



# **LENTOASEMATERMINAALIN VALAISTUSUUDISTUKSEN ELINKAARILASKELMA**

Energiatehokkuuden ja energiansäästön  
arviointi

Iiro Vyyryläinen

Opinnäytetyö  
Lokakuu 2014  
Sähkötekniikan ko.  
Sähköinen talotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Sähköinen talotekniikka

VYYRYLÄINEN, IIRO:

Lentoasematerminaalin valaistusuudistuksen elinkaarilaskelma  
Energiatehokkuuden ja energiansäästön arviointi

Opinnäytetyö 72 sivua, joista liitteitä 17 sivua  
Lokakuu 2014

---

Tutkintotyön tarkoituksena oli esitellä Rovaniemen lentokentälle tehtyjä valaistusuudistusratkaisuja ja arvioida valaistussaneerauksen onnistumista teknisestä ja taloudellisesta näkökulmasta. Valaistusuudistuksen tilaajana toimi Suomen lentokenttiä hallinnoiva Finavia Oy ja toteuttajana sähkötekniisiä ratkaisuja tuottava Sähkötäpö Oy. Työssä käytiin läpi yleisiä periaatteita energiatehokkaan valaistuksen toteutukseen sekä esiteltiin toteutettuja muutusratkaisuja perusteluineen tarkasteltavan muutoskohteen kautta. Pääpainoarvo työssä oli tutkia valaistumuutoshankkeella aikaansaatuja energiasäästöjä sekä arvioida muutostöiden onnistuneisuutta taloudellisesta näkökulmasta. Näitä arvioitiin laskennallisesti talotekniseen elinkaariajatteluun perustuen LCC-laskentatyökalulla. Toteutetun valaistusuudistuksen taloudellista kannattavuutta on arvioitu suhteessa edeltäviin, vanhoihin asennuksiin 30 vuoden tarkastelujaksolla.

Valaistusjärjestelmän uudistuksella päästiin kokonaisuudessaan saatujen laskentatulosten puolesta taloudellisesti hyvin kannattavaan lopputulokseen kohteen tarjotessa suurta energiansäästöpotentiaalia. Vuotuinen energiankulutus voi tippua muutostöiden valmistuttua yli 300 MWh:sta alle 50 MWh:iin. Hankkeen investointikustannukset maksaisivat tällöin itsensä takaisin noin 2 - 3 vuodessa saatujen energiasäästöjen kautta. Saatu muutos saatiin aikaan käyttämällä LED-valonlähteitä, lisäämällä läsnäolotunnistinjauksia ja keskittämällä valopisteitä karsien alkuperäisiä valaisinmääriä.

Toteutetuilla uudistuksilla saavutettiin mittavia energiasäästöjä ja taloudellista onnistuneisuutta kokonaisuudessaan. Saadut tulokset antavat viitettä energiatehokkuuden paramisesta, mutta sen täydellistä todentamista ei voitu kuitenkaan tehdä. Tilojen alkuperäistä tai muutosten jälkeistä valaistusvoimakkuuden tasoa ei todennettu tarkemmilla mittauksilla. Energiatehokkuutta mittaavat LENI-arvot eivät ole yksiselitteisesti vertailukelpoisia, koska tiloittainen valaistusvoimakkuus on hyvin varmasti laskenut alkuperäisiin asennuksiin nähden. Uudistuksilla saavutettu valaistustaso on valaistussimuloinnin mukaan edelleen säilynyt keskeisten tilojen osalta kuitenkin vaatimusten mukaisella tasolla aiemman valaistusjärjestelmän ollessa valaistusvoimakkuudeltaan osittain ylimoitettu. Teknisten ratkaisujen onnistuneisuus jää viime kädessä tilaajan arvioitavaksi. Markkinoilla olevalla LED-tekniikalla on jo suurta potentiaalia perinteisten valonlähteiden korvaajaksi yleisvalaistuksessa samalla, kun tuotteiden vähittäishinnat laskevat ja valotehokkuus jatkaa kasvuaan.

---

Asiasanat: valaistusuudistus, elinkaarilaskenta, talousarvio, lentokenttäterminaali, LED

**ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical Engineering  
Option of Electrical Building Services

VYYRYLÄINEN, IIRO:

Life Cycle Cost Calculation of Lighting Renovation in Airport Terminal  
Evaluation of Energy Savings and Energy Efficiency

Bachelor's thesis 72 pages, appendices 17 pages  
August 2014

---

The purpose of this thesis was to present new lightning modifications made in Rovaniemi airport and to evaluate the success of lightning renovation from technical and financial perspectives. Lightning renovation was ordered by Finnish airport administration organization Finavia and was executed by electric installation company Sähkötapio Ltd. In this thesis general principles concerning energy efficient light designing were covered and practical conversion solutions through carried out lightning renovations were presented. Main focus in thesis was to examine energy savings generated by lighting renovation and to evaluate felicity of the modifications from financial point of view. These were evaluated using life cycle based calculus with LCC-calculation tool. Financial cost-effectiveness, in comparison to old installations, was evaluated at 30 year observation period.

Calculations suggested that lighting renovation in its totality achieved very profitable outcome because destination offered a huge energy savings potential. Annual energy consumption can drop from 300 MWh to 50 MWh as all modifications are carried out. Capital costs would pay themselves back in approximately 2 - 3 years' period through obtained energy savings. The improvement was achieved by using LED-light sources, inserting presence detection sensors, centralizing light sources as well as reducing the relative number of luminaires.

Through renovations great energy savings and financial success in total were achieved. Received values suggested improvements in energy efficiency but absolute documentation was not possible. Initial and post renovation level of luminous intensities was not verified with accurate measurements. LENI-values, which measure energy efficiency, were not unambiguously comparable because luminous intensities had most likely dropped from initial levels. The results from the lighting simulations, however, suggested that lighting levels in essential spaces had still remained in required levels because initial installations were partly oversized. The evaluation of technical success remains ultimately in the buyer's hands. Available LED-technology on the market has already potential to replace lighting solution for traditional light sources as retail prices drop and lighting efficiency continues to increase.

---

Key words: lighting renevation, life cycle cost calculus, airport terminal, LED

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	ENERGIATEHOKKUUS .....	8
3	FINAVIAN ENERGIA JA ILMASTO-OHJELMA .....	9
4	SÄHKÖN HINNAT JA TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT.....	10
5	VALAISTUKSEN ENERGIANSÄÄSTÖPOTENTIAALI .....	11
5.1	Yleinen energiansäästöpotentiaali .....	11
5.2	LED-tekniikka .....	12
5.2.1	Hintakehitys ja valotehokkuus .....	12
5.2.2	LED-putket loisteputkien korvaajana .....	14
6	VALAISTUSSUUNNITTELU JA ENERGIATEHOKKUUDEN ARVIOIMINEN.....	17
6.1	Valaistussuunnittelun yleiset periaatteet.....	17
6.2	SFS-EN 12464-1 .....	17
6.3	Energiatehokkuuden saavuttaminen .....	18
6.4	Energiankulutuksen arvioiminen .....	18
6.5	Energiatehokkuuden arvioiminen .....	20
7	KOHTEEN VALAISTUSJÄRJESTELMÄ.....	22
7.1	Kellaritason muutosalueet.....	22
7.1.1	Valaistuskuormat.....	23
7.1.2	Valaistuksen ohjaus.....	25
7.2	Terminaalitason muutosalueet .....	25
7.2.1	Valaistuskuormat.....	26
7.2.2	Valaistuksen ohjaus.....	28
7.3	Tilojen aktiivisuus ja valaistuksen toiminta-ajat .....	28
8	VALAISTUKSEN ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN MUUTOSKOHTEESSA.....	30
8.1	Valaistusjärjestelmän uusimisen lähtökohdat.....	30
8.2	Valaistusuudistukset .....	30
8.2.1	Valaisin muutokset terminaalitasolla .....	31
8.2.2	Valaisin muutokset kellaritasolla .....	31
8.3	Uudet valaisinratkaisut .....	35
8.3.1	Ohjausuudistukset .....	36
8.3.2	Valaistuksen toiminta-ajat.....	39
9	ELINKAARIKUSTANNUKSET .....	41
9.1	Laskentamenetelmät .....	41
9.2	Vertailukohdat .....	43



