



Sofiel Aro

Julkisten rakennusten loistelamppu- valaistusten vaihto LED-pohjaisiksi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

1.11.2021

Tiivistelmä

Tekijä:	Sofiel Aro
Otsikko:	Julkisten rakennusten loistelamppuvalaistusten vaihto LED-pohjaisiksi
Sivumäärä:	40 sivua + 2 liitettä
Aika:	1.11.2021
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat:	Tekninen isännöitsijä Marko Nielikäinen Lehtori Tapio Kallasjoki

Insinööritöön aiheena on julkisten rakennusten loistelamppuvalaistusten vaihto LED-pohjaisiksi. Tavoitteena oli tarkastella, miten sähkönkulutus ja valaistuksen taso muuttuvat valaisimien ja lamppujen vaihdossa.

Työ toteutettiin suorittamalla neljän eri terveydenhoitotilan valaistuksen mittaukset. Opinnäytetyössä selvitettiin myös hoitohenkilökunnan mielipide valaistukseen liittyen. Kolme tilaa mitattiin paikan päällä käyttäen luks- ja luminanssimittaria. Neljännen tilan vanhoista ja uusista valaisimista suoritettiin laboratoriomittaus. Laboratoriomittauksessa vertailtiin koetilan valaistusvoimakkuutta käyttäen vanhassa valaisimessa loiste- ja lediputkia sekä uutta LED-valaisinta. Laskelma uusien LED-valaisimien määrästä neljännessä tilassa tehtiin DIALux-valaistussuunnitteluohjelmalla.

Opinnäytetyön tekeminen alkoi mittauksien suorittamisella ja samanaikaisesti tuloksia ylös kirjaamalla. Kirjallisen tuotoksen tekeminen eteni jokaisen mittauksen jälkeen. Edellisten mittauksen tuloksia käsiteltiin samanaikaisesti, kun seuraavia työvaiheita suunniteltiin. Kaikkien tilojen mittauksen jälkeen kysyttiin hoitohenkilökunnan mielipidettä valaistuksesta. Tulokset koottiin ja kirjallinen työ viimeisteltiin.

Huomattiin, että loistelamppuihin verrattuna ledien sähkönkulutus on paljon pienempi. Ledien keskimääräinen valaistusvoimakkuuskin on parempi, vaikkakin sen taksaisuus saattaa joissain tapauksissa olla hieman huonompi. Kun suunnitellaan jonkin tilan valaistuksen saneerausta, kannattaa pitää mielessä muutamia seikkoja. Kannattaako vaihtaa pelkästään loistelamput ledeihin vai vaihtaa kokonaan uusiin LED-valaisimiin? Jos päätetään vaihtaa kokonaan uusiin valaisimiin, on useimmiten hyvä kysyä ammattilaisen mielipidettä uusien valaisimien asettelusta. Ledivalaisimien valonjako on erilainen kuin loistelamppuvalaisimien, jonka vuoksi voidaan valaisimien määrää monesti vähentää.

Tämän opinnäytetyön tuloksista saatuja prosentuaalisia arvoja lamppujen vaihdon kannattavuudesta voidaan hyödyntää muissa kohteissa.

Avainsanat: LED, valaistus, SFS-EN 12464-1, sairaala-alue

Abstract

Author: Sofiel Aro
Title: Changing the Fluorescent Lighting of Public Buildings
LED-based
Number of Pages: 40 pages + 2 appendices
Date: 1 November 2021

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Electrical Power Engineering
Supervisors: Marko Nielikäinen, Technical Building Manager
Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer

The topic of the thesis concerns changing the fluorescent lighting of public buildings LED-based. The objective was to survey how electricity consumption and quality of lighting change with the replacement of luminaires and lamps.

The thesis work was carried out by measuring the lighting in four different spaces. The opinion of the medical staff working in the hospital area regarding lighting was also researched. Three spaces were measured on site using an illuminance and luminance meter. The old and new luminaires of the fourth space were measured in a laboratory. In the laboratory measurement, the illuminance of the old luminaire was compared with a fluorescent and a LED tube, and with a new LED luminaire. The calculation concerning the quantity of the new LED luminaires in the fourth space was done with the DIALux lighting design software.

The thesis work began with taking measurements and at the same time writing down the results. The written work progressed after each measurement. The results of the previous measurements were processed at the same time as the next work steps were planned. After measurements of all the spaces, the medical staff was inquired for their opinion. The results of the survey were compiled, and the written work was finalized.

It was discovered that compared to fluorescent lamps, the electricity consumption of LEDs is much lower. The average illuminance of the LEDs is also better, although in some cases its uniformity may be slightly worse. When planning to renovate the lighting of a space, one should consider if one wants to replace only the fluorescent lamps with LEDs or switch the luminaires to completely new LEDs.

The percentile values obtained from the results of this thesis can be utilized in other premises and projects.

Keywords: LED, Lighting, SFS-EN 12464-1, hospital area

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Hammashoitolan valaistus	2
2.1	Mittausmenettely	3
2.2	Mittaustulokset	4
2.3	Tulosten käsittely	6
2.4	Hyöty valaisimien ja lamppujen vaihdossa	9
2.5	Yhteenveto	10
3	Henkilökunnan tilojen valaistus	11
3.1	Mittausmenettely	11
3.2	Mittaustulokset	13
3.3	Tulosten käsittely	16
3.4	Toimenpide-ehdotus	18
4	Käytävien valaistus	19
4.1	Mittausmenettely	20
4.2	Mittaustulokset	21
4.3	Tulosten käsittely	24
4.4	Kustannuslaskelma	26
4.5	Pohdinta ja toimenpide-ehdotukset	29
5	Hissiaulojen valaistus	30
5.1	Mittausmenettely DIALuxilla	30
5.2	Mittaustulokset ja niiden käsittely	31
5.3	Pohdinta	34
6	Valaistustyytyväisyyskysely	35
6.1	Kyselyn tulokset	35
6.2	Kyselyn yhteenveto	38
7	Yhteenveto	39
	Lähteet	40

Liitteet

Liite 1: Rakennus 9:n käytävän valaistus

Liite 2: Rakennus 32:n hissiaulojen valaistus

Lyhenteet ja käsitteet

Ihmiskeskeinen valaistus:

Integrative Lighting. Valaistus, jossa yhdistyvät valon sekä visuaaliset että ei-visuaaliset vaikutukset ja joka tuottaa fysiologisia ja/tai psykologisia hyötyjä ihmisille.

Heijastuskerroin:

Pinnasta heijastuvan ja pinnalle tulevan valovirran suhde.

HE: *High Efficiency.* Korkean hyötysuhteen lamput pyritään mahdollisimman suuren valontuotantoon ottotehooon nähden. Ne ovat täten ympäristöystävällisiä ja taloudellisia. Lamppujen valovirran alenema on hidas ja elinikä pitkä.

HF: *High Frequency.* Korkeataajuinen lamppu toimii 30 kHz taajuudella, kun normaalisti valaistus toimii 50/60 Hz taajuudella. Korkea taajuus parantaa valotehokkuutta poistaen samalla silminnähtävän välkynnän ja korvilla kuultavan huminan ja surinan.

HO: *High Output.* Korkeatehoisella lampulla tuotettu valovirta on suuri suhteessa lampun valaisevaan pinta-alaan. Tästä syystä lampun pintaluminanssi on suuri. Korkeatehoiset lamput sopivat hyvin epäsuoraan valaistukseen, jossa ne eivät aiheuta häikäisyä.

Luminanssi (L):

Valaisevasta pinnasta havaitsijan suuntaan lähtevän valovoiman suhde havaitsijalle näkyvään projektiopinta-alaan. Yksikkö on kandela per neliömetri eli cd/m².

Sylinterivalaistusvoimakkuus (E_z):

Valaistusvoimakkuus sylinterin muotoisella alueella yleensä joko 1,2 tai 1,6 metrin korkeudella, ja sen yksikkö on luks eli lx.

Tasaisuus (U_0):

Valaistusvoimakkuuden tasaisuus saadaan jakamalla keskimääräinen valaistusvoimakkuus maksimivalaistusvoimakkuudella.

Valaistusvoimakkuus (E):

Pinnalle tulevan valovirran suhde pinta-alaan. Yksikkö on luksi eli lx (= lm/m^2).

Valonjakokäyrä:

Valaisimen tai lampun valonjako esitettynä yleensä polaarikoordinaatistossa.

Valovirta (ϕ):

Valonlähteen lähettämä valon määrä määrättyllä hetkellä. Yksikkö on luumen eli lm.

Valovoima (I):

Valonlähteestä määrättyyn avaruuskulmaan lähtevä valovirta. Yksikkö on kandela eli cd (= lm/sr).

Väriämpötila:

Valon värilaji määritellään väriämpötilan (Kelvin-asteiden) avulla. Se kuvaa hehkusäteilijän valon väriä kyseisessä lämpötilassa.

1 Johdanto

Työn tarkoituksena on selvittää, miten valaistuksen vaihto ledeiksi vaikuttaa energiankulutuksen vähenemiseen ja valaistustason laatuun Kivelän sairaala-alueella eri tiloissa. Työ antaa konkreettisia lukuja, joita voidaan soveltaa muissakin Helsingin kaupungin kohteissa eri vaihtoehtojen kannattavuuksia mietittäessä. Toteutukseen haluttiin myös sisällyttää kysely hoitohenkilökunnan mielipiteestä valaistukseen liittyen.

Tilaaajana toimii Helsingin kaupunkiympäristön Tekninen tiimi 3, joka toimii läntisellä alueella. Kyseinen aihe valittiin, koska Helsingin kaupungin tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Opinnäytetyössä saatuja tuloksia voidaan hyödyntää tuon tavoitteen saavuttamisessa.

Työssä mitattiin neljän eri tilan valaistusta. Tiloissa 1–3 koesarja suoritettiin valaistusvoimakkuus- ja luminanssimittareilla. Neljännen tilan valaistustaso laskettiin DIALux-valaistussuunnittelusovellusta käyttäen. Valaistustyytyväisyyskysely toteutettiin haastatteleamalla satunnaisesti valittuja hoitohenkilökunnan työntekijöitä.

Kaupunkiympäristö ja Kivelän sairaala-alue

Kaupunkiympäristön toimiala vastaa Helsingin kaupunkiympäristöön liittyvät suunnittelu-, rakentamis- ja ylläpitotöistä. Myös rakennusvalvonnasta huolehtiminen ja ympäristöön liittyvät palvelut sisältyvät toimialan tehtäviin. [1.]

Opinnäytetyössä mittauksissa käytetyt tilat sijaitsevat Kivelän sairaala-alueen rakennuksissa 9, 25 ja 32. Rakennuksessa 9 mitattiin henkilökunnan tiloja, ja rakennuksen käytävien vanhoista ja uusista valaisimista suoritettiin laboratorio-mittaukset. Rakennuksessa 25 määritettiin hammashoitolan tilojen valaistuksien tasot. Rakennuksen 32 A-puolen hissiaulojen uusien valaistusten nykytilanne selvitettiin valaistussuunnittelusovellusta käyttäen. Rakennukset näkyvät kuvassa 1.



Kuva 1. Kivellä sairaala-alueen opaste.

Mittauksissa käytetyt tilat valittiin kolmesta eri rakennuksesta, näin saatiin monta erilaisissa käytöissä olevia tiloja.

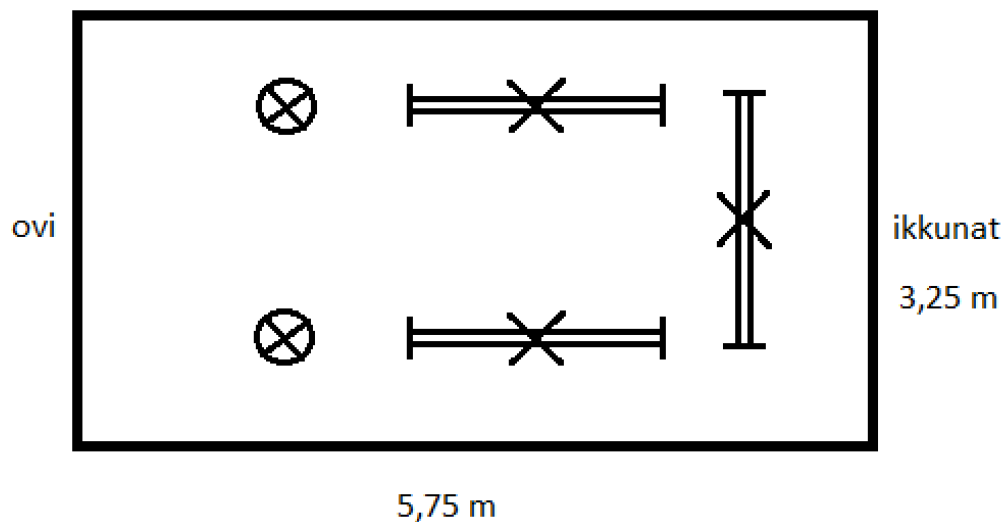
2 Hammashoitolan valaistus

Rakennuksen numero 25 toisessa kerroksessa sijaitsee hammashoitola, jonka kahdessa huoneessa suoritettiin vertailevat mittaukset. Rakennuksen saneeraus-työn takia oli mahdollista mitata sekä uuden että vanhan valaistuksen tilanne samalla kertaa.

2.1 Mittausmenettely

Ennen mittauksia huoneiden verhot laskettiin alas ja valaistus säädettiin täydelle teholle. Mittaukset suoritettiin auringonlaskun jälkeen, jolloin päivänvalolla ei ollut vaikutusta mittaustuloksiin. Välineinä mittauksissa käytettiin valaistusvoimakkuus- eli luksimittaria sekä luminanssimittaria.

Mittauksissa verrattiin kahta huonetta: toisessa oli uudistettu valaistus ja toisessa oli vanha. Huoneet ovat mitoiltaan identtiset: 5,75 m x 3,25 m. Sisään tullessa huonekorkeus on 2,4 m; alaslaskettuun kattoon on asennettu kaksi alasvaloa. Huoneen varsinainen korkeus on 3 m. Kattoon on ripustettu kolme valaisinta U-kirjaimen muotoon hammaslääkärituolin ympärille. Huoneen pohjapiirustuksesta tehty hahmotelma on nähtävissä kuvassa 2.



Kuva 2. Huoneen hahmoteltu pohjapiirustus.

Yleisvalaistuksen keskimääräinen valaistusvoimakkuus (\bar{E}_m) mitattiin joko lattiatasolta ja/tai työtasojen korkeuksilta. Valaistusvoimakkuus tarkoittaa valovirran tiheyttä tarkastellulla pinnalla ja sen yksikkö on lux eli lx [2, s. 2]. Seinien valaistusvoimakkuudet ja luminanssiarvot mitattiin 1,2 metrin korkeudelta. Luminanssi on valaisevasta pinnasta havaittavan suuntaan lähtevän valovoiman suhde ha-

vaitsijalle näkyvään projektiopinta-alaan. Sen yksikkönä on kandela per neliömetri eli cd/m^2 [2, s. 2]. Valovoima ilmaisee lampun valon voimakkuutta ja sen yksikkö kandela eli cd [2, s. 2]. Sylinterivalaistusvoimakkuudet (\bar{E}_z) mitattiin työpisteiden kohdilta sekä niiden välittömästä läheisyydestä 1,2 ja 1,6 metrin korkeuksilta. Sylinterivalaistusvoimakkuus mitattiin nimensä mukaisesti sylinterin muotoiselta alueelta.

Työpöytien keskimääräinen valaistusvoimakkuus mitattiin 75 cm:n korkeudelta. Valaistuksen värielämpötila saatiin selville aistinvaraisesti arvioimalla sekä tarkistamalla lamppujen tiedot. Värielämpötilan arvot kuvaavat hehkusäteilijän valon väriä kyseisessä lämpötilassa, ja ne ilmoitetaan Kelvin-asteilla [2, s. 3].

Alaslaskettuun kattoon kohdistuvan valaistusvoimakkuuden ja luminanssiarvon avulla laskettiin katon heijastuskerroin. Heijastuskerroin kertoo valovirran suhteessa pintaan heijastuvaan valovirtaan [2, s. 5]. Huoneen katossa on neliön muotoisia valkoisia villaisia äänieristelevyjä. Katto ja seinät on maalattu valkoiseksi. Lattian heijastuskerroin laskettiin valaistusvoimakkuuden ja luminanssiarvon avulla. Lattia on harmahtavaa vinyylimattoa.

Hammaslääkärituolissa istuvaan potilaaseen kohdistuva valo mitattiin tuolin ollessa istuvassa ja makaavassa asennossa sekä sen välittömästä läheisyydestä.

2.2 Mittaustulokset

Vanhat loisteputkivalaisimet olivat Fagerhultin ZORA lamell -ripustusvalaisimia, joissa jokaisessa oli kaksi Philipsin TL5 HO 49 W 3 000 K -loisteputkea. HO (high output) tarkoittaa, että lamput tuottavat paljon valoa pituuteensa nähden. Siksi niiden pintaluminanssi on suuri, ja lamput voivat aiheuttaa häikäisyä. Tämän takia ne soveltuvat parhaiten epäsuorassa valaistuksessa käytettäväksi. [4.] Loisteputket ovat sen takia aseteltu päällekkäin; toinen toimii ylävalona ja toinen alavalona. Loisteputkivalaisimet ovat siis hajavalomalleja, jotka on asennettu kattoon vaijeilla niin, että valaisimen alareuna on 2,4 metrin korkeudella.

