



Joni Saarinen

# Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen sairaalakohteiden valaistussuunnit- telussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

1.2.2024

# Tiivistelmä

Tekijä:	Joni Saarinen
Otsikko:	Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen sairaalakohteiden valaistussuunnittelussa
Sivumäärä:	40 sivua + 1 liite
Aika:	1.2.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Kiinteistöjen sähkötekniikka
Ohjaajat:	Ryhmäpäällikkö Heljä Korhonen Lehtori Ossi Hämäläinen

---

Insinööriyön tavoitteena oli selvittää, millä tavoin on mahdollista vähentää suunniteltavan sairaalakohteen valaistuksen hiilidioksidipäästöjä valaisinvalinnoilla. Aihetta tarkasteltiin pääasiassa suunnittelijan näkökulmasta, mutta työssä esitellään myös yleisesti erilaisia valaistuksen hiilidioksidipäästöjen aiheuttajia.

Työssä esiteltiin ensin perusteita valaistussuunnittelusta sekä valaistuksen aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä. Tämän jälkeen työssä tarkasteltiin erilaisia ratkaisuja valaistuksen hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen ottamatta huomioon niiden taloudellisia vaikutuksia.

Työtä varten luotiin päästölaskelmat kahdelle tilalle. Niiden tarkoituksena oli havainnollistaa eri tekijöiden merkitystä valaistuksen hiilidioksidipäästöjen synnyssä. Laskelmissa käsiteltävien tilojen valaistus mallinnettiin DIALux evo -suunnitteluohjelmalla ja itse päästölaskelmat tehtiin työn aikana luotujen Excel-laskentapohjien avulla. Näiden esimerkkien pohjalta pohdittiin lopulta hyviä lähestymistapoja erilaisten tilojen valaistuksen hiilijalanjäljen pienentämiseen.

Insinööriyön lopputuloksena selvisi, että valaistuksen hiilidioksidipäästöjen vähentäminen on kannattavaa lähestyä eri tavoin riippuen tilasta, johon valaistus toteutetaan. Valaistuksen suunnittelijan tulisi siis aloittaa tarkastelemalla tilan käyttötarkoitusta ja vasta tämän jälkeen valita tehokkaimmat tavat vähentää sen valaistuksesta syntyviä hiilidioksidipäästöjä.

Insinööriyö tehtiin Ramboll Finland Oy:n toimeksiannosta. Työ lisää yrityksen suunnittelijoiden tietoutta aiheesta ja helpottaa ympäristötekijöiden huomioimista tulevien sairaalakohteiden valaistuksen suunnittelussa. Ramboll Finland Oy:n on tämän insinööriyön avulla entistä helpompi tarjota asiakkailleen jatkossa hiilikädenjälkeä eli palvelua, joka vähentää asiakkaan hiilijalanjälkeä tulevaisuudessa.

Avainsanat: valaistus, valaistussuunnittelu, hiilidioksidipäästöt, sairaalasuunnittelu, hiilijalanjälki, hiilikädenjälki

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author: Joni Saarinen  
Title: Reducing Carbon Dioxide Emissions in Hospital Lighting Design  
Number of Pages: 40 pages + 1 appendix  
Date: 1 February 2024

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering  
Professional Major: Electrical Building Services  
Supervisors: Heljä Korhonen, Team Leader  
Ossi Hämäläinen, Senior Lecturer

---

The purpose of the thesis study was to examine ways to reduce CO<sub>2</sub> emissions from lighting in hospital buildings by luminaire selection. The subject was mostly studied from the designer's perspective.

The thesis begins with the basics of lighting design and information about the CO<sub>2</sub> emissions that result from lighting. After this, different solutions for reducing the resulting CO<sub>2</sub> emissions are reviewed.

Emission calculations for two spaces were created as a part of this thesis study. The aim of the calculations was to explore how different factors contribute to CO<sub>2</sub> emissions caused by lighting. The spaces were simulated with DIALux evo and the emission calculations were completed with Excel tables that were created for the study. Suitable approaches to reduce CO<sub>2</sub> emissions from lighting are discussed based on the calculations.

The findings indicate that the methods to reduce CO<sub>2</sub> emissions should be chosen based on the space in question. A lighting designer should therefore always start by studying the function of the space, and only after that choose the most efficient methods to reduce the CO<sub>2</sub> emissions.

The commissioner of the thesis study was Ramboll Finland Oy. This study aims to increase the awareness of the CO<sub>2</sub> emissions of lighting amongst the company's designers and help them take environmental factors into account in the lighting design of future hospital projects. The study will also support Ramboll Finland in providing carbon handprint to its customers, so they can reduce their own carbon footprint.

Keywords: lighting, lighting design, carbon emissions, hospital design, carbon footprint, carbon handprint

# Sisällys

## Lyhenteet ja määritelmät

1	Johdanto	1
1.1	Työn tavoite	1
1.2	Työn toteutus ja rakenne	2
2	Sairaalavalaistuksen suunnittelu	3
2.1	Valaistuksen suureita	3
2.2	Suunnittelijan tehtävät valaistussuunnitteluprosessissa	4
2.3	Sairaalan tilojen luokittelu	5
2.4	Sairaalavalaistuksen erityispiirteet	6
3	Valaisinten hiilidioksidipäästöt	8
3.1	Hiilidioksidipäästöt	8
3.2	Valmistuksen päästöt	10
3.3	Kuljetuspäästöt	11
3.4	Käytöstä syntyvät päästöt	11
3.5	Loppukäsittelyn ja korjaamisen päästöt	13
4	Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen valaisinvalinnoilla	14
4.1	Valaisimen hankinnasta johtuvien päästöjen vähentäminen	14
4.1.1	Materiaalien ja valmistuksen päästöt	15
4.1.2	Kuljetuksesta johtuvat päästöt	15
4.2	Käytön aikaisten päästöjen vähentäminen	15
4.2.1	Energiankulutus	17
4.2.2	Käyttöikä	17
4.3	Valaistuksen suunnittelijan vaikutusmahdollisuudet	18
5	Päästölaskelmat sairaalan tiloille	18
5.1	Päästölaskelmissa käytetyt valaisimet	20
5.2	Vastaanottohuone	22
5.3	Varastotila	28
5.4	Päästövertailun tulokset	33
6	Yhteenveto	35

Lähteet

37

Liitteet

Liite 1: DIALux-laskelmat

## Lyhenteet ja määritelmät

- Cradle-to-gate: Elinkaariarvioinnin malli. Tuotetta tarkastellaan raaka-aineiden valmistuksesta siihen asti, kun valmis tuote poistuu tehtaasta.
- Cradle-to-grave: Elinkaariarvioinnin malli. Tuotetta tarkastellaan sen koko elinkaaren ajalta, raaka-aineiden tuotannosta lopukäsittelyyn.
- EPD: *Environmental Product Declaration*. Dokumentti, jossa esitetään tuotteen aiheuttamat vaikutukset ympäristölle.
- Hiilidioksidiekvivalentti: Yhteismitta, jolla voidaan laskea eri kasvihuonekaasupäästöjen vaikutus kasvihuoneilmiön voimistumiseen.

# 1 Johdanto

EU on asettanut tavoitteekseen olla hiilineutraali vuoteen 2050 mennessä. Tämä tarkoittaa, ettei EU-alue tällöin tuottaisi enempää kasvihuonekaasuja kuin mitä siellä sijaitsevilla hiilinieluilla pystytään samassa ajassa sitomaan. Suomi tavoittelee hiilineutraaliutta jo vuodeksi 2035. [1, s. 9–15.] Suomen kaksi viimeisintä hallitusta on sitoutunut ilmastotoimiin sekä edistämään puhtaan energian käyttöä ja kehitystä [2, s. 33–37; 3, s. 134]. Viimeisimmän hallitusohjelman mukaan tavoitteena on puhtaan talouden kasvun tukeminen, saastuttavien ratkaisujen syrjäyttäminen ja luonnonvarojen kestävä hyödyntäminen [3, s. 134–135].

Kolmasosa Suomen kasvihuonekaasupäästöistä on seurausta rakentamisesta tai rakennusten ylläpidosta [1, s. 22]. Tämän takia rakennuksista johtuvia päästöjä on vähennettävä, mikäli ilmastotavoitteisiin halutaan päästä. Investointeja sairaalahankkeisiin on ollut viimeisen viiden vuoden aikana ennätyksellisen paljon. Tämä trendi näyttää olevan kääntymässä laskuun, mutta Maakuntien tilakeskuksen vuonna 2022 tekemän selvityksen [4] mukaan hankkeita olisi seuraavan kymmenen vuoden aikana käynnissä ja suunnitteilla 190 kappaletta. Näiden hankkeiden yhteenlaskettu kustannusarvio on noin kuusi miljardia euroa [4].

Valaistus kuluttaa noin 10 % kaikesta Suomessa käytettävästä sähköstä, mutta sairaalakohteissa kulutetusta sähköstä saattaa valaistukseen mennä jopa kolmasosa [5]. Sairaalat ovat yleensä suuria rakennuskohteita, joten niissä on myös määrällisesti paljon valaistusta ja siihen liittyviä laitteistoja. Tällaisessa tilanteessa pienelläkin muutoksella yksittäisen valaisimen tai tilan päästöissä voidaan saada aikaan suuria vähennyksiä rakennuksen kokonaispäästöihin.

## 1.1 Työn tavoite

Insinööriö tutkii mahdollisuuksia vähentää sairaalakohteiden valaistuksesta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä valaisinvaihtojen kautta. Aihetta tarkastellaan valaistuksen suunnittelijan näkökulmasta ja järjestelmän koko elinkaaren ajalta.

Tavoitteena on tuottaa raportti, joka esittelee aiheen yleisesti ja selvittää keinoja, joilla valaistuksen hiilidioksidipäästöjä on mahdollista vähentää. Tämän lisäksi työtä varten tehdään esimerkkilaskelmat kahdesta kuvitteellisesta sairaalan tilasta. Näiden laskelmien pohjalta tarkastellaan, miten eri tekijät vaikuttavat valaistuksen hiilijalanjäljen syntymiseen.

Työn toimeksiantaja on Ramboll Finland Oy. Työn tarkoituksena on tuoda esiin keinoja, joita yrityksen suunnittelijat voivat hyödyntää tulevilla sairaalarakentamisen projekteissa. Ramboll-konserni on ollut mukana suunnittelemassa useita vähähiilisiä kohteita. Tällainen on esimerkiksi Isoon-Britanniaan rakentuva Ev0-toimistorakennus, jonka tavoitteena on olla koko Britannian vähiten hiilidioksidipäästöjä tuottava uusi toimistorakennus [6]. Ramboll pyrkii jatkossakin kasvattamaan osaamistaan ympäristöystävällisessä rakentamisessa ja erottautumaan tällä tavoin kilpailijoistaan [7].

Ramboll on erityisen kiinnostunut vähähiilisistä sairaalarakentamisen ratkaisuista, sillä yritys on huomannut merkittävän osan sairaalan päästöistä olevan seurausta rakennuksen talotekniikasta. Aiemmissa selvityksissä on myös huomattu, että toimittaja- ja tuotevalinnoilla on mahdollista vähentää merkittäviä määriä talotekniikasta johtuvia päästöjä. [7.]

Olen itse työskennellyt Ramboll Finland Oy:n palveluksessa vuoden 2022 toukokuusta lähtien ja osallistunut pääasiassa sairaalaprojektien sähkö- ja valaistussuunnitteluun. Pyrin insinööriyön kautta kehittämään myös omaa osaamistani sairaalan valaistussuunnittelussa sekä ymmärtämään paremmin tekijöitä, jotka vaikuttavat valaistuksen hiilijalanjälkeen.

## 1.2 Työn toteutus ja rakenne

Insinööriyö toteutetaan selvityksenä, joka pohjautuu julkaistuun tutkimustietoon ja erilaisiin valaistusalan toimijoiden tekemiin julkaisuihin. Käytännönläheisen näkökulman saamiseksi haastatellaan lisäksi Ramboll Finland Oy:n avainhenkilöitä aihepiirin tiimoilta.



Työn alussa käydään läpi valaistuksen ja sen suunnittelun perusteita, jonka jälkeen käsitellään valaistuksen hiilidioksidipäästöjä. Eroja valaisimien päästöissä havainnollistetaan esimerkkilaskelmien kautta, jotka tehdään kahdelle erityyppiselle sairaalakohteen tilalle. Lopuksi esimerkkilaskelmien tuloksia verrataan työssä aiemmin käsiteltyjen päästönaiheuttajien kautta. Työssä ei tarkastella ratkaisujen taloudellisia vaikutuksia, vaan työ keskittyy ainoastaan valaistuksen ympäristövaikutuksiin.

## 2 Sairaalavalaistuksen suunnittelu

Valaistusta suunniteltaessa suunnittelijan tulee huomioida monia eri tekijöitä. Valaistuksen täytyy täyttää erilaisia standardien sille asettamia laatuvaatimuksia, kuten valaistusvoimakkuus, värintoistokyky, häikäisy ja tasaisuus. Näiden vaatimusten lisäksi valaistuksen tulee kuitenkin myös tukea tilan toiminnallisuutta, pysyä toiminnassa luotettavasti ja joissain tilanteissa mahdollistaa tilan muuttaminen toiseen käyttötarkoitukseen. [8.]

Tässä luvussa esitellään ensin muutamia yleisiä valaistukseen liittyviä suureita, jonka jälkeen käydään läpi suunnittelijan tehtäviä ja valaistussuunnittelun pääpiirteistä etenemistä. Luvun lopussa tarkastellaan sairaalatilojen luokittelua ja sairaalakohteiden eroavaisuuksia tavanomaisempiin rakennuskohteisiin verrattuna.

### 2.1 Valaistuksen suureita

Perimmäiset vaatimukset valaistukselle perustuvat standardien määrittämiin minimimääriin. Näitä arvoja mitataan erilaisilla valaistussuunnittelun suureilla.

Valovirta kuvaa valolähteestä lähtevän valon määrää tietyllä hetkellä. Lukema saadaan painottamalla valaisimen säteilyteho ihmissilmän tappisolujen suhteellisella herkkyydellä, eli tarkastellaan lähtevää valoa siten, kun ihminen sen havaitsee. Valovirta ilmoitetaan tunnuksella  $\Phi$  ja sen yksikkö on lumen (lm). [9, s 2.]

Valaistusvoimakkuus on tyypillisesti yleisin valaistukseen liitettävä suure. Se kuvaa pinnalle kohdistuvan valovirran tiheyttä suhteessa pinta-alaan, eli kuinka voimakkaasti tila tai pinta on valaistu [9, s. 2]. Sisävalaistusstandardissa SFS-EN 12464-1 [10] asetetaan vaatimuksia tilojen keskimääräiselle valaistusvoimakkuudelle. Valaistusvoimakkuus ilmoitetaan tunnuksella E ja sen yksikkö on luks (lx) [9, s. 2].

Valaistusvoimakkuuteen liittyen sisävalaistusstandardi [10] asettaa vaatimuksia myös valaistuksen tasaisuudelle. Tällä tarkoitetaan suurinta tilassa olevaa poikkeamaa keskimääräisestä valaistusvoimakkuudesta. Ei siis riitä, että valaistus on voimakas vain tietyissä kohdissa huonetta, vaan valon tulee myös jakautua tilassa riittävän tasaisesti. Tasaisuus ilmoitetaan tunnuksella  $U_0$ . [10, s. 12.]