9.3	Laskennan alkuarvot .....	44
9.4	Valaistustarvikekustannukset.....	45
9.4.1	Vanhan järjestelmän valaistustarvikekustannukset.....	45
9.4.2	Uuden järjestelmän valaistustarvikekustannukset.....	46
9.5	Ohjaustarvikekustannukset .....	48
9.6	Asennus- ja huoltotyökustannukset .....	49
9.6.1	Vanhan järjestelmän ylläpitoon liittyvät työkustannukset .....	49
9.6.2	Uuden järjestelmän asennus-, muutos- ja huoltotyökustannukset .....	50
9.7	Huomioimattomat kustannukset .....	51
10	ELINKAARILASKENNAN TULOKSET .....	52
10.1	Kokonaisuuksien vertailu .....	52
10.2	Uuden ohjausjärjestelmän tuomat säästöt.....	59
10.3	Terminaalin alakaton valaistuksen säästöpotentiaali .....	59
10.4	Tilakohtaiset vertailut .....	60
11	TULOSTEN ARVIOINTI.....	62
11.1	Takaisinmaksuaika (kriittinen piste).....	62
11.2	Energiansäästöjen syntyminen.....	63
11.2.1	Valaisimien säästöpotentiaali.....	63
11.2.2	Ohjauksen tuomat säästöt.....	64
11.3	Valaistussimulointi .....	65
11.4	Energiatohokkuuden paraneminen.....	65
11.5	Tuloksiin vaikuttavat epävarmuustekijät .....	66
11.5.1	Alkuarvojen epävarmuustekijät .....	66
11.5.2	Yleisten laskenta-arvojen epävarmuus.....	67
11.5.3	Huomioimattomista kustannustekijöistä aiheutuva muutos.....	67
12	POHDINTA.....	69
	LÄHTEET .....	71
	LIITTEET .....	73
	Liite 1: Valaisinluettelo .....	73
	Liite 2. Valaistussimulointi: Varasto 041, matkatavaralli 030 .....	79
	Liite 3. Valaistussimulointi: Terminaalin päävalaisimet.....	86

## ERITYISSANASTO

CAT6 UTP	suojaamaton tietoverkkokaapeli
CCG	conventional control gear, perinteinen liitântälaite
DALI	Digital Addressable Lighting Interface, digitaalinen valaistuksen ohjausjärjestelmä
$E$	energiankulutus [kWh/a]
$E_m$	keskimääräinen valaistusvoimakkuus [lx]
ECG	electronic control gear, elektroninen liitântälaite
EIB	European Installation Bus, väylästandardi
EN	eurooppalainen standardi
KLMA	merkinantokaapeli
KNX	rakennusautomaatiojärjestelmä
kWh	kilowattitunti, energiankulutuksen yksikkö
LCC	elinkaarikustannus
LED	loistediodi
LENI	Lighting Energy Numeric Indicator lm luumen, valovirran yksikkö
L.O.R.	valaisimen hyötysuhde, ilmoittaa kuinka hyvin valonlähteen valovirta saadaan ulos valaisimesta
lx	luksi, valaistusvoimakkuuden yksikkö ( $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$ )
MMJ	sisäasennuskaapeli
MWh	megawattitunti, energiankulutuksen yksikkö
RakMK	rakentamismääräyskokoelma
SFS	Suomen Standardoimisliitto
T5	Putki, jonka halkaisija on 5/8 tuumaa, 16 mm
T8	Putki, jonka halkaisija on 8/8 tuumaa, 26 mm
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto
Valaistusvoimakkuus	ilmoittaa, kuinka paljon valoa saadaan pinta-alayksikköä kohti [lx]
Valotehokkuus	ilmoittaa kuinka paljon valoa saadaan käytettyä sähkötehoa kohti [lm/W]
Valovirta	ilmoittaa, kuinka paljon valonlähteestä saadaan valoa [lm]
Värilämpötila	kertoo, onko valonlähteen valon väri lämmintä vai kylmää [K]
W	watti, tehon yksikkö

## 1 JOHDANTO

Energiansäästöjen ja energiatehokkuuden tavoittelu on erityisen huomion kohteena nykyaikaisessa taloteknisessä rakentamisessa. Kansainväliset pyrkimykset ilmastonmuutoksen ehkäisemiseksi asettavat lähtökohtia suomalaisen rakentamiseen ja energiatehokkuuden tavoitteluun. Uusia teknisiä ratkaisuja hyödyntämällä voidaan optimoida laitejärjestelmän, kuten valaistuksen, sähkötehonkulutusta sekä laskea käytöstä ja ylläpidosta koituvia kustannuksia.

Työssä on tutkittu lentokenttäterminaaliin toteutettua valaistusuudistusta, jonka tarkoituksena oli valaistusjärjestelmän energiatehokkuuden parantaminen ja energiansäästöjen aikaansaaminen. Työssä esitellään hankkeen lähtökohtia, toteutettuja teknisiä muutoksia sekä arvioidaan muutostöiden taloudellista kannattavuutta elinkaaritarkastelun kautta.

Työssä on esitelty lähtökohtia valaistusjärjestelmän energiatehokkuuden parantamiseen ja arvioimiseen, painoarvona LED-tekniikan hyödyntäminen yleisvalaistuksen toteutuksessa. Työ käsittelee energiatehokkaan valaistuksen toteutusta yleisellä tasolla ja toteutettujen muutosratkaisujen kautta. Pääpainoarvo oli tutkia valaistusuudistuksella saavutettavia taloudellisia säästöjä, energiatehokkuuden toteutumista ja valaistusuudistuksen onnistuneisuutta kokonaisuudessaan.

Työssä käsitellyn hankkeen tilaajana oli Suomen lentokenttiä hallinnoiva Finavia Oy ja toteuttajana sähkötekniisiä palveluita tuottava Sähkötapio Oy. Valaistuksen uudistushanke koski Rovaniemen lentokenttäterminaalia, johon Finavia toteutti nykyaikaisen, energiaa säästävän valaistusjärjestelmän.

## 2 ENERGIA TEHOKKUUS

Energiatehokkuus voidaan mieltää pyrkimykseksi tuottaa tietty määrä palveluita tai tuotteita suhteellisesti vähemmällä määrällä energiaa, joka aiemmin kului vastaavan tuote- tai palvelutason saavuttamiseen. Tämä tarkoittaa käytännössä suhteellisen energian kulutuksen vähentämistä tuoteyksikköä tai palvelua kohden, kun prosessin muiden tekijöiden taso pysyy vakiona. ”*Energiatehokkuutta ei voida erottaa täysin energiansäästöstä, jolla yleensä tarkoitetaan energiankäytön absoluuttista pienentämistä. Energiatehokkuus sen sijaan voi kasvaa energiankäytön kanssa samanaikaisesti.*” (Sinisalo 2011, 13).

Talotekniikassa energiatehokkaaksi toimenpiteeksi voidaan käsittää esimerkiksi hyvin oteutettu rakennuksen lämmöneristys, joka pitää rakennuksen sisälämmön mieluisalla tasolla vähäisellä määrällä lämmitysenergiaa. Laadukas lämmöneristys ja ilmanvaihtojärjestelmä edesauttaa rakennuksen saamista energiatehokkaaksi minimoiden esimerkiksi talvella sisätilojen lämmitykseen käytetyn energian johtumisen talon ulkopuolelle. Hyvässä matalaenergiatalossa ilman jäähtymykseen käytettyä energiaa ei pääse kesälläkään vuotamaan ympäristöön paljoa. Miellyttävän lämpötason ylläpitämiseen kuluu suhteessa vähemmän energiaa vuodenajasta riippumatta, jolloin rakennuksen energiatehokkuus paranee.

Valaistuksessa energiatehokkuudeksi voidaan mieltää saman valaistustason ja valaistuksen laadun aikaansaaminen vähemmän kulutustehoa vaativalla ratkaisulla. Energiatehokkuutta lisäämällä vähennetään energiankäyttötarvetta ja aikaan saadaan taloudellisia säästöjä pienentyneen sähkölaskun muodossa. Energiatehokkuuden kehittämistä motivoivat taloudellisten säästöjen lisäksi myös maailmanlaajuiset ympäristölliset ja ilmastolliset pyrkimykset hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Jokaisen ihmisen hiilijalanjäljen pienentäminen ja ilmastomuutosta hidastavat toimenpiteet nousevat jatkuvasti merkityksellisempään rooliin kansainvälisessä yhteisössä. Energiatehokkaat ratkaisut, uusiutuvien energialähteiden käytön rinnalla, ovat tärkeä osa kokonaisuutta pyrittäessä kestävä kehityksen tielle.