Pyöreinä alasvaloina oli kaksi EL-Parts Oy Imperial DL 220 HF -valaisinta, joissa oli kaksi 26 W Osramin Duluc D/E -loistelamppua. HF (high frequency) tarkoittaa, että lamput toimivat korkeataajuisesti eli 30 kHz:n taajuudella. Normaalisti valaistuksen taajuus on 50/60 Hz. Korkeataajuisuus nostaa valotehokkuutta poistamalla samalla silminnähtävän välkyynnän sekä korvilla mahdollisesti kuultavan huiminan ja surinan. [5.] Alasvaloissa oli metalliset rengasritilät. Valot olivat uppoasennettuja alaslaskettuun kattoon eli korkeudelle 2,4 m.

Uudessa valaistustilanteessa loisteputkivalaisimet pysyivät samoina, mutta niihin oli vaihdettu uudet loisteputket, joiden värisävy on 4 000 K eli neutraalin valkoinen. Loisteputkia ei ollut vaihdettu ledeiksi huonon saatavuuden takia. Loisteputken korvaava T5 LED-valoputki on tilaustuote, eikä sitä saa siis noudettua suoraan tukun hyllystä. Alasvalojen tilalle oli vaihdettu Airam Cio 16 W 4 000 K -värisävyn LED-valaisimet.

Uuden ja vanhan valaistuksen mittauksesta saadut tulokset ovat ilmaistuna taulukossa 1, joka on muotoiltu vastaamaan valaistusstandardin EN 12464-1 [6] antamia arvoja.

Taulukko 1. Rakennuksen 25 hammashoitolan mittaustulokset uudesta ja vanhasta valaistuksesta.

	Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	U_0	$\bar{E}_{m,z}$ lx	$\bar{E}_{m,seinä}$ lx	$\bar{E}_{m,katto}$ lx	U_0
Vanha	Yleisvalaistus	532	0,50	448	442	208	0,48
	Potilas	1 098	0,75	480	-	-	0,71
Uusi	Yleisvalaistus	629	0,48	514	508	269	0,68
	Potilas	1 527	0,90	581	-	-	0,76

Taulukkoon 2 on kerätty muita yleishyödyllisiä tietoja valaistuksista, joita ei ole erikseen määritelty standardin taulukossa. Tämän opinnäytetyön mittauksissa käsiteltyjen pintojen oletetaan olevan tasahajottavia.

Taulukko 2. Hammashoitolan seinä- ja kattopintojen mittaustulokset.

		Seinä- ja kattopinnan likimääräinen valaistusvoimakkuus (lx)	U_0	Tasahajottavan pinnan luminanssi (cd/m^2)	U_0	Seinä- ja kattopinnan heijastuskerroin
Vanha	Seinät	442	0,51	112	0,46	0,79
	Katto	208	-	43,5	-	0,66
Uusi	Seinät	508	0,63	126	0,74	0,80
	Katto	269	-	59,2	-	0,69

Taulukon 2 tiedot antavat enemmän vertailevaa tietoa, jota voidaan käyttää hyväksi, kun tarkastellaan eri valaistustilanteiden eroavuutta toisiinsa.

2.3 Tulosten käsittely

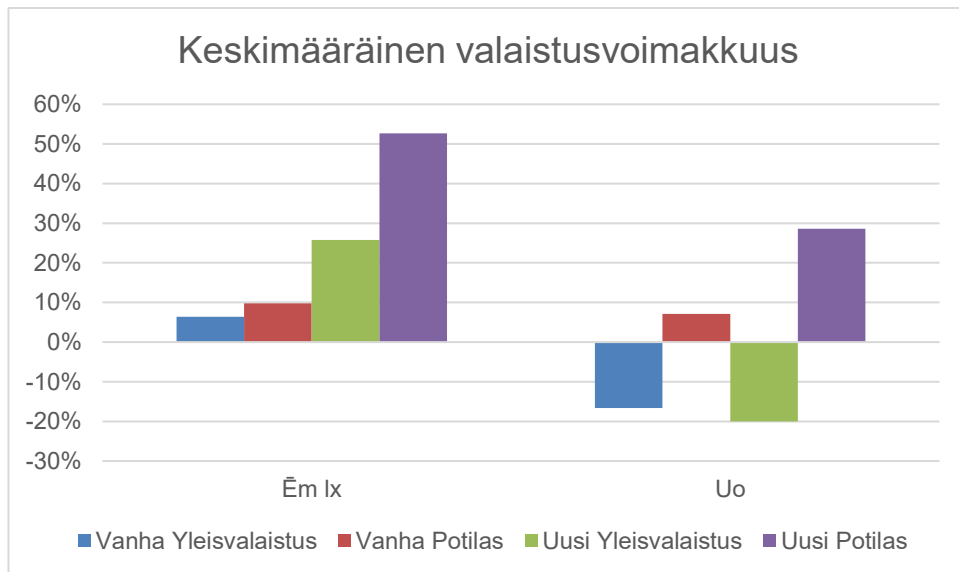
Sisätyöpaikkojen valaistusstandardi [6] määrittelee taulukon 3 mukaiset vaatimukset hammashoidon tiloille.

Taulukko 3. Terveystilojen – Hammaslääkärit [6, s. 60].

Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx		U_0	$\bar{E}_{m,z}$ lx	$\bar{E}_{m,seinä}$ lx	$\bar{E}_{m,katto}$ lx	Erityisvaatimukset
	vaadittu ^a	muokattu ^b		$U_0 \geq 0,10$			
Yleisvalaistus	500	750	0,60	150	150	100	Valaistus ei saisi häikäistä potilasta.
Potilas	1 000	1 500	0,70	150	150	100	

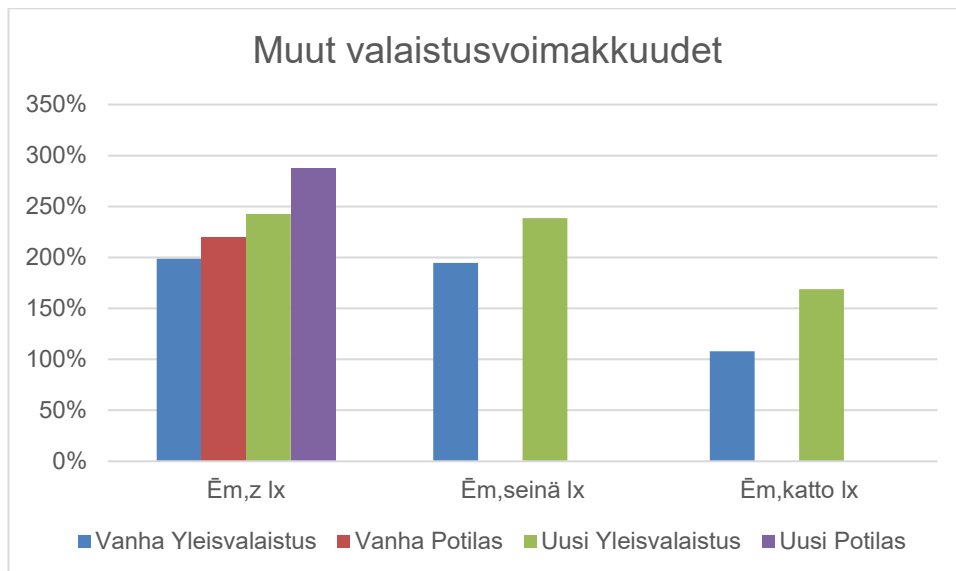
^a vaadittu: minimiarvo
^b muokattu: ottaa huomioon yleiset asiayhteyden muokkaajat kohdassa 5.3.3

Kun verrataan standardin mukaista yleisvalaistuksen ja potilaan keskimääräisiä valaistusvoimakkuusarvoja vanhaan tilanteeseen, huomataan niiden täyttävän molemmat arvot. Tasaisuuden puolesta ainoastaan potilaaseen kohdistuvat arvot täyttyvät, mutta yleisvalaistuksen arvot jäävät 17 % liian alhaiseksi. Uuden valaistuksen keskimääräisten valaistusvoimakkuuksien arvot ja niiden tasaisuudet ylittävät standardin määrittämät paitsi yleisvalaistuksen tasaisuus on 20 % liian heikko. Kuva 3 havainnollistaa näitä arvoja.



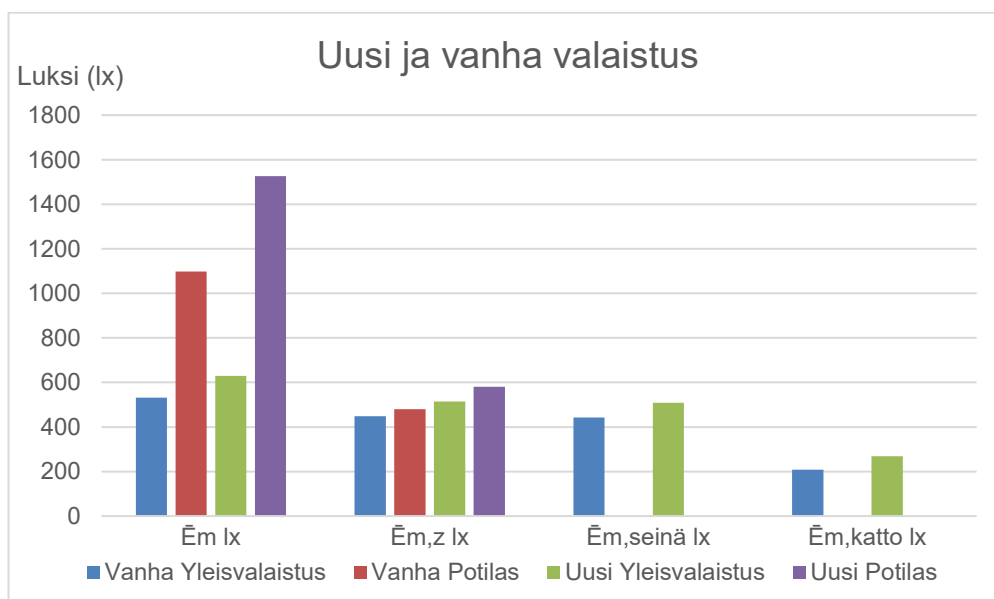
Kuva 3. Yleisvalaistuksen ja potilaaseen kohdistuvan valaistuksen sekä valaistuksen tasaisuuden arvot sisätyöpaikkojen valaistusstandardiin verrattuna.

Vanhan ja uuden valaistuksen mitatut arvot ylittävät kuitenkin muut standardin määrittämät raja-arvot koskien sylinterivalaistusvoimakkuutta, keskimääräistä seinän ja katon valaistusvoimakkuutta sekä niiden tasaisuuksia (kuva 4).



Kuva 4. Yleisvalaistuksen ja potilaaseen kohdistuvan valaistuksen sekä seinä- ja kattopintojen valaistusvoimakkuudet sisätyöpaikkojen valaistusstandardiin verrattuna.

Verratessa uutta valaistusta vanhaan lähes kaikki arvot ovat vähintään 10 % parempia. Poikkeukseksi jää seinän, katon ja sylinterivalaistusvoimakkuuksien tasaisuus, joka on vain 7 % parempi. Toinen poikkeus on keskimääräisen valaistusvoimakkuuden tasaisuus, joka on itse asiassa 4 % huonompi vanhaan valaistukseen verrattuna. Tilanne on esitetty kuvassa 5.



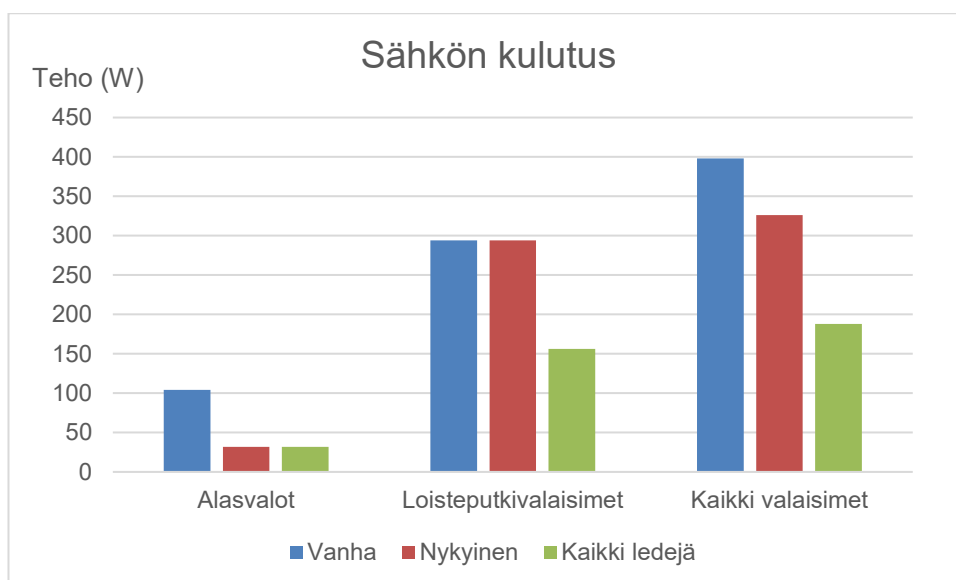
Kuva 5. Uuden ja vanhan valaistuksen vertailu.

Silmämääräisesti tarkastelemalla vanhan valaistuksen tasaisuuden todettiin olevan huono. Alaslasketun katon alasvalojen tuottaman valon havaittiin olevan heikko. Alaslasketun katon osuudella on molemmilla puolilla kaappeja, ja valo ei ollut riittävä siihen, että kaappien sisällön olisi nähty vaivattomasti. Tuolin ympäristö on luonnollisesti paremmin valaistu, mutta uuteen verrattuna sekin jää alakynteeseen.

Uuden valaistuksen tasaisuus on silmämääräisesti todettuna melko hyvä, vaikkakin se on tietysti alaslasketun katon kohdalta heikompi. Uusi valaistus on yleisesti kuitenkin paljon parempi vanhaan valaistukseen verrattuna. Tuoli ja sen ympäristö on paljon paremmin valaistu. Samoin työpöydillä valaistuksen tasaisuus on hyvä. Tietokoneen ääressä istuttaessa valaistus tulee enimmäkseen takapäin, mutta pöytätaso ei silti ole varjossa. Loisteputkivalaisimet eivät aiheuta epäsuoraa heijastushäikäisyä näytöille.

2.4 Hyöty valaisimien ja lamppujen vaihdossa

Kun verrataan vain vanhojen alasvalojen vaihtamista uusiin ledeihin, energian määrä vähenee jopa 69 %. Huoneiden kokonaistehon määrä eli kulutus laskee kuitenkin vain 18 %, koska loisteputket pysyvät saman tehoisina. Jos loisteputkien tilalle vaihdettaisiin korvaavat T5 LED-valoputket, joiden teho on 26 W, vähenisi Fagerhult-valaisimien kulutus 47 %, jolloin valaistuksen kokonaistehon kulutus laskisi 53 % vanhaan verrattuna. Tilanne on esitettyä kuvassa 6.



Kuva 6. Sähkön kulutus kolmessa eri tilanteessa.

Nykyinen tilanne on siis 18 % parempi vanhaan verrattuna, vaikka ainoastaan alasvalot vaihdettiin ledeiksi. Jos TL5-loisteputkien tilalle vaihdettaisiin T5 LED-valoputket, kokonaiskulutus laskisi 42 % nykyiseen valaistustilanteeseen verrattuna.

2.5 Yhteenveto

Henkilökunta antoi avointa palautetta valaistukseen liittyen, ja he olivat erittäin tyytyväisiä uudistuneeseen tilanteeseen. Moni olikin ihmetellyt, miten he olivat pystyneet näkemään mitään vanhalla valaistuksella. Vaikkakin valaistusvoimakkuus on paljon parempi, sitä ei kuitenkaan pidetty liian kirkkaana tai kliinisenä. Päinvastoin kaikki näyttää upouudelta ja puhtaalta värisävyn vaihdon ansiosta.

Tulevaisuutta ajatellen loisteputkien vaihtoa ledivaloputkiin pidetään kannattavana, vaikka niiden hinta on selvästi kalliimpi loisteputkiin verrattuna. Lediputkien vaihtamisen kannattavuus näkyy hyvin nopeasti energialaskuissa. Valaistustaso tietysti muuttuu, kun putket vaihdetaan toisenlaisiin. Käytännön kokemuksella voidaan sanoa, ettei muutos ole merkittävä taikka haitallinen.