Väriämpötilan avulla määritellään valaisimen tuottaman valon väri. Väriämpötila ilmoitetaan kelvineinä perustuen hehkusäteilijän lähettämän valon väriin kyseisessä lämpötilassa. Alhaisempi lämpötila tarkoittaa punertavampaa eli lämpimämmän väristä valoa. Lämpötilan noustessa sen lähettämä valo muuttuu valkoisemmaksi eli väriltään kylmemmäksi. Väriämpötilan yksikkö on kelvin (K). [9, s. 3.]

Valaisimen värintoistokykyä kuvataan värintoistoindeksien avulla. Värintoistoindeksejä on useita erilaisia, mutta kaikista yleisimmin käytetty on yleinen värintoistoindeksi eli Ra-indeksi. Valaisimen värintoistoindeksiä määritettäessä verrataan kahdeksan eri värin toistumista tarkasteltavassa valossa ja Ra-indeksin määrittämässä referenssivalossa. [9, s. 3.]

## 2.2 Suunnittelijan tehtävät valaistussuunnitteluprosessissa

Onnistuneesta valaistussuunnittelusta vastaa tietysti valaistuksen suunnittelija. Suunnittelija pitää huolen siitä, että suunniteltu valaistus täyttää tilan valotekniset vaatimukset ja on standardien mukainen. Suunnittelijan tulee myös tuntea edellisessä luvussa mainitut suureet ja kyetä ottamaan ne suunnittelussa huomioon tarpeen mukaan. [11.]

Suunnittelijalla ei kuitenkaan ole usein vapaita käsiä toteuttaa valaistusta täysin haluamallaan tavalla. Hänen on huomioitava esimerkiksi tilan katon malli, joka vaikuttaa merkittävästi siihen, millaisia valaisimia tilaan pystytään asentamaan. Arkkitehdillä saattaa myös olla näkemys siitä, miltä valaisinten tulisi ulkoisesti näyttää, jolloin valaistuksen suunnittelija pyrkii omalla suunnittelullaan täyttämään nämä toiveet. [11.]

Kun suunnittelija on tehnyt tilan valaistussuunnitelmat, on sähköurakoitsijalla yleensä mahdollisuus tarjota suunnittelijan ehdottamien valaisimien tilalle omia vaihtoehtoisia tuotteitaan. Tällöin suunnittelijan on selvitettävä, ovatko valaisimet valoteknisiltä ominaisuuksiltaan vastaavat, ja hyväksyttävä tai hylättävä ehdotetut valaisimet. Mikäli suunnittelija hylkää urakoitsijan ehdotuksen, on valinta perusteltava selkeästi. [11.]

### 2.3 Sairaalan tilojen luokittelu

Sairaalakohteet pitävät sisällään monia erityyppisiä tiloja, joille on omia standardien määrittämiä vaatimuksia. ST-kortti ST 51.79, Ohje lääkintätilojen sähköasennuksiin [12, s. 4], jakaa lääkintätilat käyttötarkoituksensa perusteella kolmeen ryhmään, jotka ovat ryhmät 0, 1 ja 2.

Ryhmän 0 tiloja ei ole tarkoitettu sähkökäyttöisten lääkintälaitteiden tai -järjestelmien käyttöön. Nämä tilat kattavat henkilökunnan ja asiakkaiden käytössä olevia tiloja, joissa ei yleensä ole tarkoitus tehdä hoitotoimenpiteitä. Ryhmän 0 tiloja ovat yleisesti esimerkiksi varastot, taukotilat, ruokalat, WC-tilat ja suihkutilat. [12, s. 4.]

Ryhmän 1 tilat ovat hoitotiloja, joissa tehdään toimenpiteitä sähkökäyttöisillä hoitolaitteilla tai -järjestelmillä. Näissä tiloissa sähkönsyötön katkeaminen ei kuitenkaan aiheuta välitöntä vaaraa potilaan terveydelle. Ryhmän 1 tiloja ovat usein esimerkiksi tavalliset potilas- ja vastaanottohuoneet. [12, s. 4.]

Ryhmän 2 tiloissa sähkökäyttöisiä lääkintälaitteita käytetään esimerkiksi teho- hoitoon tai sydämenläheisiin toimintoihin. Näissä tiloissa sähkönsyötön katkea- minen saattaisi aiheuttaa välittömän vaaran potilaan terveydelle. Ryhmän 2 ti- loja ovat usein esimerkiksi tehohoidon tilat ja leikkaussalit. [12, s. 4.]

## 2.4 Sairaalavalaistuksen erityispiirteet

Sairaalamoiteiden valaistusjärjestelmissä on useita tekijöitä, jotka saavat ne poikkeamaan tavallisen toimitilan valaistuksesta. Tämä johtuu siitä, että sairaa- lan valaistus pitää suunnitella samanaikaisesti kahdelle eri käyttäjäryhmälle, asiakkaille ja henkilökunnalle. Valaistuksen pitää olla mahdollisimman ergono- minen ja häiritä potilaita mahdollisimman vähän. Samalla sen tulee kuitenkin mahdollistaa hoitotoimenpiteiden tehokas ja turvallinen suorittaminen sekä muuten hyvät työskentelyolosuhteet henkilökunnalle [11.]

Sairaalan valaistukselle on tämän lisäksi myös merkittävästi enemmän teknisiä vaatimuksia kuin tavallisen toimitilan valaistukselle. Ryhmien 1 ja 2 tiloissa va- laistuksen sähkönsyötön tulee tapahtua vähintään kahden eri jakelujärjestelmän avulla, joista toisen on oltava liitettynä kiinteistön varavoimajärjestelmään [12, s 20–21]. Tällä varmistetaan sairaalan toiminnan jatkuminen myös sähkökatkojen tai muiden sähkönjakelun häiriöiden aikana. Erityisen vaativissa tiloissa, kuten leikkaussaleissa tai synnytysosaston kriittisillä työpaikoilla, valaistuksen olisi häi- riötilanteessakin syytä olla tasoltaan ja laadultaan sama kuin normaalissa tilan- teessa. [13, s. 25.]

Sisävalaistusstandardi SFS-EN 12464-1 [10] esittää valaistuksen määrälle ja laadulle minimiarvoja, joihin kohteessa on päästävä niitä vastaavissa tiloissa. Standardin mukaiset vaatimukset sairaalan yleisvalaistukselle ovat samaa suu- ruusluokkaa kuin tavallisten toimistotilojen. Hoitotoimenpidealueilla vaaditaan usein suurempaa valaistusvoimakkuutta ja korkeampaa värinotoistoindeksiä. [10, s. 42–52.] Korkea vaadittu värinotoistoindeksi johtuu esimerkiksi siitä, ettei va- laistus vääristäisi potilaan kasvojen väriä ja näin hankaloittaisi potilaan tervey- dentilan arviointia [11].

Alempana sijaitsevilla taulukoissa 1 ja 2 on nähtävissä SFS-EN 12464-1 -standardin [10] määrittämiä vaatimuksia valaistuksen minimiarvoille. Taulukko 1 sisältää toimistotiloille asetettuja vaatimuksia.

Taulukko 1. SFS-EN 12464-1. Taulukko 34 Toimistot. [10, s. 42.]

Tila, tehtävä tai toiminta	$E_m$ (lx) Vaa- dittu	$E_m$ (lx) Muu- tettu	$U_0$	$R_a$	$R_{UGL}$
Kirjoittaminen, konekirjoitus, lukeminen, tietojenkäsittely	500	1000	0,6	80	19
Neuvottelu ja kokoushuoneet	500	1000	0,6	80	19

Taulukossa 2 on vaatimuksia terveydenhoitotiloissa sijaitsevien tutkimushuoneiden valaistukselle. Yleisvalaistus kuvaa yleistä vaadittua valaistustasoa tilassa. Tutkimus- ja hoitotoimenpiteet asettavat vaatimukset niihin tilan kohtiin, joissa hoitotoimenpiteitä ja tutkimuksia suoritetaan.

Taulukko 2. SFS-EN 12464-1. Taulukko 48 Terveydenhoitotilat – Tutkimushuoneet (yleinen). [10, s. 50.]

Tila, tehtävä tai toiminta	$E_m$ (lx) Vaa- dittu	$E_m$ (lx) Muu- tettu	$U_0$	$R_a$	$R_{UGL}$
Yleisvalaistus	500	750	0,6	80	19
Tutkimus- ja hoitotoimenpiteet	1000	1500	0,7	90	19

$E_m$ :n vaadittu ja muutettu arvo kuvaavat vaatimuksia tilan valaistusvoimakkuudelle. Vaadittu arvo on minimi, johon tilan valaistuksella tulee päästä. Muutettua arvoa käytetään, kun tilaan tarvitaan tavallista enemmän valaistusta, esimerkiksi jos siellä työskentelee henkilöitä, joiden näkökyky on keskimääräistä heikompi.  $U_0$  ilmaisee tilassa vaaditun valaistuksen tasaisuuden, eli kuinka paljon huoneen huonoiten valaistu kohta saa poiketa keskiarvosta.  $R_a$  ilmoittaa

valaistuksen värintoiston minimivaatimuksen tiloissa.  $R_{UGL}$  tarkoittaa suurinta sallittua kiusahäikäisyn arvoa, eli kuinka paljon valaistus saa maksimissaan aiheuttaa katsojalle häikäisyä. [10, s. 10–19.]

Kuten taulukoista 1 ja 2 on nähtävissä, tutkimushuoneen yleisvalaistuksen vaaditut arvot ovat lähes identtiset toimistotilojen arvojen kanssa. Ero kuitenkin näkyy tutkimus- ja hoitotoimenpidealueilla, joissa vaaditaan toimistotiloihin verrattuna korkeampaa valaistusvoimakkuutta, tasaisuutta ja värintoistoindeksiä.

### 3 Valaisinten hiilidioksidipäästöt

Ennen siirtymistä valaistuksen hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen käydään läpi, mitä hiilidioksidipäästöt ovat ja kuinka ne syntyvät. Tässä luvussa käsitellään aluksi hiilidioksidipäästöjen vaikutusta ja sitä, kuinka niiden määrää tänä päivänä mitataan. Tämän jälkeen esitellään kohta kohdalta valaisimen elinkaaren aikana syntyviä hiilidioksidipäästöjä.

#### 3.1 Hiilidioksidipäästöt

Hiilidioksidipäästöillä tarkoitetaan ihmisen toiminnan seurauksena ilmakehään vapautunutta hiilidioksidia. Ilmakehässä oleva hiilidioksidi estää auringon säteilyn tuomaa lämpöenergiaa karkaamasta pois maapallolta. Teollistumisesta lähtien ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on kasvanut poikkeuksellisen nopeasti ja olikin vuoteen 2020 mennessä 48 % korkeampi kuin ennen 1750-lukua. [14.]

Tuotteen, yrityksen tai henkilön tuottamia ilmastopäästöjä kuvataan usein hiilijalanjäljen avulla. Hiilijalanjälki ottaa huomioon useita muitakin kasvihuonekaasuja kuin hiilidioksidin, mutta se ilmoitetaan usein hiilidioksidiekvivalentin muodossa. [15.] Ilmoitettujen hiilijalanjälkien suuruusluokkaa voi kuitenkin usein olla hankala ymmärtää ilman selkeää vertailukohtaa. Tämän takia voi olla helpompi suhteuttaa päästöt esimerkiksi yhden bensiinilitran palamisessa syntyvään määrään hiilidioksidia. Motivan [16] mukaan litra bensiiniä tuottaa palaessaan 2350 grammaa hiilidioksidia.

Hiilijalanjäljen lisäksi on nykyään otettu hiilidioksidipäästöjen mahdolliseksi mitariksi myös hiilikädenjälki, jolla kuvataan, miten tuote tai palvelu auttaa käyttäjää vähentämään omaa hiilijalanjälkeään. Hiilikädenjälki kuvaa siis tuotteen, palvelun tai prosessin myönteisiä ympäristövaikutuksia. Toisin kuin hiilijalanjäljelle, hiilikädenjäljelle ei voida laskea absoluuttista arvoa. Hiilikädenjäljen suhteellinen vaikutus voidaan kuitenkin laskea vertaamalla tuotetta esimerkiksi tällä hetkellä käytössä olevaan tuotteeseen. [17.]

Energian tuotannosta syntyviä hiilidioksidipäästöjä havainnollistetaan päästökertoimien avulla. Jokaiselle sähköntuotannon muodolle on arvioitu oma päästökerroin Tilastokeskuksen ja Energiateollisuus ry:n toimesta. Koko Suomen sähköntuotannon päästökerroin lasketaan jokaisen tuotantomuodon päästökertoimen ja tuotantomäärän tulojen summana, joka lopulta jaetaan koko Suomen sähköntuotannolla. Suomessa kulutetun sähkön päästökertoimessa on tämän lisäksi huomioitu ulkomaille viety ja ulkomailta tuotu sähköenergia käyttäen eri maiden sähkölle määriteltyjä päästökertoimia. [18.] Taulukossa 3 on ilmoitettu vuosittaisia sähköntuotannon päästökertoimia vuosilta 2018–2022. Taulukosta voidaan huomata, että päästökertoimet ovat olleet tällä aikavälillä pääasiassa laskussa, vaikka kulutetun sähkön päästökerroin nousikin vuodesta 2020 vuoteen 2021. Tämä tarkoittaa, että sähköntuotannossa on viime vuosina otettu käyttöön vähäpäästöisempiä menetelmiä onnistuneesti.

Taulukko 3. Suomen sähköjärjestelmän päästökertoimet [18].

<b>Vuosi</b>	<b>Suomen sähköntuotannon päästökerroin (gCO<sub>2</sub>/kWh)</b>	<b>Suomessa kulutetun sähkön päästökerroin (gCO<sub>2</sub>/kWh)</b>
2018	101	119
2019	87	101
2020	74	72
2021	71	91
2022	55	60

Päästökertoimet ovat keskiarvoja, joten ne eivät todellisuudessa tarkasti vastaa tietyn kiinteistön sähkönkulutuksen päästöjä [19]. Erityisen suuri ero sähkönkulutuksen todellisissa päästöissä voidaan saada aikaan, mikäli kiinteistöllä on merkittävästi omaa päästötöntä sähköntuotantoa, esimerkiksi aurinkopaneelien muodossa. Taulukossa 3 esitetyt päästökertoimet eivät myöskään huomioi energiantuotannon elinkaaren aikaisia päästöjä laskennassa. Tämän seurauksena tuuli-, vesi-, aurinko- ja ydinvoima on määritelty täysin päästöttömiksi, mikä ei todellisuudessa pidä paikkaansa. [18.] Näistä seikoista huolimatta päästökertoimet ovat hyödyllinen työkalu sähköä kuluttavan laitteen tai laitteiston päästöjen kokoluokan arvioimisessa.

### 3.2 Valmistuksen päästöt

Valaisimen valmistuksesta aiheutuviin hiilidioksidipäästöihin kuuluvat niin raaka-aineista ja komponenttien valmistuksesta kuin kokoonpanostakin seuraavat päästöt. Näistä suurimman osan päästöistä tuottaa raaka-aineiden ja komponenttien tuotanto. Valmistuksesta johtuvat päästöt lasketaan yleensä cradle-to-gate-tyylisesti, jolloin huomioon otetaan vaiheet raaka-aineiden tuotannosta siihen asti, kun valmis tuote poistuu sen valmistaneesta tehtaasta. [20, s. 28–29.]

Merkittävä osa valmistuksen tuottamista päästöistä on usein seurausta valaisimen runkoon käytettävien materiaalien hankinnasta. Tämä johtuu siitä, että valaisimen runko sisältää yleensä määrällisesti eniten materiaalia koko valaisimessa. [20, s. 29.]

