekijät huomioon ottaen tulevaisuuden kannalta järkevä ratkaisu. Vanhan loisteputkivalaistuksen tuoma huollon tarve näkyy suuresti, ja tuo yli puolet kustannuksista elinkaaren aikana. Numeroina saatujen valaistustilanteiden elinkaarikustannukset ovat seuraavat. Loisteputkivalaistus noin 178 000 euroa. Led-putkivalaistus noin 47 000 euroa ja led-valaistus noin 26 000 euroa. Kun katsotaan kuvassa alempana olevaa kuvaajaa, voidaan todeta led-valaistuksen maksaneen itsensä takaisin loisteputkivalaistukseen nähden jo alle kahden vuoden ja led-putkivalaistukseen nähden noin viiden ja puolen vuoden kuluttua.

7 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli paikoituskellarin valaistuksen parantaminen ja työn kartoitus. Tarkoituksena oli myös kartoittaa ja arvioida valaistustilanteita sekä vertailla tilanteita keskenään. Opinnäytetyön tuloksena syntyi tavoitteen mukaisesti huomattavasti paranneltu valaistus, jonka dokumentointi oli onnistunut. Työn toteutus onnistui hyvin pienien vastoinkäymisien jälkeen. Vastoinkäymiset olivat kuitenkin opettavaisia, eikä niistä aiheutunut merkittävää haittaa. Haittapuolena voidaan mainita hukkaan heitetty aika ja tätä kautta aikataulun kiireellisyys erinäisten olettamuksien vuoksi, josta ei kuitenkaan aiheutunut taloudellisia tappioita. Työ eteni joutuisasti, tosin pienen kiireen saattelemana läpi koko työn, myöhäisen aloitusajankohdan vuoksi.

Myös valaistuksen arviointiin kyettiin kokoamaan riittävä määrä vertailtavia seikkoja. Kun kaikkia saatuja tuloksia katsotaan kokonaisuutena, voidaan yksimielisesti tulla päätökseen uuden led-valaistuksen paremmuudesta. Valaisimia vertaillessa led-valaisin tuotti huomattavasti vertailukohteita paremman valovirran, huomattavasti paremmalla valotehokkuudella, se oli eliniältään kaksin- tai viisinkertainen, sen väriominaisuudet olivat yhtä hyvät verrattuihin valaisimiin nähden, eikä se tuottanut liian suurta kiusahäikäisyä.

Toteutettua led-valaistusta kokonaisuudessaan katsottaessa, oli se keskimääräiseltä valaistusvoimakkuudeltaan vaihtoehtoja parempi ja standardit täyttävä sekä sillä saavutettiin myös korkeampi valaistuksen tasaisuus, vaikkei se standardissa määritettyä tasaisuusvaatimusta täyttänytkään. Valaistuksen luoma sylinterivalaistusvoimakkuus täytti myös standardin vaatimukset, johon muut valaistustilanteet eivät pystyneet. Valaistuksen tuoma läsnäolo-ohjaus toi mukanaan erittäin suuret energiansäästöt, mutta muutoinkin hyvän energiatehokkuuden. Uusi led-valaistus todettiin myös elinikäskurilla erittäin kannattavaksi ratkaisuksi pitkällä aikavälillä. Ja mikä parasta, valaistuksen yleistä laatua ja yleisilmettä saatiin kasvatettua ilman yhtäkään varsinaista heikkoutta.

Kokonaisuudessaan pysäköintihallin valaistuksen saneerauksen voidaan todeta onnistuneen hyvin ja osuneen oikeaan aikaan vanhan valaistuksen kuntoa katsoen. Opinnäytetyölle asetetut aikataulut venyivät hieman, mutta työ saatiin lopulta kuitenkin valmiiksi tavoitteiden mukaisesti. Tämän opinnäytetyön myötä opittua ja dokumentoitua tullaan käyttämään hyväksi tulevaisuudessa, toisen kerroksen valaistusta uusittaessa.

Lähteet

- 1 Varma ja SOK ovat solmineet pitkän vuokrasopimuksen SOK:n pääkonttorista Vallilassa. 2017. Verkkoaineisto. Varma. <<https://www.varma.fi/muut/uutishuone/uutiset/2017-q1/varma-ja-sok-ovat-solmineet-pitkan-vuokrasopimuksen-sokn-paakonttorista-vallilassa/>> Luettu 8.4.2019
- 2 Valovirta. 2017. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Valovirta>> Päivitetty 9.6.2017. Luettu 8.4.2019.
- 3 Glamox. Tuotteet. 2019. Verkkoaineisto. <<https://glamox.com/fi/products/no-group/items/i40l53624>> Luettu 8.4.2019.
- 4 Kallasjoki, Tapio. 2017. Valaistustekniikan perusteet. Opetusmateriaali. Metropolia ammattikorkeakoulu.
- 5 Kallasjoki, Tapio. 2017. Perinteiset lamput. Opetusmateriaali. Metropolia ammattikorkeakoulu.
- 6 LED-perusteet. 2019. Verkkoaineisto. Glamox. <<https://glamox.com/fi/led-perusteet>> Luettu 8.4.2019
- 7 Valonlähteet. 2018. ST-kortti 58.08. Severi Sähköinfo.
- 8 Nuutinen, Pekka. 2019. Asiakaspalvelija, Sanpek Oy, Kerava. Sähköpostikeskustelu 8.4.2019.
- 9 LED T8 PUTKET. 2019. Verkkoaineisto. Sanpek Oy. <<https://www.sanpek.fi/led-lamput-ja-valaisimet/led-t8-t5-putket/led-t8-putket/>> Luettu 11.4.2019.
- 10 Meka. Tuotteet. 2019. Verkkoaineisto. <<https://www.meka.eu/fi/mek-70/1449315.html>> Luettu 10.4.2019
- 11 Meka. Tuotteet. 2019. Verkkoaineisto. <<https://www.meka.eu/fi/mek-j-jatkokappaleet/1449351.html>> Luettu 10.4.2019
- 12 Meka. Tuotteet. 2019. Verkkoaineisto. <<https://www.meka.eu/fi/mek-rk-keskikanakkeet-5506/1449356.html>> Luettu 10.4.2019
- 13 Meka. Tuotteet. 2019. Verkkoaineisto. <<https://www.meka.eu/fi/valaisinkiinnikkeet-5917/1449355.html>> Luettu 10.4.2019