### 3 FINAVIAN ENERGIA JA ILMASTO-OHJELMA

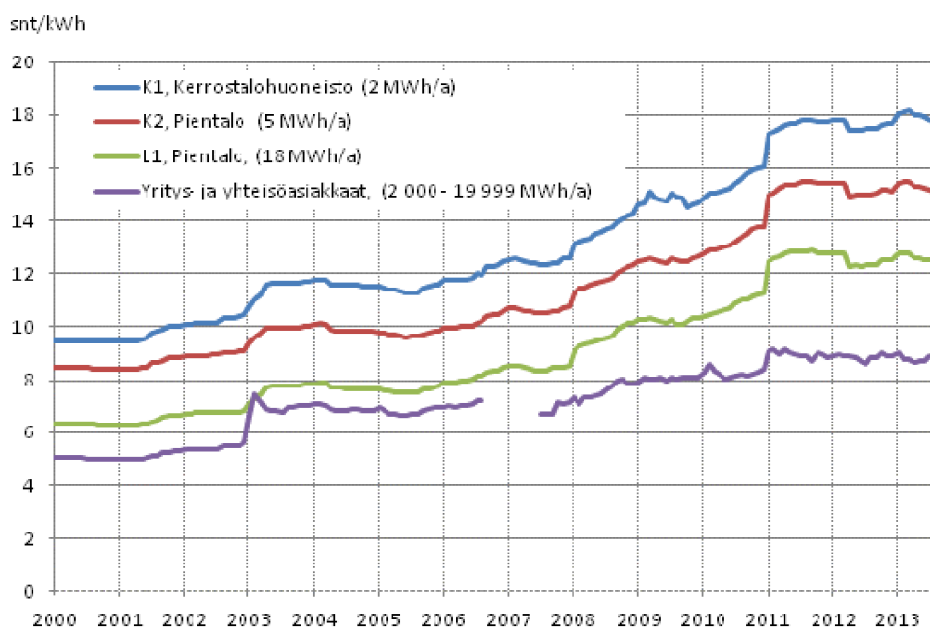
Lentoliikenne- ja ilmailutoiminta otettiin mukaan EU:n päästökauppajärjestelmään vuonna 2008 päästökauppalain tullessa Suomessa voimaan vuonna 2010. Laki koskee eri toimialoja ja sen tarkoituksena on edistää kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä kustannustehokkaasti ja taloudellisesti. (TEM: Lentoliikenteen päästökauppa)

Finavia aloitti ennakoivasti vuonna 2007 energia- ja ilmasto ohjelman, jonka tarkoituksena oli tuottaa ”konkreettisia keinoja energiatehokkuuden parantamiseksi Finavian eri toiminnoissa: lentokenttärakennuksissa ja -rakenteissa, ajoneuvoissa ja koneissa, liikumisen ohjauksessa sekä lennonvarmistuksessa.” (Finavia tiedotteet 2007) Ohjelmalla haluttiin vastata ennakoivasti energiansäästölain vaatimuksiin energiapalveludirektiiviä koskien. (Finavia, tiedotteet 2007)

Energiatehokkuutta on Finavian hallinnoimilla lentoasemilla sittemmin parannettu rakennusten lämmitystä ja ilmastointia optimoimalla, asentamalla maalämpöjärjestelmiä sekä uusimalla valaistusjärjestelmiä. Rovaniemen lentoasema on hyväksytty yhtenä Finavian lentokentistä lentoasemajärjestö ACI:n Airport Carbon Accreditation (ACA) -ohjelmaan, joka antaa tunnustusta lentoasemille pyrkimyksistään hallita ja vähentää hiilipäästöjä Euroopan lentokentillä. Terminaalin valaistusjärjestelmän uudistus on yksi osakokonaisuus kohteen energiatehokkuutta parannettaessa. (Finavia 2014, ”Vastuullista ympäristötyötä”)

#### 4 SÄHKÖN HINNAT JA TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Sähkön hintakehitys on Suomessa ollut 90-luvun laman jälkeen nousujohteisessa suunnassa jaksottaisia vaihteluita lukuunottamatta. Raakaöljyn jatkuva hinnannousu sekä EU:n energiansäästö määräykset viimeisen 10 vuoden aikana ovat vaikuttaneet nostavasti sähkön hinnan kehittymiseen. Kuvassa 1 on esitetty hintakehitys vuosien 2000 - 2013 aikana.



KUVA 1. Sähkön hintakehitys kulutustyypeittäin 2000 - 2013 (Tilastokeskus 2013)

Sähkömarkkinat avautuivat Suomessa vuonna 1997. Sähköpörssi Nordpool on vastaanottanut sittemmin pohjoismaisen sähkön hankinnasta. Tukkusähkön hintakehitykseen vaikuttavat yleisesti energian tuottoon käytettyjen raaka-aineiden hinnan kehitys, kysynnän tarve, EU:n päästökauppa ja yleinen markkinapsykologia. Raaka-aineiden hintakehitystä enemmän, Pohjoismaissa markkinoita ohjaa vesialtaiden vuotuinen tilanne. Viime vuosina taloudelliset taantumavaiheet ovat osaltaan hidastaneet huomattavasti sähkön hintakehitystä. Hintojen nousua on hillinnyt hidas kulutuksen kasvuvauhti sekä polttoaineiden ja päästöoikeuksien nykyinen taso. Pitkällä aikavälillä sähkön hinta tulee todennäköisimmin nousemaan. Tähän vaikuttavat Suomessa EU:n ilmastopolitiikan tiukkeneminen, sähkön energiaverotus, siirtoverkon parantamiseen käytetyt investoinnit sekä todennäköinen raaka-aineiden hinnan nousu. (Paunu 2014, 2, 19, Wikipedia: Sähkön hinnan määräytyminen Pohjoismaissa)

## 5 VALAISTUKSEN ENERGIANSÄÄSTÖPOTENTIAALI

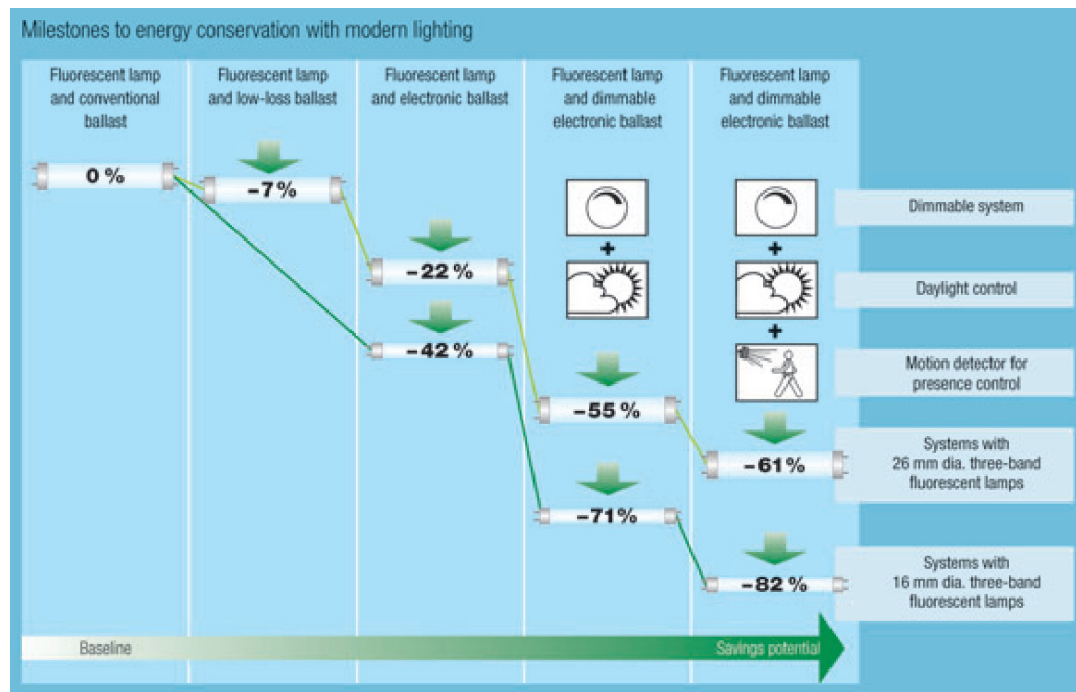
### 5.1 Yleinen energiansäästöpotentiaali

Vanhassa rakennuskannassa valaistukseen käytetty tekniikka on usein päivitettyä, ainoastaan perusteknisiä menetelmiä hyödyntävää. NykYTEKNIikka mahdollistaa useissa rakennuskohteissa valaistuskannan huomattavan optimoinnin energiansäästöpotentiaalin kannalta. Valaistuksen alueittaista energiankulutusta on eritelty kuvassa 2, jossa on arvioitu valaistukseen käytetyn sähköenergian säästöpotentiaalia Suomessa Motivan, kuntaliiton ja tilastokeskuksen lähdeaineiston puolesta sekä Ruotsin teollisuuden energiakulutustietojen pohjalta. (Valosto: Energiatehokas valaistus)