3 Henkilökunnan tilojen valaistus

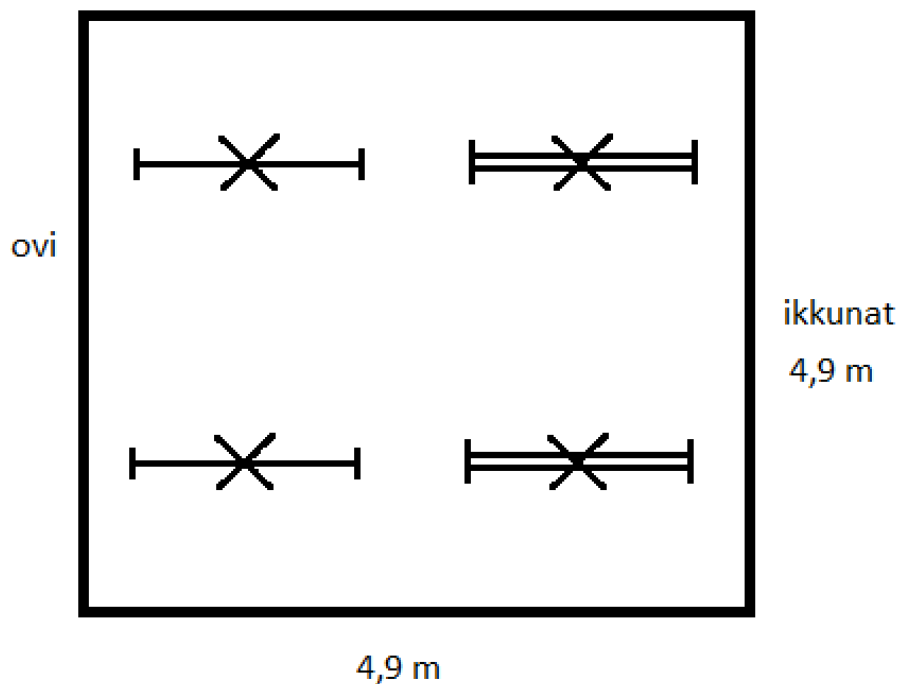
Rakennuksessa numero 9 sijaitsee kahdessa eri kerroksessa kolme tilaa, joiden valaistuksista suoritettiin mittaukset. Yksi huoneista toimii henkilökunnan kahvihuoneena, kaksi muuta ovat pieni toimisto ja suurempi kanslia. Minkään tilan valaistusta ei ole uusittu, mutta muutama lamppu ja pari valaisinta oli vaihdettu uusiin vanhojen rikkoutuessa.

3.1 Mittausmenettely

Mittauksia varten huoneiden verhot suljettiin ja valaistukset säädettiin täydelle teholle. Mittaukset suoritettiin auringonlaskun jälkeen, joten päivänvalolla ei ole vaikutusta mittaustuloksiin. Välineinä mittauksissa käytettiin luks- ja luminanssimittaria. Huoneita oli kolme: yhdessä kerroksessa kanslia ja toisessa kerroksessa kahvihuone ja pieni toimisto.

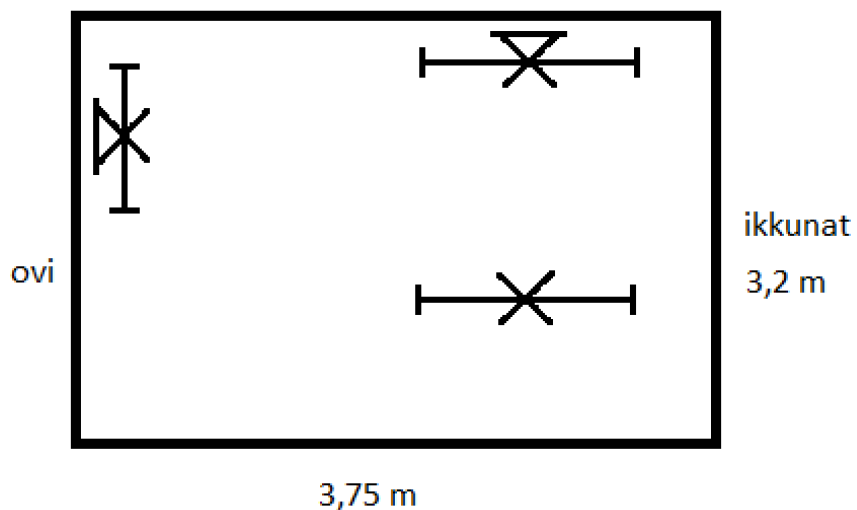
Jokaisesta huoneesta mitattiin yleisvalaistuksen tasoa sekä valaistusta työpisteiltä ja työpöytätasojen pinnoilta. Mitattuja arvoja verrataan samoihin standardin määrittelemiin yleisiin tilakohtaisiin raja-arvoihin. Huoneiden työpöytien korkeudet hieman vaihtelivat ja jokaisen huoneen mittauksissa tämä on otettu huomioon.

Kanslian mitat ovat seuraavanlaiset: 4,9 m x 4,9 m ja korkeus on 3,4 m. Huoneen pohjapiirustuksen hahmotelma on nähtävissä kuvassa 7. Sähköiset työpöydät oli säädetty keskimäärin 72 cm:n korkeuteen. Ovensuun vieressä on vastaanottopöytä, joka on poikkeuksellisesti 114 cm korkea.



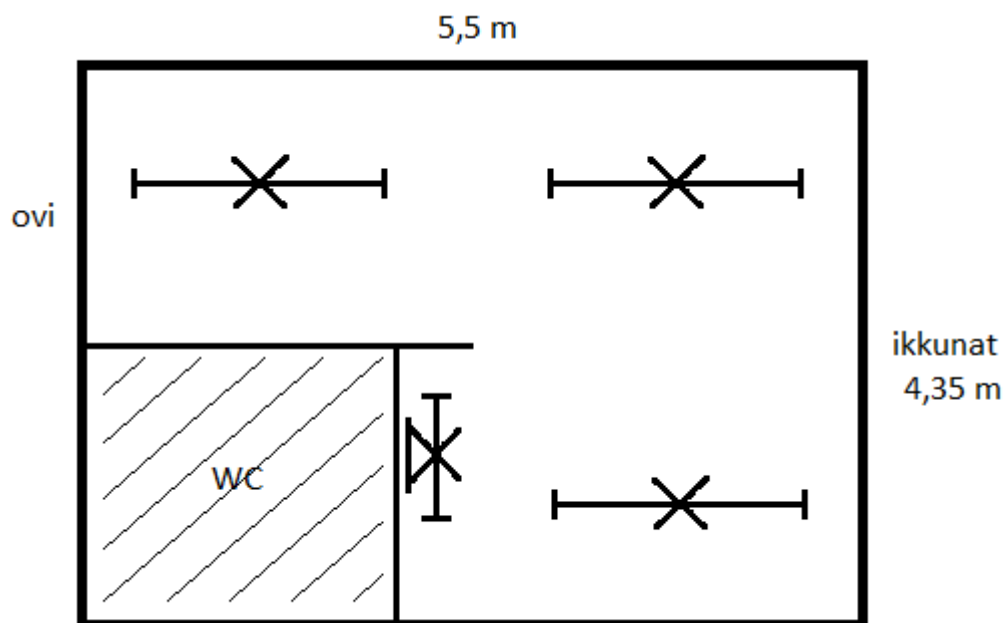
Kuva 7. Kanslian pohjapiirustuksen hahmotelma.

Toimistotila sisältää kaksi pöytää tietokoneineen. Pöytien keskimääräinen korkeus on 75 cm. Huoneen mitat ovat 3,2 m x 3,75 m ja korkeus on 3,3 m. Huoneen pohjapiirustuksen hahmotelma on nähtävissä kuvassa 8.



Kuva 8. Toimiston pohjapiirustus.

Henkilökunnan kahvihuoneessa on pieni vessa, jota ei otettu huomioon mittauksissa. Jos huone jaettaisiin kahteen suorakulmioon, mitat olisivat 4,35 m x 3,25 m ja 1,6 m x 2,25 m. Katon korkeus on 3 m ja alaslasketun katon kohdalta se on 2,7 m. Alaslaskettu katto käsittää niin sanotun eteisalueen vessan vieressä. Kuvassa 9 on huoneesta hahmoteltu pohjapiirustus. Pienen tietokonepöydän ja kahvipöydän keskimääräinen korkeus on 73 cm ja tiskipöydän korkeus on 90 cm.



Kuva 9. Kahvihuoneen pohjapiirustuksen hahmotelma.

Huoneiden katot ja seinät ovat maalattu valkoisiksi. Kattoihin on osittain sijoitettu neliön muotoisia valkoisia villa- tai kipsilevyäänieristelevyjä vaimennuksen takia. Lattiat ovat joko oranssin tai harmaan väristä muovimattoa.

3.2 Mittaustulokset

Valaisimina tiloissa toimi monta erilaista vanhaa loisteputkivalaisinta ja muutama uusi LED-yleisvalaisin. Suurimmassa osassa loisteputkivalaisimia oli loisteputket, mutta muutamaan oli vaihdettu uudet lediputket.

Kansliassa on neljä loisteputkivalaisinta pinta-asennettuna kattoon, joissa kahdessa taaimmaisessa on molemmissa kaksi loisteputkea. Käytävältä katsottuna oikean puolimmaisesta molemmat putket olivat palaneet ja vasemman puolimmaiselta vain toinen putki oli palanut. Etummaisimmissa valaisimissa oli yhdet putket. Oikealla on loisteputki, mutta vasempaan oli vaihdettu uusi lediputki. Valaisimissa käytettävät loisteputket ovat AURA LIGHT T8, joiden teho on 58 W ja värisävy 3 000 K. Lediputki on Valtavalon LED tube, jonka teho on 24 W ja 4 000 K sävyinen. Standardin raja-arvoihin verrattavat mittaustulokset ovat nähtävissä taulukossa 4.

Taulukko 4. Kanslian mittaustulokset.

Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	U_0	$\bar{E}_{m,z}$ lx	$\bar{E}_{m,seinä}$ lx	$\bar{E}_{m,katto}$ lx	U_0
Yleisvalaistus	203	0,68	122	148	-	0,56
Työpöytätasot	243	0,56	116	-	-	0,83

Seinä-, lattia- ja kattopinnoista saadut mittaustulokset kansliasta ovat nähtävissä taulukossa 5. Tulokset kertovat, kuinka paljon huoneen pinnat heijastavat valaisimista tulevaa valoa.

Taulukko 5. Kanslian muiden pintojen mittaustulokset.

	Seinä- ja kattopin- nan likimääräinen valaistusvoimak- kuus (lx)	U_0	Tasahajotta- van pinnan luminanssi (cd/m ²)	U_0	Seinä- ja katto- pinnan heijas- tuskertoimen
Seinät	148	0,48	33	0,46	0,71
Lattia	240	-	23,92	-	0,31
Katto	-	-	32,15	-	0,64 ^a

^a Kattopinnojen heijastuskertoimen voidaan olettaa olevan 10 % pienempi.

Toimistossa on yksi loisteputkivalaisin katossa ja kahdella eri seinällä on kaksi seinävalaisinta. Kaikki valaisimet ovat pinta-asennettuja. Toinen seinävalaisimista on loisteputkellinen vanha valaisin, mutta toinen oli vaihdettu uuteen Enston AVR66.110L LED-yleisvalaisimeen. Valaisimissa käytettävät loisteputket ovat samanlaisia Auran T8 loisteputkia kuin kansliassa. Mittaustulokset ovat esillä taulukossa 6.

Taulukko 6. Toimiston mittaustulokset.

Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	U_0	$\bar{E}_{m,z}$ lx	$\bar{E}_{m,seinä}$ lx	$\bar{E}_{m,katto}$ lx	U_0
Yleisvalaistus	168	0,79	141	178	-	0,69
Työpöytätasot	311	0,87	155	-	-	0,88

Toimiston seinä-, lattia- ja kattopinnoista saadut mittaustulokset ovat nähtävissä taulukossa 7.

Taulukko 7. Toimiston muiden pintojen mittaustulokset.

	Seinä- ja kattopin- nan likimääräinen valaistusvoimak- kuus (lx)	U_0	Tasahajotta- van pinnan luminanssi (cd/m ²)	U_0	Seinä- ja katto- pinnan heijas- tuskertoimen
Seinät	178	0,69	43	0,66	0,75
Lattia	185	-	23,46	-	0,40
Katto	-	-	42,37	-	0,68 ^a

^a Kattopinnan heijastuskertoimen voidaan olettaa olevan 10 % pienempi.

Kahvihuoneen katossa on kolme pinta-asennettua loisteputkivalaisinta ja pikku-keittiön seinässä yksi vastikään vaihdettu uusi Enston AVR66.110L LED-yleisvalaisin, joka myös on pinta-asennettu. Loisteputkivalaisimissa on samanlaiset Auran loisteputket kuin kansliassa ja toimistossa. Mittaustulokset ovat taulukossa 8.

Taulukko 8. Kahvihuoneen mittaustulokset.

Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	U_0	$\bar{E}_{m,z}$ lx	$\bar{E}_{m,seinä}$ lx	$\bar{E}_{m,katto}$ lx	U_0
Yleisvalaistus	212	0,77	179	256	142	0,63
Työpöytätasot	359	0,62	181	-	-	0,87

Kahvihuoneen mittaustulokset koskien seinä-, lattia- ja kattopintoja ovat nähtävissä taulukossa 9.

Taulukko 9. Kahvihuoneen muiden pintojen mittaustulokset.

	Seinä- ja kattopin- nan likimääräinen valaistusvoimak- kuus (lx)	U_0	Tasahajotta- van pinnan lu- minanssi (cd/m ²)	U_0	Seinä- ja kat- topinnan hei- jastuskerroin
Seinät	256	0,92	53	0,56	0,66
Lattia	281	-	30,74	-	0,34
Katto	142	-	33,6	-	0,74

Kahvihuoneen katon likimääräinen valaistusvoimakkuus oli mitattavissa sopivan alaslasketun katon korkeuden takia. Toisin kuin voidaan yleensä olettaa, tällä kertaa katon heijastuskerroin ei ole 10 % pienempi kuin seinien heijastuskerroin.

3.3 Tulosten käsittely

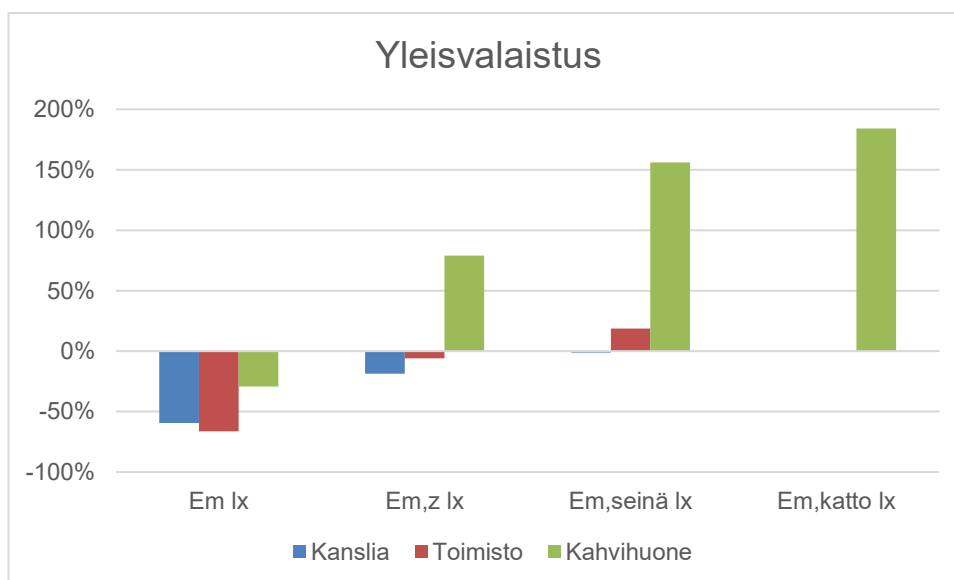
Standardin määrittelemät tulokset koskien henkilökunnan tiloja löytyvät taulukosta 10. Toimistoa ja kansliaa verrataan standardin toimistoille määritettyihin raja-arvoihin. Kahvihuonetta verrataan henkilökuntatilojen raja-arvoihin.

Taulukko 10. Terveystilojen tilat – Henkilökunnan tilat [6, s. 56].

Tila, tehtävä tai toiminta	$\bar{E}_m \text{ lx}$		U_0	$\bar{E}_{m,z}$	$\bar{E}_{m,\text{seinä}}$	$\bar{E}_{m,\text{katto}}$	Erityisvaatimukset
	vaadittu ^a	muokattu ^b		lx	lx	lx	
Toimistot	500	1 000	0,60	150	150	100	
Henkilökuntatilat	300	750	0,60	100	100	50	

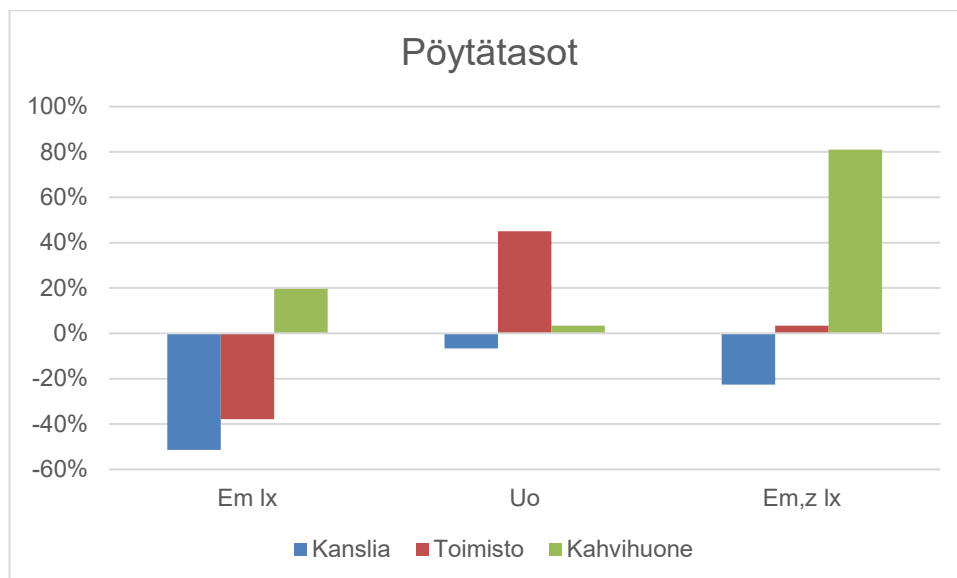
^a vaadittu: minimiarvo
^b muokattu: ottaa huomioon yleiset asiayhteyden muokkaajat kohdassa 5.3.3

Yleisvalaistuksen puolesta minkään tilan keskimääräinen valaistusvoimakkuus ei yllä standardien määrittämien raja-arvojen tasolle. Toimisto ja kanslia jäävät jopa yli puolet vajaaksi. Sen sijaan kaikkien valaistusvoimakkuuksien tasaisuudet ovat yli standardin määrittämän 0,60. Sylinterivalaistusvoimakkuus on riittävä kahvihuoneessa, muttei toimistossa tai kansliassa. Toimiston arvo jää vain 6 % liian alhaiseksi ja kanslian arvo viidesosan. Kahvihuoneen ja toimiston seinän \bar{E}_m -arvot ylittävät molempien standardin määrittämät, mutta kanslian arvo on vain prosentin liian pieni. Kuvasta 10 on nähtävissä visuaalinen havainnointi arvoista.