- 14 Esylux. Tuotteet. 2019. Verkkoaineisto. PDF-tietolehti. <<https://www.esylux.fi/tuotteet/automaatio-sisaetiloihin/laesnaeolo-ja-liikeilmaisimet/compact/ep10427459/>> Luettu 10.4.2019
- 15 Esylux. Tuotteet. 2019. Ladattu PDF-tietolehti. <<https://www.esylux.fi/tuotteet/lisaearuste/lisaearuste/lisaearuste/ep10425905/>> Luettu 10.4.2019
- 16 Esylux. Tuotteet. 2019. Ladattu PDF-tietolehti. <<https://www.esylux.fi/tuotteet/lisaearuste/lisaearuste/lisaearuste/ep10425899/>> Luettu 10.4.2019
- 17 Standardi SFS-EN 12464-1. 2011. Suomen standardoimisliitto.
- 18 ABB. Tuotteet. 2019. Verkkoaineisto. <<https://new.abb.com/products/en/2CMA170522R1000/active-energy-class-1-or-b-for-mid-meters-reactive-energy-class-2>> Luettu 14.4.2019.
- 19 Lighting design software DIALux. 2019. Verkkoaineisto. DIAL GmbH. <<https://www.dial.de/en/dialux-desktop/>> Luettu 15.4.2019.
- 20 Glamox. Tuotteet. 2019. Verkkoaineisto. <<https://glamox.com/fi/products/i20-OP/items/i20048040>> Luettu 20.4.2019
- 21 Osram. Tuotteet. 2019. Verkkoaineisto. <https://www.osram.com/ds/ecat/LUMILUX%20T8-Fluorescent%20lamps%20T8-Fluorescent%20lamps-Lamps-Digital%20Systems-/se/en/GPS01_1027891/PP_EUROPE_Europe_eCat/ZMP_60449/> Luettu 21.4.2019
- 22 Kallasjoki, Tapio. 2019. Lehtori, Metropolia ammattikorkeakoulu, Helsinki. Sähköpostikeskustelu 18.4.2019.
- 23 VALTTI-ELINKAARIKUSTANNUSLASKURI. 2019. Verkkoaineisto. Motiva. <<https://valaistustieto.fi/laskuri/>> Luettu 22.4.2019.
- 24 SLO verkkokauppa. 2019. Verkkoaineisto. <<https://verkkokauppa.slo.fi/fi/4347209>> Luettu 22.4.2019.
- 25 SLO verkkokauppa. 2019. Verkkoaineisto. <<https://verkkokauppa.slo.fi/fi/4930740>> Luettu 22.4.2019.
- 26 San Pek. Tuotteet. 2014. Verkkoaineisto. <<https://www.sanpekled.fi/putki-4000k-1500mm-opal-kuvulla-p-279.html>> Luettu 22.4.2019.

Pysäköintihallin valaistuksen mittaustulokset

Mittauspiste:	Vanha valaistus: (lx)	Uusi valaistus: (lx)	Mittauspiste:	Vanha valaistus: (lx)	Uusi valaistus: (lx)
A1	88	199	G13	40	141
A2	81	313	G14	27	89
A3	40	230	G15	60	129
A4	33	161	G16	146	211
A5	54	245	G17	60	83
A6	40	299	G18	47	122
A7	49	151	G19	31	178
A8	79	130	H1	60	192
A9	10	246	H2	69	179
A10	18	210	H3	33	105
A11	23	213	H4	79	112
B1	75	129	H5	57	157
B2	62	144	H6	30	125
B3	41	187	H7	45	150
B4	35	160	H8	90	124
B5	69	193	H9	34	260
B6	66	164	H10	30	90
B7	45	177	H11	64	121
B8	83	117	H12	40	280
B9	27	138	H13	30	212
B10	53	169	H14	30	106
B11	48	137	H15	55	114
B12	62	95	H16	97	168
B13	26	76	H17	119	109
C1	29	64	H18	30	83
C2	61	68	I1	24	107
C3	51	202	I2	26	121
C4	21	137	I3	46	112
C5	59	270	I4	66	101
C6	95	105	I5	32	142
C7	74	280	I6	38	112
C8	105	91	I7	99	261
C9	30	97	I8	56	125
C10	96	257	I9	27	87
C11	90	109	I10	43	86
C12	49	160	I11	117	243
D1	65	233	I12	22	228
D2	80	251	I13	26	104
D3	18	117	I14	67	89
D4	33	51	I15	60	162
D5	42	78	I16	72	179
D6	53	164	I17	113	61
D7	23	125	I18	30	89
D8	35	212	J1	8	51
D9	50	160	J2	12	161
D10	49	198	J3	42	143
D11	67	83	J4	30	162
D12	42	98	J5	21	158
D13	64	202	J6	56	99
D14	48	271	J7	90	107
D15	158	167	J8	28	189
D16	35	120	J9	37	81
D17	28	99	J10	70	131