Alue	Kulutus MWh/a	Säästö- potentiaali MWh/a	%	CO <sub>2</sub> -päästöjen vähennys tonnia/a <sup>5)</sup>
Kotivalaistus <sup>1)</sup>	1.600.000	1.000.000	62	200 000
Palvelu- ja julkinen valaistus <sup>2)</sup>	4.000.000	1.200.000	30	240 000
Teollisuusvalaistus <sup>3)</sup>	1.500.000	400.000	26	80 000
Katuvalaistus <sup>4)</sup>	900.000	200.000	22	40 000
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>8.000.000</b>	<b>2.800.000</b>	<b>30</b>	<b>560 000</b>

KUVA 2. Valaistuksen säästöpotentiaali Suomessa (Valosto: Energiatehokas valaistus)

Valaistuksen käytännönläheistä säästöpotentiaalia on havainnollistettu kuvassa 3, jossa vertaillaan energiansäästöjä 26 mm halkaisijalla olevalla perinteisellä T8 loisteputkilla sekä 16 mm halkaisijalla olevalla energiatehokkaammalla T5 -tyypin loisteputkella. Kuvassa esitetään normaalin- ja vähähäviöisen kuristimen sekä elektronisen liitäntälaitteen käytön tuomat säästöt yhdistettynä himmenin-, päivänvalo- ja liiketunnistinohjaus kombinaatioihin. Säästöpotentiaali riippuu käytännössä paljon valaistuksen pitoajoista eli valaistusympäristön luonteesta.



KUVA 3. Valaistuksen energiansäästöpotentiaalin havainnollistaminen (Lich Wissen 01, 57)

## 5.2 LED-tekniikka

LED:ien etuna muihin valonlähteisiin ovat tarvittaessa pienet lampun mittasuhteet vaikka valonlähteen jäähdytyskomponentit voivat kasvattaa valaisimien kokoa. Tekniikka on jo alkujaan ollut suhteellisen valotehokasta, mutta valonlähteiden valotehokkuutta on pystytty parantamaan viime vuosien aikana vielä huimasti. Valotehokkuuden lisäksi LED:ien vahvuuksia ovat pitkät polttoajat, liikkumattomia osia sisältävät, lujat rakenteet, monimuotoiset väriominaisuudet ja valovirran säädönhelppous. Tämän lisäksi lamput syttyvät nopeasti vaikuttamatta valonlähteen elinikään sekä toimivat varmasti. LED:it eivät myöskään tuota IR- tai UV-säteilyä. (Ekovalo 2011)

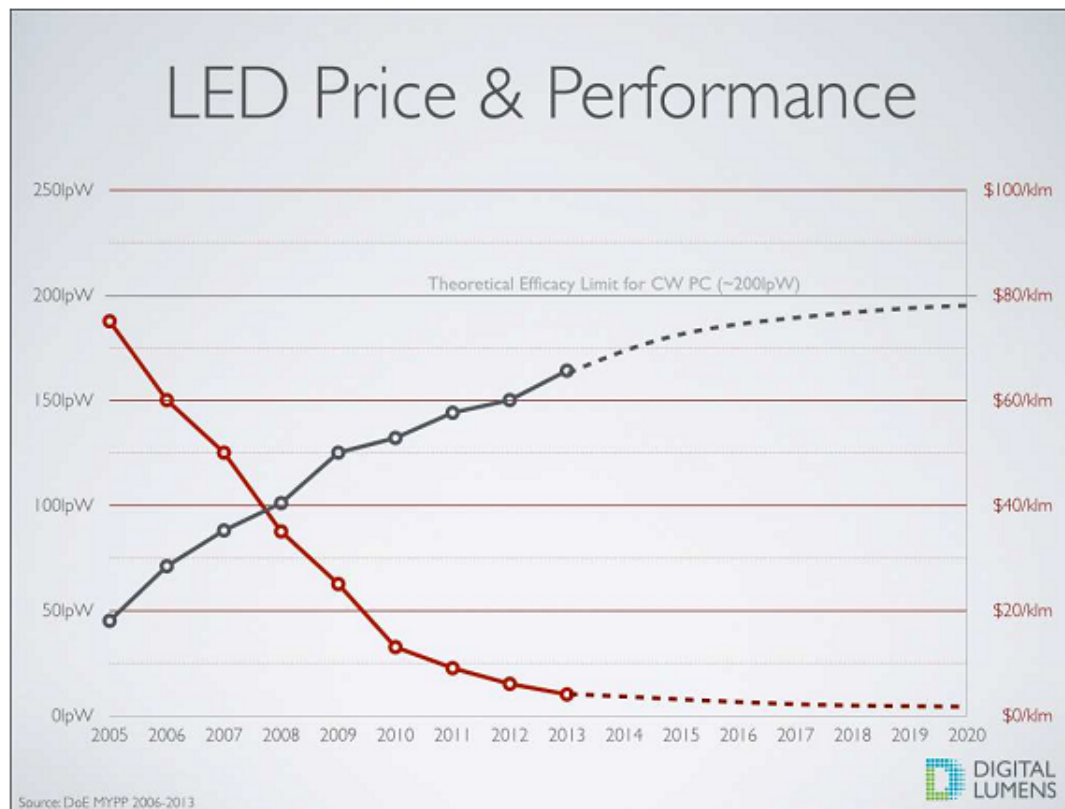
### 5.2.1 Hintakehitys ja valotehokkuus

*”Led-tekniikan kehitys on ollut todella nopeaa. Kehitys tulee jatkumaan, mutta hidastuu jonkin verran. Tehokkuus on kaksinkertaistunut muutamassa vuodessa samaan aikaan, kun kustannukset ovat alentuneet merkittävästi. On todennäköistä, että tällä het-*



*kellä järjestelmien, joiden teho on 100 lm/W tulevat nousemaan parin vuoden sisällä tehoon 150 lm/W. Volyymien kasvaessa kustannukset tulevat laskemaan, mutta tässä vaiheessa on vaikea sanoa kuinka paljon.” (Fagerhult.fi 2014, LED - Tulevaisuus)*

Yleinen arvio LED-lamppujen hintakehityksestä useiden internet-lähteiden pohjalta on, että hinnat tulevat laskemaan vielä hieman tulevina vuosina. Yhdysvaltain energiaviraston DOE:n LED-työpajoissa (SSLWorkshop) on joka vuosi (2003-) arvioitu tuotteiden valmistuskustannusten ja markkinahintojen suhteellista kehittymistä eri LED-valmistajien ja tekniikan asiantuntijoiden toimesta. DOE tukee osaltaan LED-tuotteiden kehitystä ja on julkaissut vuonna 2013 LED-markkinatuotteiden keskimääräisen kehitysen (kuva 4). Markkinoille odotetaan saatavan lähelle 200 lm/W tasolle pääseviä valonlähteitä vuosikymmenen lopulla, jotka ylittäisivät kaksinkertaisesti loistetekniikkaa hyödyntävän lähimmän, kilpailevan vaihtoehdon. (Digital Lumens-artikkeli 2014, Forbes -artikkeli 2014)



KUVA 4: LED-hintakehitys suhteessa valotehon kasvuun (Digital Lumens -artikkeli 2014)

Yhdysvaltain Energiaministeriön osan, EIA:n julkaisemassa vuoden 2014 energiakatselmuksessa on myös arvioitu kaupallisten LED-lamppujen mahdollista hinta- ja valotehokkuuskehitystä Yhdysvaltain markkinoilla. Lähdeaineiston pohjalta pitkään jatkunut, jyrkkä hintojen lasku olisi lopulta tasoittumassa, lähestyen valonlähdetekniikan käytännöllistä hinta- ja suoritustasoa. LED-tuotesukupolvi uudistuu puolessa vuodessa ja kehitysennusteiden perusteellase on viimestään vuosikymmenen lopulla kustannuksiltaan hyvin kilpailukykyinen vaihtoehto halogeeni-, hehku-, loiste- ja monimetallilampuille. (EIA:n LED-artikkeli, Ekovalo 2011)

Valotehokkuudelta LED-tuotteet ovat jo ohittaneet perinteiset valonlähdetypit. Samaisen lähdeaineiston pohjalta vastaavia, käytössä olevia valonlähdetyppejä vertailtaessa loistelamput pääsevät keskimäärin 67 lm/W valotehokkuuteen, LED-lamppujen päästessä 83 lm/W arvoon ollen samalla lähes 30 kertaa pitkäikäisempiä kuin vastaava hehku-lamppu. Wipedian mukaan tämän hetkessä kaupallisessa käytössä olevien LED-valoputkien tehokkuus on 80–120 lm/W välillä. (EIA:n LED-artikkeli, Wikipedia: LED-valoputket 2014)