Kuva 10. Yleisvalaistuksen prosentuaaliset arvot standardiin verrattuna.

Pöytätasoilta saatujen mittaustulosten puolesta kahvihuone ylittää molempien valaistusvoimakkuuksien raja-arvot. Toimisto ylittää vain suositellun sylinterivalaistusvoimakkuuden raja-arvon, mutta ei keskimääräistä valaistusvoimakkuutta. Kanslia ei ylitä kumpaakaan arvoista. Havainnollistava graafi löytyy kuvasta 11.

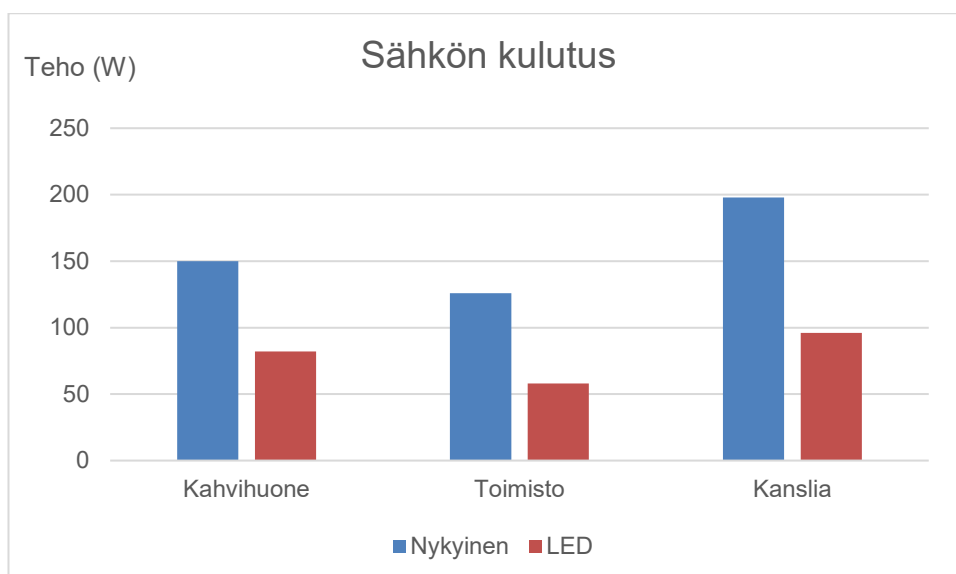


Kuva 11. Pöytätasojen prosentuaaliset arvot standardiin verrattuna.

Kansliasta saadut arvot ovat odotettavan alhaiset palaneiden lamppujen vuoksi. Arvot ylittäisivät todennäköisesti standardin määrittämiin, jos kaikki lamput palaisivat. Kanslian ja toimiston valaistusarvoja voitaisiin parantaa vaihtamalla kaikki lamput ledeiksi tai vaihtamalla valaisimet uusiksi LED-valaisimiksi.

3.4 Toimenpide-ehdotus

Jos huoneisiin vaihdettaisiin kaikki loisteputket ledivaloputkiksi, energiankulutusta pystyttäisiin vähentämään runsaasti sekä parantamaan valaistustasoa. Kuvan 12 mukaisesti kahvihuoneen energiankulutus vähenisi 45 % vaihtamalla loisteputket korvaaviin Valtavalon LED-valoputkiin, joiden teho on 24 W. Toimiston ja kanslian valaistuksen teho pienenesi alle puoleen nykyisestä.



Kuva 12. Valaistuksen sähkön kulutuksen vertailu kolmessa eri henkilökuntatilatissa.

Vaikka valaistustilanteet paranevat huomattavasti jo vain putkia vaihtamalla, kannattaa pitemmällä aikavälillä miettiä koko valaistuksen vaihtoa uusiin LED-valaisimiin. Vanhojen valaisimien käyttöikä tulee nimittäin ennemmin tai myöhemmin tiensä päähän. LED-valaisimien valinta on tehtävä tilaa ja sen käyttötarkoitusta silmällä pitäen. Valaisimia on monia erityyppisiä ja valinnassa on hyvä kysyä neuvoa asiantuntijoilta, jotka osaavat tarjota hyviä vaihtoehtoja.

4 Käytävien valaistus

Rakennuksessa 9 kerroksien 1–5 osastoilla on pitkä käytävä, jonka välikatossa on uppoasennettuna 22 valaisinta. Valaisimet ovat loisteputkivalaisimia, joissa jokaisessa on yksi lamppu. Muutamia on vaihdettu lediputki vanhan palaneen loisteputken tilalle.

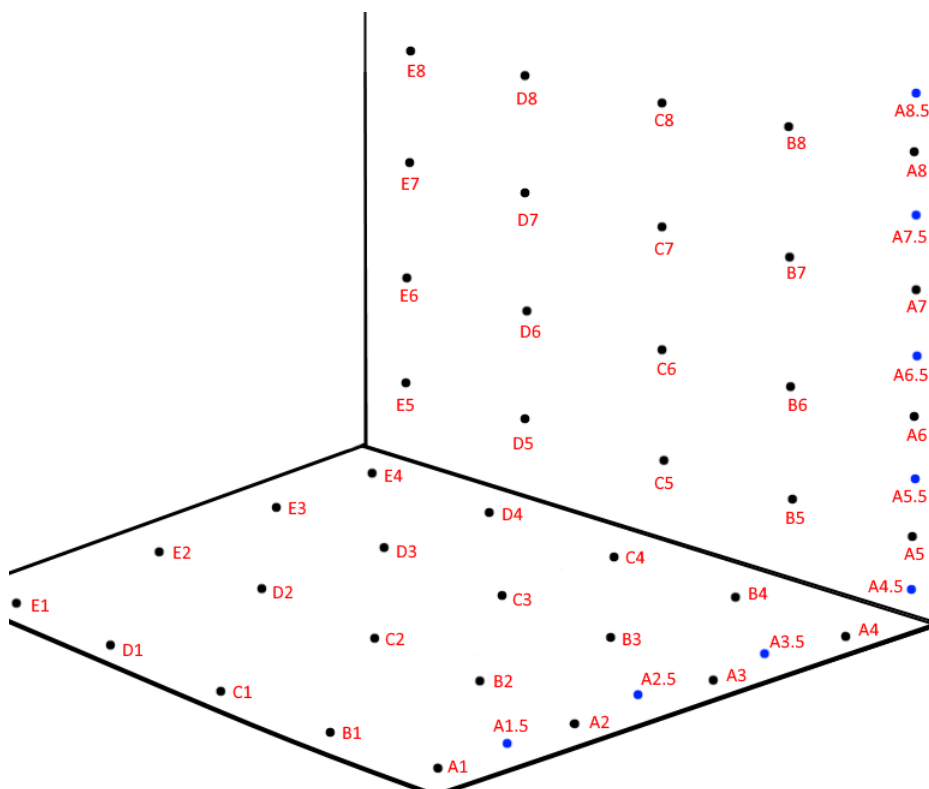
Vanhasta valaisimesta ja uudesta korvaavasta suoritettiin laboratoriomittaukset, jotta saatiin selvitettyä eri vaihtoehtojen kannattavuudet valaistuksen parantamisessa. Laboratoriomittausta varten otettiin mukaan vanha valaisin, siihen kelpaava T8-loisteputki ja G4 LED-valoputki sekä käytävälle suunniteltu uusi LED-

valaisin. Mittauksessa selvitettiin, kuinka valon määrä, valaistuksen laatu, valaisimen valonjako ja energiankulutus muuttuvat. Kannattavuutta tarkasteltiin elinkaarikustannus- ja valaistuslaskelmien avulla.

4.1 Mittausmenettely

Mittaus suoritettiin Metropolian ammattikorkeakoulun Myyrmäen toimipisteen valaistuslaboratorion yhteydessä olevassa mustassa huoneessa MMC370. Laboratorion yhteydessä oleva jännitestabilisaattori toimi mitattavan valaisimen tehonsyöttönä ja sen yhteyteen on asennettu mittari, joka kertoi jännitteen, virran, pätötehon ja tehokertoimen.

Mittauspisteet huoneessa olivat merkattuina maalarinteipein lattiaan ja seinään puolen metrin välein, paitsi kuvan 13 mukaisesti A-linjan pisteet olivat 25 cm:n päässä toisistaan. A-linjan korkein piste oli korossa 2,25 m.



Kuva 13. Havainnekuva merkityistä mittauspisteistä.

Valaisin asetettiin 2,5 metrin korkeuteen ja sen keskipiste oli pisteessä A1. Valaistustilanne on symmetrinen, joten mittausruudukko kattaa vain yhden neljänneksen valaisimen vaikutusalueesta.

Luksimittari asetettiin 80 cm korkealle alustalle mitatessa keskimääräistä horisontaalista valaistusvoimakkuutta. Vertikaalista valaistusvoimakkuutta mitattaessa mittari oli seinän tasolla.

4.2 Mittaustulokset

Luksimittarilla saatujen tulosten perusteella laskettiin jokaisen kolmen valaistustilanteen valovoima-arvot. Yhtälönä (kaava 1) käytettiin hyväksi pistemenetelmän yhtälöä laskiessa vertikaalista valaistusvoimakkuutta. Horisontaalinen valaistusvoimakkuus saatiin pistemenetelmän yhtälöstä johdetulla kaavalla. [2, s. 5.]

$$E = \frac{I \cdot \cos \alpha}{r^2} * (\text{sr}) = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} * (\text{sr}) \quad (1)$$

E on pinnan valaistusvoimakkuus tietyssä pisteessä [lx]

I on valaisimen valovoima pisteen suuntaan [cd]

α on valon tulosuunnan ja pinnan normaalin välinen kulma

r on valaisimen etäisyys pisteestä [m]

h on valaisimen kohtisuora etäisyys valaistavasta tasosta [m]

sr on yksi steradiaani (avaruuskulmayksikkö, ei vaikuta laskun lukuarvoon).

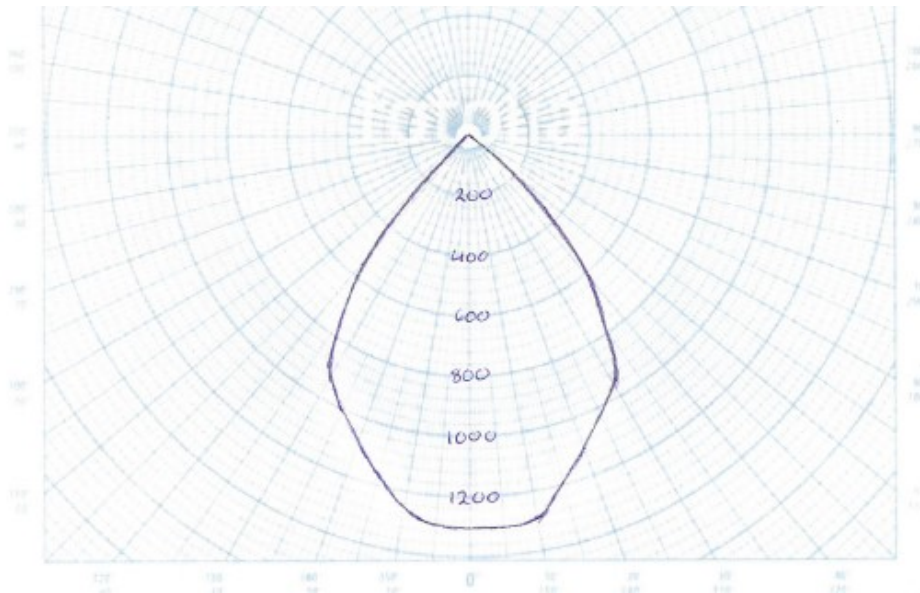
Kuvan 13 mukaisen A-linjan mittauspisteille laskettiin mittauspaikan tietojen perusteella valon tulosuunnan kulmat ja niistä vastaavasti valovoima-arvot molemmille lamputille (taulukko 11).

Taulukko 11. Kolmen eri valaistustilanteen valovoimat.

Mittauspis- teet	Valovoima (cd)		
	T8	LED	LED-val.
A1	1 306,3	1 144,4	2 066,4
A1.5	1 313,1	1 062,4	2 151,6
A2	1 168,3	893,4	2 411,9
A2.5	1 042,1	858,3	2 735,3
A3	940,7	770,1	2 910,0
A3.5	688,2	700,4	2 612,5
A4	480,7	671,0	2 067,8
A4.5	759,9	819,5	2 921,8
A5	587,6	751,6	2 431,9
A5.5	444,4	670,4	2 016,5
A6	205,0	427,5	1 071,2
A6.5	88,6	81,5	434,3
A7	72,6	68,4	182,5
A7.5	61,7	57,0	56,0
A8	47,4	43,2	25,1
A8.5	26,3	22,5	24,5

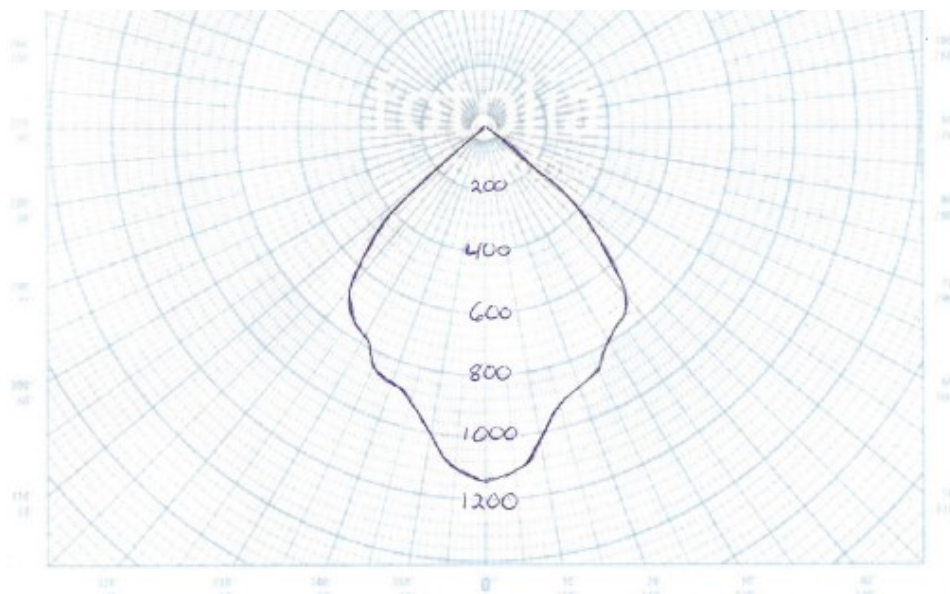
Valovoima-arvojen perusteella kaikille kolmelle valaistustilanteelle voidaan piirtää valonjakokäyrät. Valonjakokäyrä kertoo valaisimen tai lampun valonjaon ja se esitetään yleensä polaarikoordinaatistossa [2, s. 4]. Mittaustilanteiden ollessa symmetrisiä saadaan 0–90 asteen gammakulmien mittaustulosten avulla piirrettyä valaistustilanteista kokonaiset valonjakokäyrät.

Vanha valaisin on Vaken loisteputkivalaisin tyyppiä LU 1601. Siinä käytetty loisteputki on Auran T8 58 W, jonka värisävy on 3 500 K. Loisteputken valonjakokäyrä on syvästi ja hieman laajasti säteilevä sekä keskittynyt (kuva 14).



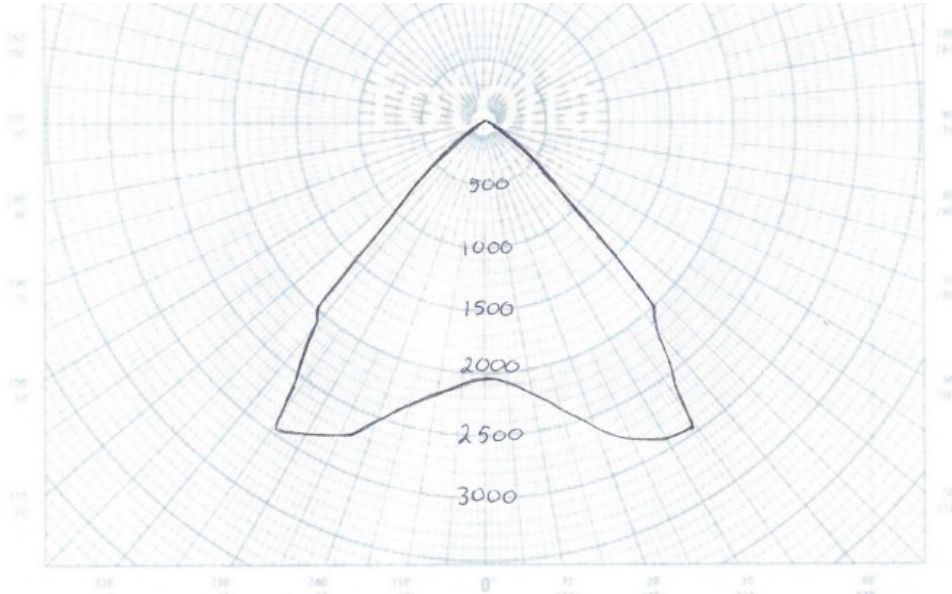
Kuva 14. T8-loisteputken valonjakokäyrä.