Valaisimen kokoonpanovaiheessa suurin osa päästöistä syntyy valmistukseen tarvittavan energian tuotannosta. Mitä enemmän uusiutuvia luonnonvaroja käytetään sähkön tuottamiseen, sitä pienemmät valaisimen valmistuksen päästöt ovat. Tämän takia valmistuspaikalla on merkitystä valaisimen valmistuksen päästöihin. [20, s. 31.]



### 3.3 Kuljetuspäästöt

Valaisimen kuljetuksesta syntyvät hiilidioksidipäästöt vaihtelevat merkittävästi riippuen kuljetustavasta ja valaisimen kulkemasta matkasta. Eniten päästöjä tuottaa painavien osien, kuten valaisimen rungon tai sen raaka-aineiden, kuljettaminen. [20, s. 28–32.]

Mitä kauempaa valaisimet tai niiden raaka-aineet joudutaan kuljettamaan, sitä suuremmat ovat kuljetuksesta syntyvät kasvihuonepäästöt. Tärkeä tekijä päästöjen määrässä on kuitenkin myös kuljetustapa. Esimerkiksi suhteellisen lyhyen matkan lentorahti voi tuottaa huomattavasti enemmän päästöjä kuin pidempi kuljetus laivalla. Jokaista kuljetettua tonnia kohden vähiten päästöjä syntyy laivalla tapahtuvista kuljetuksista ja eniten lentokoneella tapahtuvista. [21.]

Itse kuljetusmenetelmän lisäksi päästöjä tuottavat myös kuljetettavien tuotteiden pakkaukset. Päästöjen kannalta pakkausten tulisi olla mahdollisimman kevyitä, pieniä ja valmistettu ympäristöystävällisistä materiaaleista. [22.] Näiden lisäksi on kuitenkin hyvä huomioida pakkauksen kestävyys, sillä jos kuljetettava tuote vahingoittuu, se menee pahimmassa tapauksessa kokonaan hukkaan. Jos tällaista hävikkiä on runsaasti, se voi kasvattaa syntyviä hiilidioksidipäästöjä merkittävästi jo pelkästään korvaavien tuotteiden valmistamisesta syntyvillä päästöillä. [23.]

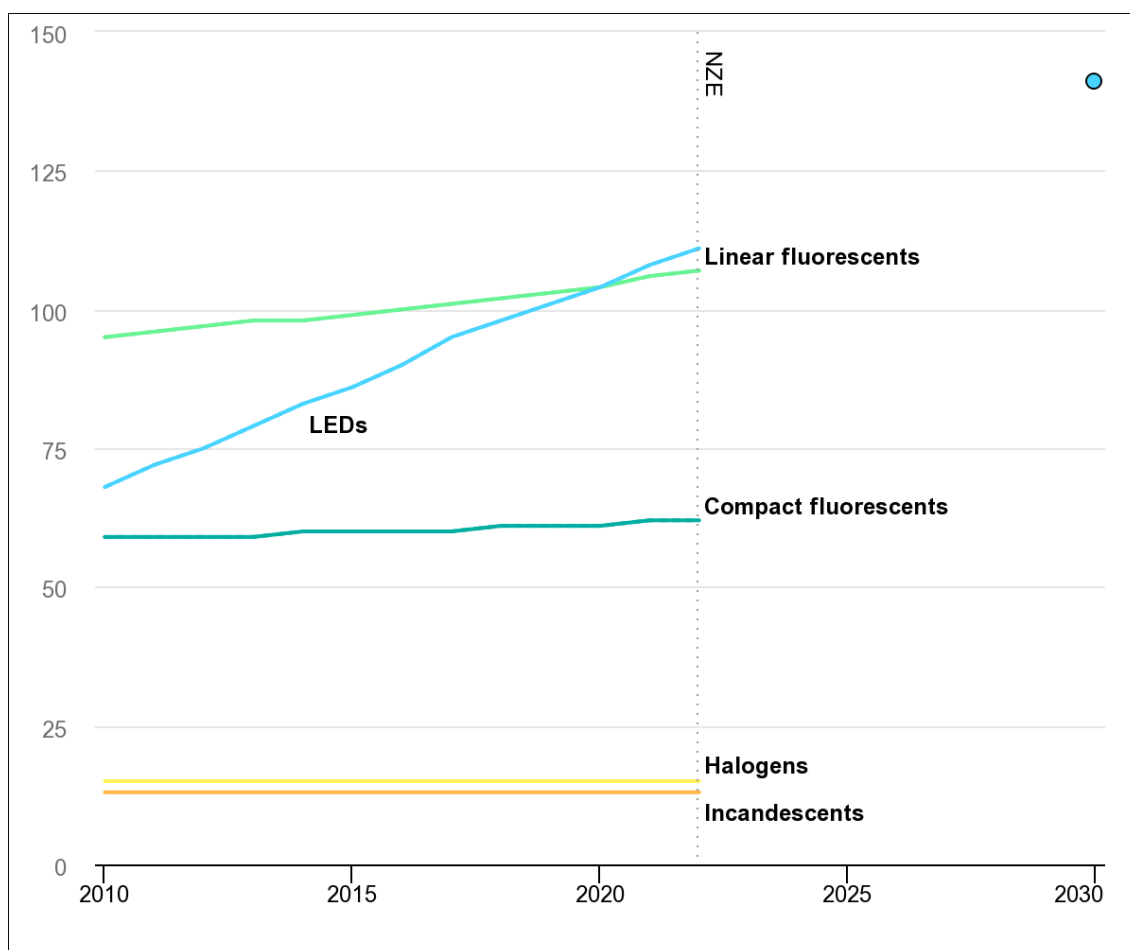
### 3.4 Käytöstä syntyvät päästöt

Valaisinten käyttö tuottaa suurimman osan niiden aiheuttamista päästöistä. Käytön osuus päästöistä riippuu kuitenkin suuresti kolmesta tekijästä: valaisimen käyttöiästä, valaisimen energiatehokkuudesta ja valaisimen kuluttaman sähköenergian tuotantotavasta.

Mitä pidempi valaisimen käyttöikä on, sitä suurempi osuus sen tuottamista päästöistä on seurausta valaisimen käytöstä verrattuna muihin osa-alueisiin [24,

s. 1014–1015]. Nykyinen LED-valaisimien tyypillinen elinikä vaihtelee 35 000–100 000 tunnin välillä. [25.]

LED-valaisinten keskimääräinen energiatehokkuus on kasvanut jatkuvasti viime vuosien aikana. International Energy Agency (IEA) [26] arvioi, että vuonna 2010 LED-valaisimien keskimääräinen hyötysuhde oli noin 68 lm/W ja vuoteen 2022 mennessä keskimääräinen hyötysuhde oli noussut jo lukemaan 111 lm/W. Tämän seurauksena LED-teknologia on viime vuosien aikana mennyt energiatehokkuudessa ohi jopa loisteputkivalaisimista [26]. Kuvassa 1 näkyy erilaisten valaistusteknologioiden keskimääräisen energiatehokkuuden kehitys vuosina 2010–2022.



Kuva 1. Valaistuksen hyötysuhde teknologioittain [26].

Kuvasta huomataan, että halogeeni- ja hehkuvalonlähteiden energiatehokkuus on monta kertaa heikompi kuin LED- ja loistevalonlähteillä. Halogeeni- ja hehkuvalonlähteiden energiatehokkuudessa ei myöskään ole tapahtunut muutoksia tarkasteltavalla aikavälillä.

Käytöstä aiheutuviin päästöihin vaikuttaa suuresti myös se, millä tavalla valaisimen käyttämä sähköenergia on tuotettu. Suurimmaksi osaksi fossiilisilla polttoaineilla toimivien valaisinten päästöt ovat merkittävästi suuremmat kuin pääasiassa uusiutuvia luonnonvaroja hyödyntävien.

### 3.5 Loppukäsittelyn ja korjaamisen päästöt

Valaisimen tullessa elinkaarensa päähän se poistetaan käytöstä sopimuksen mukaisesti. Tyypillisesti kiinteistön omistaja vastaa valaisinten asianmukaisesta hävittämisestä.

Hiilidioksidipäästöjen lisäksi valaisinten käsittely niiden elinkaaren lopussa on tärkeää muidenkin ympäristötekijöiden näkökulmasta. LED-valaisimet sisältävät niin arvokkaita kuin haitallisiakin metalleja, jotka on tärkeä saada talteen ennen valaisimen päättymistä kaatopaikalle. [27, s. 624.]

LED-valaisimen ikääntyessä sen kyky tuottaa valoa heikkenee. Kun valovirta laskee liian matalalle tasolle, valaisimet täytyy vaihtaa tilan tehokkaan käytön jatkumiseksi. Valaisin saattaa myös vikaantua ja lopettaa toimintansa ennen takuuajan päättymistä. [28.] Näissä tapauksissa sopimuksen mukaan valaisin joko korjataan tai sen tilalle toimitetaan uusi kappale. Mikäli valaisin joudutaan korvaamaan, se tuottaa hankinnastaan johtuvat päästöt uudelleen. Valaisin on myös mahdollista korjata, mistä seuraa yleensä vähemmän päästöjä kuin valaisimen täydellisestä korvaamisesta uudella. Korjaamisen aiheuttamissa päästöissä on kuitenkin myös suuria eroja. Jos valaisin täytyy kuljettaa alkuperäiseen tehtaaseen huollettavaksi, esimerkiksi toiseen valtioon, aiheutuu korjaamisesta kaksinkertaisesti kuljetuspäästöjä uuteen valaisimeen verrattuna. [29.]

## 4 Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen valaisinvalinnoilla

Edellisessä luvussa tarkasteltiin hiilidioksidipäästöjä ja sitä, miten ne syntyvät valaistuksen hankinta- ja käyttövaiheessa. Tässä luvussa käydään läpi, millaisia menetelmiä voidaan soveltaa näiden päästöjen vähentämiseksi käsitellen samat kohdat kuin edellisessäkin luvussa. Aluksi tarkastellaan keinoja hankinnasta ja kuljetuksesta aiheutuvien päästöjen vähentämiseksi, minkä jälkeen tehdään saman käytön ja loppukäsittelyn aikaisten päästöjen osalta. Luvun lopussa pohditaan, miten valaistuksen suunnittelija voi olla mukana vähentämässä projektin hiilijalanjälkeä.

### 4.1 Valaisimen hankinnasta johtuvien päästöjen vähentäminen

Vaikka valaisimen päästöistä suurin osa syntyy käyttövaiheessa, on hyödyllistä ottaa huomioon myös keinot, joilla vähennetään valaisimen hankinnasta syntyviä päästöjä. Suunnittelija tai kuluttaja ei juurikaan pysty vaikuttamaan tässä osiossa läpi käytävien tekijöiden toteutumiseen, mutta näiden asioiden tiedostaminen voi auttaa tekemään hiilijalanjäljeltään paremman valinnan valaisinta hankkiessa.

Valaisinta valitessa tulisi ottaa huomioon ainakin itse valaisimen valmistuksesta ja kuljetuksesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt. Valaisimen valmistuksesta aiheutuvilla päästöillä tarkoitetaan tässä tapauksessa materiaalien hankinnasta ja valaisimen kokoamisesta syntyviä päästöjä.

Tällainen päästöjen vertailu onnistuu helpoiten, mikäli valaisimen valmistaja on julkaissut dokumentin, jossa on tiedot tuotteen ympäristövaikutuksista. Tällainen on esimerkiksi EPD-ympäristöseloste, joka on standardoitu tapa esittää tuotteen vaikutukset ympäristölle. EPD:ssä ilmoitetut tiedot on saatu tekemällä tuotteelle elinkaarianalyysi koko sen elinkaaren ajalta, eli cradle-to-grave-tyylillä, minkä jälkeen kolmas osapuoli vielä todentaa EPD:n luotettavaksi. [30.]

#### 4.1.1 Materiaalien ja valmistuksen päästöt

Monet valalaisinvalmistajat kokeilevat nykyään uusia tapoja vähentää valaisimen valmistuksesta seuraavia päästöjä. Vähähiilisempiä ja kierrätysmateriaaleista valmistettuja valaisimia onkin noussut esille useilta merkittäviltä valmistajilta, esimerkiksi Glamoxilta, Fagerhultilta ja Pursolta.

Tuotteen valmistaminen esimerkiksi kierrätysalumiinista voi tuottaa jopa yli 70 % vähemmän kasvihuonepäästöjä primäärisestä alumiinista valmistettuun tuotteeseen verrattuna [31, s. 6; 32, s. 6]. Tällaisia keinoja on mahdollista soveltaa esimerkiksi valaisimen rungon valmistukseen. Monet valmistajat ovatkin jo ottaneet kierrätettyjä materiaaleja osaksi valaisimiensa tuotantoa.

#### 4.1.2 Kuljetuksesta johtuvat päästöt

Valaisinten kuljetuksesta johtuvia päästöjä voidaan vähentää hankkimalla valaisimet lähempää ja sellaisista paikoista, joissa voidaan hyödyntää vähäpäästöisempiä kuljetusmenetelmiä. Käytännössä tämä tarkoittaa valaisimen toimittajan ja valmistajan sijainnin ottamista huomioon valaisinvalinnoissa.

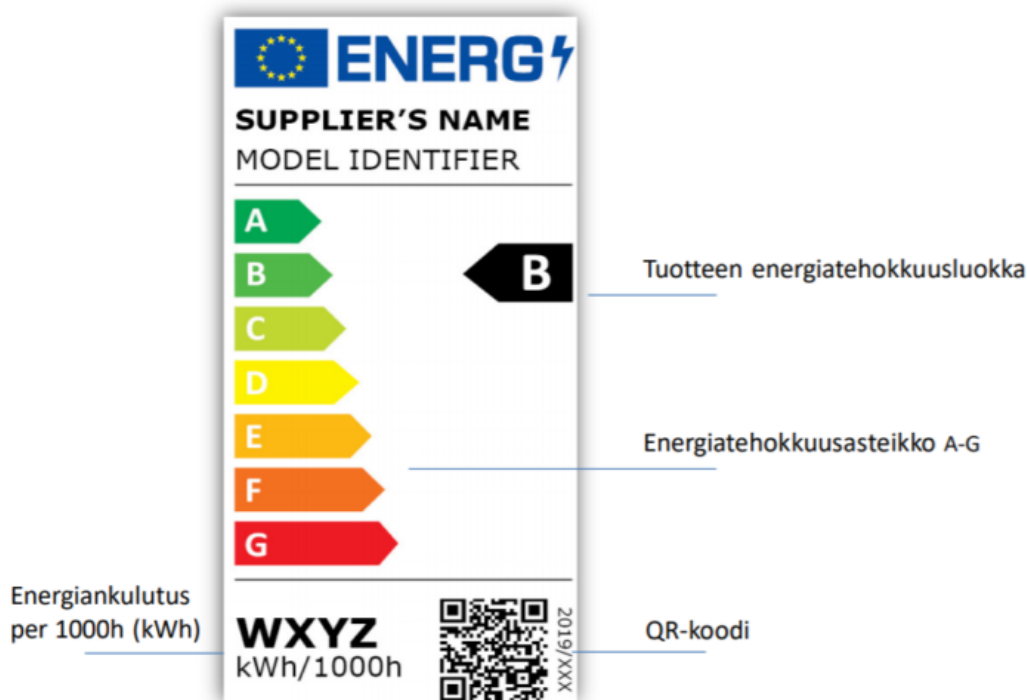
Kuljetuspäästöjä voidaan vähentää myös vähentämällä tarvittavien matkojen määrää. Hankkimalla pidemmän käyttöiän omaavia valaisimia voidaan tehokkaasti vähentää korvaavien valaisinten aiheuttamia kuljetuspäästöjä. Tämän lisäksi voi olla hyödyllistä tarkastella, voiko valaisimet korjata itse kohteessa, esimerkiksi tilaamalla valmistajalta tarvittavat varaosat. Tällöin valaisinta ei tarvitsisi lähettää korjattavaksi valmistajan tehtaaseen, mistä aiheutuisi päästöjä valaisimen kuljettamisesta tehtaaseen ja takaisin. [29.]