### **5.2.2 LED-putket loisteputkien korvaajana**

Oleellinen osa valaistusuudistusta oli vanhojen loisteputkivalojen vaihdettavuus energiatehokkaampiin valonlähderatkaisuihin. T8-loistelamput ovat kannaltaan yleisimmin käytettyjä valonlähteitä loisteputkivalaisimissa, erityisesti vanhemmissa valaisinasennuksissa. T8-tyypin loistevalaisimia korvataan monesti energiatehokkaammilla T5-mallin loistevalaisimilla. T8 ja T5 mallien keskenäisiä hinta/tehokkuus -vertailuja on paljon. Valaistusmuutoksen kannalta oleellista oli tarkastella loisteputkien vaihtamista LED-valoputkiin, koska T5-loisteputket eivät olisi olleet suoraa yhteensopivia muutokohteen vanhaan T8-loistevalaisinkantaan, eikä niillä saavutettu etu olisi päässyt hinta/energiatehokkuus -suhteeltaan paremmaksi kuin LED-ratkaisuja käytettäessä. (Sähköinfo -lehden artikkeli 2009)

Tekniikaltaan LED-valoputket on yleensä toteutettu suurella määrällä pien- tai keskiteholedejä, joiden avulla saadaan valontuotto ja lämmönjohtuminen tasaiseksi koko putken pituudelle. Putkien toimintalämpötila on matalampi kuin perinteisillä valaistustekniikoilla kuten loisteputkilla. Valon suunnattavuus ominaisuuksiltaan LED-valoputkien

valovirta ohjautuu kapeammalla keilalla tehokkaammin sinne, missä valoa tarvitaan. Valotehokkuuden ja suunnattavuuden ansiosta LED-valoputkilla voidaan saada sama valaistusvoimakkuus kuin muillakin valaistusmuodoilla pienemmällä kulutetulla sähköteholla. (Wikipedia: LED-valoputki 2014)

Loisteputkia korvataan nykyään paljon T8-tyypin LED-putkilla. LED-valoputkia voidaan käyttää joko valonlähteelle varta vasten suunnitussa LED-valaisimessa tai muutostyön kautta asennettuna vanhaan loistevalaisimeen. Valaisinvalmistajat toimittavat nykyään myös retrofit-tyyppisiä LED-putkia, jotka voidaan asentaa suoraan vanhaan T8 -tyypin loistevalaisinkantaan ilman valaisimeen tehtäviä muutoksia. Jotkut mallit ovat yhteensopivia vain kuristimen kanssa jättäen loistesytyttimen korvaavan oikosulkupalan, mutta osaa voidaan käyttää mihin tahansa loisteputkivalaisimeen ilman muutoksia. Retrofit -mallin valonlähteitä on putkien lisäksi olemassa myös downlight -valaisinkantaan. Vaihtoehto helpottaa valonlähteiden sovittamista vanhaan valaisinkantaan, jolloin olemassa olevista valaisimista saadaan helposti energiatehokkaampia pienillä investoinneilla. Kyseistä ratkaisua suunniteltaessa joudutaan ottamaan huomioon kuitenkin vanhan loistevalaisinkannan jäähdytysominaisuudet, valaisimen optiikka ja sähköturvallisuus. Tukes on muummuassa julkaissut mustion ”LED-valoputket loisteputkien korvaajina”, jossa otetaan kantaa kyseisiin muutosratkaisuihin. Pääasiana on, että tehtävä muutos loisteputkesta LED-valoputkeen (ja tarvittaessa päinvastoin) ei vaaranna turvallisuutta eikä heikennä asennusten sähkömagneettista yhteensopivuutta. (Tukes muistio 2013, Wikipedia: LED-valoputki)

Wikipedian LED-valoputki artikkelissa on retrofit-valonlähteiden osalta todettu seuraavaa: *”Jotkin valaisinrungot heijastavat hyvin loisteputkesta ylös ja sivuille säteilevää valoa, kun toiset puolestaan hukkaavat lähes kaiken paitsi alas säteilevän valon. Erityisesti vähemmällä valovirralla varustetut 1. ja 2. sukupolven LED-valoputket kärsivät tappion valaistusvoimakkuuksissa loisteputkille kun valaisimessa on hyvin heijastava laaja optiikka ja asennuspaikka vain yhdelle loiste-/LED-valoputkelle. Tällöin valaisin pystyy maksimoimaan loisteputken ylös ja sivuille säteilevän valon suuntaamisen takaisin tilaan, jossa valoa käytetään. 3. Sukupolven LED-valoputkilla on pyritty ratkaisemaan tämä ongelma lisäämällä LED-valoputken valovirtaa, jotta se riittäisi lähes kaikissa tilanteissa valaisimeen katsomatta. Samalla tosin itse valoa säteilevän putken pintakirkkaus kasvaa loisteputkeasuuremmaksi ja joissain tapauksissa yksittäiset kirkkaat LED-komponentit voivat olla haitallisia näkökyvylle. Nk. 3. sukupolven LED-valoputkia*

*on markkinoilla jouseammalta toimijalta, mutta useimmiten ylimääräisen valon varjopuolena on samalla kasvanut sähkönkulutus.”* (Wikipedia: LED-valoputki 2014)

Retrofit-tyyppisten, asennusvalmiiden LED-putkien lisäksi loistevalaisimia voidaan muuttaa LED-valoputkia hyödyntäväksi muutossarjojen (conversion kits) avulla. Conversion kit-tyyppiset asennukset sisältävät liitäntälaitteet, ohjauselektroniikan, lampun pitimet ja johdotuksen, joilla loistevalaisin modifioidaan LED-putkille yhteensopivaksi. Vastaavat asennukset muuttavat aina valaisimen alkuperäisen rakenteen joko vaihtamalla tai poistaen liitäntälaitteen ja valaisimen sisäistä johdotusta. Valaisinmuutoksia voidaan tehdä myös retrofit-asennuksissa parantamaan tehokerrointa tai vähentämään tehohäviöitä. Kompensointikondensaattorilla varustettujen valaisimien kanssa LED-valoputket tuottavat usein suuren määrän loistehoa. Tyypillisiä muutoksia ovat liitäntälaitteen ja kompensointikondensaattorin poistaminen. Muutosten jälkeen valaisimen CE-merkintä poistuu sekä vastuu valaisimen turvallisuudesta siirtyy muutostyön tekijälle. Tukes ohje ottaa tarkemmin kantaa kaikkiin edellä mainittuihin asioihin. (Tukes, muistio 2013)

Suomen Valoteknisen Seuran mukaan sekä conversionkit että retrofit -muutostapojen heikkoutena on, että LED-valoputket eivät hyödynnä valaisimen omaa optiikkaa, koska valaisimen valonjako ja optiikka on aina suunniteltu tietyille lampputyypille. Tilan valaistusolosuhteet voivat tästä syystä muuttua huomattavasti. Suuren pintakirkkautensa takia LED:it aiheuttavat myös voimakasta häikäisyä. Monessa mielessä paras ja helpoin tapa korvata loisteputket, on käyttää LED-valonlähteille varta vasten tarkoitettuja valaisimia. LED-valonlähteille suunnitellut valaisimet omaavat aina optimaalisimman, valonlähteelle soveltuvan jäähdytyksen ja optiikan, jotka takaavat valonlähteiden nimelliset hyötypolttoiät ja saatavan valovoimakkuuden. Lisäksi valmistaja takaa aina valaisimen turvallisen toimivuuden ja mahdolliset tuotetakuumenettelyt. (Sähköinfo -lehden artikkeli 2009)

## **6 VALAISTUSSUUNNITTELU JA ENERGIA TEHOKKUUDEN ARVIOIMINEN**

### **6.1 Valaistussuunnittelun yleiset periaatteet**

Hyvä valaistus muodostuu suuresta määrästä eri osatekijöitä. Valaistusta suunniteltaessa ei saa tinkiä energiansäästöistä laadun kustannuksella. Valaistussuositukset lähtevät siitä, kuinka hyvin työpaikan valaistustasossa pystytään suorittamaan näkemiseen liittyviä tehtäviä. Suomessa on aiemmin käytetty Suomen Valoteknillisen Seuran laatimia sisä- ja ulkotyöpaikkojen valaistussuosituksia, jotka ovat sittemmin korvattu eurooppalaisilla SFS-EN 12464 standardeilla. (Suomen Valotekninen Seura 2008)

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3 rakennusten energiatehokkuudesta antaa yleispätevän linjauksen valaistusjärjestelmän toteutukseen: Valaistuksen tulee vastata rakennuksen tilakohtaista käyttötarvetta niin, että valaistus voidaan ylläpitää tehokkaasti. Järjestelmää suunniteltaessa ja toteutettaessa on valittava tarkoitukseen sopivat laitteet ja ohjausmenetelmät sekä käytettävä hyödyksi päivänvaloa mahdollisuuksien mukaan. Valaistuksen ryhmittelyyn on syytä käyttää huomiota, jotta valaistusta voidaan ohjata valaistustarpeen mukaan. (RakMK D3 2010)

### **6.2 SFS-EN 12464-1**

Eurooppalainen valaistusstandardi SFS-EN 12464-1 ottaa kantaa valaistusvaatimuksiin sisätyöpaikoilla. Standardi määrittelee valaistusratkaisujen määrälliset ja laadulliset vaatimukset useimmille sisätyöpaikoille ja niihin liittyville alueille. Lisäksi se antaa suosituksia hyvistä valaistuskäytännöistä.