E1	7	65	J11	48	158
E2	10	105	J12	24	107
E3	53	199	J13	28	137
E4	46	171	J14	146	151
E5	28	109	J15	57	111
E6	70	71	J16	63	114
E7	50	113	J17		97
E8	42	265	K1	7	27
E9	50	70	K2	8	98
E10	24	214	K3	15	75
E11	41	293	K4	21	115
E12	55	157	K5	18	174
E13	52	72	K6	80	125
E14	66	144	K7	36	242
E15	56	199	K8	30	72
E16	130	133	K9	54	89
E17	51	230	K10	80	129
E18	74	155	K11	22	164
E19	14	274	K12	27	73
F1	25	90	K13	53	169
F2	51	270	K14	48	276
F3	84	250	K15	46	204
F4	40	247	K16	97	150
F5	65	201	L1	20	57
F6	86	114	L2	55	131
F7	47	151	L3	58	170
F8	31	199	L4	25	178
F9	113	90	L5	42	83
F10	47	150	L6	104	150
F11	25	160	L7	46	166
F12	59	152	L8	22	88
F13	100	84	L9	42	83
F14	45	124	L10	97	122
F15	63	142	L11	27	207
F16	96	121	L12	70	316
F17	74	143	L13	150	194
F18	87	129	M1	33	52
F19	43	200	M2	121	199
F20	36	99	M3	33	239
G1	50	93	M4	30	99
G2	103	159	M5	70	119
G3	64	211	M6	86	117
G4	46	221	M7	26	128
G5	107	190	M8	20	69
G6	76	163	M9	47	203
G7	38	250	M10	60	94
G8	60	109	M11	30	93
G9	83	200	M12	113	241
G10	32	100	Valaistuksen keskimääräiset valaistusvoimakkuudet E_m (lx):		
G11	27	125	$E_m = \frac{E1 + E2 + \dots + E_n}{n} =$	53,69	151,09
G12	78	260			

Energianmittauksen tulokset Ässäkeskus pysäköintihalli K2			
	Uusi valaistus	Vanha valaistus	Alkuperäinen valaistus
Energiankulutus (kWh) t = 168 h	120,26	382,27 36,7W/kpl*62kpl*168h	785,37 75,4W/kpl*62kpl*168h
Hetkellinen jännite (L1) (V)	231,4	234,0	234,0
Hetkellinen jännite L2 (V)	232,7		
Hetkellinen jännite L3 (V)	234,7		
Hetkellinen virta (A)	8,5	12,4	43,4
Hetkellinen virta L1 (A)	3,2	(0,2A*62)	(0,7A*62)
Hetkellinen virta L2 (A)	3,2		
Hetkellinen virta L3 (A)	2,1		
Hetkellinen näennäisteho (VA)	1996,4	2337,4	9963,4
Hetkellinen näennäisteho L1 (VA)	750,4	(37,7VA*62)	(160,7VA*62)
Hetkellinen näennäisteho L2 (VA)	748,6		
Hetkellinen näennäisteho L3 (VA)	497,4		
Hetkellinen pätöteho (W)	1903,8	2275,4	4674,8
Hetkellinen pätöteho L1 (W)	714,9	(36,7W*62)	(75,4W*62)
Hetkellinen pätöteho L2 (W)	711,2		
Hetkellinen pätöteho L3 (W)	477,6		
Hetkellinen loisteho (var)	-420,9	-99,2	8735,8
Hetkellinen loisteho L1 (var)	-164,0	(-1,6var*62)	(140,9*62)
Hetkellinen loisteho L2 (var)	-151,8		
Hetkellinen loisteho L3 (var)	-105,1		
Hetkellinen tehokerroin (cosφ)	0,956	0,972	0,469
Hetkellinen tehokerroin L1 (cosφ)	0,956		
Hetkellinen tehokerroin L2 (cosφ)	0,956		
Hetkellinen tehokerroin L3 (cosφ)	0,955		

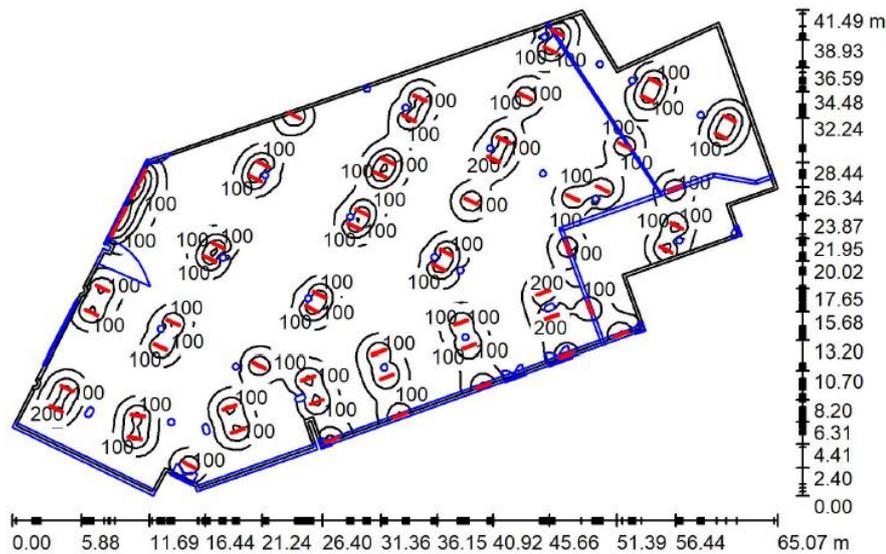
HUOM! Vanhan sekä alkuperäisen valaistuksen arvot ovat yhden valaisimen mittaustuloksista laskemalla määritetyt tulokset.

Mitattu arvo kertaa valaisimien määrä. Poikkeuksena:
Esim. Hetkellinen pätöteho (W): 36,7 W x 62 kpl = 2275,4

Hetkellinen jännite (L1) = Jännite &
Hetkellinen tehokerroin = Tehokerroin

Tekijä Niko Vuoriranta
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Pysäköintihalli / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 2.800 m, Asennuskorkeus: 2.500 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava
1:533

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	98	12	487	0.120
Lattia	27	93	5.47	297	0.059
Katto	50	28	12	146	0.439
Seinät (48)	50	79	17	2652	/

Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m
Rasteri: 128 x 128 Pisteet
Reuna-alue: 0.250 m