#### 4.2 Käytön aikaisten päästöjen vähentäminen

Käytön aikaisia päästöjä voidaan vähentää käyttämällä energiatehokkaampia valaisimia ja pitämällä huolta, että valaisimet ovat päällä vain tarvittavina

ajanjaksoina. Energiatohokkuus riippuu itse valaisimesta, mutta valaisinten käyttöaikaan vaikutetaan valaistuksen ohjauksella.

EU:n vuonna 2009 asettama ekosuunnitteludirektiivi [33] pyrkii ohjaamaan valmistajia kohti energiatehokkaampien tuotteiden valmistamista ja myyntiä. Tätä edistetään käytännössä sähkölaitteille myönnettävän energiamerkin avulla. Energiamerkki osoittaa asteikolla A–G, kuinka energiatehokas laite on sen tyyppisille laitteille määritellyn asteikon mukaan. Valaisimille ja lamputille on asetettu omat vaatimuksensa, joiden perusteella niille määritetään energiamerkki. Energiamerkki mahdollistaa kuluttajalle tuotteiden vertailun ilman tarpeettoman tarkkaa perehtymistä aiheeseen sekä antaa asteikon avulla tälle tietoa siitä, kuinka suurta energiatehokkuuksia laitteilta tulisi odottaa. [34.] Kuvassa 2 on nähtävissä nykyisen mallinen valonlähteen energiamerkki.



Kuva 2. Nykyisen mallinen valonlähteen energiamerkki [34].

Energiamerkissä ilmoitetaan tuotteen malli, valmistaja, energiatehokkuusluokka ja energiankulutus. Energiatohokkuusluokka ilmoitetaan asteikolla A–G, joista A on paras ja G huonoin luokka. [34.]

#### 4.2.1 Energiankulutus

Käytön aikaiset päästöt vähenevät valaisimen energiatehokkuutta kasvattamalla. Tilanteesta riippuen voi olla jopa ympäristöystävällisempää vaihtaa vanhat valaisimet uudempiin ennen niiden tarkoitetun elinajan päättymistä.

Valaisimen käytöstä syntyvien päästöjen selvittäminen ei kuitenkaan ole mahdollista pelkkää energiankulutusta tarkastelemalla. Käytetyn tehon lisäksi on otettava huomioon, millä tavalla valaisimen käyttämä sähköenergia on tuotettu. Energiankulutuksen päästöjä arvioitaessa sähköntuotannon päästökertoimien tarkastelu onkin erittäin hyödyllistä.

Energiankulutuksesta johtuvia päästöjä on myös mahdollista vähentää ottamalla käyttöön erilaisia ohjausmenetelmiä. Päivänvalo- ja läsnäolo-ohjaukset ovat erittäin hyödyllisiä työkaluja tähän, mutta sairaalakohteissa niiden hyödyntäminen voi olla haasteellista. Läsnäolo-ohjausta käytettäessä tulee olla täysin varma siitä, etteivät valot katkea kesken hoitotilanteen. Tällöin katkaisuaika pitää säätää todella pitkäksi tai automaattista valaistuksen katkaisua ei tulisi tiloissa käyttää. Nämä tekijät rajoittavat läsnäolo-ohjauksen hyötyjä energiankulutuksen vähentämisessä. [11.] Hoitotiloissa voi myös olla vaikeaa saada riittävän tasaista valaistusta luonnonvaloa hyödyntämällä, mikä hankaloittaa päivänvalo-ohjauksen hyödyntämistä.

#### 4.2.2 Käyttöikä

Epäkuntoon menneen valaisimen korvaamisen sijasta on yleensä ympäristöystävällisempää korjata se. Ideaalitulanteessa tämä korjaus tapahtuu kohteessa, jolloin kuljetuspäästöt ja häiriö kiinteistön käytölle minimoidaan. [35.] Jotta tämä olisi mahdollista, valaisimen tulisi olla mahdollisimman helppo purkaa osiin ja korjata.

Valaisimen elinkaaren tullessa loppuunsa voidaan hävittämisen sijasta harkita muita vaihtoehtoja. Useat valaisinvalmistajat tarjoavat nykyään käyttäjälle

mahdollisuutta palauttaa valaisimet valmistajalle, joka vastaa sen jälkeen tuotteiden asianmukaisesta käsittelystä. Tällöin valaisimet voidaan joko kierrättää tehokkaasti tai palauttaa korjaamisen jälkeen käyttöön.

#### 4.3 Valaistuksen suunnittelijan vaikutusmahdollisuudet

Valaistuksen suunnittelija ei voi itse vaikuttaa valaisimen tuotantoon tai ominaisuuksiin, mutta hänen on mahdollista vaikuttaa kohteeseen valittaviin valaisimiin. Se, kuinka paljon suunnittelijalla on mahdollisuuksia kohteen valaistuksen hiilijalanjälkeen vaikuttaa, riippuu merkittävästi myös projektin tilaajasta. Jos tilaaja on ilmoittanut olevansa kiinnostunut vähähiilisten ratkaisujen toteuttamisesta, voi valaistuksen suunnittelijan olla helppo ehdottaa ja saada ehdotuksiin läpi hiilijalanjälkeä pienentävien ratkaisujen osalta. Toisaalta, vaikka projektissa ei olisi alun perin ilmaistu erityistä kiinnostusta vähähiilisten valaistusratkaisujen hakemiseen, voi valaistuksen suunnittelijan olla hyvä sellaisia ehdottaa. On mahdollista, ettei projektissa ole osattu tunnistaa tällaisia mahdollisuuksia ennen kuin niitä tuodaan suunnittelussa esille. [11.]

Suunnittelijalla voikin olla suuri rooli kohteen valaistuksen hiilijalanjäljen rajoittamisessa. Hän saattaa olla ainoa henkilö koko projektissa, joka tietää, millaisia ratkaisuja kannattaa kohteessa soveltaa valaistuksen hiilijalanjäljen minimoimiseen. [11.] Valaistuksen suunnittelijan on siis mahdollista tarjota asiakkaalle hiilikädenjälkeä eli palvelua, joka vähentää asiakkaan hiilijalanjälkeä tulevaisuudessa.

## 5 Päästölaskelmat sairaalan tiloille

Tässä luvussa esitetään päästölaskelmat kahdelle erityyppiselle tilalle, joita sairaaloista yleisesti löytyy. Ensimmäinen esimerkkilaskelma tehdään vastaanottohuoneelle (luokka 1) ja toinen tyyppilliselle sairaalan varastolle (luokka 0). Käsiteltäväksi valittiin luokkien nolla ja yksi tilat, sillä luokan kaksi tilat kattavat monesti pienemmän osan sairaalan tiloista. Laskelmien avulla havainnollistetaan,



millaisia päästövähennyksiä on mahdollista saada aikaiseksi valaisimen valinnalla ja millä tavoin tila, johon valaistus suunnitellaan, vaikuttaa lukemiin.

Huoneiden valaistus suunnitellaan SFS-EN 12464-1:2021 -standardin [10] vaatimusten mukaan ja mallinnetaan DIALux evo -suunnitteluohjelman avulla. Tällä lailla voidaan varmentaa huoneiden valaistuksen olevan tilalle sopiva ennen kuin tarkastellaan valaistuksen päästöjä tiloissa. DIALux evo on laajasti käytössä oleva valaistussuunnitteluohjelma, jonka avulla voidaan mallintaa sisä- ja ulkotilojen valaistusta. Ohjelmalla voidaan luoda mallinnettavia tiloja ja niihin voidaan tuoda laskettavaksi oikeita valonlähteitä lataamalla niiden tiedot esimerkiksi valaisimen valmistajan sivuilta. [36.]

Tarkastelu tehdään 30 vuoden ajanjaksolle ja valaisinten päästöjä vertaillaan niiden koko elinkaaren ajalta. Laskelmissa huomioitavat päästölähteet ovat valaistuksen hankinta ja uusiminen sekä valaistuksen käyttämä sähköenergia.

Valaistuksen hankinnassa huomioidaan valaisinten valmistuksesta ja kuljetuksesta syntyvät päästöt. Valaisimen uusimisesta syntyvät päästöt lasketaan samalla tavalla kuin hankinnan, mutta riippuu valaisimesta, kuinka monta kertaa valaistus tulee tarkasteluajanjaksolla uusiksi. Kulutetun sähköenergian päästöt määritellään tilakohtaisesti tilan arvioidun viikoittaisen käyttöajan perusteella. Laskelmien päästöt on ilmoitettu hiilidioksidiekvivalenttina, eli vaikka päästöjen määrä on ilmoitettu tyylillä kgCO<sub>2</sub>, on laskelmissa otettu huomioon hiilidioksidin lisäksi myös muita kasvihuonekaasuja.

Kuljetuksen päästöt laskettiin CarbonCaren sivuilta löytyvällä laskurilla [37], joka on toteutettu kansainvälisen EN ISO 14083:2023 -standardin mukaisesti. Laskuriin syötetään lähetyksen paino ja reitit, mitä kautta lähetys kulkee. Tämän jälkeen ohjelma laskee päästöt, joita kuljetuksesta ja siinä käytetyn polttoaineen hankinnasta syntyy. [37.] Laskelmissa käsiteltävien tilojen katsotaan sijaitsevan Helsingissä, jonne kuljetukset valaisimen tuottaneista maista sitten määritetään.

## 5.1 Päästölaskelmissa käytetyt valaisimet

Esimerkkituloissa käytettävät valaisimet eivät ole minkään tietyn valmistajan tuotteita, ja niiden arvot on valittu menetelmin, jotka kuvataan myöhemmin tässä luvussa. Molemmissa tiloissa vertaillaan kolmea valaisinta, jotka ovat vuonna 2022 Suomessa valmistettu valaisin, vuonna 2018 Euroopassa valmistettu valaisin ja vuonna 2013 Kiinassa valmistettu valaisin. Valaisimet ovat malliltaan 600 x 600 mm:n moduulivalaisimia, jotka on tarkoitettu asennettavaksi samankokoisista paneeleista rakennettavaan alakattoon.

Valaisimen valmistuksesta syntyvät päästöt on valittu vastaamaan AFRYn tekemässä raportissa [20] käsitellyn referenssivalaisimen cradle-to-gate -hiilijalanjälkeä. Valaisin on esimerkki yleisestä valaisinteollisuuden tuotteesta, raportin tapauksessa kyseessä on viiden jalan pituinen lineaarivalaisin. [20.] Vaikka valaisimen tyyppi eroaa tässä työssä käsiteltävistä valaisimista, on kyseessä miltei samanpainoinen LED-valaisin. Tällöin valaisimien valmistamiseen tarvitaan lähes sama määrä materiaaleja, jolloin laskelmissa käytettyjen valaisinten valmistuspäästöt ovat ainakin suuntaa antavia.

Valaisinten energiatehokkuudet on valittu luvun 3.4 kuvassa 1 näkyvien IEA:n arvioiden mukaan. Yksi valaisin edustaa hyötysuhteeltaan vuoden 2022 LED-valaisinta, toinen vuoden 2018 LED-valaisinta ja kolmas vuoden 2013 LED-valaisinta. [26.] Todellisuudessa on helppo löytää huomattavasti paremmatkin hyötysuhteet omaava valaisin, mutta vertailu haluttiin perustaa yhdestä lähteestä löytyviin keskimääräisiin tuloksiin. Toinen vaihtoehto olisi ollut mielivaltaisesti valita arvoja valaisimille oikeiden tuotteiden pohjalta, mutta valitulla metodilla pyrittiin havainnollistamaan sähkönkulutuksen eroja realistisemmin.

Energiankulutuksesta syntyvät hiilidioksidipäästöt on laskettu käyttäen Fingridin julkaisemia sähkönkulutuksen päästökertoimia [18]. Päästökertoimet ovat olleet jatkuvassa laskussa, ja aluksi olikin ajatuksena sisällyttää laskelmaan kerroin kuvastamaan tätä vuosittaista päästökertoimien laskua. Lopulta tultiin kuitenkin siihen tulokseen, ettei käytettävissä ole riittävää tietoa tällaisen kertoimen

muodostamiseen. Vääränlainen kertoimen arviointi saattaisi myös muuttaa laskennan lopputulosta merkittävästi. Tämän takia päästöt lasketaan vain yhdelle vuodelle Fingridin ilmoittamalla vuoden 2022 päästökertoimella. Tulosten tarkastelussa on siis huomioitava, ettei tämän luvun kertominen 30 vuodella tule antamaan realistista kuvaa sähkönkulutuksen päästöistä pitkällä aikavälillä. Tulokset ovat suuntaa antavia pohjautuen yhden vuoden tilanteeseen.

Valaistuksen huoltovälit määrittyvät valaisimen eliniän mukaan. Tilaesimerkeissä kaikki valaisimet vaihdetaan uusiin niiden eliniän lopussa. Valaisinten eliniät on valittu yleensä markkinoilla tavattavien LED-valaisinten eliniän perusteella. Arvot eivät siis ole sidoksissa valaisimen valmistusvuoteen tai -paikkaan, vaan ne ovat yleisiä tavattavia LED-valaisinten elinikä järjestettynä vertailun parhaimmasta heikoimpaan.

Valaisimen valmistuspaikat on otettu mukaan työhön kuljetuspäästöjen tarkastelemiseksi. Vertailussa ovat kotimaisen, eurooppalaisen ja muualta maailmasta tuodun valaisimen kuljetuksesta syntyvät päästöt. Jyväskylä valikoitui ensimmäiseksi paikaksi sen, suurista asutuskeskuksista katsottuna, keskeisen sijainnin perusteella. München valittiin tarkastelun eurooppalaiseksi kaupungiksi sen keskeisen sijainnin perusteella, mutta myös siksi, että sen sijainti sisämaassa pakottaa huomioimaan kuljetuksen niin maalla kuin myös meriteitse. Muualta maailmasta paikaksi valikoitui Kiina, sillä se vastaa selvästi suurimmasta osasta valaisinten ulkomaankauppaa maailmanlaajuisesti [38]. Kiinasta kaupungiksi valittiin Kanton, sillä siellä sijaitsee yksi Kiinan suurimmista ulkomaankaupan satamista [39].

Arvot valaisimille määritettiin näin siitä syystä, että valaisimia haluttiin vertailla järjestyksessä parhaimmasta heikoimpaan. Todellisuudessa yksi valaisin todennäköisesti ei ole paras vaihtoehto näiden kaikkien mittareiden mukaan, mutta esimerkkien on tarkoitus havainnollistaa mahdollisia päästövähennyksiä niin eri osa-alueilla kuin kokonaisuudessaankin.