Standardin mukaan valaistussuunnittelun lähtökohtana on aina täyttää tilan vaadittu valaistustaso, mutta myös tyydyttää laadulliset ja määrälliset tarpeet. Valaistuksen laatuvaatimukset määritetään näkömukavuuden, näkötehokkuuden ja turvallisuuden täytymisenä. Näkömukavuudella tarkoitetaan käyttäjän positiivista kokemusta valaistuksesta ja näkötehokkuudella valaistuksen edesauttavuutta pitkissä ja vaativissa työtehtävissä. Keinovalaistuksen suunnittelussa tekijöitä ovat: valaistusvoimakkuus, valonsuun-

taus, valon vaihtelevuus, luminanssijakauma, värintoisto-ominaisuudet ja häikäisy. Standardissa 12464-1 annetaan tilakohtaisia suositusarvoja kyseisille ominaisuuksille. (SFS EN-12464-1)

### 6.3 Energiatehokkuuden saavuttaminen

Energiatehokkaaseen valaistusratkaisuun vaikuttavat pääpiirteittäin käytettyjen valonlähteiden ja valaisinten hyötysuhde, valaistavan kohteen vaatima pitoaika, säätötavat ja mahdollisuudet hyödyntää tilaympäristöstä saatavaa luonnonvaloa ja heijastavia pintoja.

Valaistusjärjestelmän suunnittelussa asiakas tai tilaaja määrittää monesti lähtökohdat sille, missä määrin investointeja käytetään energiatehokkuuteen ja valaistuksen laadullisten ominaisuuksien toteuttamiseen. Kuvassa 5 on esitetty energiatehokkuuden saavuttamiseen vaadittavia tekijöitä. (Suomen Valotekninen Seura 2008)



KUVA 5. Valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä (Suomen Valotekninen Seura 2008, 24)

### 6.4 Energiankulutuksen arvioiminen

Valaistuksen energiankulutusta arvioidaan laskennallisesti tai jälkikäteen mittaamalla. Energiankäytön arviointi voidaan tehdä standardiin SFS-EN 15193 perustuen. Etukäteen toteutettavien laskennallisten menetelmien perustana voi olla joko kulutuksen suhteellinen, nopea arviointi, jossa kohdejärjestelmän energiankulutusta arvioidaan vertailemalla jo olemassa olevien, samankaltaisten rakennustyyppien kulutus- ja käyttötietoja. (Suomen Valotekninen Seura 2008, 24)

Toinen tapa arvioida valaistuksen energiakustannuksia, on toteuttaa tarkka laskenta-arvio kohdetietojen pohjalta. Laskennassa otetaan huomioon kohteen valaistusjärjestelmälle yksinomaisia määreitä. Menetelmä jakaa valaistuksen ottaman energiankulutuksen käyttö- ja lepokulutukseen  $W_L$ ,  $W_P$ . Kokonaiskulutus  $W$  [kWh] saadaan näiden summana. (Suomen Valotekninen Seura 2008, 25)

Käyttökulutus  $W_L$  käsittää varsinaiseen valaistustarkoitukseen kuluvaan energian eli valonlähteiden ja liitäntälaitteiden kuluttaman energian. Valaistuksen energiankulutusta arvioitaessa on otettava huomioon:

- valaistuksen asennettu kokonaisteho ( $P_n$ )
- valaistuksen käyttöaika (h/vuosi), ottaen erikseen huomioon ajan, jolloin päivänvaloa on saatavissa ( $t_D$ ) ja pimeään aikaan tapahtuvan käytön ( $t_N$ )
- valaistuksen tehon säätö päivänvalon mukaan vakiovalo-ohjauksella
- kerroin  $F_c$  huomio säästön, joka saadaan, kun vakiovalosäädin pienentää ylimittituksen aiheuttamaa valovirtaa
- kerroin  $F_D$  on korjauskerroin säästölle, joka saadaan, kun vakiovalosäädin pienentää keinovalon osuutta ulkoa tulevan päivänvalon johdosta
- läsnäoloon perustuva ohjaus
- kerroin  $F_o$  on korjauskerroin, joka huomioi läsnäolon vaikutuksen, kun tunnetaan valaistuksen ohjaustapa ja tilan käyttöaste

(Suomen Valotekninen Seura 2008, 25)

Valaistuksen käyttökulutus saadaan yhtälöstä:

$$W_L = \sum\{[(P_n \times F_c) \times [(t_D \times F_o \times F_D) + (t_N \times F_o)]] / 1000 \text{ [kWh]} \quad (1)$$

Valaistusjärjestelmän lepokulutuksessa on otettava huomioon

- mahdollisen turvavalaistuksen teho ( $P_{em}$ ) ja sen paristojen lataamiseen käytetty aika ( $t_{em}$ )
- valaistusohjausjärjestelmään kuluva teho ( $P_{pc}$ ) silloin, kun valaistus ei ole käytössä vuoden aikana [ $t_y - (t_D + t_N)$ ].

Lepokulutus saadaan tällöin yhtälöstä:

$$W_P = \sum\{[P_{pc} \times [t_y - (t_D + t_N)]] + (P_{em} \times t_{em})\} / 1000 \text{ [kWh]} \quad (2)$$

## 6.5 Energiatohokkuuden arvioiminen

Rakennusten keskinäisiä energiatohokkuusasteita vertaillaan valaistuksen osalta LENI-arvojen kautta. Yksikkö määrittelee vuotuisen energiankulutuksen pinta-alaa kohden. Energiatohokkuuskriteerien tarkastelut pohjautuvat LENI-arvoihin. (Suomen Valotekninen Seura 2008, 25)

$$\text{LENI} = W / A \text{ [kWh/m}^2\text{/vuosi]} \quad (3)$$

Kuvassa 6 on taulukoitu arvoja SVS:n ”Valaistushankintojen energiatohokkuus” -raportista perustuen SFS-EN 15193 standardiin, jonka liitteessä F on esitetty erityyppisille rakennuksille LENI-vertailuarvoja kolmeen laatuluokkaan jaoteltuna. Ratkaisut täyttävät standardin SFS-EN 12464-1 vaatimukset valaistusvoimakkuuden ja häikäisy-suojauksen kannalta. Laatuluokat jaottuvat valaistusominaisuuksien mukaan, eivät energiatohokkuuteen perustuen. (Suomen Valotekninen Seura 2008, 26)

Rakennus- tyyppi	Laatu- luokka	$P_n$ W/m <sup>2</sup>	$t_o$ h	$t_N$ h	LENI-arvot ei vakiovalosäätöä		LENI-arvot vakiovalosäätö	
					käsiohj.	auto	käsiohj.	auto
					kWh/m <sup>2</sup> ,y	kWh/m <sup>2</sup> ,y	kWh/m <sup>2</sup> ,y	kWh/m <sup>2</sup> ,y
Toimisto	*	15	2250	250	42,1	35,3	38,3	32,2
	**	20	2250	250	54,6	45,5	49,6	41,4
	***	25	2250	250	67,1	55,8	60,8	50,6
Koulu	*	15	1800	200	34,9	27,0	31,9	24,8
	**	20	1800	200	44,9	34,4	40,9	31,4
	***	25	1800	200	54,9	31,8	49,9	38,1
Sairaala	*	15	3000	2000	70,6	55,9	63,9	50,7
	**	20	3000	2000	115,6	91,1	104,4	82,3
	***	25	3000	2000	160,6	126,3	144,9	114,0
Hotelli	*	10	3000	2000	38,1	38,1	34,6	34,6
	**	20	3000	2000	72,1	72,1	65,1	65,1
	***	30	3000	2000	108,1	108,1	97,6	97,6
Ravintola	*	10	1250	1250	29,6	-	27,1	-
	**	25	1250	1250	67,1	-	60,8	-
	***	35	1250	1250	92,1	-	83,3	-
Urheilutila	*	10	2000	2000	43,7	41,7	39,7	37,9
	**	20	2000	2000	83,7	79,7	75,7	72,1
	***	30	2000	2000	123,7	117,7	111,7	106,3
Myymälä	*	15	3000	2000	78,1	-	70,6	-
	**	25	3000	2000	128,1	-	115,6	-
	***	35	3000	2000	178,1	-	160,6	-
Teollisuus	*	10	2500	1500	43,7	41,2	39,7	37,5
	**	20	2500	1500	83,7	78,7	75,7	71,2
	***	30	2500	1500	123,7	116,2	111,7	105,0