LED-valoputki on Valtavalon valmistama 24 W ja neutraalin valkoinen eli 4 000 K. LED-putken valonjakokäyrä vanhassa Vaken valaisimessa näkyy kuvassa 15. Valonjakokäyrä on syvän pistemäinen.



Kuva 15. LED-valoputken valonjakokäyrä.

Uusi LED-valaisin on Enston valmistama 60 W ripustusvalaisin tuotenimeltään APL15433YED. Värisävyltään valo on myös neutraali eli 4 000 K. Ripustusvalaisimen valonjakokäyrä löytyy kuvasta 16. Kuvaajasta huomataan, että valaisimen valonjakokäyrä on muodoltaan laajasti heijastava.



Kuva 16. LED-valaisimen valonjakokäyrä.

Pelkästään valonjakokäyriä tarkastelemalla viimeisimmän kuvan valaisin, eli Enston valaisin, olisi paras valinta käytävän valaistuksessa käytettäväksi. Käytävällä ei tehdä tarkkaa työtä, joka tarvitsisi pistemäisemmän valon. Päinvastoin valaistuksen pitäisi olla laajemmin ja tasaisemmin valaiseva.

4.3 Tulosten käsittely

Kolmen eri tilanteen mitatuista valaistusvoimakkuusarvoista laskettiin keskimääräiset valaistusvoimakkuudet ja valaistuksen tasaisuudet. Laskennat tehtiin simuloitulle kokonaiselle huoneelle, jossa mittaukset tapahtuivat. Mittauspisteiden ollessa vain yhdellä neljänneksellä voitiin tämän perusteella koostaa kokonaisen tilan valaistusvoimakkuusarvot, koska tilanne oli symmetrinen.

Taulukon 12 tuloksista nähdään, että T8-loisteputken valaistusvoimakkuus lattia-
tasolla on suurempi kuin LED-valoputken, mutta vähän yli puolet pienempi kuin

LED-valaisimen. Valaistuksen tasaisuuden puolesta LED-valoputki vie voiton, kun taas viimeiseksi jää LED-valaisin.

Taulukko 12. Keskimääräiset valaistusvoimakkuudet ja valaistuksen tasaisuudet lattiatasolta.

	T8	LED	LED-val.
Keskimääräinen valaistusvoimakkuus lattialla (lx)	124,2	110,1	305,9
Valaistuksen tasaisuus	0,15	0,18	0,13

Seinäpinnan tulokset näyttävästä taulukosta 13 huomataan, että suurimman valaistusvoimakkuuden omaavalla LED-valaisimella on muihin verrattuna selvästi huonoin tasaisuus. Putkista ledivaloputken valaistusvoimakkuus on suurempi, mutta loisteputken tasaisuus on parempi.

Taulukko 13. Keskimääräiset valaistusvoimakkuudet ja valaistuksen tasaisuudet seinäpinnalta.

	T8	LED	LED-val.
Keskimääräinen valaistusvoimakkuus seinästä (lx)	23,9	26,3	63,3
Valaistuksen tasaisuus	0,23	0,20	0,07

Jos tila olisi pinta-alaltaan 12 m²:n kokoinen huone, jossa olisi yksi valaisin, standardin (taulukko 14) määrittämiin raja-arvoihin verrattuna keskimääräisen valaistusvoimakkuuden 100 lx täytyisi kaikissa valaistustilanteissa. Minkään lampun tai valaisimen valaistuksen tasaisuus ei kuitenkaan ylittäisi raja-arvoon 0,40. Keskimääräinen valaistusvoimakkuus seinätasolta täytyisi ainoastaan LED-valaisimella, mutta seinän valaistusvoimakkuuden tasaisuudet täytyisivät päinvastoin juuri loiste- ja lediputkillä.

Taulukko 14. Terveystilojen – Yleiskäyttöhuoneet [6, s. 55].

Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx		U_0	$\bar{E}_{m,z}$ lx	$\bar{E}_{m,seinä}$ lx	$\bar{E}_{m,katto}$ lx	Erityisvaatimukset
	vaadittu ^a	muokattu ^b		$U_0 \geq 0,10$			
Käytävät: päivällä	100	200	0,40	50	50	30	Valaistusvoimakkuudet lattiatasolla.
Käytävät: siivous	100	200	0,40	50	50	30	Valaistusvoimakkuudet lattiatasolla.
Käytävät: yöllä	50	-	0,40	-	-	-	Valaistusvoimakkuudet lattiatasolla.
Liian suuret luminanssimäärät potilaiden näkökentässä tulee estää.							
^a vaadittu: minimiarvo							
^b muokattu: ottaa huomioon yleiset asiayhteyden muokkaajat kohdassa 5.3.3							

Tässä luvussa tarkastelemme mitattuja arvoja verraten niitä taulukon 14 ensimmäiseen osioon eli käytäviin päivällä.

4.4 Kustannuslaskelma

Elinkaarikustannukset laskettiin kolmessa eri tilanteessa käyttämällä Motivan Valtti-elinkaarilaskuria [7]. Kustannusten laskemisen lähtötietoina käytettiin taulukkoon 15 merkattuja arvoja, jotka ovat valmistajan antamia. Kustannuslaskelmassa verrataan kolmea tilannetta toisiinsa.

Taulukko 15. Kustannuslaskelmassa käytettyjen lamppujen ja valaisimen tiedot.

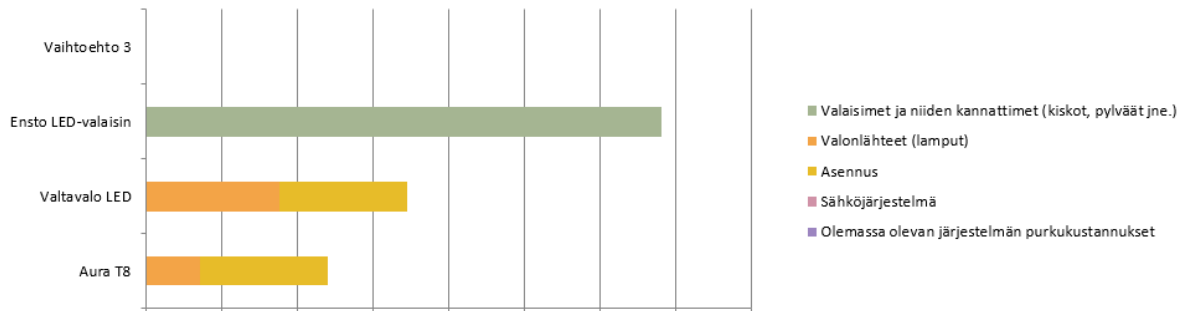
Lamppu-/valaisintyyppi	Nimellisteho W	Polttoikä h
T8-loisteputki ^a	58 + kuristin	48 000
G4 LED-valoputki ^b	24 + kuristin	125 000
LED-valaisin ^c	61 + liitäntälaite	100 000
^a Aura T8 Universal Long Life Lights 58W/835, korvaava tuote Aura T8 Ultimate 58W/840 ^b Valtavalo G4 LEDtube 150 cm 24W/840 ^c Ensto APL15433YED LED 60W/840		

Ensimmäinen koetilanne on, että vanhojen valaisimien loisteputket vaihdettaisiin vastaaviin uusiin loisteputkiin. Samalla pitäisi uusien valaisimien lampunpidikkeet ja kuristimet iän takia. Ensimmäiseen koetilanteeseen ei voi olettaa vaihdettavan pelkästään loisteputkia, koska kiinnikkeet ovat niin vanhoja, että ne rapistuvat vaihdon yhteydessä. Toisessa koetilanteessa vaihdettaisiin loisteputki uuteen ledivaloputkeen ja samalla pitäisi myös vaihtaa lampunpidikkeet ja kuristimet. Kolmannessa koetilanteessa koko valaisin vaihdettaisiin uuteen LED-valaisimeen.

Laskenta tehtiin käytävälle, jonka mitat ovat 58,5 m x 2,75 m. Tämä tila on valaistu 22 vanhalla Vaken valaisimella, joissa jokaisessa on yksi loisteputki. LED-valaisimia mitoitettaessa tilaan huomattiin, että valaisimien määrää voi vähentää kymmeneen säilyttäen standardien mukaisen riittävän valaistustason. Tilan mitoituksessa käytettiin apuna DIALux-valaistussuunnitteluohjelmaa, ja mitoituksen tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 1.

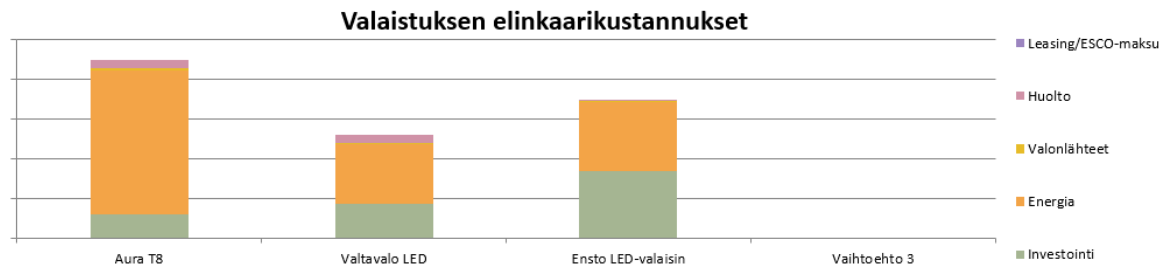
Valtti-laskurin laskenta-ajaksi asetettiin 20 vuotta, ja valaisimen käyttöiän ja valaistuksen ohjauksen tiedot täytettiin valmistajan ilmoittamien tietojen perusteella. Hinnoissa täytettiin loiste- ja lediputken osalta uusien putkien hinnat. Materiaalikustannuksiin laskettiin jokaiseen valaisimeen tulevat uudet lampunpidikkeet ja kuristimet. LED-valaisimen hintatietoihin tuli vain valaisimen hinta. Näiden tietojen pohjalta saatiin Valtti-laskurilla investointikustannukset, jotka ovat nähtävissä

pylväsdiagrammissa kuvassa 17. Kuivissa 17–19 on toisena akselina hinta, joka on peitetty, koska hintatiedot eivät ole julkisia.



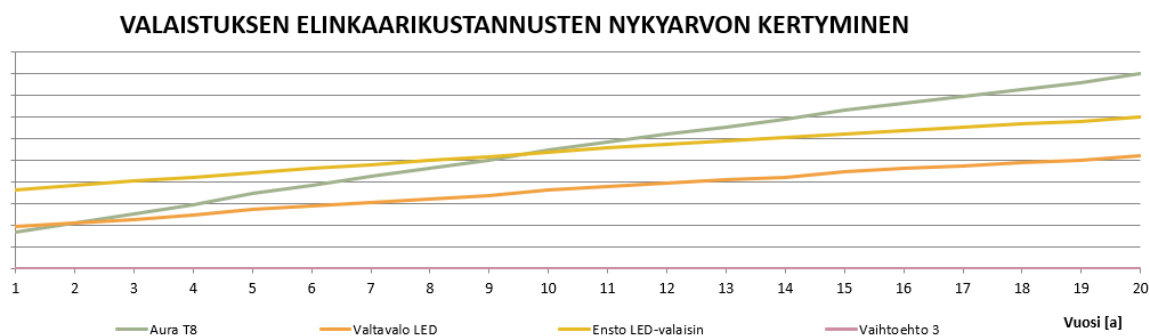
Kuva 17. Kolmen valaistustilanteen investointikustannukset.

Valtti-elinkaarilaskurilla saatiin valaistuksen elinkaarikustannukset graafisesti esitettyinä kuvassa 18. Taulukossa on nähtävillä kaikkien kolmen lamppujen investointi-, energia- ja huoltoarvot. Suurimmat kustannukset näyttävät kuuluvan loisteputkelle. Ledleistä halvemmalla pääsee LED-valoputkella, vaikkakin ero lampun ja valaisimen välillä ei ole valtava.



Kuva 18. Pylväsdiagrammi valaistuksen elinkaarikustannuksista.

Kuvassa 19 on esitetty graafisesti kolmen lampun elinkaarikustannusten nykyarvon kertyminen 20 vuoden ajalta. Kaavion mukaan noin kahden vuoden kuluttua käytön aloituksesta Valtavalon LED-valoputken käyttäminen olisi kannattavampaa kuin T8-loisteputken. Enston valaisimen kannattavuus näkyy vasta noin yhdeksän ja puolen vuoden jälkeen.



Kuva 19. Viivakaavio valaistuksen elinkaarikustannusten nykyarvon kertymisestä.

Valtavalon LED-valoputki ja Enston LED-valaisin kilpailevat parhaimmasta sijasta. Lyhyellä aikavälillä valoputki on halvempi, mutta jos haluaa kestävämmän vaihtoehdon, on ledivalaisin parempi.

4.5 Pohdinta ja toimenpide-ehdotukset

Tuloksista nähdään, että taloudellisesti on kannattavaa vaihtaa vanhat loistelamput lediputkiin, mikäli valaisimet ovat käytössä yli kaksi vuotta. Vaikka lediputkien investointikustannukset ovatkin suuremmat verrattuna loistelamppuihin, loistelamppujen massiiviset energiakustannukset ylittävät nopeasti lediputkien investointi- ja energiakustannukset.

Järkevämpää on kuitenkin vaihtaa valaisimet suoraan uusiin LED-valaisimiin, mikäli valaisimia käytetään yli yhdeksän ja puoli vuotta. Koska nykyiset valaisimet ovat vanhoja, kaikki muoviset ja suuri osa metallisista osista pitäisi uusia kaikista valaisimista. Tästä johtuva työn määrä ja siihen kuluva aika olisivat erittäin huomattavia. Uusimisesta tulee luonnollisesti runsaasti lisäkuluja, koska työ pitäisi myös hoitaa häiritsemättä osastojen toimintaa. Näiltä lisäkustannuksilta säästyisi, jos vaihdettaisiin heti uusiin LED-valaisimiin. Uusien valaisimien investointikustannukset ovat suuremmat kuin kummankaan putken, mutta energiakustannukset ovat melko samaa luokkaa lediputken kanssa, eli puolet pienemmät kuin loisteputken. Kaiken kaikkiaan LED-valaisimen investointi- ja energiakustannukset ovat pienemmät ja kannattavammat kuin loisteputken.

Valaistusteknisessä mielessä lediputkiin vaihtaminen on kannattavampaa, koska keskimääräinen valaistusvoimakkuus on parempi loisteputkiin verrattuna. Vertailemalla pelkästään taulukkoista 12 ja 13 saatuja tietoja ei voida suoraan suositella LED-valaisimen käyttöä sen huonon tasaisuuden takia. DIALux-ohjelman avulla kuitenkin huomattiin, että vain kymmenellä Enston valaisimella saavutettaisiin standardin määrittämät raja-arvot käytävällä (liite 1).

5 Hissiaulojen valaistus

HUSin psykiatriakeskuksen A-siivessä on kaksi hissiaulaa: pää- ja huoltohissiaula. Päähissiauloissa on kymmenen valaisinta kerroksissa 1–9. Huoltohissiauloissa on neljä valaisinta. Auloissa vanhaan valaistukseen oli suunniteltu kymmentä tai neljää pyöreää KJM-tuotteen valaisinta tuotenimeltään KJM 1545.2U/226. Valaisimessa oli kaksi 26 W:n Osramin loistelamppua, joiden väriämpötila oli 3 000 K. Jokaiseen hissiaulaan oli vaihdettu uudet Enston AVR254.111L -ledivalaisimet, joiden teho on 11 W ja värisävy on 4 000 K.

5.1 Mittausmenettely DIALuxilla

Tilan valaistuksen mittausta ei suoritettu fyysisesti mittalaitteilla hankalan toteutuksen takia, vaan DIALux Evo -sovellusta käyttäen. Päähissiaulassa yhdellä seinällä on kaksi isoa ikkunaa. Yhdessä tai kahdessa päätyseinässä, riippuen kerroksesta, on kaksiosaiset lasiovet, jotka johtavat osastoille. Huoltohissiaulassa yhdellä seinällä on ikkunat ulos, ja vastakkaisella seinällä on kaksiosaiset lasiovet osastolle. Osastojen käytävillä on aina jonkinlainen valaistus päällä, joten pelkien aulojen mittausta ei olisi voitu suorittaa ilman ulkoa tai lasiovien läpi tulevaa tilaan heijastuvaa ulkopuolista valoa. Päähissiaulan mitat ovat 10 m x 2,95 m, ja huoltohissiaulan mitat ovat 3,23 m x 2,3 m. Huonekorkeus on hissiauloissa 2,7 metriä.