## 5.2 Vastaanottohuone

Ensimmäiseksi tilaesimerkiksi valittiin tyypillinen sairaalan vastaanottohuone, jossa tehdään vain yksinkertaisia tutkimuksia. Huone on pinta-alaltaan 15,75 m<sup>2</sup>, ja siinä on 600 x 600 mm:n paneeleista rakennettu alakatto. Huone valaistaan neljällä valovirrallaan 4000 lm:n valaisimella. Huoneen valaistus suunnitellaan täyttämään SFS- EN 12464-1:2021 -standardin vaatimukset tutkimushuoneiden yleisvalaistukselle, jotka näkyvät taulukossa 4.

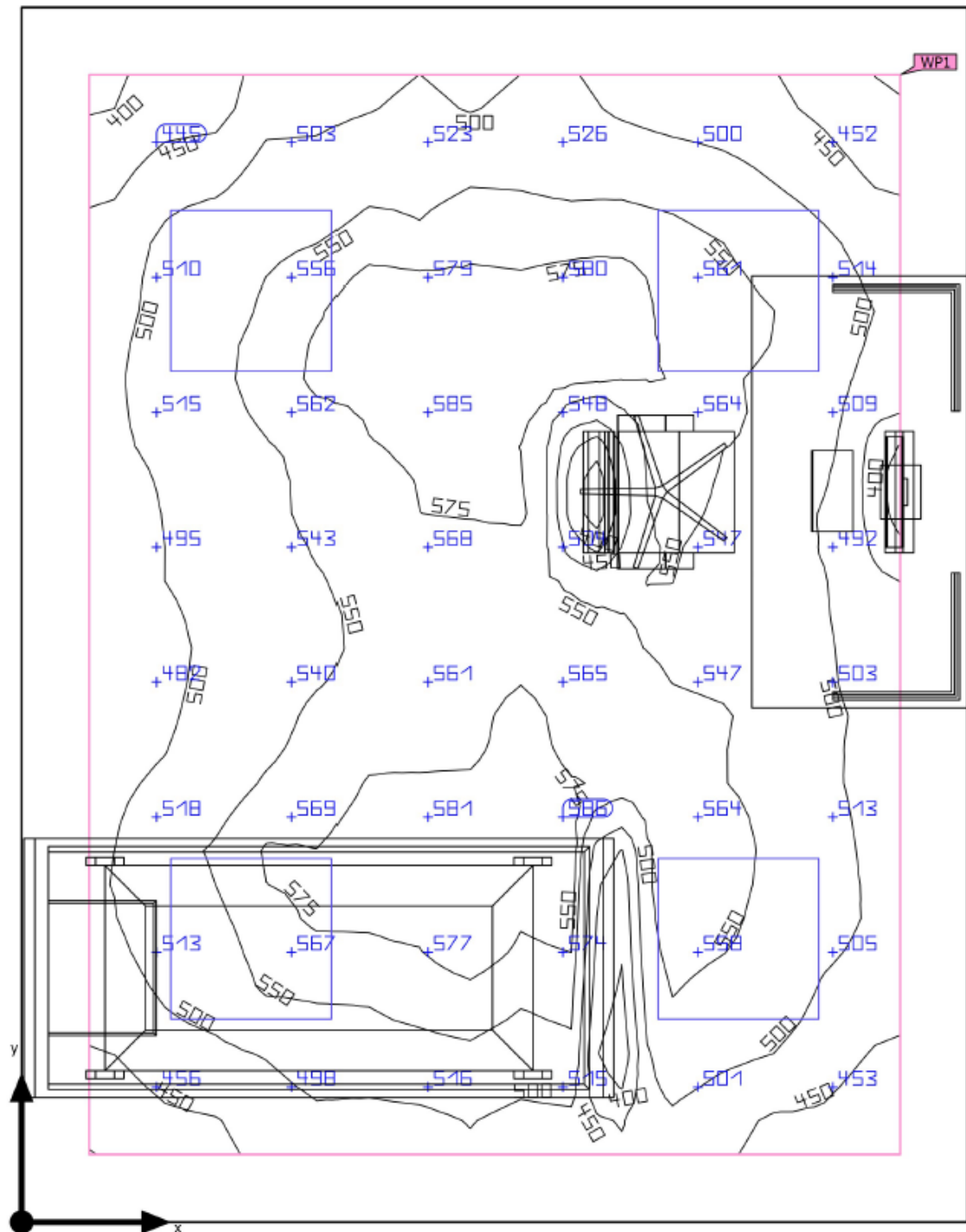
Taulukko 4. SFS-EN 12464-1:2021 -standardin vaatimukset vastaanottohuoneen valaistukselle [10, s. 50].

Tila, tehtävä tai toiminta	$E_m$ (lx) Vaa- dittu	$E_m$ (lx) Muutettu	$U_0$	$R_a$	$R_{UGL}$
Tutkimushuoneet, Yleisvalaistus	500	750	0,6	90	19

Vastaanottohuoneen DIALux-laskelmassa (liite 1) käytettiin valaisimina M-Lightin MBL Panel 600x600 32W OP 3900 lm -valaisimia. Mallinnetuilla valaisimilla on tällöin 100 lm pienempi valovirta kuin päästölaskelmissa käsitellyillä. Valaistus on siis päästölaskelmien valaisimilla toteutettuna hieman tehokkaampi kuin DIALux-laskelmissa on esitetty. Tämä ei kuitenkaan haittaa, sillä DIALux-laskelmat tehdään vain todentamaan valaistus tilaan kelpaavaksi, eikä siitä saatuja arvoja käytetä itse päästölaskennassa. Valaisimet valittiin, sillä tältä valmistajalta löytyi molempiin tiloihin sopivat valaisimet mallinnettavaksi. Tällöin ainaakaan valaisinten malli ei vääristäisi tilojen DIALux-laskelmia suhteessa toisiinsa.

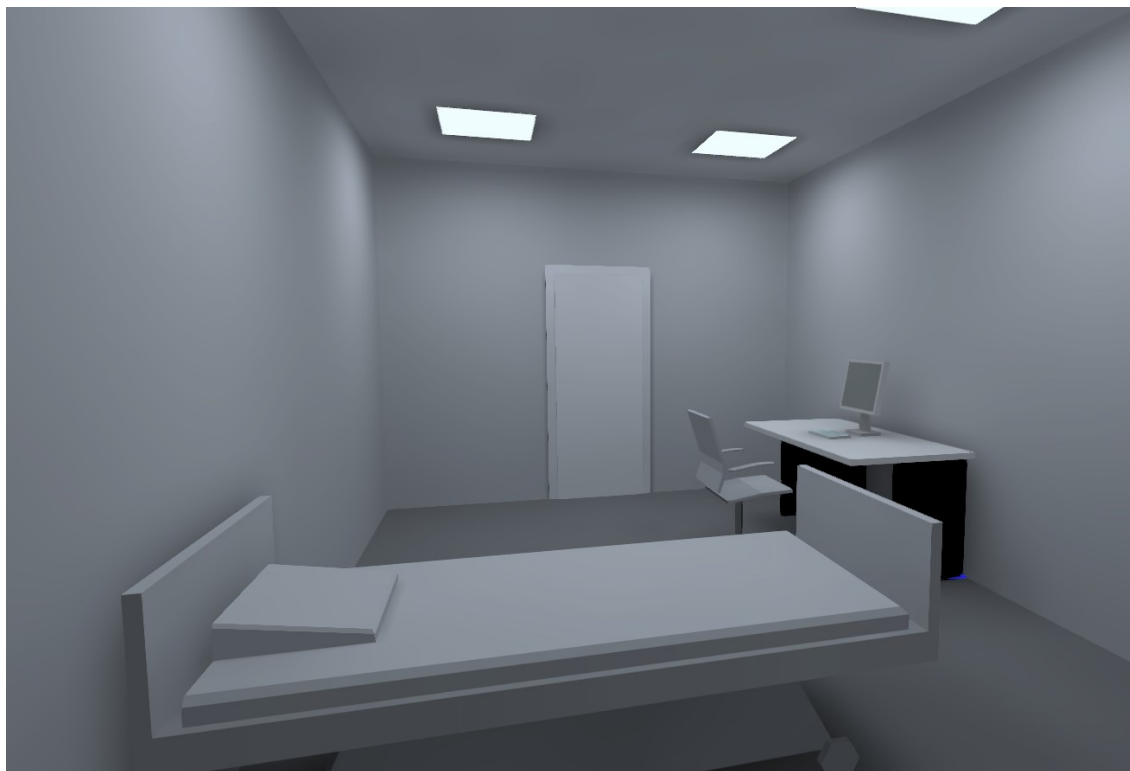
Kuvassa 3 näkyvällä sijoittelulla tilan keskimääräiseksi valaistusvoimakkuudeksi saatiin  $E_m = 526$  lx ja tasaisuudeksi  $U_0 = 0,75$ . Arvot saatiin simuloimalla tilan valaistus DIALux evon avulla. Valaistuksen laskentataso oli tässä tilassa 0,8 m:n korkeudessa ja kuvastaa tavanomaisen työskentelytason korkeutta. Valaisimet näkyvät kuvassa sinisinä neliöinä, ja käyrät kuvaavat valaistusvoimakkuutta huoneen eri kohdissa. Nämä arvot täyttävät standardin vaatimukset.

Valaistus suunnitellaan vain vaaditun arvon mukaan, sillä tutkimuksia varten ti-  
lassa olisi tarkoitus olla erillinen tutkimusvalaisin.



Kuva 3. Vastaanottohuoneen DIALux-laskelma.

Kuvassa 4 näkyy DIALux evo -suunnitteluohjelmalla tehty 3D-mallinnus laske-  
tusta vastaanottohuoneesta. Tila mallinnettiin työtä varten käyttäen hyväksi  
DIALux evon kirjastosta löytyviä valmiita objekteja.



Kuva 4. Vastaanottohuoneen 3D-näkymä mallinnettuna DIALux evo -suunnitte-  
luohjelmalla.

Tämän jälkeen on tärkeää määrittää tilan käyttöaste. Käyttöasteella mitataan sitä, kuinka kauan tilan valaistus on päällä vuorokauden aikana. Vastaanottoti-  
lan käyttöaste arvioitiin Ympäristöministeriön julkaiseman *Valaistuksen tehonti-  
heyden ja tarpeenmukaisuuden huomioiminen E-luvun laskennassa* -oppaan  
[40] pohjalta. Oppaan sisältöä ei ole tarkoitettu käytettäväksi yksittäisten tilojen  
käyttöasteen arviointiin, mutta siitä saadaan suuntaa antava arvo, jolle perustaa  
laskelmien lukemat. Sairaalarakennukset ovat siis oppaan mukaan käytössä jo-  
kaisena päivänä kellon ympäri. Tilojen käyttöasteeksi opas arvioi 0,6, jota sovel-  
letaan esimerkeissä vastaanottohuoneelle. Tällöin päivittäinen vastaanottohuo-  
neen käyttöaika on 14,4 tuntia. [40, s. 6.]

Taulukossa 5 on nähtävissä erittely siitä, miten käyttöaste muodostetaan oppaassa. Kellonaika määrittää, millä aikavälillä rakennus on vuorokauden aikana käytössä. Käyttöaika sen sijaan ilmoittaa, kuinka monena tuntina vuorokaudessa, ja päivänä viikossa, rakennusta tyypillisesti käytetään. Lopulta käyttöaste määrittää, kuinka suuren osan ajasta tilat ovat tuona mahdollisena käyttöaikana käytössä. [40, s. 6.]

Taulukko 5. Rakennuksen vakioitu käyttö. Ympäristöministeriön asetus (1010/2017) uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. [40, s. 6.]

Käyttötarkoitukseluokka	Kellonaika	Käyttöaika h/24h	Käyttöaika d/7d	Käyttöaste
Sairaala	00.00–24.00	24	7	0,6

Seuraavaksi vertaillaan laskelmassa käytettäviä valaisimia (taulukko 6). Valaisin 1 on vertailun uusin ja kotimainen valaisin. Valaisin 2 on malliltaan noin 5 vuotta vanhempi Saksassa valmistettu valaisin. Valaisin 3 on malliltaan noin 10 vuotta vanha Kiinassa valmistettu valaisin. Kaikki valaisimet on pakattu yksittäin ja painavat pakkauksessaan noin 5 kiloa.

Taulukko 6. Vastaanottohuoneen vertailtavat valaisimet.

Valaisin	Valaisin 1	Valaisin 2	Valaisin 3
Teho (W)	36	42	54
Valoteho (lm)	4000	4000	4000
Hyötysuhde (lm/W)	111,1	95,2	74,1
Käyttöikä (h)	100000	50000	35000
Paino pakattuna (kg)	5	5	5
Valmistusmaa	Suomi	Saksa	Kiina
Valmistuspäästöt (kgCO <sub>2</sub> )	24,4	24,4	24,4

Päästöjen osalta tarkastellaan ensimmäiseksi valaisinten hankinnasta ja uusimisesta seuraavia päästöjä (taulukko 7). Vertailtavista tekijöistä voidaan huomata, että valaisimen kuljetus tuottaa vain murto-osan valaisimen hankinnasta syntyvistä päästöistä. Keskimääräinen viikoittainen käyttö valaisimille on tässä tilassa 100,8 tuntia, mikä tarkoittaa 14,4 tuntia päivässä. Valaisimia pidetään koko 30 vuoden tarkastelun aikana päällä siis miltei 160 000 tuntia. Tämän pohjalta selvisi, kuinka monta kertaa valaisimet olisi uusittava tarkasteluajanjakson aikana. Lopulliset kokonaispäästöt on laskettu kertomalla kuljetuksen ja valmistuksen päästöt alkuperäisen hankinnan lisäksi valaistuksen uusimiskertojen määrällä. Tällöin joka kerralla, kun valaisimet täytyy uusida, ne tuottavat alkuperäisen hankinnan verran tuotanto- ja kuljetuspäästöjä. Taulukon lopussa olevat kolme alinta riviä osoittavat laskennat tulokset.

Taulukko 7. Vastaanottohuoneen valaisinten valmistamisesta aiheutuvat päästöt.

<b>Valaisin</b>	<b>Valaisin 1</b>	<b>Valaisin 2</b>	<b>Valaisin 3</b>
Valmistuspäästöt (kgCO <sub>2</sub> )	24,4	24,4	24,4
Yhden valaisimen kuljetuspäästöt (kgCO <sub>2</sub> )	0,0749	0,151	0,4395
Valaisimen käyttöikä (h)	100000	50000	35000
Valaisinten määrä (kpl)	4	4	4
Valaisinten keskimääräinen käyttö (h/vko)	100,8	100,8	100,8
Käyttö tarkasteluajanjaksolla (h)	157248	157248	157248
Valaisimet korvattava (kerrat)	1	3	4
Kuljetuksen kokonaispäästöt (kgCO <sub>2</sub> )	0,60	2,42	8,79
Valmistuksen kokonaispäästöt (kgCO <sub>2</sub> )	195,2	390,4	488,0
Hankinnasta ja uusimisesta johtuvat päästöt (kgCO <sub>2</sub> )	195,8	392,8	496,8



Valaisimien kuljetuspäästöt laskettiin CarbonCaren sivuilta löytyvällä laskurilla [37]. Valaisin 1 kuljetettiin rekalla Jyväskylästä Helsinkiin (271 km), valaisin 2 Münchenistä junalla Rostockiin (823 km) ja sieltä edelleen laivalla Helsinkiin (1048 km). Valaisin 3 kuljetettiin Kantonista laivalla Helsinkiin (20 176 km). Matkojen pituudet laskuri arvioi automaattisesti lyhimmän löytämänsä reitin mukaan. Yhden valaisimen pakattu paino oli laskuissa taulukon 6 mukaisesti 5 kg.