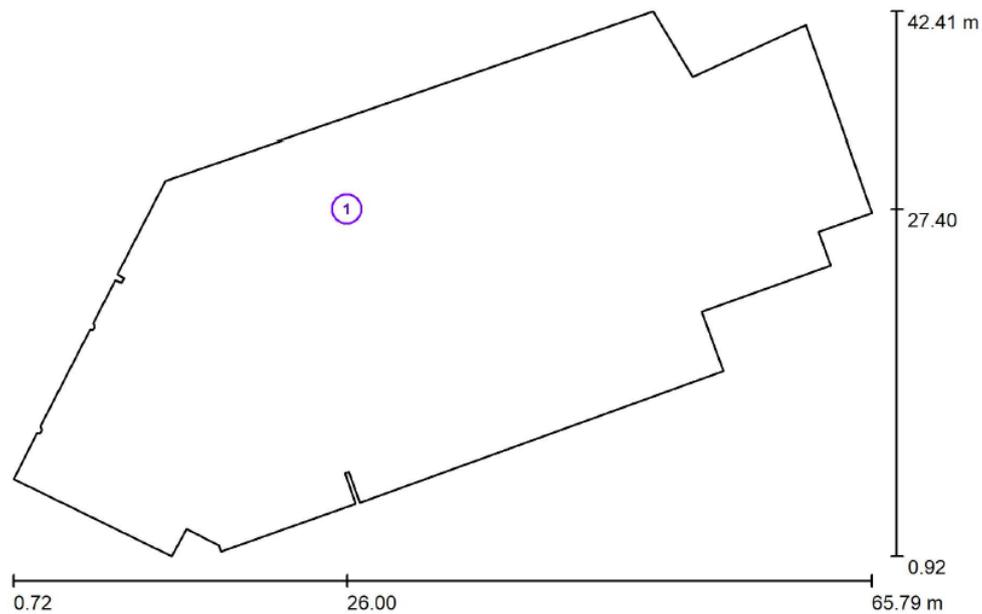
Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	62	Glamox i20 228 OP (1.000)	3196	5200	60.0
			Yhteensä: 198161	Yhteensä: 322400	3720.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $2.42 \text{ W/m}^2 = 2.45 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 1538.79 m^2)

Tekijä Niko Vuoriranta
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Pysäköintihalli / Laskelmapisteet (tuloksien yleisnäkymä)



Mittakaava 1 : 473

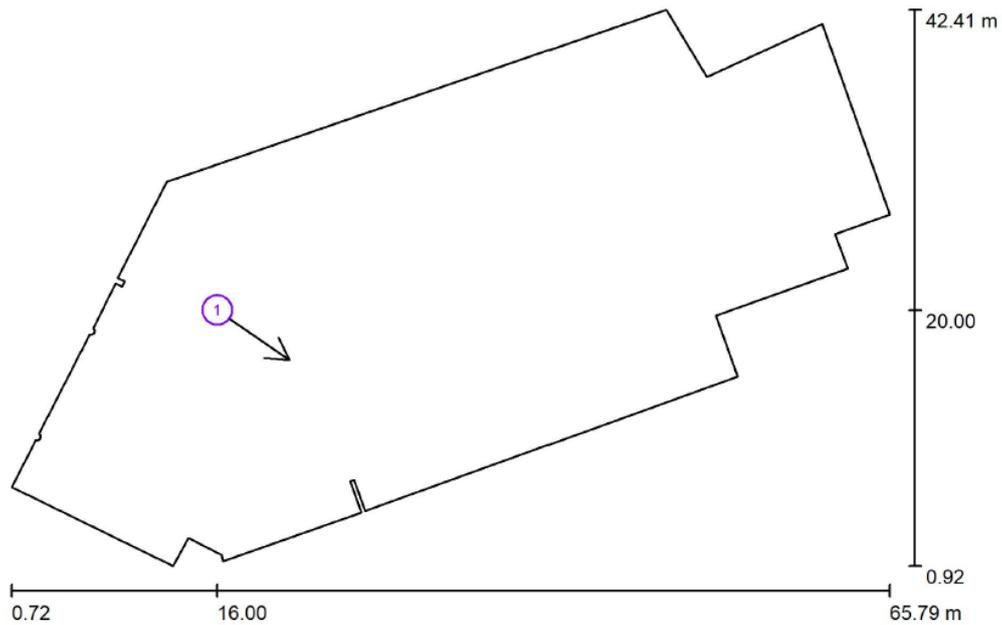
Laskelmapisteluetelo

Numero	Tunnus	Tyyppi	Sijainti [m]			Pyörihdys [°]			Arvo [lx]
			X	Y	Z	X	Y	Z	
1	Sylinterivalaistusvoimakkuus - Pysäköintialue	pystysuora, syl.	26.000	27.400	1.600	0.0	0.0	0.0	34

Yhteenveto tuloksista

Laskelmapistetyypit	Lukumäärä	Keski [lx]	Min. [lx]	Maks. [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
Pystysuora, syl.	1	34	34	34	1.00	1.00

Pysäköintihalli / UGR-katsoja (tuloksien yleisnäkymä)



Mittakaava 1 : 466

UGR -laskelmapisteluettelo

Numero	Tunnus	Sijainti [m]			Näkökulma [°]	Arvo
		X	Y	Z		
1	UGR - Ajoväylä	16.000	20.000	1.200	-35.0	22