DIALux-sovellukseen syötettiin tilojen mitat, ja ladattiin Enston valaisimen tiedosto, josta saatiin kaikki tarpeelliset tiedot tilan valaistuksen laskuun. Lasketta-
viksi pinnoiksi valittiin leveämpi seinä, katto, lattia sekä sylinterivalaistusvoimakkuuden laskennan kohteet 1,2 m:n ja 1,6 m:n korkeuksilta. Tuloksissa ilmoitettu

keskimääräinen sylinterivalaistusvoimakkuus on 1,2 m:n ja 1,6 m:n arvojen keskiarvo. Seinän, katon ja lattian pinnoille asetettiin materiaalit, jotka vastaavat hissiaulojen pintojen todellisia heijastussuhteita.

5.2 Mittaustulokset ja niiden käsittely

DIALuxin laskemat tulokset on järjestetty taulukossa 16 vastaamaan standardin määrittämiä raja-arvoja. Taulukossa on erikseen merkitty pää- ja huoltohissiaulan tulokset. DIALuxilla saadut laajemmat tulokset ovat liitteessä 2.

Taulukko 16. DIALuxin laskemat tulokset hissiauloista.

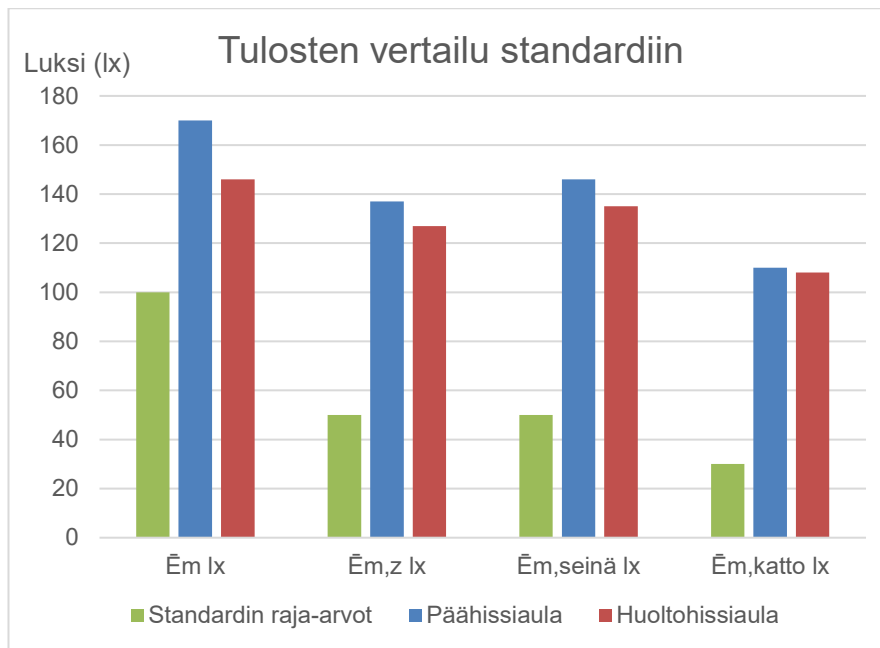
Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx	U_0	$\bar{E}_{m,z}$ lx	U_0	$\bar{E}_{m,seinä}$ lx	U_0	$\bar{E}_{m,katto}$ lx	U_0
Päähissiaula	170	0,68	137	0,91	146	0,61	110	0,80
Huoltohissiaula	146	0,79	127	0,93	135	0,65	108	0,83

Standardi ei erikseen anna viitearvoja terveydenhoitotilojen hissiauloihin liittyen, mutta taulukkoon 17 on kerätty mahdollisia kohteita, joihin tuloksia voidaan verrata. Tässä työssä taulukon 16 tuloksia verrataan standardin määrittämiin raja-arvoihin koskien käytäviä päivällä (taulukko 17).

Taulukko 17. Terveystilojen – Yleiskäyttöhuoneet [6, s. 55].

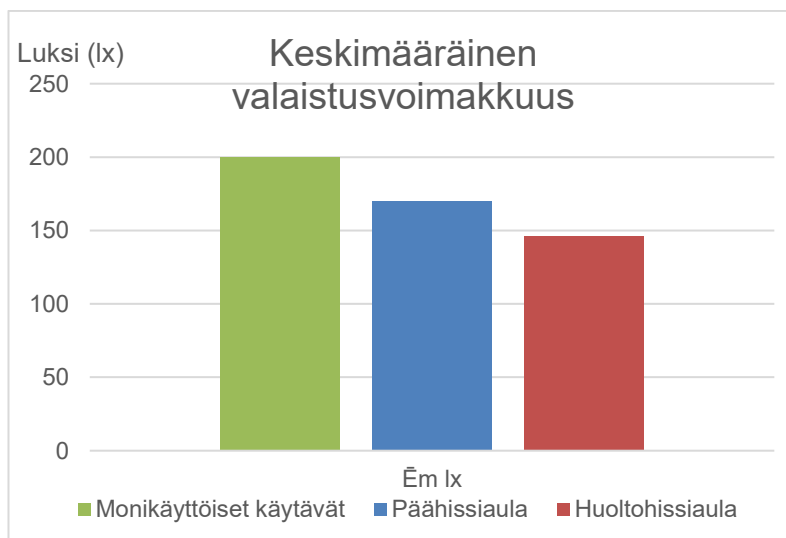
Tila, tehtävä tai toiminta	\bar{E}_m lx		U_0	$\bar{E}_{m,z}$ lx	$\bar{E}_{m,seinä}$ lx	$\bar{E}_{m,katto}$ lx	Erityisvaati- mukset
	vaa- dittu ^a	muo- kattu ^b		$U_0 \geq 0,10$			
Odotushuoneet	200	300	0,40	75	75	30	Valaistusvoi- makkuudet lattiatasolla.
Käytävät: päi- vällä	100	200	0,40	50	50	30	Valaistusvoi- makkuudet lattiatasolla.
Monikäyttöiset käytävät (esim. potilaiden en- nakkotarkastus)	200	300	0,60	75	75	50	Valaistusvoi- makkuudet toiminta-/lat- tiasolla.
Henkilökunnan ja vierailijoiden käytössä olevat hissit	100	200	0,60	50	50	30	Valaistusvoi- makkuudet lattiatasolla.
Huoltohissit	200	300	0,60	75	75	50	Valaistusvoi- makkuudet lattiatasolla.
Liian suuret luminanssimäärät potilaiden näkökentässä tulee estää.							
^a vaadittu: minimiarvo							
^b muokattu: ottaa huomioon yleiset asiayhteyden muokkaajat kohdassa 5.3.3							

DIALuxin antamien tulosten vertaus standardin määrittämiin käytävällä päivällä löytyy kuvasta 20. Kuvaajista huomataan, että kaikki arvot ovat selkeästi yli määritettyjen. Keskimääräistä valaistusvoimakkuutta ja sen tasaisuutta lukuun ottamatta kaikki muut mitatut arvot ovat yli 100 % parempia kuin raja-arvot.



Kuva 20. Aulojen tulosten vertailu standardin määrittämiin raja-arvoihin, jotka löytyvät taulukon 17 kohdasta käytävät: päivällä.

Toisin sanoen käytävälle päivälle määritettyihin raja-arvoihin verrattuna molempien hissiaulojen arvot ylittävät ne helposti. Jos haluttaisiin verrata laskettuja arvoja muihin standardin määrittämiin tiloihin, ylittäisivät ne kaikki muut arvot paitsi keskimääräisen valaistusvoimakkuuden sen ollessa 200 lx. Molempien aulojen lasketut arvot jäävät alle standardin, kuten nähdään kuvasta 21.

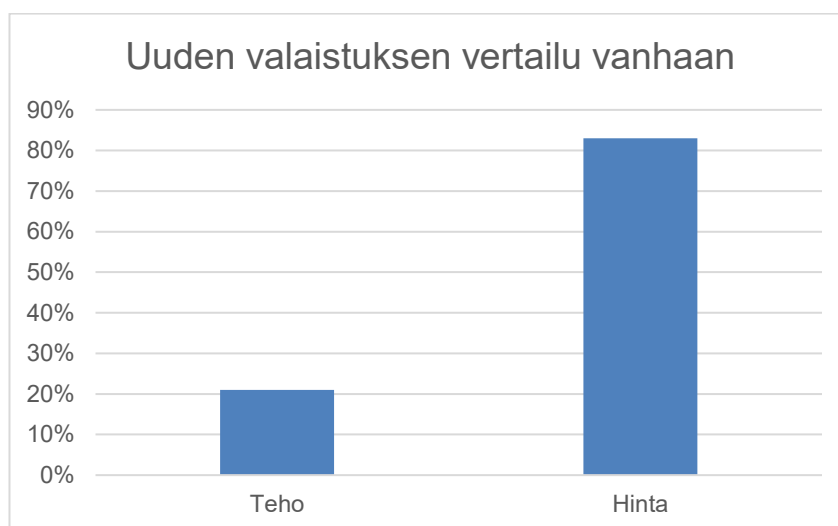


Kuva 21. Hissiaulojen arvot verrattuna standardin määrittämän ollessa 200 lx.

Kuitenkin aistinvaraisesti havainnoimalla molempien aulojen valaistus on riittävä yleisellä tasolla. Lattialla ei ole huomattavia tummia kohtia ja seinillä olevia tekstejä pystyy huoletta lukemaan.

5.3 Pohdinta

Uuden valaistuksen pienen tehon takia säästö energiankulutuksessa on melkein 80 %. Jos vanhoja valaisimia joudutaan kunnostamaan, niin LED-valaisimien vaihtaminen verrattuna vanhojen valaisimien ylläpitämiseen tulee melkein viidesosan halvemmaksi. Vanhojen valaisimien ylläpitämiseen sisältyy lamppujen vaihdon lisäksi kuristimien ja lampunpidikkeiden vaihto, koska ne ovat pitkän käyttökänsä aikana menneet huonoon kuntoon. Tehojen ja hintojen vertailut ovat nähtävissä kuvassa 22.



Kuva 22. Uuden valaistuksen tehon ja hinnan prosentuaaliset erot vanhaan valaistukseen. Vanhan valaistuksen hinta koostuu uusien lamppujen ja kuristimien hinnoista, ja uuden valaistuksen hinta koostuu uuden ledivalaisimen hinnasta.

Kun valaisimien hinta yhdistetään kulutukseen, huomataan helposti halvempi vaihtoehto. Silmämääräisesti uusi valaistus tekee tilasta kirkkaammin valaistun näköisen sekä paljon puhtaamman verrattuna vanhaan heikompaan ja lämpimään valaistukseen.

6 Valaistustyytyväisyyskysely

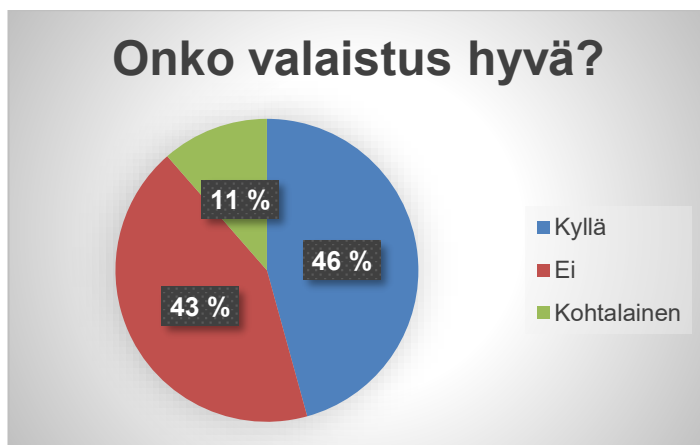
HUSin ja Kivelän hoitohenkilökunnalta kysyttiin suullisesti tyytyväisyyttä osastojen valaistukseen. Kysely toteutettiin tilaajan pyynnöstä, jotta saataisiin tietää henkilökunnan mielipide nykyiseen valaistukseen liittyen. Tulokset kirjattiin ylös mukana kannettavaan muistiinpanokirjaan. Noin 80:sta vuorossa olevasta hoitajasta valittiin satunnaisesti 40 vastaajaa kahdeltatoista eri osastolta. Jokaiselta osastolta vastaajien lukumääräksi valittiin noin puolet paikalla olleista hoitajista. Kysymyksiä oli viisi:

- Onko valaistus keskimäärin hyvä osastolla?
- Pitäisikö valaistus olla kirkkaampi tai himmeämpi?
- Minkä värisävyinen valaistuksen tulisi olla?
- Onko käsite ihmiskeskeinen valaistus tuttu?
- Pitäisikö osastolla olla ihmiskeskeinen valaistus?

Kysymysten lomassa oli mahdollista antaa avointa palautetta, joka otettiin huomioon ja kirjattiin ylös.

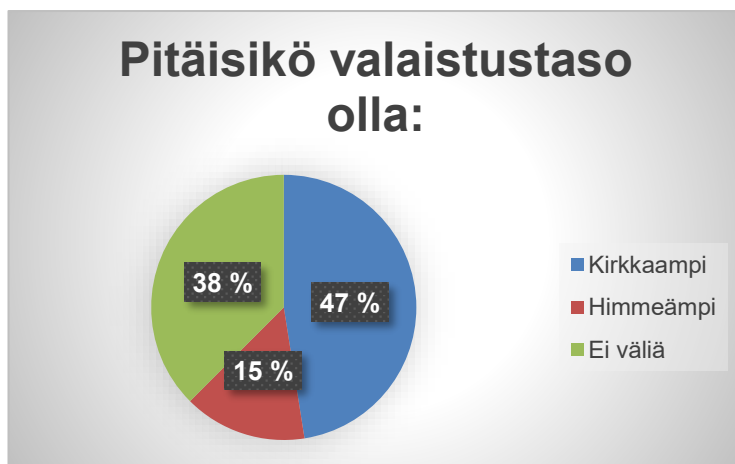
6.1 Kyselyn tulokset

Ensimmäisen kysymyksen vastaustulokset näkyvät kuvassa 23. Valtaosa vastaajista oli tyytyväisiä valaistukseen, mutta moni oli vastakkaista mieltä. Pienimmän osan mielestä valaistus oli osittain hyvä ja osittain huono eli joissakin tiettyissä huoneissa oli huonompi valaistus, kun taas toisissa oli tarpeeksi toimiva.



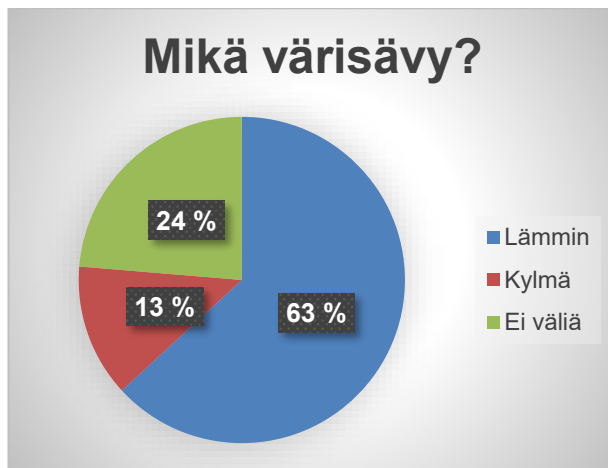
Kuva 23. Ensimmäisen kysymyksen vastaukset.

Toisen kysymyksen tulokset löytyvät kuvasta 24. Valaistuksen voimakkuudesta oltiin montaa mieltä. Yleisesti kirkkaampi valaistus ei olisi pahitteeksi, varsinkin osastoilla, joissa on vanhempia ja heikkonäköisiä asiakkaita. Muutamissa paikoissa valaistus oli henkilökunnan mukaan liian leikkaussalimainen eli kirkas, ja valaistuksen säädettävyyttä nousi isosti esille. Monelle ei ollut mitään väliä, pitäisikö olla kirkkaampaa tai himmeämpää, kunhan vain näkee.



Kuva 24. Toisen kysymyksen vastaukset.

Kuvasta 25 näkee mielipiteet kolmannesta kysymyksestä. Värisävyksi toivottiin ylivoimaisesti lämmintä valoa. Henkilökunnan ollessa töissä kolmivuorotyössä toivotaan mieluummin rentouttavaa valoa kuin kylmän kirkasta. Melkein neljäsosalle oli samantekevää värisävyä, kunhan vain näkee.



Kuva 25. Kolmannen kysymyksen vastaukset.

Neljännän kysymyksen tulokset ovat kuvassa 26. Ihmiskeskeinen valaistus oli terminä hyvin outo valtaosalle vastaajista. Kyseinen valaistus yhdistää sekä visuaalisia että ei-visuaalisia tehosteita, ja tuottaa fysiologisia ja/tai psykologisia etuja ihmisille [8]. Vain muutama oli aikaisemmin kuullut käsitteestä, ja se selitettiin jokaiselle henkilölle.



Kuva 26. Neljännän kysymyksen vastaukset.

Viidennen kysymyksen vastaukset näkyvät kuvassa 27. Moni ei ollut varma valaistuksen tarpeellisuudesta varsinkin, jos se maksaisi paljon. Jättämättä huo-

miotta mahdolliset kulut sai valaistus kuitenkin enemmistön kannatuksen, varsinkin osastojen asiakkaita silmällä pitäen. Loppujen neljännesosan mielestä se saattaisi vain sekoittaa sekä henkilökunnan että asiakkaiden vuorokaudenrytmin entisestään. Hoitohenkilökunta tekee kolmivuorotyötä.



Kuva 27. Viidennen kysymyksen vastaukset.

Ihmiskeskeinen valaistus vaatisi ehkä yhdellä osastolla koetestausta, jotta henkilökunta saisi käytännön kokemuksen valaistuksesta ja siten pystyisi muodostamaan konkreettisen mielipiteen siitä.