Seuraavaksi siirrytään tarkastelemaan valaisinten energiankulutuksesta seuraavia vuosittaisia päästöjä (taulukko 8). Vuosittaiset päästöt on laskettu vuosittain käytetyn tehon ja vuoden 2022 Suomessa kulutetun sähkön päästökertoimen (60 gCO<sub>2</sub>/kWh) kertomana. Taulukon 8 yläosassa on esitetty valaisinten arvoja, joita tarvitaan tässä kohtaa laskelmia varten.

Taulukko 8. Vastaanottohuoneen valaisinten käytöstä aiheutuvat vuosittaiset päästöt.

<b>Valaisin</b>	<b>Valaisin 1</b>	<b>Valaisin 2</b>	<b>Valaisin 3</b>
Teho (W)	36	42	54
Valovirta (lm)	4000	4000	4000
Hyötysuhde (lm/W)	111,1	95,2	74,1
Valaisinten määrä (kpl)	4	4	4
Valaisinten kokonaisteho (W)	144	168	216
Valaisinten keskimääräinen käyttö (h/vko)	100,8	100,8	100,8
Käytetty teho (kWh/vko)	14,5	16,9	21,8
Käytetty teho (kWh/vuosi)	754,8	880,6	1132,2
Sähkönkulutuksen päästöt (kgCO <sub>2</sub> /vuosi)	45,3	52,8	67,9

Energiankulutuksen päästölaskelman tulos näkyy taulukon alimmalla rivillä. Valaisimella 1 voidaan saada aikaan 14,3 %:n päästövähennys valaisimeen 2 verrattuna ja jopa 33,3 %:n päästövähennys valaisimeen 3 verrattuna.

### 5.3 Varastotila

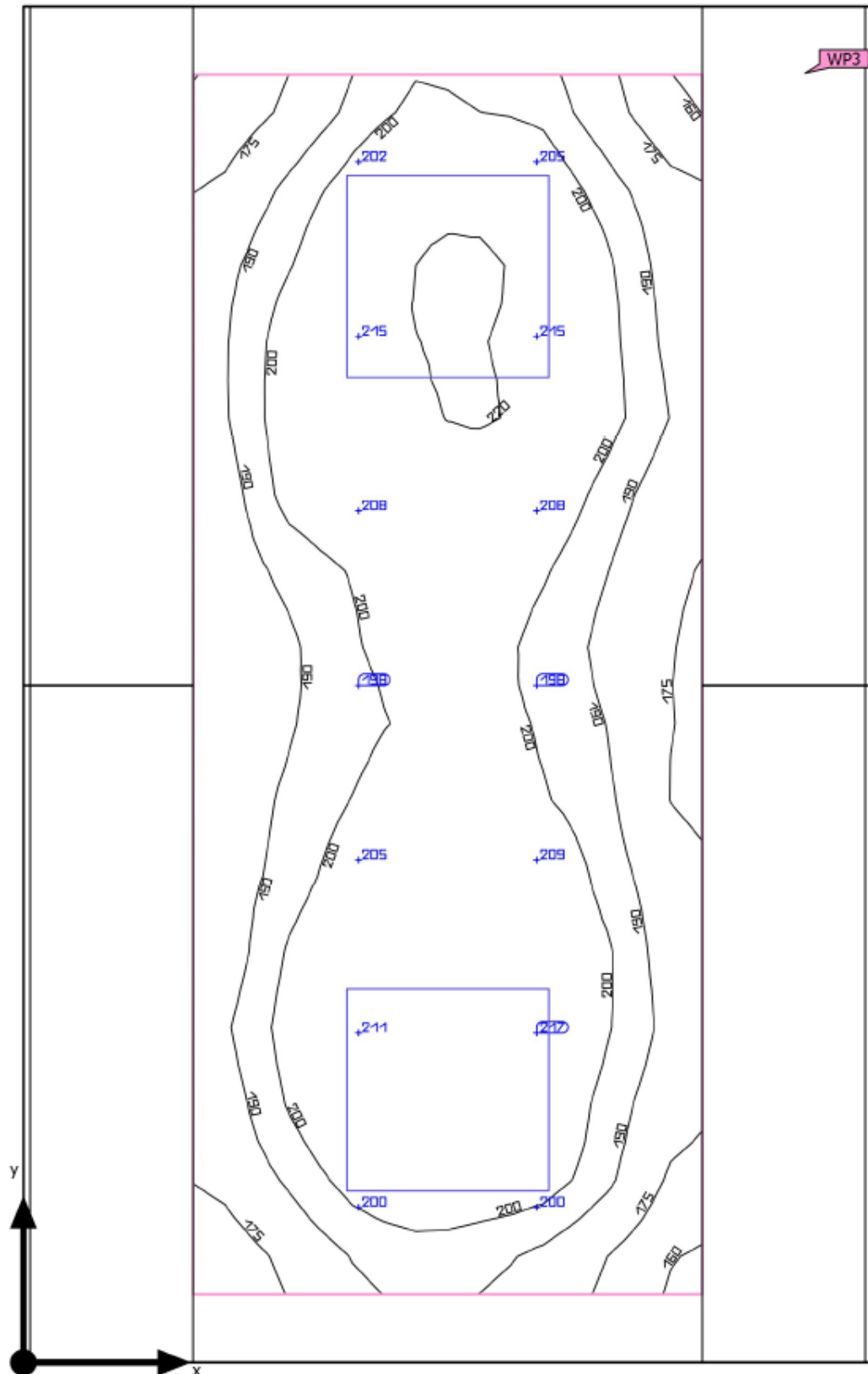
Toiseksi laskettavaksi tilaksi valittiin sairaalassa sijaitseva tarvikevarasto. Huone on pinta-alaltaan 10 m<sup>2</sup>, ja siinä on vastaanottohuoneen tapaan 600 x 600 mm:n paneeleista rakennettu alakatto. Huone valaistaan kahdella valovirralla noin 2300 lm:n valaisimella. Huoneen valaistus suunnitellaan täyttämään SFS- EN 12464-1:2021 -standardin vaatimukset yleiselle varastotilalle, jotka näkyvät taulukossa 9.

Taulukko 9. SFS-EN 12464-1:2021 -standardin vaatimukset varastotilan valaistukselle [10, s. 30].

Tila, tehtävä tai toiminta	$E_m$ (lx) Vaa- dittu	$E_m$ (lx) Muutettu	$U_0$	$R_a$	$R_{UGL}$
Varastotilat	100	150	0,4	80	25

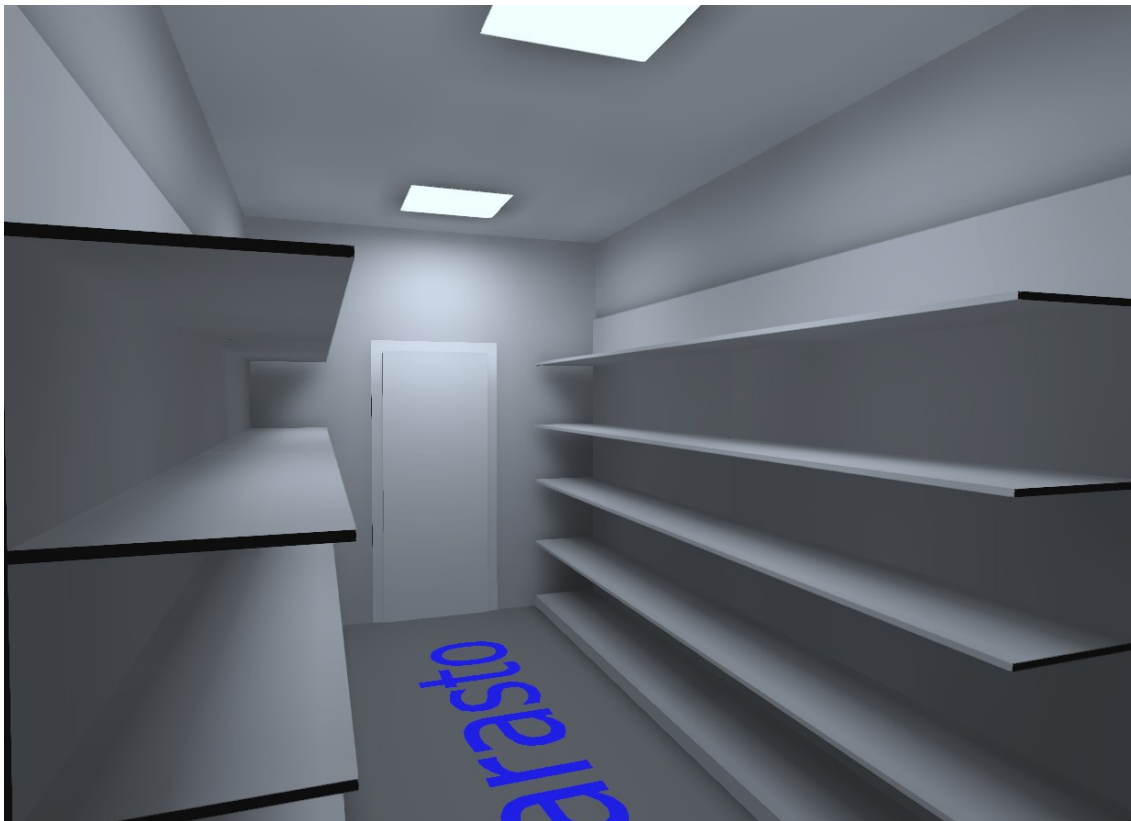
Varaston DIALux-laskelmassa (liite 1) käytettiin valaisimina M-Lightin MBL Panel 600x600 18W OP 2300 lm -valaisimia. DIALux-laskelmissa käytettyjen valaisinten ero vastaanottohuoneen valaisimiin on siis lähinnä niiden teho ja valovirta.

Kuvassa 5 näkyvällä sijoittelulla varaston keskimääräiseksi valaistusvoimakkuudeksi saatiin  $E_m = 198$  lx ja tasaisuudeksi  $U_0 = 0,8$ . Arvot saatiin simuloimalla tilan valaistus DIALux evon avulla. Laskentataso oli tässä tilassa lattia, sillä varastoissa voi olla tarvetta siirrellä tavaroita myös lattiatasolla. Valaisimet näkyvät kuvassa sinisinä neliöinä, ja käyrät kuvaavat valaistusvoimakkuutta huoneen eri kohdissa. Nämä arvot täyttävät standardin vaatimukset. Tässä tapauksessa valaistus toteutettiin muutetun arvon mukaisesti. Standardin [10] mukaan muutettua arvoa suositellaan käyttämään, jos valaistusvoimakkuuden suurentamiseen vaadittavat tekijät täyttyvät. Laskelman tilaa saattavat käyttää myös keskimääräistä heikkonäköisemmät henkilöt, eikä sinne oleteta tulevan lähes lainkaan päivänvaloa.



Kuva 5. Varaston DIALux-laskelma.

Kuvassa 6 näkyy DIALux evo -suunnitteluohjelmalla tehty 3D-mallinnus laske-  
tusta varastotilasta. Tila mallinnettiin työtä varten käyttäen hyväksi DIALuxin kirj-  
jastosta löytyviä valmiita objekteja.



Kuva 6. Varaston 3D-näkymä mallinnettuna DIALux evo -suunnitteluohjelmalla.

Käyttöastetta ei varaston tapauksessa voida määrittää samalla tavalla kuin vastaanottohuoneen. Varastot ovat yleensä käytössä huomattavasti lyhyemmän aikaa kuin muut kiinteistön tilat, minkä takia sen valaistuksen päällä oloon ei käytetä samaa laskutapaa kuin vastaanottohuoneelle. Tässä tapauksessa varasto on päivittäin pääasiassa klo 6.00–00.00 välisenä aikana käytettävä tila. Tilassa käydään tällä aikavälillä keskimäärin kerran tunnissa ja valot pysyvät yhdellä käynnillä päällä keskimäärin 10 minuuttia. Tilan valaistus on siis kokonaisuudessaan päällä keskimäärin 3 tuntia yhden vuorokauden aikana.

Taulukkoon 10 on koostettu lukuja kuvaamaan varaston käyttöä ja helpottamaan vertailua vastaanottohuoneen kanssa. Käyttöaika muodostuu samalla

tavoin kuin taulukossa 5, mutta rakennuksen sijasta tämä taulukko kuvaa ainoastaan varaston keskimääräistä käyttöä.

Taulukko 10. Varaston käyttöaikoja kuvaava taulukko. Sisältö vain tämän esimerkkitalon vertailua varten.

Käyttötarkoitus	Kellonaika	Käyttöaika h/24h	Käyttöaika d/7d	Käyttöaste
Varasto	06.00–00.00	18	7	0,167

Seuraavaksi vertaillaan laskelmassa käytettäviä valaisimia (taulukko 11). Valaisin 4 on vertailun uusin ja kotimainen valaisin. Valaisin 5 on malliltaan noin 5 vuotta vanhempi Saksassa valmistettu valaisin. Valaisin 6 on malliltaan noin 10 vuotta vanha Kiinassa valmistettu valaisin. Kaikki valaisimet on pakattu yksittäin ja painavat pakkauksessaan noin 5 kiloa.

Taulukko 11. Varaston vertailtavat valaisimet.

Valaisin	Valaisin 4	Valaisin 5	Valaisin 6
Teho (W)	20,5	24	31
Valovirta (lm)	2300	2300	2300
Hyötysuhde (lm/W)	112,2	95,8	74,2
Käyttöikä (h)	100000	50000	35000
Paino pakattuna (kg)	5	5	5
Valmistusmaa	Suomi	Saksa	Kiina
Valmistuspäästöt (kgCO <sub>2</sub> )	24,4	24,4	24,4

Päästöjen tarkastelu aloitetaan jälleen valaisinten hankinnasta ja uusimisesta aiheutuvista päästöistä (taulukko 12). Keskimääräinen viikoittainen käyttö valaisimille on tässä tilassa 21 tuntia, mikä tarkoittaa 3 tuntia päivässä. Valaisimia pidetään koko 30-vuotisen tarkastelun aikana päällä lähes 33 000 tuntia. Varaston huomattavasti vastaanottotilaa pienemmän käyttöasteen takia valaisimia ei

tarvitse uusia kertaakaan koko 30 vuoden tarkasteluajanjaksolla. Lopulliset kokonaispäästöt on laskettu kertomalla kuljetuksen ja valmistuksen päästöt alkuperäisen hankinnan lisäksi valaistuksen uusimiskertojen määrällä. Taulukon lopussa olevat tummennetut rivit ovat laskennat tulokset.

Taulukko 12. Varaston valaisinten valmistamisesta aiheutuvat päästöt.

<b>Valaisin</b>	<b>Valaisin 4</b>	<b>Valaisin 5</b>	<b>Valaisin 6</b>
Valmistuspäästöt (kgCO <sub>2</sub> )	24,4	24,4	24,4
Yhden valaisimen kuljetuspäästöt (kgCO <sub>2</sub> )	0,0749	0,151	0,4395
Valaisimen käyttöikä (h)	100000	50000	35000
Valaisinten määrä (kpl)	2	2	2
Valaisinten keskimääräinen käyttö (h/vko)	21	21	21
Käyttö tarkasteluajanjaksolla (h)	32760	32760	32760
Valaisimet korvattava (kerta)	0	0	0
Kuljetuksen kokonaispäästöt (kgCO <sub>2</sub> )	0,15	0,30	0,88
Valmistuksen kokonaispäästöt (kgCO <sub>2</sub> )	48,8	48,8	48,8
Hankinnasta ja uusimisesta johtuvat päästöt (kgCO <sub>2</sub> )	48,9	49,1	49,7

Valaisimien kuljetuspäästöt laskettiin yhdelle valaisimelle CarbonCaren sivuilta löytyvällä laskurilla [37]. Valaisin 4 kuljetettiin rekalla Jyväskylästä Helsinkiin (271 km), valaisin 5 Münchenistä junalla Rostockiin (823 km) ja sieltä edelleen laivalla Helsinkiin (1048 km). Valaisin 6 kuljetettiin Kantonista laivalla Helsinkiin (20 176 km). Matkojen pituudet laskuri arvioi automaattisesti lyhimmän löytämänsä reitin mukaan. Yhden valaisimen pakattu paino oli laskuissa taulukon 11 mukaisesti 5 kg.