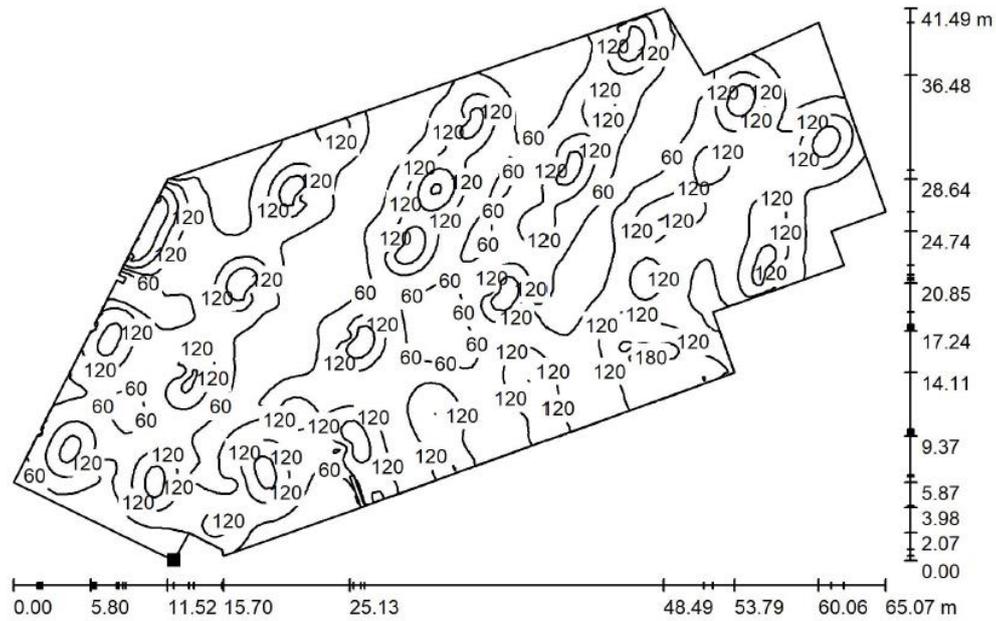
Ässäkeskus K2 Pysäköintihalli - Loisteputkivalaistus

DIALux

22.04.2019

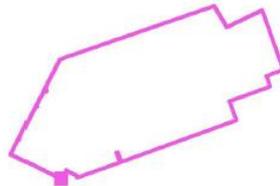
Tekijä Niko Vuoriranta
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Pysäköintihalli / Lattia / Isolux-käyrät (E)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 466

Pinnan sijainti tilassa:
Merkitty piste:
(12.720 m, 0.920 m, 0.000 m)



Rasteri: 128 x 128 Pisteet

E_m [lx]
93

E_{min} [lx]
5.47

E_{max} [lx]
297

E_{min} / E_m
0.059

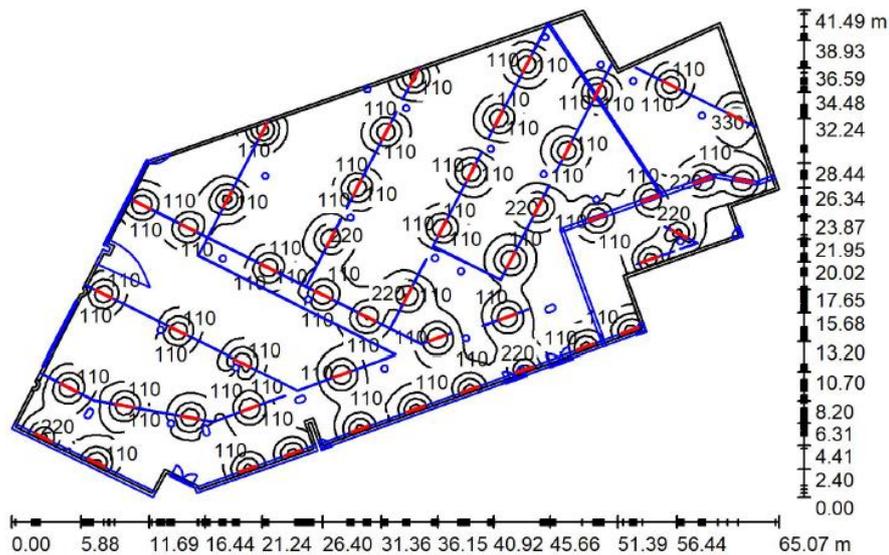
E_{min} / E_{max}
0.018

Ässäkeskus K2 Pysäköintihalli - Uusi valaistus

DIALux
 22.04.2019

 Tekijä Niko Vuoriranta
 Puhelin
 Faksi
 Sähköpostiosoite

Pysäköintihalli / Yhteenveto



Tilan korkeus: 2.800 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava
1:533

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	131	15	533	0.116
Lattia	27	124	8.46	299	0.068
Katto	50	40	16	171	0.392
Seinät (48)	50	103	24	1132	/

Käyttötaso:

 Korkeus: 0.850 m
 Rasteri: 128 x 128 Pisteet
 Reuna-alue: 0.250 m

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	48	Glamox i40-1500 LED 5500 840 PC (1.000)	5571	5571	38.0
			Yhteensä: 267408	Yhteensä: 267408	1824.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $1.19 \text{ W/m}^2 = 0.90 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 1538.79 m^2)

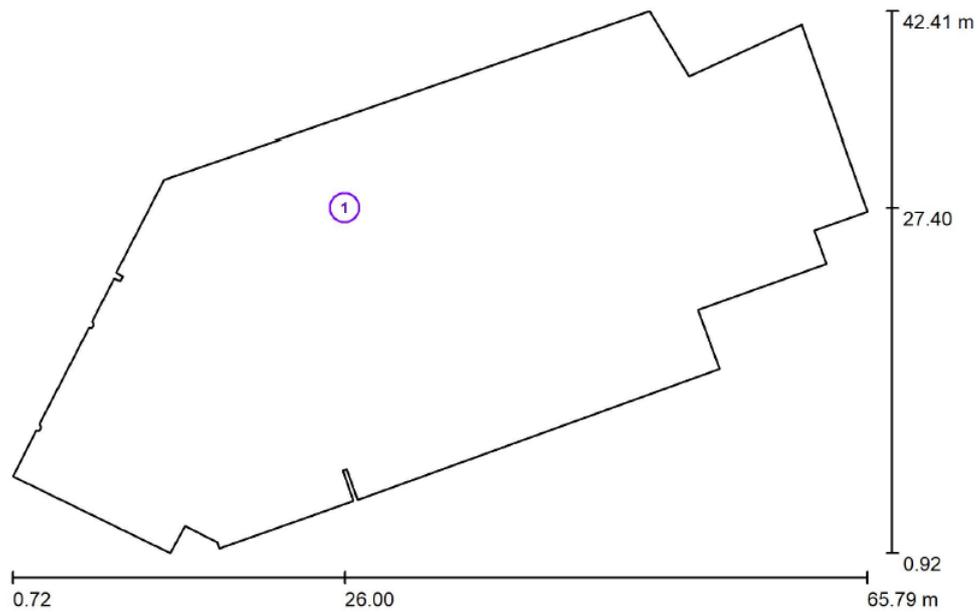
Ässäkeskus K2 Pysäköintihalli - Uusi valaistus