KUVA 6: Ote SVS 2008 raportista, LENI-vertailuarvoja rakennustyypeittäin (Suomen Valotekninen Seura 2008, 26)



*”LENI-arvo riippuu luonnollisesti suoraan valaistuksen käyttöajasta. Jos taulukon arvoja halutaan pitää jonkinlaisina ohjearvoina, on vertailussa käytettävä taulukoissa annettuja käyttöaikoja. Taulukon arvoja tarkasteltaessa on huomattava, että ne on muodostettu koko rakennuksen keskimääräisen valaistuksen tehotiheyden perusteella.”*  
(Suomen Valotekninen Seura 2008, 27)

Ohjeellisia LENI- arvoja eri tiloille [kWh/(m <sup>2</sup> x vuosi)]						
Tila	Käyttöaika	Tavoiteltava valaistusvoimakkuus (lx)				
		200	300	500	750	1000
Koulu	Käsiohjaus	14,9	19,9	29,9	42,4	54,9
	Automaattinen ohj.	11,5	14,8	21,5	29,8	38,1
Sairaala	Käsiohjaus	25,6	36,9	59,4	87,5	115,6
	Automaattinen ohj.	19,0	26,9	42,7	62,5	82,3
Hotelli	Käsiohjaus	20,6	29,4	46,9	68,8	90,6
	Automaattinen ohj.	18,9	26,8	42,5	62,2	81,9
Ravintola	Käsiohjaus	17,1	23,3	35,8	51,4	67,1
	Automaattinen ohj.	-	-	-	-	-
Urheilu	Käsiohjaus	23,7	33,7	53,7	78,7	103,7
	Automaattinen ohj.	20,8	29,4	46,5	67,8	89,2
Myymälä	Käsiohjaus	28,1	40,6	65,6	96,9	128,1
	Automaattinen ohj.	-	-	-	-	-
Teollisuus	Käsiohjaus	23,7	33,7	53,7	78,7	103,7
	Automaattinen ohj.	20,8	29,4	46,5	67,8	89,2

KUVA 7: Ote SVS 2008 raportista, LENI-ohjearvoja eri tiloille (Suomen Valotekninen Seura 2008, 26)

## 7 KOHTEEN VALAISTUSJÄRJESTELMÄ

Lentoasematerminaali jakautui kolmeen eri tasoon seuraavasti:

- 0. kerros, kellaritaso: varastotiloja, matkatavaran käsittelytilat, henkilöstötiloja, teknisiätiloja, kylmätila-alueita (henkilökunnan käytössä olevia tiloja)
- 1. kerros, pääterminaalitaso: sisäänkäynnit, odotustilat, lähtöselvitys- ja tax free-alueet, matkatavaran vastaanottotilat (asiakaskäytön tiloja)
- 2. kerros: ravintola- ja oleskeluparvi (asiakaskäytön tiloja), IVK-huoneita, toimistoja

Vanhaa valaistusjärjestelmää ei ollut mahdollista uusia kokonaisuudessaan kaavailtujen investointien puitteissa. Muutoskohteiksi valittiin keskeisiä tila-alueita, joissa vanha valaisinkanta oli tehonkulutukseltaan korkeaa ja valaisintyypeiltään yhtenevää muiden muutostilojen kanssa. Muutosalueiden valintaan vaikuttivat tilojen käyttötarkoitus sekä keinovalaistuksen kokonaiskuormat valaisinten tehojen ja vuotuisten pitoaikojen puolesta.

### 7.1 Kellaritason muutosalueet

Lentoaseman 0. kerrostaso jakautui rakenteellisesti ja valaistusalueittain kuvan 8 mukaisesti. Kokonaispinta-alaltaan kellaritaso käsitti noin 3000 m<sup>2</sup>, josta noin 2500 m<sup>2</sup> päädyttiin uusimaan valaistusasennusten puolesta. Kuvassa 8 on esitetty pääterminaalitason leikkauskuva valaistusalueiden puolesta. Rakenteellisten tilaratkaisuiden lisäksi kuviin on eritelty ja korostettu kuvioinnilla tilat ja alueet, joissa valaistusjärjestelmän muutoksia päädyttiin toteuttamaan. Kuvioinnin tyylillä on ilmenetty valaistuksen toiminnallisuutta: Tasajakoisen viivoituksen edustaessa jatkuvaa, tasaista valaistuksen pitoa; harva välisempi viivoitus jaksottaista, pitkäkestoista toimintaa; katkoviivoitus tasaista, lyhytjaksoista toimintaa; edellisten yhdistelmä molempia; joustokuviointi liiketunnistinhjausten piirissä olevaa valaistusta ja ristikuviointi satunnaista valaistuksen pitoa. Värisävytyksellä on havainnollistettu valaistuksen vuotuista käyttöaikaa seuraavasti:

- sininen, alle 1000 tuntia/vuosi
- keltainen, 1000–2000 tuntia/vuosi
- oranssi 2000–3000 tuntia/vuosi

- punainen 3000–5000 tuntia/vuosi
- tumma punainen yli 5000 tuntia/vuosi

Värisävytys ja kuviointi havainnollistavat valaistuksen toiminnallisuutta suuntaaantavasti ollen arvioita valaistuksen alueittaisesta aktiivisuudesta.