Seuraavaksi siirrytään tarkastelemaan valaisinten energiankulutuksesta seuraavia vuosittaisia päästöjä (taulukko 13.). Vuosittaiset päästöt on laskettu tässäkin tapauksessa vuosittain käytetyn tehon ja vuoden 2022 Suomessa kulutetun sähkön päästökertoimen (60 gCO<sub>2</sub>/kWh) kertomana.

Taulukko 13. Varaston valaisinten käytöstä aiheutuvat vuosittaiset päästöt.

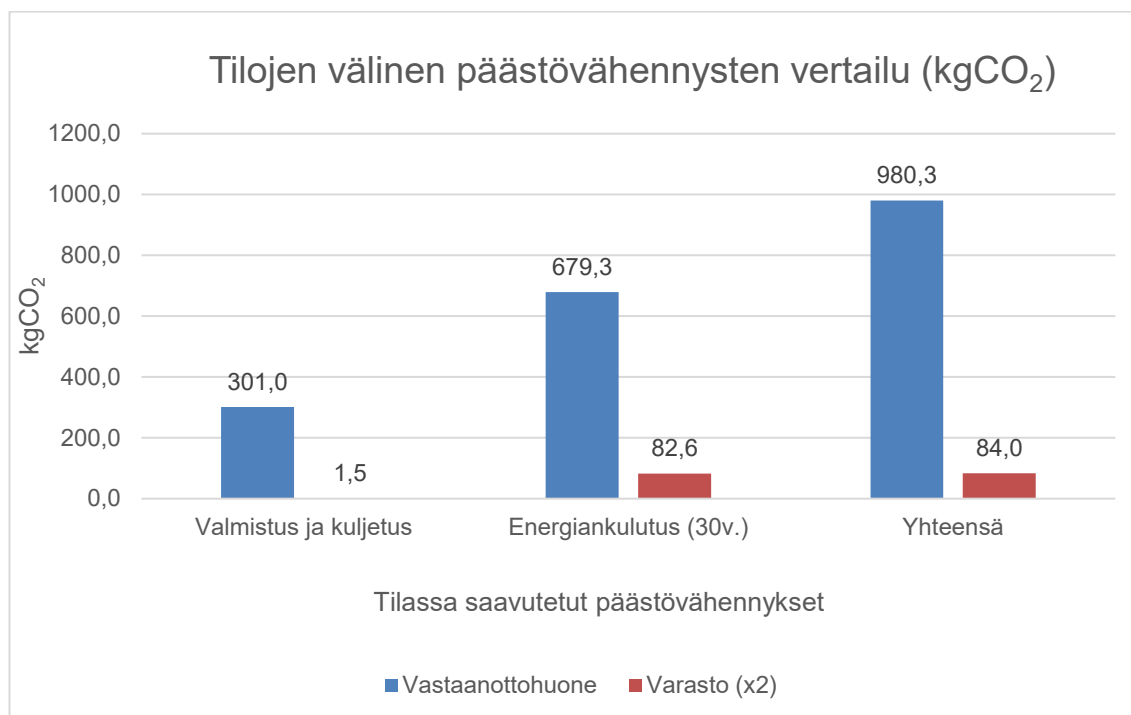
<b>Valaisin</b>	<b>Valaisin 4</b>	<b>Valaisin 5</b>	<b>Valaisin 6</b>
Teho (W)	20,5	24	31
Valovirta (lm)	2300	2300	2300
Hyötysuhde (lm/W)	112,2	95,8	74,2
Käyttöikä (h)	100000	50000	35000
Valaisinten määrä (kpl)	2	2	2
Valaisinten kokonaisteho (W)	41	48	62
Valaisinten keskimääräinen käyttö (h/vko)	21	21	21
Käytetty teho (kWh/vko)	0,861	1,008	1,302
Käytetty teho (kWh/vuosi)	44,8	52,4	67,7
Sähkönkulutuksen päästöt (kgCO <sub>2</sub> /vuosi)	2,7	3,1	4,1

Energiankulutuksen päästölaskelman tulos näkyy taulukon alimmalla rivillä. Valaisimella 4 voidaan saada aikaan 14,6 %:n päästövähennys valaisimeen 5 verrattuna ja jopa 33,9 %:n päästövähennys valaisimeen 6 verrattuna.

#### 5.4 Päästövertailun tulokset

Kun verrattiin esimerkkitalojen valaistuksen aiheuttamia päästöjä toisiinsa, huomattiin nopeasti, että vastaanottohuoneen valaistus tuottaa kaikilla mittareillamme enemmän päästöjä kuin varaston. Tämä on osittain oletettavissa, sillä varastossa on vain kaksi valaisinta vastaanottohuoneen neljään valaisimeen verrattuna. Valaisinten määrä ei kuitenkaan ole ainoa selittävä tekijä, sillä

vaikka tilojen päästöt suhteutettaisiin valaisinten määrän mukaan, ovat vastaanottohuoneen valaistuksen päästöt silti kaikilla mittareilla suuremmat.



Kuva 7. Tilojen välinen päästövähennysten vertailu.

Kuvan 7 pylväsdiagrammi kuvastaa suurinta laskentaesimerkeissä aikaansaatua tilakohtaista päästövähennystä. Vastaanottohuoneessa suurin ero oli valaisinten 1 ja 3 välillä ja varastotilassa valaisinten 4 ja 6 välillä. Varastotilan arvot on syötetty kaksinkertaisina, jotta arvot olisivat vertailukelpoiset vastaanottohuoneen kanssa. Tämä johtuu siitä, että yhdessä vastaanottohuoneessa on neljä valaisinta ja varastotilassa vain kaksi. Energiankulutuksen vuosittaiset päästöt on kerrottu 30 vuodelle, jotta niiden arvo olisi vertailukelpoinen valmistuksesta ja kuljetuksesta johtuvien päästöjen kanssa. Todellisuudessa vertailu ei ole näin yksinkertaista, sillä energiantuotannon päästökertoimet ovat olleet vuosi vuodelta jatkuvassa laskussa [18]. Tämä tasoittaisi ajan kuluessa osa-alueiden välistä eroa, jolloin valmistuksesta ja kuljetuksesta seuraavien päästöjen merkitys kokonaisuuteen kasvaisi.



Määrällisesti suurimmat päästövähennykset saatiin laskelmissa aikaan energia-  
tehokkaampia valaisimia valitsemalla, mutta tilojen väliset erot olivat kuitenkin  
jälleen suuret. Vastaanottotilassa valaistuksen toteuttaminen valaisimella 1 tuot-  
taa yhdessä vuodessa 22,6 kgCO<sub>2</sub> vähemmän päästöjä valaisimeen 3 verrat-  
tuna. Varastossa valaisinten 4 ja 6 vuosittaiset päästöt erosivat vain 1,4 kgCO<sub>2</sub>.  
Varastotilassa on puolet vähemmän valaisimia, mutta yhden valaisimen tuotta-  
mat säästöt olivat vastaanottohuoneessa siitä huolimatta yli kahdeksan kertaa  
suuremmat kuin varastossa. Näiden tulosten perusteella näyttää siltä, että voi-  
makkaampaa valaistusta vaativia tiloja on ehdottomasti kannattavaa priorisoida  
valittaessa hyvän energiatehokkuuden omaavia valaisimia.

Energiankulutuksen lisäksi tilojen välillä on selkeä ero siinä, kuinka tarpeellista  
on ottaa huomioon käyttöikä. Vastaanottohuoneessa valaistus jouduttiin uusi-  
maan valaisimella 1 vain kerran, mutta valaisimia 3 käyttämällä jopa neljä ker-  
taa. Varastotilassa mitään vertailluista valaisimista ei tarvinnut uusia 30 vuoden  
ajanjaksolla kertaakaan. Myös valaisimen elinikää harkitessa kannattaa siis kiin-  
nittää huomiota tilan tyyppiin ja käyttöön. Vastaanottohuoneeseen kannattaisi todennä-  
köisesti hankkia pitkäikäiset valaisimet, vaikka niiden valmistamisesta johtuvat  
päästöt olisivat lyhyemmän eliniän omaavia valaisimia suuremmat. Lasketussa  
varastotilassa näin ei kuitenkaan kannattaisi tehdä, sillä lyhyemmänkin eliniän  
omaavat valaisimet selviävät ilman vaihtoa koko vaaditun ajanjakson ajan.

Kuvasta 7 on selvästi nähtävissä, että vastaanottotilassa on ainakin esimerkkien mukaisissa olosuhteissa mahdollisuudet merkittävästi suurempiin vähen-  
nyksiin kuin varastotilassa. Jos tilat toteutettaisiin lähtökohtaisesti valaisimilla 3  
ja 6, yhden valaisimella 1 varustetun vastaanottohuoneen päästövähennysten  
aikaansaamiseksi tulisi varustaa yli 23 laskelmissa käsiteltyä varastoa valai-  
simella 4.

## 6 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli perehtyä sairaalavalaituksen hiilijalanjäljen synty-  
miseen ja selvittää keinoja valaistuksen päästöjen vähentämiseen. Esittelin työn

alussa perusteita valaistussuunnittelusta sekä valaistuksen aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä. Tämän jälkeen tarkastelin, kuinka päästöjä olisi mahdollista vähentää. Lopuksi kävin läpi laskelmat kahdelle erilaiselle tilalle ja analysoin niistä saatuja tuloksia.

Työssä tehtyjen laskentaesimerkkien pohjalta huomasin, että valaistuksen hiilijalanjäljen vähentäminen ei toimi kaikissa tiloissa samalla tavalla. Suunnittelijan tulisi mielestäni tämän takia ensin huomioida tilan ominaisuudet ja käyttö, jonka perusteella hän määrittää tehokkaimmat tavat vähentää tilan valaistuksen hiilijalanjälkeä. Jos suunnittelija hallitsee aiheen ja osaa tarjota asiakkaalleen vähähiilisiä ratkaisuja, hän pystyy tuottamaan tälle valaistussuunnittelun lisäksi myös hiilikädenjälkeä.

Työn aihe osoittautui lopulta hankalammaksi kuin olin sen valitessani osannut kuvitella. Näin oli etenkin tiedonhaun osalta, sillä tutkimustietoa aiheesta oli hankala löytää. Suurin osa löytämistäni tutkimuksista käsitteli usein yhden tai muutaman valitun valaisimen energia- tai päästölaskentaa, jolloin yleisesti päteviä johtopäätöksiä oli niiden pohjalta hankalaa tai mahdotonta tehdä.

Toivon työn toimivan resurssina, joka auttaisi suunnittelijoita löytämään uusia näkökulmia ympäristöasioiden huomioimiseen myös tosielämän projekteissa. Insinööri työn tekeminen oli opettavainen kokemus, joka sai minut ymmärtämään paremmin eri tekijöiden vaikutuksia valaistuksen hiilijalanjälkeen.

## Lähteet

- 1 Hiilineutraali Suomi 2035 -kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. 2022. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2022:53. Työ- ja elinkeinoministeriö. <[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164321/TEM\\_2022\\_53.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164321/TEM_2022_53.pdf)>. 9.9.2022. Luettu 20.10.2023.
- 2 Osallistava ja osaava Suomi, Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma. 2019. Valtioneuvoston julkaisuja 2019:31. Valtioneuvosto. <[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN\\_2019\\_31.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN_2019_31.pdf)>. 10.12.2019. Luettu 20.10.2023.
- 3 Vahva ja välittävä Suomi, Pääministeri Petteri Orpon hallituksen ohjelma. 2023. Valtioneuvoston julkaisuja 2023:58. Valtioneuvosto. <<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/165042/Paamini-steri-Petteri-Orpon-hallituksen-ohjelma-20062023.pdf>>. 20.6.2023. Luettu 20.10.2023.
- 4 Selvitys: hyvinvointialueille yli 3,2 miljardin euron sairaalainvestoinnit viidessä vuodessa. 2022. Verkkoaineisto. Maakuntien tilakeskus. <<https://www.maakuntientilakeskus.fi/selvitys-hyvinvointialueille-yli-32-miljardin-euron-sairaalainvestoinnit-viidessa-vuodessa/>>. 23.3.2022. Luettu 20.10.2022.
- 5 Valaistus. 2022. Verkkoaineisto. Motiva. <[https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kiinteiston\\_energiankaytto/valaistus](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto/valaistus)>. Päivitetty 13.1.2022. Luettu 5.10.2023.
- 6 Ev0: Iso-Britannian vähiten hiilidioksidipäästöjä aiheuttava uudisrakennus. Verkkoaineisto. Ramboll Group. <<https://www.ramboll.com/fi-fi/ev0-iso-britannian-vahiten-hiilidioksidipaastoja-aiheuttava-uudisrakennus>> Luettu 17.11.2023.
- 7 Kaihua, Ossi & Nyman, Aleksi. 2023. Business Development Manager, Ramboll Finland Oy, Espoo. Keskustelu 6.11.2023.
- 8 Rautkylä, Emilia & Pasanen, Reija. 2017. Energiatehokas valaistus liiketilaan, Opas omistajalle ja vuokralaiselle. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <[http://ilmastokatu.fi/files/2017/tyokalupakki/01/Valaistusopas\\_Liike-tilat.pdf](http://ilmastokatu.fi/files/2017/tyokalupakki/01/Valaistusopas_Liike-tilat.pdf)>. 2017. Luettu 5.10.2023.
- 9 Valaistustekniikan perussuureet ja määritelmät. 2017. ST 57.40. Sähkö-tieto.