6.2 Kyselyn yhteenveto

Yleisesti valaistus on tai olisi hyvä ja riittävä, kunhan vain kaikki valaisimet toimisivat. Useimmat valaisimet osastoilla ovat vanhoja, ja sen takia niin moni valaisin hajoaa tehden niiden vaihtamisesta pidemmän prosessin kuin vain lampun vaihtaminen. Yksi vastaajista nosti huoleksi lampun vaihtamisen hitauden, koska niin sanottuja kiireettömiä tapauksia ei hoideta viikonlopun aikana, ja toivoi, että valaisimet olisivat sellaisia, että hoitohenkilökunta pystyisi ne itse vaihtamaan. Huoli on varteenotettava, mutta hankala toteutuksen kannalta, koska osastoilla on omat vaatimuksensa valaisimien rakenteesta ilkvallan välttämiseksi.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, miten valaistuksen vaihto LED-pohjaiseksi erilaisissa tiloissa vaikuttaa sähkön energiankulutuksen vähenemiseen ja valaistuksen laatuun. Lisäksi selvitettiin henkilökunnan yleistä mielipidettä valaistuksesta.

Työssä mitattiin erilaisia valaistustilanteita, ja tuloksia verrattiin sisävalaistusstandardin [6] määrittämiin raja-arvoihin. Mittaukset onnistuivat, ja tarvittavia välineitä olivat luksi- ja luminanssimittari sekä mittanauha. Kukin mittaus suoritettiin kerta-luonteisesti, joten virhe mittaamisessa tai tulosten kirjaamisessa on mahdollinen. Tärkeintä työn tuloksissa kuitenkin on huomata prosentuaalinen ero vanhan ja uuden tilanteen välillä. Opinnäytetyön tulokset ovat suuntaa antavia, joten niitä voidaan soveltaa muissakin kohteissa tai tiloissa.

Tuloksista havaittiin, että loistelamppuihin verrattuna ledien sähkönkulutus on paljon pienempi, ja että ledillisen valaistuksen taso on parempi. Joissakin tapauksissa valaistusvoimakkuuden tasaisuus saattaa hieman kärsiä, mutta ero ei ole ihmissilmällä havaittava.

Tilan valaistuksen uudistamista suunniteltaessa kannattaa pyytää ammattilaisen mielipide valaisimien tarvittavasta määrästä ja järkevästä sijoittelusta. Uudet LED-valaisimet ovat monesti tehokkaampia kuin vanhat loistelamppuvalaisimet. Sen takia uusien valaisimien paikkoja olisi useimmissa tapauksissa hyvä muuttaa vanhaan verrattuna, jotta saadaan mahdollisimman hyvä valaistus tilan käyttötarkoitusta varten. Valaisimia vaihtaessa on myös mahdollista saada lisähyötyä siitä, että uuden valaistuksen säätö toteutettaisiin esimerkiksi langattomilla ohjausjärjestelmillä. Valaistuksen ohjauksella voitaisiin saada energiansäästöä esimerkiksi päivänvalo-ohjaukseen ja läsnäolotunnistuksen avulla.

Lähteet

- 1 Organisaatio ja toimialan esittely. 2021. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <<https://www.hel.fi/kaupunkiymparisto/fi/organisaatio-toimialan-esittely>>. 1.12.2021. Luettu 1.1.2022.
- 2 Valaistustekniikan perussuureet ja määritelmät. 2017. ST 57.40. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 3 Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. 2010. SFS-EN 12464-1. Sesko ry.
- 4 Osram tuoteluettelo 2009/2010 4.04-4.07. 2010. Verkkoaineisto. LED-VANCE GmbH. <<https://www.sahkonumerot.fi/4930326/id/105458/doc/catalogue/>>. Luettu 25.12.2021.
- 5 Barnett, Charles. 2013. High Frequency Lighting – what is it? Verkkoaineisto. <<https://www.lyco.co.uk/advice/high-frequency-lighting-what-is-it/>>. 29.6.2021. Luettu 25.12.2021.
- 6 Light and lighting. Lighting of work places. Part 1: Indoor work places. 2021. SFS-EN 12464-1:2021. Sesko ry.
- 7 VALTTI-SISÄVALAISTUSLASKURI (versio 1.0). 2016. Excel-taulukko. Motiva Oy. <<https://valaistustieto.fi/laskuri/>>. Luettu 29.11.2021.
- 8 Light and lighting – Intergrative lighting – Non-visual effects. 2021. ISO/CIE DTR 21783:2021. International Organization for Standardization.

Rakennus 9:n käytävän valaistus

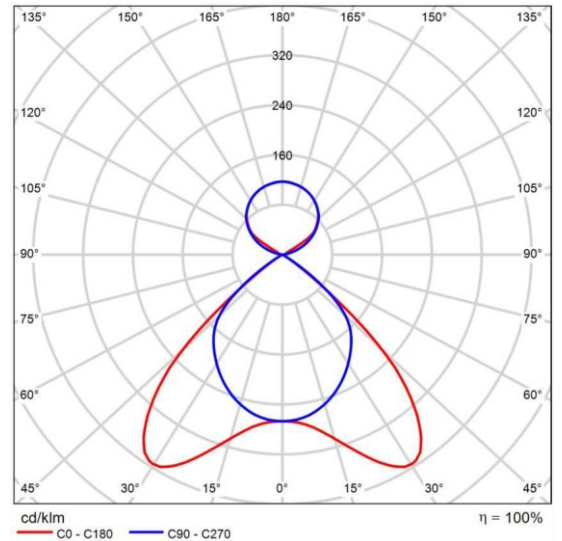
DIALux



Tuotteen tietolehti

Ensto Lighting Oy Alpo LED 60W 840WH APL15433Y

Tavaranumero	APL15433Y
P	61.0 W
Φ_{Lamppu}	7110 lm
Φ_{Valaisin}	7110 lm
η	100.00 %
Valotehokkuus	116.6 lm/W
CCT	3000 K
CRI	100



Polaarinen valonjakautumiskäyrä

Häikäisyarvot UGR:N mukaan													
p Katto		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30		
p Seinät		50	30	50	30	30	50	30	50	30	30		
p Lattia		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
Tilan koko X Y		Nakokulma poikittain Lampun keskiviivaan					Nakokulma pitkittäin Lampun keskiviivaan						
2H	2H	18.6	19.4	19.3	20.1	20.9	17.5	18.3	18.2	19.0	19.8		
	3H	18.4	19.1	19.1	19.8	20.6	17.2	18.0	18.0	18.7	19.5		
	4H	18.2	18.9	19.0	19.6	20.5	17.1	17.8	17.8	18.5	19.4		
	6H	18.1	18.8	18.9	19.5	20.4	17.0	17.6	17.7	18.4	19.2		
	8H	18.1	18.7	18.8	19.4	20.3	16.9	17.5	17.7	18.3	19.2		
	12H	18.0	18.6	18.8	19.3	20.2	16.9	17.5	17.6	18.2	19.1		
4H	2H	18.3	19.0	19.1	19.7	20.6	17.2	17.9	18.0	18.6	19.5		
	3H	18.1	18.7	18.9	19.4	20.3	17.0	17.6	17.6	18.3	19.2		
	4H	18.0	18.5	18.8	19.3	20.2	16.9	17.4	17.7	18.1	19.1		
	6H	17.9	18.3	18.7	19.1	20.0	16.7	17.2	17.6	18.0	18.9		
	8H	17.8	18.2	18.6	19.0	20.0	16.7	17.1	17.5	17.9	18.9		
	12H	17.7	18.1	18.6	18.9	19.9	16.6	17.0	17.4	17.8	18.8		
8H	4H	17.8	18.2	18.6	19.0	20.0	16.7	17.1	17.5	17.9	18.9		
	6H	17.6	18.0	18.5	18.8	19.8	16.5	16.9	17.4	17.7	18.7		
	8H	17.6	17.9	18.4	18.7	19.8	16.5	16.7	17.3	17.6	18.6		
	12H	17.5	17.8	18.4	18.6	19.7	16.4	16.6	17.3	17.5	18.6		
	12H	4H	17.7	18.1	18.6	18.9	19.9	16.6	17.0	17.4	17.8	18.8	
		6H	17.6	17.9	18.4	18.7	19.8	16.5	16.7	17.3	17.6	18.6	
8H		17.5	17.7	18.4	18.6	19.7	16.4	16.6	17.3	17.5	18.6		
Vaihtelee katsijan paikkaa valaisimien etäisyyksien tarkastelemiseksi S													
S = 1.0H			+2.1 / -6.2					+2.2 / -4.3					
S = 1.5H			+3.4 / -14.3					+3.9 / -18.9					
S = 2.0H		+5.3 / -19.2					+4.7 / -22.5						
Vakiotaulukko		BK00					BK00						
Korjaustekijä		0.7					-0.4						
Korjatut häikäisyarvot suhteessa 7110lm Kokonaisvalovirta													

UGR-diagrammi (SHR: 0.25)

Rakennus 9 · Käytävä
Laskennan kohteet



Käyttötasot

Ominaisuudet	\bar{E}	$E_{min.}$	E_{maks}	g_1	g_2	Hakemisto
Lattia Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva) Korkeus: 0.010 m, Reuna-alue: 0.000 m	238 lx	112 lx	312 lx	0.47	0.36	S2

Pintojen tulosobjektit

Ominaisuudet	\emptyset	min.	maks	g_1	g_2	Hakemisto
Seinä Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva) Korkeus: 1.300 m	145 lx	70.3 lx	273 lx	0.48	0.26	S3
Seinä Luminanssi Korkeus: 1.300 m	37.0 cd/m ²	17.9 cd/m ²	69.5 cd/m ²	0.48	0.26	S3
Katto Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva) Korkeus: 2.600 m	110 lx	79.6 lx	136 lx	0.72	0.59	S4
Katto Luminanssi Korkeus: 2.600 m	23.7 cd/m ²	17.2 cd/m ²	29.5 cd/m ²	0.73	0.58	S4

Lattia



Ominaisuudet	\bar{E}	$E_{min.}$	E_{maks}	g_1	g_2	Hakemisto
Lattia Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva) Korkeus: 0.010 m, Reuna-alue: 0.000 m	238 lx	112 lx	312 lx	0.47	0.36	S2

Käyttöprofiili: DIALux-esiasetus, Vakio (toimisto)

Seinä



Ominaisuudet	\bar{E}	$E_{min.}$	E_{maks}	g_1	g_2	Hakemisto
Seinä Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva) Korkeus: 1.300 m	145 lx	70.3 lx	273 lx	0.48	0.26	S3

Käyttöprofiili: DIALux-esiasetus, Vakio (toimisto)

Katto

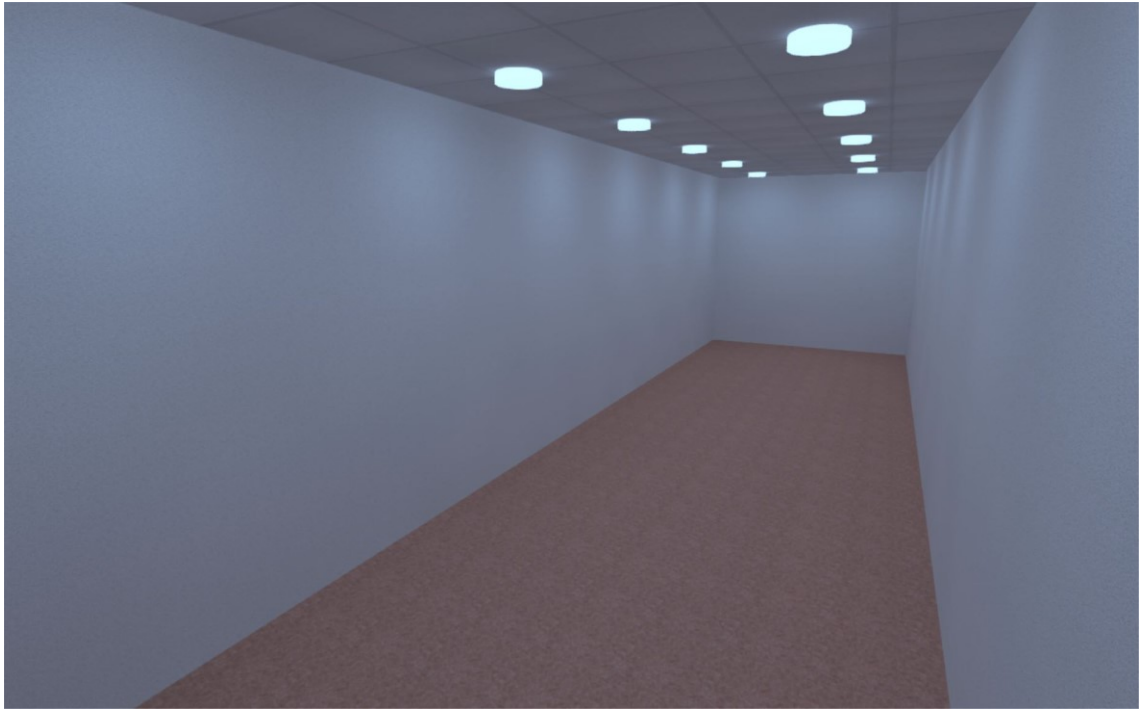


Ominaisuudet	\bar{E}	$E_{min.}$	E_{maks}	g_1	g_2	Hakemisto
Katto Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva) Korkeus: 2.600 m	110 lx	79.6 lx	136 lx	0.72	0.59	S4

Käyttöprofiili: DIALux-esiasetus, Vakio (toimisto)

Rakennus 32:n hissiaulojen valaistus

DIALux

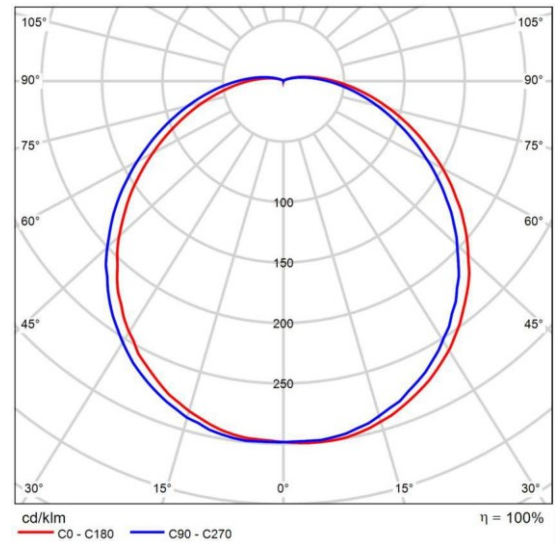


Tuotteen tietolehti

ENSTO All-round luminaire



Tavaranumero	AVR254.111L
P	11.0 W
Φ_{Lamppu}	750 lm
Φ_{Valaisin}	750 lm
η	100.00 %
Valotehokkuus	68.2 lm/W
CCT	4000 K
CRI	80



Polaarinen valonjakautumiskäyrä

Tilaluettelo (Energia-arvio)

Huoltohissiaula

P_{kokonaan} 44.0 W	A_{Tila} 9.53 m ²	Ominaisliitântäteho 4.62 W/m ² (Tila)
---------------------------------	------------------------------------------	-----------------------------------------------------

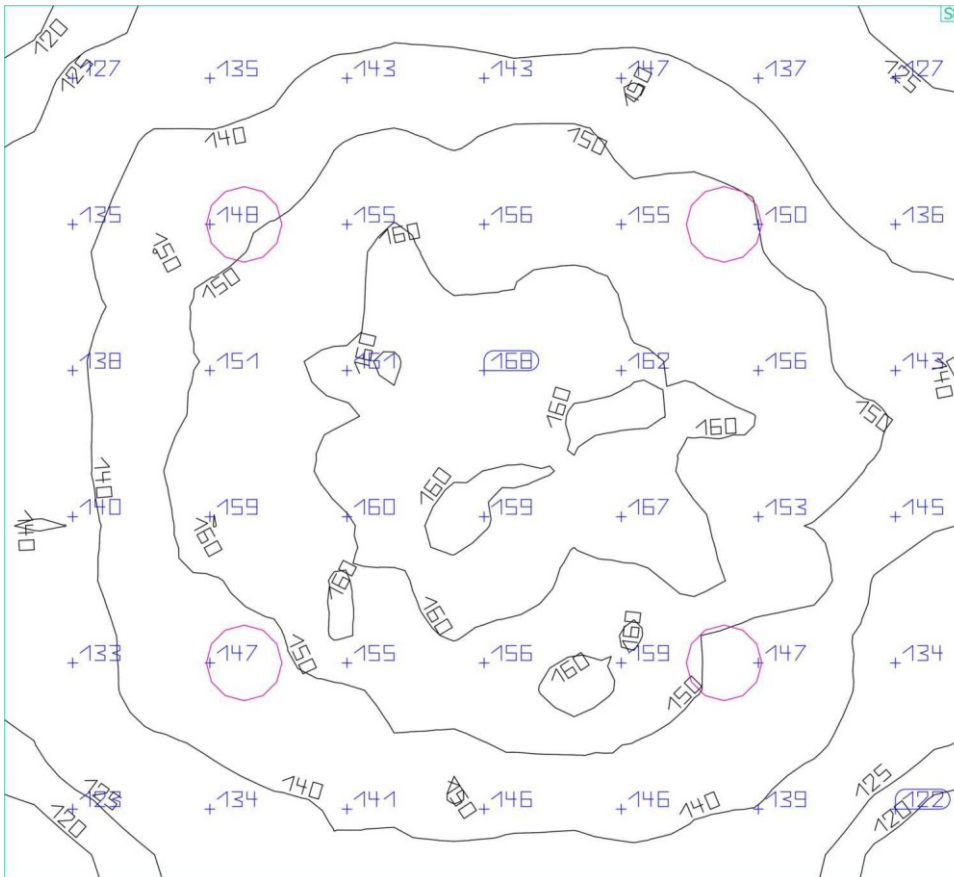
Kpl	Valmistaja	Tavarnumero	Tuotteen nimi	P	Φ_{Valaisin}
4	ENSTO	AVR254.111L	All-round luminaire	11.0 W	750 lm