DIALux
22.04.2019

Tekijä Niko Vuoriranta
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Pysäköintihalli / Laskelmapisteet (tuloksien yleisnäkymä)



Mittakaava 1 : 473

Laskelmapisteluettelo

Numero	Tunnus	Tyyppi	Sijainti [m]			Pyörähdys [°]			Arvo [lx]
			X	Y	Z	X	Y	Z	
1	Sylinterivalaistusvoimakkuus - Pysäköintialue	pystysuora, syl.	26.000	27.400	1.600	0.0	0.0	0.0	53

Yhteenveto tuloksista

Laskelmapistetyypit	Lukumäärä	Keski [lx]	Min. [lx]	Maks. [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
Pystysuora, syl.	1	53	53	53	1.00	1.00

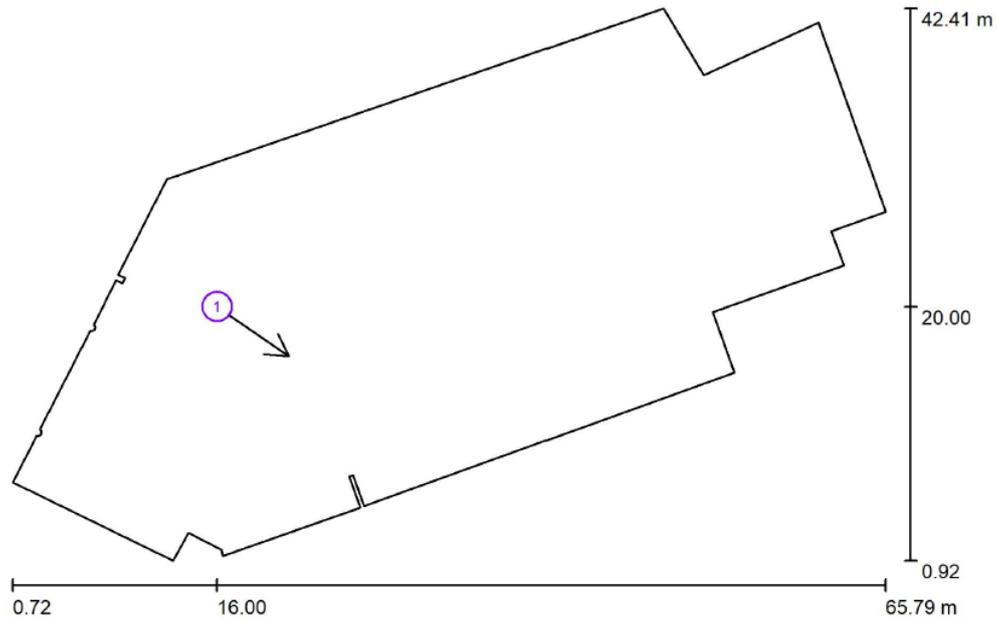
Ässäkeskus K2 Pysäköintihalli - Uusi valaistus



DIALux
22.04.2019

Tekijä Niko Vuoriranta
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Pysäköintihalli / UGR-katsoja (tuloksien yleisnäkymä)



Mittakaava 1 : 466

UGR -laskelmapisteluettelo

Numero	Tunnus	Sijainti [m]			Näkökulma [°]	Arvo
		X	Y	Z		
1	UGR - Ajoväylä	16.000	20.000	1.200	-35.0	25

Ässäkeskus K2 Pysäköintihalli - Uusi valaistus

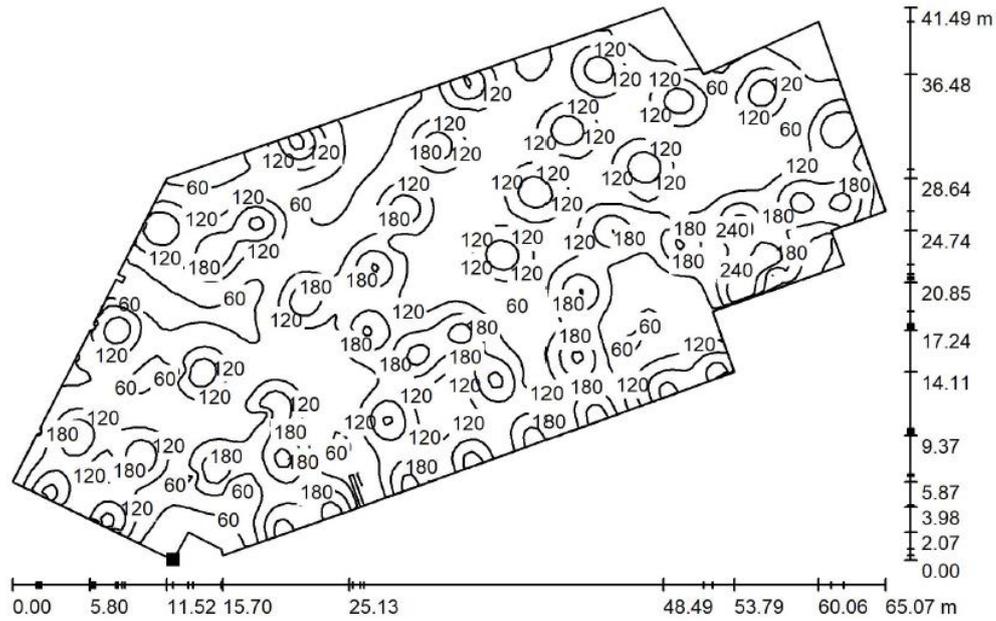


DIALux

22.04.2019

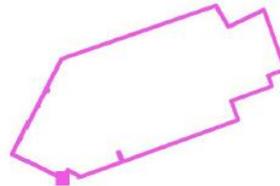
Tekijä Niko Vuoriranta
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Pysäköintihalli / Lattia / Isolux-käyrät (E)



Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1 : 466

Pinnan sijainti tilassa:
Merkitty piste:
(12.720 m, 0.920 m, 0.000 m)



Rasteri: 128 x 128 Pisteet

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
124	8.46	299	0.068	0.028

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

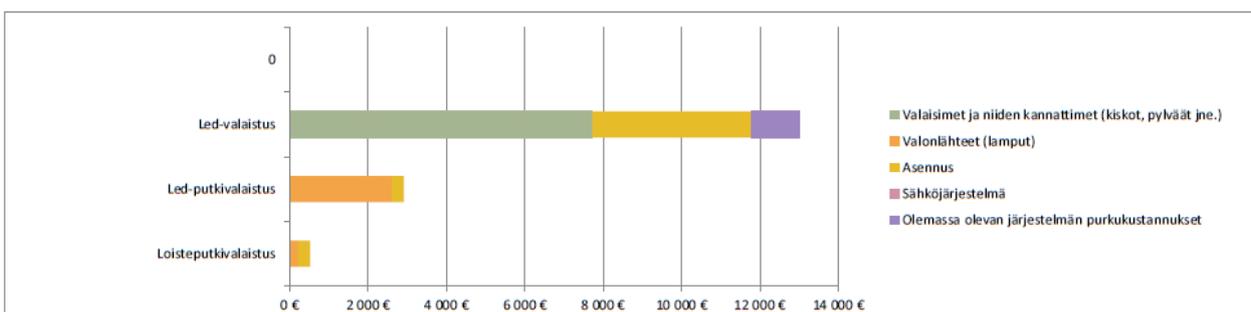
VALAISTUSRATKAISUJEN ELINKAARIKUSTANNUSLASKENTA Sisävalaistuslaskenta

Versio 1.0

HANKKEEN KUVAUS:	Ässäkeskus Pysäköintihalli
PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ:	22.4.2019 Niko Vuoriranta

ELINKAARIKUSTANNUSLASKENNAN LÄHTÖTIEDOT - MUUTA TARVITTAESSA				
Laskenta-aika	a	20		
Laskentakorko (tuottovaatimus, lainakorko)	%	4,00		
Vuotuinen energian hinnannousu	%	2,00		
Vuotuinen valonlähteiden hinnannousu	%	0,00		
Vuotuinen huoltokustannusten hinnannousu	%	2,00		
VALAISINTIEDOT - täytä nämä tiedot				
Vaihtoehdon nimi	-	Loisteputkivalaistus	Led-putkivalaistus	Led-valaistus
Valaisinmäärä	kpl	62	62	48
Valonlähteiden lukumäärä/valaisin	kpl	1	1	1
Teho/valonlähde mukaan lukien liitäntälaitteen häviöteho	W	75,4	36,7	39,7
Valmistaja (ei vaikuta laskentaan)	-	Asea Skandia 58W T8	Asea Skandia 35W LED	Glamox H40
Takuaika (ei vaikuta laskentaan)	Vuotia			
VALAISTUSTEKNISET TIEDOT (ei vaikuta laskentaan)				
Valaistusvoimakkuus työskentelyalueella, E _{av} / pintaluminanssi, L	-	93 lx	54 lx	124 lx
Valaistuslaskennassa käytetty huoltokerroin / alenemakerroin, MF	-	0,8	0,8	0,8
Valonlähteen valovirran pysyvyytikerroin, LLMF	-			
Valonlähteiden eloonjäämisikerroin, LSF	-			
Valaisimen valovirran alenema, LMF	-			
Huonepintojen likaantumiskerroin, RSMF	-			
Valaistuksen tasaisuus, U ₀	-	0,14	0,13	0,18
Väriintoistoindeksi, Ra	-	80	80	80
Väriämpötilä, K	-	4000	4000	4000
Häikäisyindeksi, UGR	-	22	22	25
VALAISIMIEN KÄYTTÖIKÄ JA VALAISTUKSEN OHJAUS - täytä nämä tiedot				
Valonlähteen (lampun) elinikä	h	20 000	50 000	100 000
Hyväksyttävä valovirran alenema elinkaaren lopussa	%	20	20	20
Kerroin L, osuus alkuperäisestä valovirrasta käyttäjän lopussa	%	80	80	80
Kerroin C, osuus kuolleista valonlähteistä käyttäjän lopussa	%	2	2	2
Käyttöaika vuodessa tunteina valikosta tai itse annettuna	h/vuosi	8 760	8 760	Toimistorakennus 2686 h
Käyttötarkoituksuokkavalikko valaistuksen ohjausta varten	-	ASUINTALO / porraskäytävä	ASUINTALO / porraskäytävä	ASUINTALO / porraskäytävä
Valaistuksen ohjaustavasta riippuva käyttöaikakerroin (luku/valikko)	-	Ei ohjausta	Ei ohjausta	0,64
Valaisimien huoltoväli (esim. puhdistus)	vuotia	5	5	5