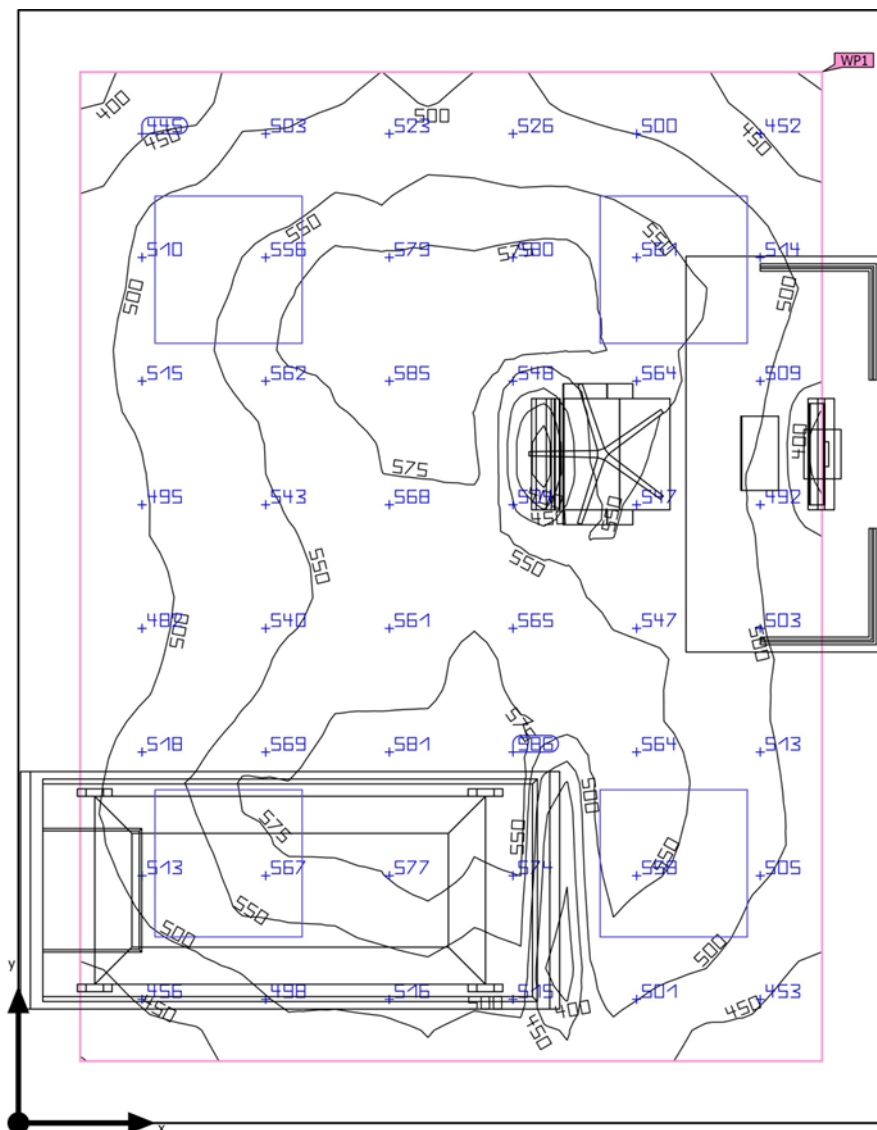
- 10 SFS-EN 12464-1:2021. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. Suomen Standardisoimisliitto.
- 11 Mannermaa, Antti. 2023. Suunnittelija, Ramboll Finland Oy, Espoo. Haastattelu 12.12.2023.
- 12 Ohje lääkintätilojen sähköasennuksiin. 2023. ST 51.79. Sähkötieto.
- 13 Mannermaa, Antti. 2019. Sairaalavalaisuksen suunnittelu. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 14 Causes of climate change. Verkkoaineisto. European Commission <[https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change\\_en](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_en)>. Luettu 6.10.2023.
- 15 What is a carbon footprint?. Verkkoaineisto. Conservation International. <<https://www.conservation.org/stories/what-is-a-carbon-footprint>>. Luettu 19.10.2023.
- 16 Bensiinimoottori. 2023. Verkkoaineisto. Motiva. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/valitse\\_uto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/bensiinimoottori](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/valitse_uto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/bensiinimoottori)>. Päivitetty 26.4.2023. Luettu 14.12.2023.
- 17 Goreansky, Maxim & Marjamäki, Lotta. 2023. What's a carbon handprint? Understanding your organisation's positive impact. Verkkoaineisto. UK Green Building Council. <<https://ukgbc.org/news/whats-a-carbon-handprint-understanding-your-organisations-positive-impact/>>. 24.8.2023. Luettu 19.10.2023.
- 18 Sähköntuotannon ja -kulutuksen CO<sub>2</sub>-päästöarviot. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/co2/>>. Luettu 26.11.2023.
- 19 CO<sub>2</sub>-päästökertoimet. 2023. Verkkoaineisto. Motiva. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto\\_suomessa/co2-paastokertoimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/co2-paastokertoimet)>. Päivitetty 5.10.2023. Luettu 26.11.2023.
- 20 Valaisinteollisuuden vähähiilisyystiekartta. 2022. Verkkoaineisto. AFRY. <[https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/inline-files/Valaisinvalmistajien\\_v%C3%A4h%C3%A4hiilitiekarttaraportti.pdf](https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/inline-files/Valaisinvalmistajien_v%C3%A4h%C3%A4hiilitiekarttaraportti.pdf)>. 2022. Luettu 22.10.2023.
- 21 Greene, Suzanne. 2023. Freight Transportation. Verkkoaineisto. Massachusetts Institute of Technology.

- <<https://climate.mit.edu/explainers/freight-transportation>>. Päivitetty 3.2.2023. Luettu 22.10.2023.
- 22 Rees, Simon. 5 Ways To Reduce Your Packaging Carbon Footprint. Verkkoaineisto. Springpack. <<https://springpack.co.uk/5-ways-to-reduce-your-packaging-carbon-footprint/>>. Luettu 18.12.2023.
- 23 Van Kempen, Maril. 2021. How brands and businesses can lower emissions through packaging. Verkkoaineisto. Network Packaging. <<https://networkpack.co.uk/how-brands-and-businesses-can-lower-emissions-through-packaging/>>. 18.8.2021. Luettu 18.12.2023.
- 24 Tähkämö, Leena; Bazzana, Manuel; Ravel, Pierre; Grannec, Francis; Martinsons, Christophe & Zisis, Georges. 2013. Life cycle assessment of light-emitting diode downlight luminaire - a case study. Teoksessa Finkbeiner, Matthias (ed.). The International Journal of Life Cycle Assessment Volume 18, s. 1009–1018. Berlin: Springer.
- 25 Life time of LED luminaires. Verkkoaineisto. Fagerhult. <<https://www.fagerhult.com/knowledge-hub/LED/Life-time-/>>. Luettu 14.1.2024.
- 26 Lighting. 2023. Verkkoaineisto. International Energy Agency. <<https://www.iea.org/energy-system/buildings/lighting>>. Päivitetty 11.7.2023. Luettu 26.11.2023.
- 27 Fang, Sheng; Yan, Wenyi; Cao, Hongbin; Songc, Qingbin; Zhang, Yi & Sun, Zhi. 2018. Evaluation on End-of-life LEDs by Understanding the Criticality and Recyclability for Metals Recycling. Teoksessa Almeida, Cecília M. & Wang, Yutao (ed.). Journal of Cleaner Production Volume 182, s. 624–633. Amsterdam: Elsevier.
- 28 LED-valaisimien eliniän terminologia. 2020. Verkkoaineisto. Ledistys. <<https://ledistys.fi/blogi/valaisimiemme-elinika/>>. 20.7.2020. Luettu 23.11.2023.
- 29 Bissell, Andrew. How does the lighting industry feature in the circular economy. Verkkoaineisto. Cundall. <<https://www.cundall.com/zh/ideas/blog/how-does-the-lighting-industry-feature-in-the-circular-economy>>. Luettu 13.1.2024.
- 30 EPD-ympäristöseloste. Verkkoaineisto. Rakennustieto. <<https://www.rakennustieto.fi/palvelut/ymparistopalvelut/rts-epd-ymparistoseloste>>. Luettu 14.1.2024.

- 31 Environmental Product Declaration, Aluminium Profile, primary. 2021. Verkkoaineisto. Purso Oy. <<https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/0f84b371-9cc8-48e9-8261-08d941d5f1c9/Data>>. 9.6.2021. Luettu 16.11.2023.
- 32 Environmental Product Declaration, Aluminium Profile, secondary. 2021. Verkkoaineisto. Purso Oy. <<https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/c7bb1cce-9b0b-4663-8260-08d941d5f1c9/Data>>. 9.6.2021. Luettu 16.11.2023.
- 33 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi energiaan liittyvien tuotteiden ekologiselle suunnittelulle asetettavien vaatimusten puitteista. 2009. Direktiivi 2009/125/EY. Verkkoaineisto. Euroopan unionin virallinen lehti 31.10.2009. <<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:285:0010:0035:fi:PDF>>. Luettu 10.12.2023.
- 34 Lamput. Verkkoaineisto. Energiamerkinta.fi <<https://energiamerkinta.fi/lamput/>>. Luettu 10.12.2023.
- 35 Built-in LED replacement: now it's possible. 2022. Verkkoaineisto. Elesi Luce. <<https://www.elesi-luce.com/en/built-in-led-replacement-now-its-possible/>>. 16.12.2022. Luettu 18.12.2023.
- 36 DIALux evo is the software for your lighting design. Verkkoaineisto. DIAL. <<https://www.dialux.com/en-GB/dialux>>. Luettu 17.12.2023.
- 37 CO<sub>2</sub> Emissions Calculator. Verkkoaineisto. CarbonCare. <<https://www.carboncare.org/en/co2-emissions-calculator>>. Luettu 28.12.2023.
- 38 Leading exporting countries of lighting fixtures and fittings worldwide in 2021. 2023. Verkkoaineisto. Statista <<https://www.statista.com/statistics/1053002/lighting-fixtures-and-fittings-leading-exporters-worldwide/>>. 2023. Luettu 8.12.2023.
- 39 Menon, Ajay. 2022. 10 Major ports In China. Verkkoaineisto. Marine Insight. <<https://www.marineinsight.com/know-more/10-major-ports-in-china/>>. 3.5.2022. Luettu 8.12.2023.
- 40 Valaistuksen tehontiheyden ja tarpeenmukaisuuden huomioiminen E-luvun laskennassa. 2018. Ympäristöministeriö. <[https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Opas-valaistuksen-tehontiheyden-ja-tarpeenmukaisuuden-huomioimisesta-E-luvun-laskennassa\\_20180228-a-DFF7FFF2\\_DF37\\_44C9\\_8973\\_EFDC0090C9B4-144148.pdf](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Opas-valaistuksen-tehontiheyden-ja-tarpeenmukaisuuden-huomioimisesta-E-luvun-laskennassa_20180228-a-DFF7FFF2_DF37_44C9_8973_EFDC0090C9B4-144148.pdf)>. 28.2.2018. Luettu 7.12.2023.

## DIALux-laskelmat

Rakennus 1 · Kerros 1 · Vastaanottohuone (Valaistustilanne 1)



Pohjapinta-ala: 15.75 m<sup>2</sup> | Heijastussuhteet: Katto: 70.0 %, Seinät: 50.0 %, Lattia: 20.0 % | Alenemakerroin: 0.80 (yleiskäyttöinen) |

Tilan vapaa korkeus: 2.800 m | Asennuskorkeus: 2.800 m

Rakennus 1 · Kerros 1 · Vastaanottohuone (Valaistustilanne 1)

Tulokset

	Koko	Laskettu	Ohje	Kunnossa	Hakemisto
Käyttötaso	$\bar{E}_{\text{kohtisuora}}$	526 lx	$\geq 500$ lx	✓	WP1
	$g_1$	0.75	-	-	WP1
	Ominaisliitântäteho	10.54 W/m <sup>2</sup>	-	-	
		2.00 W/m <sup>2</sup> /100 lx	-	-	
Kulutussuureet	Kulutus	460 kWh/a	maks. 600 kWh/a	✓	
Tila	Ominaisliitântäteho	8.03 W/m <sup>2</sup>	-	-	
		1.53 W/m <sup>2</sup> /100 lx	-	-	

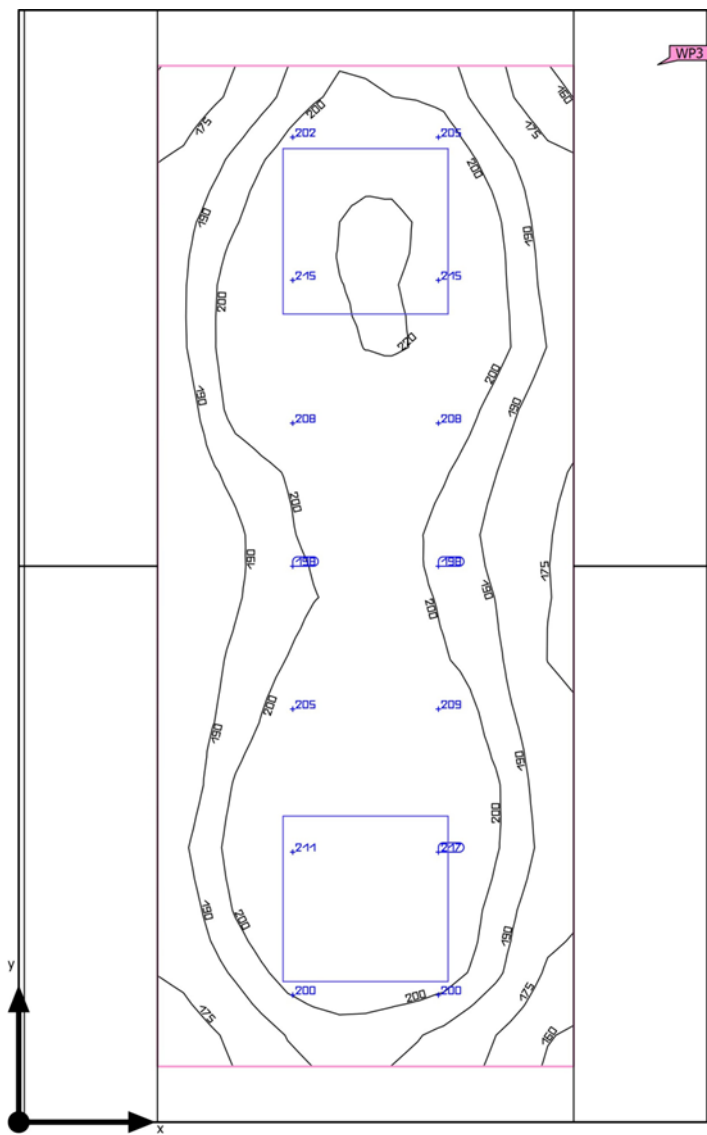
Käyttöprofiili: Terveystilojen - tutkimushuoneet (yleis-), Yleisvalaistus

Valaisinluettelo

Kpl	Valmistaja	Tavaratunnus	Tuotteen nimi	P	$\Phi$	Valotehokkuus
4	M-Light International	MBL606036O-800mA-4K	MBL Panel 600x600 32W OP - 3900lm	31.6 W	3904 lm	123.5 lm/W



Rakennus 1 · Kerros 1 · Vastaanottohuone (Valaistustilanne 1)



Pohjapinta-ala: 10.00 m<sup>2</sup> | Heijastussuhteet: Katto: 70.0 %, Seinät: 50.0 %, Lattia: 20.0 % | Alenemakerroin: 0.80 (yleiskäyttöinen) |

Tilan vapaa korkeus: 2.800 m | Asennuskorkeus: 2.800 m

Rakennus 1 · Kerros 1 · Vastaanottohuone (Valaistustilanne 1)

Tulokset

	Koko	Laskettu	Ohje	Kunnossa	Hakemisto
Käyttötaso	$\bar{E}_{\text{kohtisuora}}$	198 lx	$\geq 100$ lx	✓	WP3
	$g_1$	0.80	-	-	WP3
	Ominaisliitântäteho	6.52 W/m <sup>2</sup>	-	-	
		3.30 W/m <sup>2</sup> /100 lx	-	-	
Kulutussuureet	Kulutus	6 kWh/a	maks. 400 kWh/a	✓	
Tila	Ominaisliitântäteho	3.52 W/m <sup>2</sup>	-	-	
		1.78 W/m <sup>2</sup> /100 lx	-	-	

Käyttöprofiili: Rakennusten yleiset tilat – varasto- ja kylmähuoneet, Varastotilat

Valaisinluettelo

Kpl	Valmistaja	Tavaranimero	Tuotteen nimi	P	Φ	Valotehokkuus
2	M-Light International	MBL606036O-4 50mA-4K	MBL Panel 600x600 18W OP - 2300lm	17.6 W	2223 lm	126.3 lm/W