Päähissiaula

P_{kokonaan} 132.0 W	A_{Tila} 29.50 m ²	Ominaisliitântäteho 4.47 W/m ² (Tila)
----------------------------------	-------------------------------------------	-----------------------------------------------------

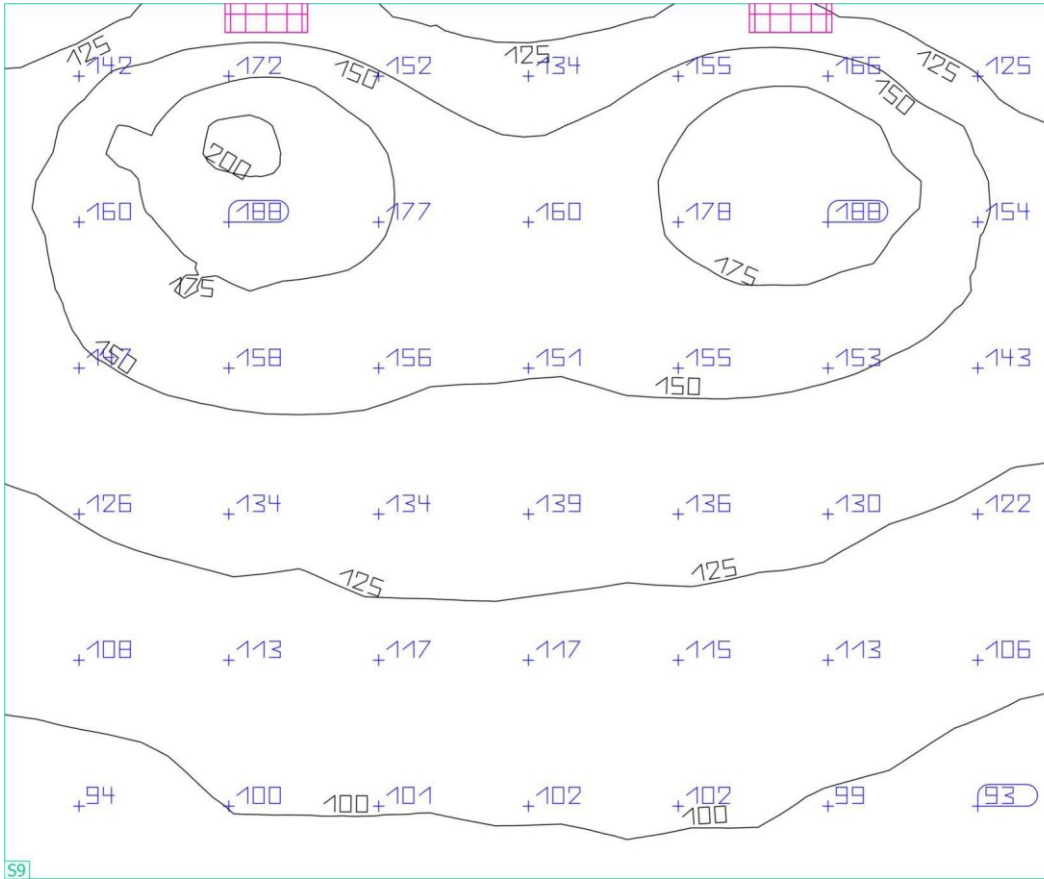
Kpl	Valmistaja	Tavarnumero	Tuotteen nimi	P	Φ_{Valaisin}
12	ENSTO	AVR254.111L	All-round luminaire	11.0 W	750 lm

Lattia



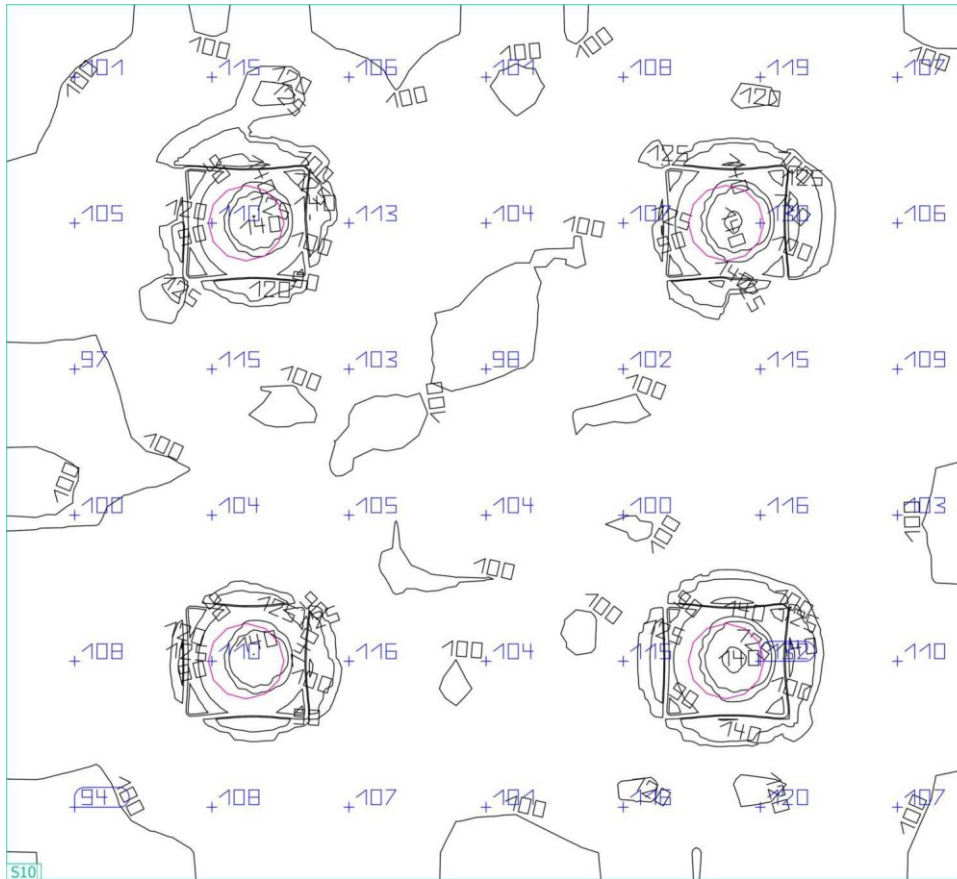
Ominaisuudet	\bar{E}	$E_{min.}$	E_{maks}	g_1	g_2	Hakemisto
Lattia Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva) Korkeus: 0.000 m	146 lx	115 lx	167 lx	0.79	0.69	S8

Seinä



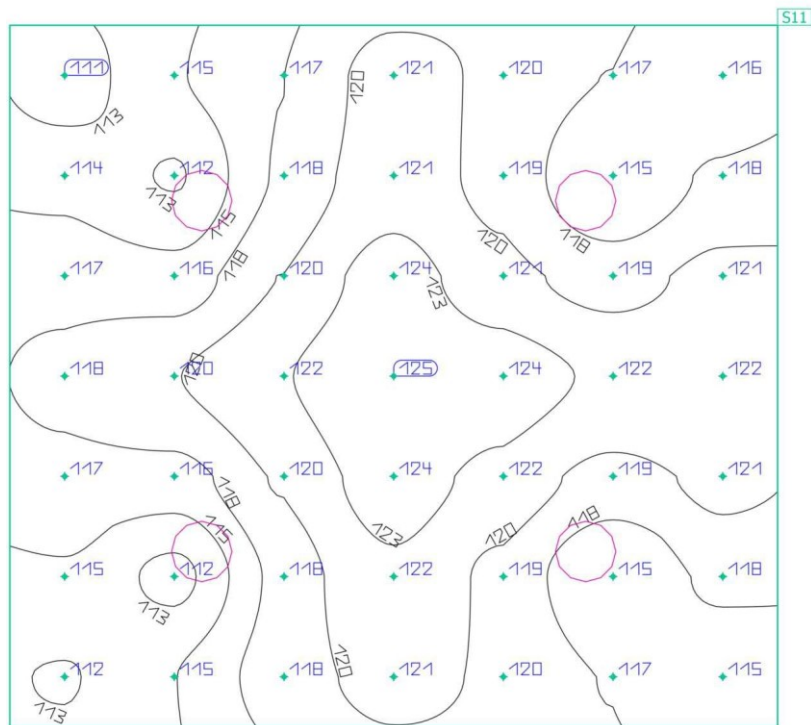
Ominaisuudet	\bar{E}	$E_{\min.}$	E_{\max}	g_1	g_2	Hakemisto
Seinä Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva) Korkeus: 1.350 m	135 lx	88.2 lx	203 lx	0.65	0.43	S9

Katto



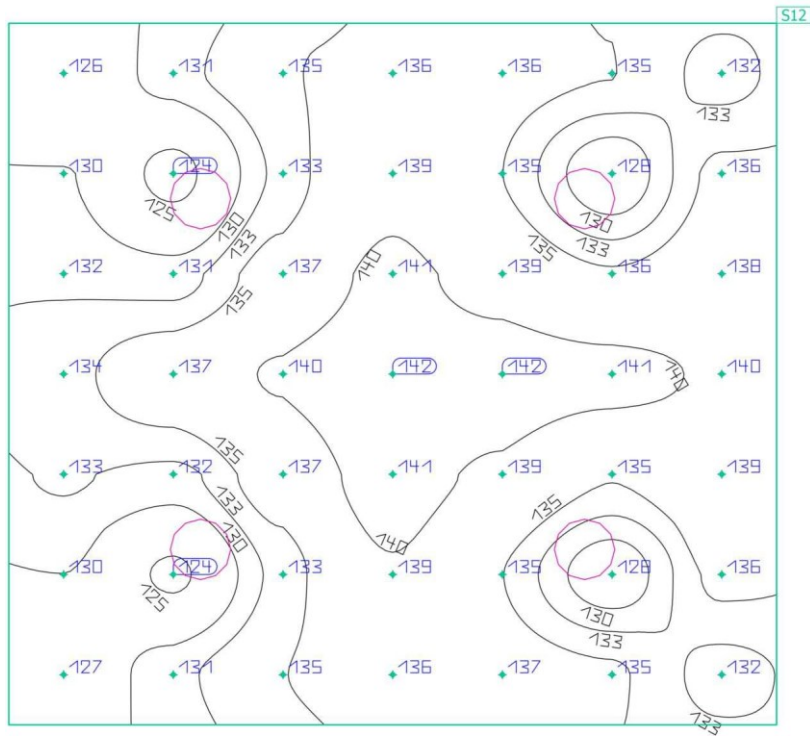
Ominaisuudet	\bar{E}	$E_{min.}$	E_{maks}	g_1	g_2	Hakemisto
Katto Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva) Korkeus: 2.700 m	108 lx	89.9 lx	149 lx	0.83	0.60	S10

$E_{m,z}$ 1,2 m



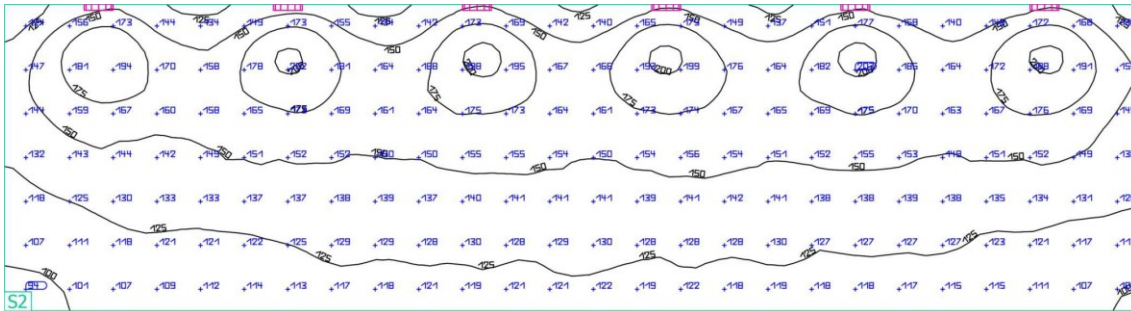
Ominaisuudet	Ø	min.	maks	g ₁	g ₂	Hakemisto
Emz 1,2 Sylinterivalaistusvoimakkuus Korkeus: 1.200 m	118 lx	111 lx	125 lx	0.94	0.89	S11

$E_{m,z}$ 1,6 m



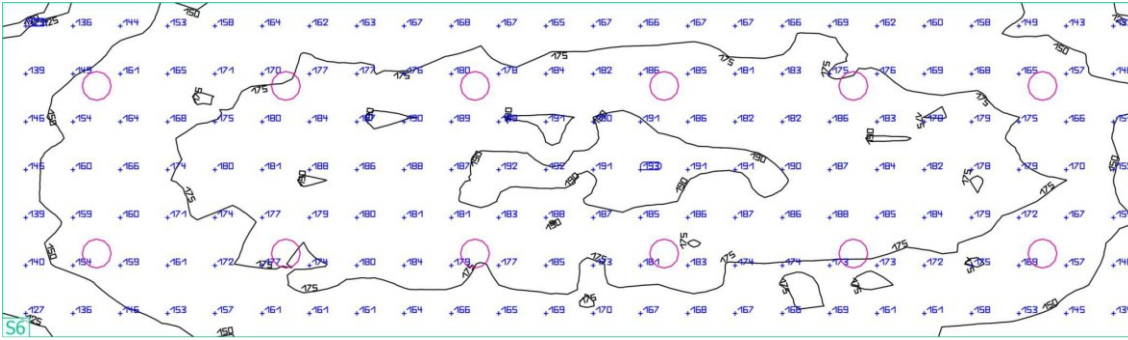
Ominaisuudet	Ø	min.	maks	g ₁	g ₂	Hakemisto
Emz 1,6 Sylinterivalaistusvoimakkuus Korkeus: 1.600 m	135 lx	124 lx	142 lx	0.92	0.87	S12

Seinä



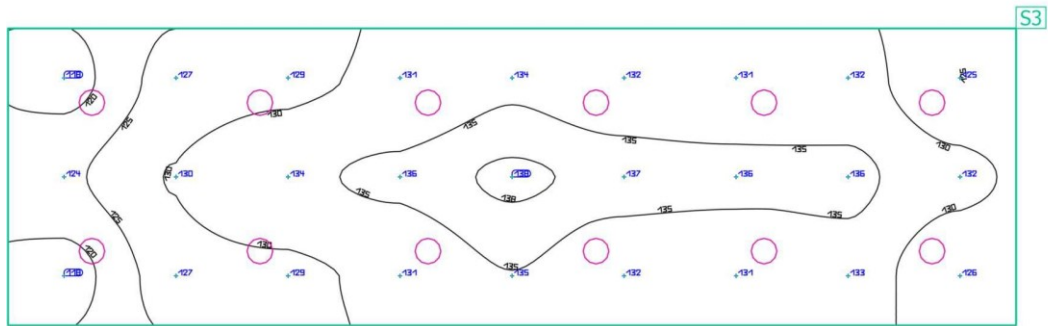
Ominaisuudet	Ē	E _{min.}	E _{maks}	g ₁	g ₂	Hakemisto
Seinä Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva) Korkeus: 1.350 m	146 lx	89.5 lx	205 lx	0.61	0.44	S2

Lattia



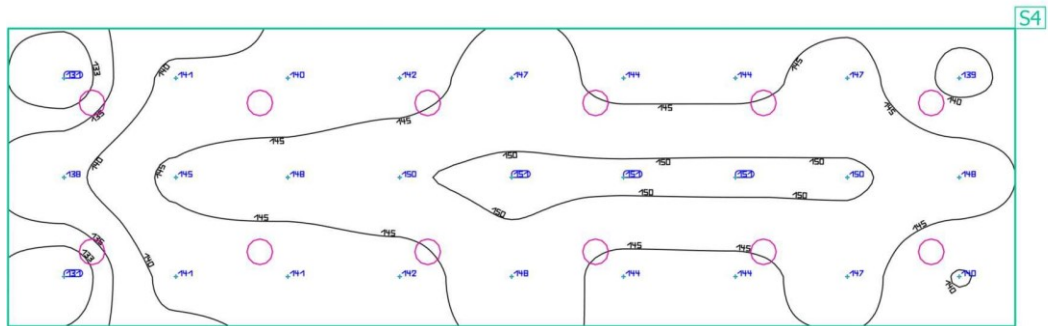
Ominaisuudet	\bar{E}	$E_{min.}$	E_{maks}	g_1	g_2	Hakemisto
Lattia Kohtisuora valaistusvoimakkuus (sopeutuva) Korkeus: 0.000 m	170 lx	116 lx	194 lx	0.68	0.60	S6

$E_{m,z}$ 1,2 m



Ominaisuudet	Ø	min.	maks	g ₁	g ₂	Hakemisto
Emz 1,2 Sylinterivalaistusvoimakkuus Korkeus: 1.200 m	130 lx	118 lx	138 lx	0.91	0.86	S3

$E_{m,z}$ 1,2 m



Ominaisuudet	Ø	min.	maks	g ₁	g ₂	Hakemisto
Emz 1,6 Sylinterivalaistusvoimakkuus Korkeus: 1.600 m	144 lx	131 lx	151 lx	0.91	0.87	S4