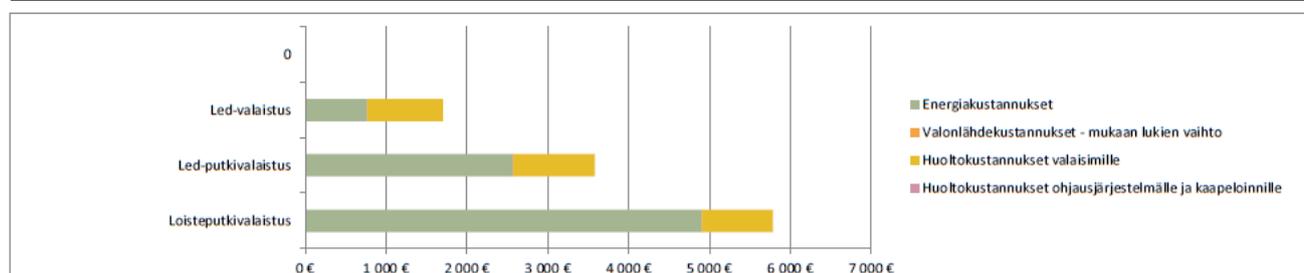
Täytä joko 3 ensimmäistä riviä 55-57 TAI rivit 59-68. Jos syötät tietoa kaikille riveille 55-68, niin vain 3 ylimmän rivin 55-57 sisältöä käytetään laskennassa.					
INVESTOINTIKUSTANNUSTEN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT		Loisteputkivalaistus	Led-putkivalaistus	Led-valaistus	0
Valaistuksen kokonaiskustannus	€				
Valonlähteiden (lamppujen) kokonaiskustannus	€				
Asennuksen ja muun tekniikan kokonaiskustannus	€				
Valaisimen yksikköhinta	€/kpl	0	0	161	
Muut kustannukset valaisimista	€				
Valonlähteiden (lamppujen, LED-modulien) yksikköhinta	€/kpl	3	42	0	
Materiaali- ja työkustannukset/valaisin	€/valaisin	5	5	30	
Valaistuksen ohjausjärjestelmä ja kaapelointi	€	0	0	2500	
Käyttöönottokustannukset	€	0	0	120	
Muut kustannukset investointiin liittyen	€	0	0	0	
Sähkökustannukset	€	0	0	0	
Tehomaksut sähköliittymässä	€	0	0	0	
Olemassa olevan järjestelmän purkukustannukset	€	0	0	1200	
INVESTOINTIKUSTANNUSTEN YHTEEENVETO		Loisteputkivalaistus	Led-putkivalaistus	Led-valaistus	0
Valaisimet ja niiden kannattimet (kiskot, pylväät jne.)	€	0	0	7 728	0
Valonlähteet (lamput)	€	215	2 606	0	0
Asennus	€	310	310	4 060	0
Sähköjärjestelmä	€	0	0	0	0
Olemassa olevan järjestelmän purkukustannukset	€	0	0	1200	0
INVESTOINTIKUSTANNUKSET YHTEENSÄ	€	525	2 916	12 988	0



KÄYTTÖKUSTANNUSTEN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT - täytä nämä tiedot		Loisteputkivalaistus	Led-putkivalaistus	Led-valaistus	0
Leasing / ESCO -maksu - jos tämä annetaan, muita kuluja ei lasketa	€/vuosi				
Sähkön energian hinta	€/kWh	0,11	0,11	0,11	
Tehomaksut sähkön siirrossa	€/vuosi	400	380	380	
Valonlähteet: vaihtokustannus massavaihdossa (valonlähde ja työ)	€/kpl				
Valonlähteet: vaihtokustannus yksittäisvaihdossa (valonlähde ja työ)	€/kpl	8	47	240	
Valaisimet: ennakoitu huoltokustannus huoltovälin lopussa	€/kpl	40	40	40	
Valaisimet ja kannattimet: vuosihuoltokustannus	€/kpl/vuosi	1	1	1	
Ohjaus- ja kaapelointi: ennakoitu huoltokustannus huoltoväliä	€	0	0	0	
Ohjaus- ja kaapelointi: käyttöaika ennen huoltoa (huoltoväli)	vuosia	0	0	0	
Valaistuksen peruskorjaus, uusintainvestointi tms.: kustannus	€	6 400	8 800	10 000	
Valaistuksen peruskorjaus: käyttöaika ennen investointia	vuosia	1	1	25	

Asennettu teho mukaan lukien liitäntätehoviivat	W	4 675	2 275	1 906	0
Valaistuksen käyttöaika kerroin aikaisemmin annettuna	-	1,00	1,00	0,64	0,00
Laskettu energiankulutus / vuosi	MWh/a	40,95	19,93	3,50	0,00
Laskettu valonlähteiden (lamppujen) vaihtoväli	vuosia	2	6	54	0
Aiemmin annettu valaisimien huoltoväli (puhdistus)	vuosia	5	5	5	0

KÄYTTÖKUSTANNUSTEN YHTEENVETO		Loisteputkivalaistus	Led-putkivalaistus	Led-valaistus	0
Energiakustannukset	€/vuosi	4 905	2 573	765	0
Valonlähdekustannukset - mukaan lukien vaihto	€/vuosi	4	10	7	#JAKO/0!
Huoltokustannukset valaisimille	€/vuosi	878	998	932	0
Huoltokustannukset ohjausjärjestelmälle ja kaapeloinnille	€/vuosi	0	0	0	0
Käyttökustannukset yhteensä	€/vuosi	5 787	3 581	1 703	#JAKO/0!



Valonlähdekustannusten nykyarvo					
Vaihtoehdon nimi		Loisteputkivalaistus	Led-putkivalaistus	Led-valaistus	0
Investointikustannus yhteensä	€	525	2 916	12 988	0
Leasing / ESCO maksun nykyarvo	€	0	0	0	0
Energiakustannusten nykyarvo	€	72 660	35 366	6 206	0
Valonlähdekustannusten nykyarvo	€	59	139	58	0
Valaisimien huoltokustannusten nykyarvo	€	105 507	8 675	6 716	0
Ohjausjärjestelmien huoltokustannusten nykyarvo	€	0	0	0	0
Elinkaarikustannuksen nykyarvo	€	178 751	47 097	25 968	0

Nykyarvoilla laskettu takaisinmaksuaika elinkaarikustannuksiltaan kalleimpaan vaihtoehtoon verrattuna	vuosia	Suurin elinkaarikustannus	1	1	-
Säänen korkokanta vasemmanpuoleiseen tapaukseen verrattuna	vuosia	Tähän verrataan	92 %	33 %	#JAKO/0!