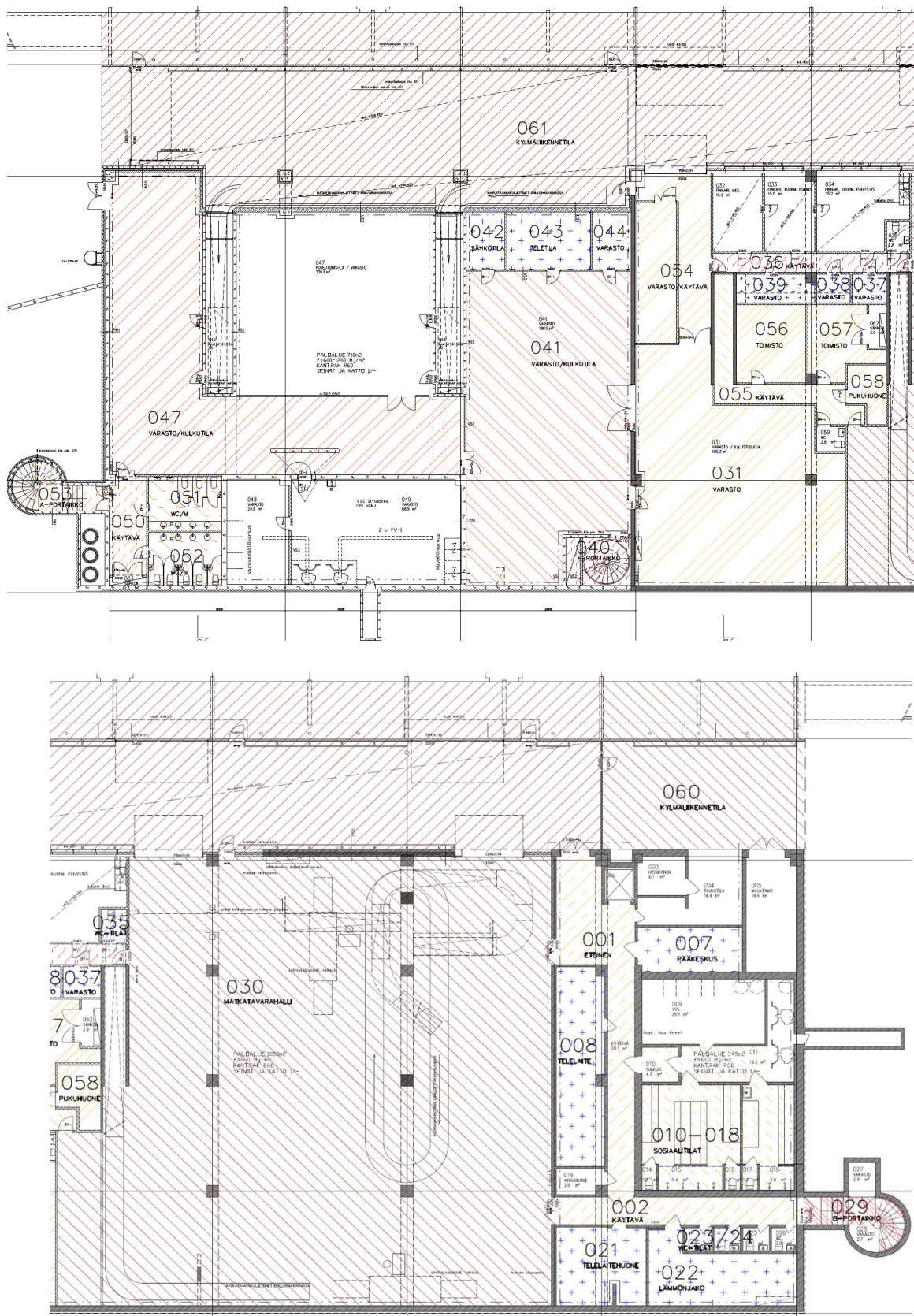
### 7.1.1 Valaistuskuormat

Suurimmassa osassa kellaritasoa yleisvalaistus oli toteutettu käyttäen 1–2 -putkisia 36–58 W loisteputkivalaisimia. Suurimmat valaistuskuormat syntyivät kellarikerroksessa matkatavarahallin (030) ja kylmäliikennetilojen (060, 061) valaistuksesta, joiden käyttö oli jatkuvatoimista, vailla luontevaa ohjausta. Matkatavarahallin valaisinkanta oli tehokasta 2x58 W loisteputkivalaistusta ja kylmäliikennetiloissa 250 W elohopeavalaisinkantaa.

Laajojen varastotilojen 047, 041 ja 031 valaistus oli myös samaa 2x58 W loisteputkikantaa. Nimellinen varastoalue 047 toimi päivittäisenä työpaikkatilana ja varasto 031 satunnaisena kokoushuoneena. Tilat toimivat myös läpikulkualueena muun muassa sähkö- ja toimistotiloihin. Alueiden valaistus ei ollut jatkuvatoimista, mutta oli kuitenkin aktiivisella käytöllä ja jaksottaisella pitempikestoisella pidolla.

Kolmanneksi suurimmat valaistuskuormat kellaritason osalta muodostuivat valaisinteiden ja kappalemäärien puolesta käytävä- ja porraskäytävätilojen valaistuksesta. Rakennustasoja leikkaavat kierreportaikot, sosiaali- ja teknisiin tiloihin johtavat käytävät (001, 002) sekä toimistotiloihin johtavat käytävät (036, 055) olivat aktiivisessa käytössä.

WC-tiloissa käytettiin 13–18 W pienloisteputkilamppuja. Liitteen 1 valaisinluettelossa on tarkempia tietoja käytetyistä valaisimista niiltä osin kuin tietoa oli saatavilla. Yleisvalaistus oli pääasiassa toteutettu valaisinripustuskiskoon asennettavilla teollisuusvalaisimilla, jotka oli ryhmitelty tilarakenteen mukaisesti. Myös kaapelihyllyt toimivat asennusalueena käytävätiloissa pinta-asennettaville loisteputkivalaisimille. Seinä- ja kattopintoihin asennettuja valaisimia oli pääasiassa WC- ja sosiaali-tiloissa sekä porraskäytävä ja käytävätiloissa.



KUVA 8: Kellaritason tilajakauma jaettuna kahteen osaan. A-osa ylempänä, B-osa alempana (Rovaniemen lentoaseman arkkitehtikuvat, muokattu)

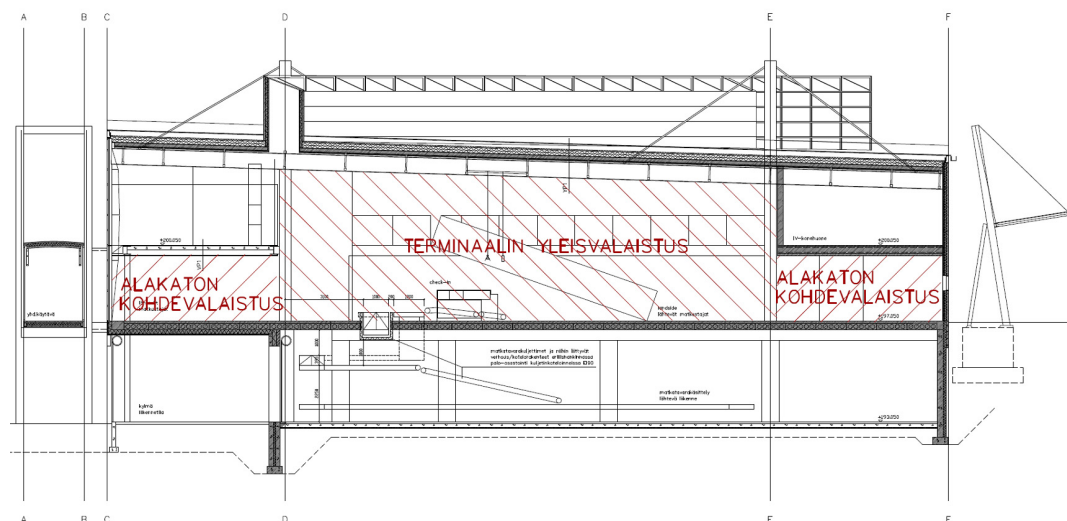
### 7.1.2 Valaistuksen ohjaus

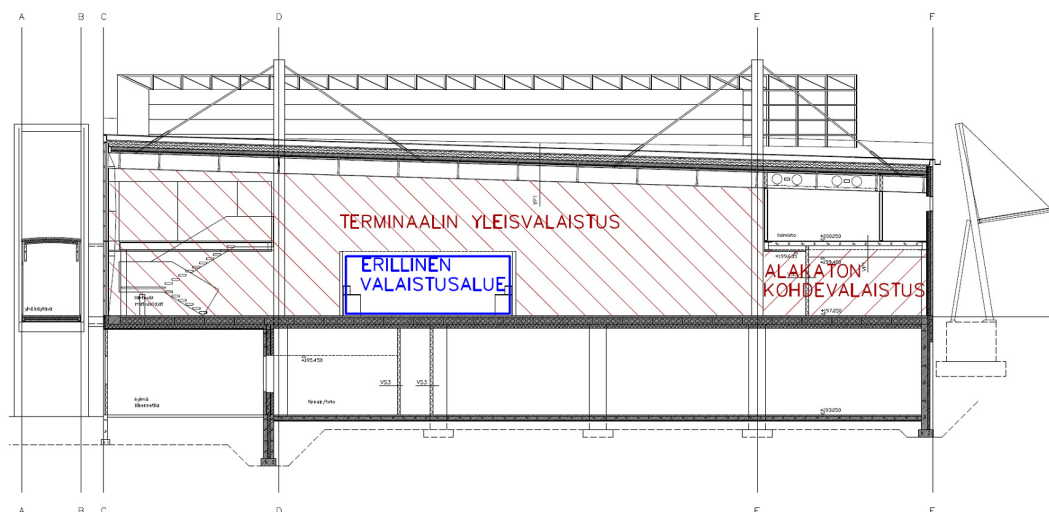
Valaistuksen ohjaukseen käytettiin laajoilla varastoalueilla (031, 041, 047) painonappiohjauslinjastoa lukuun ottamatta matkatavaran lastausaluetta (030), johon oli toteutettu liiketunnistinohjaus sekä aikaohjausmahdollisuus. Aikaohjaus perustui vanhaan rakennusautomaatiojärjestelmään, joka oli liitetty valaistuksesta vastaaviin keskuksiin. Myös kylmäliikennetilojen (060, 061) valaistus oli alun perin suunniteltu aikaohjattavaksi. Liiketunnistinohjaus sekä vanhan järjestelmän mahdollistama aikaohjaus eivät olleet toiminnallisia, joten valaistus kyseisillä alueilla oli jatkuvatoimista.

Käytävien, porraskäytävien ja WC-tilojen ohjaus oli A-puolella toteutettu liiketunnistin +porrasvaloautomaatti -yhdistelmällä. B-puolen käytävävalaistusta ohjattiin painonappi +porrasvaloautomaatti -yhdistelmällä. Kaikkien muiden pienten ja keskisuurien tilojen valaistusta ohjattiin paikallisilla kytkimillä.

## 7.2 Terminaalitason muutosalueet

Lentokenttäterminaalin pääkerros oli laajahko hallimainen tila, jossa pääsisäänkäyntejä ja lentorataa vastapäätä oleva rakennuksen toinen seinusta oli avoin seinusta, joka koostui laajoista ikkuna pinnoista. Tilaan tuotiin tätä kautta valoa ja näköalan antamaa avaruutta lentokentän suuntaan. Kuvassa 9 on esitetty poikkileikkaus, josta ilmenee terminaalin B-puoliskon ravintolaparvelle nousevat portaat ja lähtöselvityspisteet.





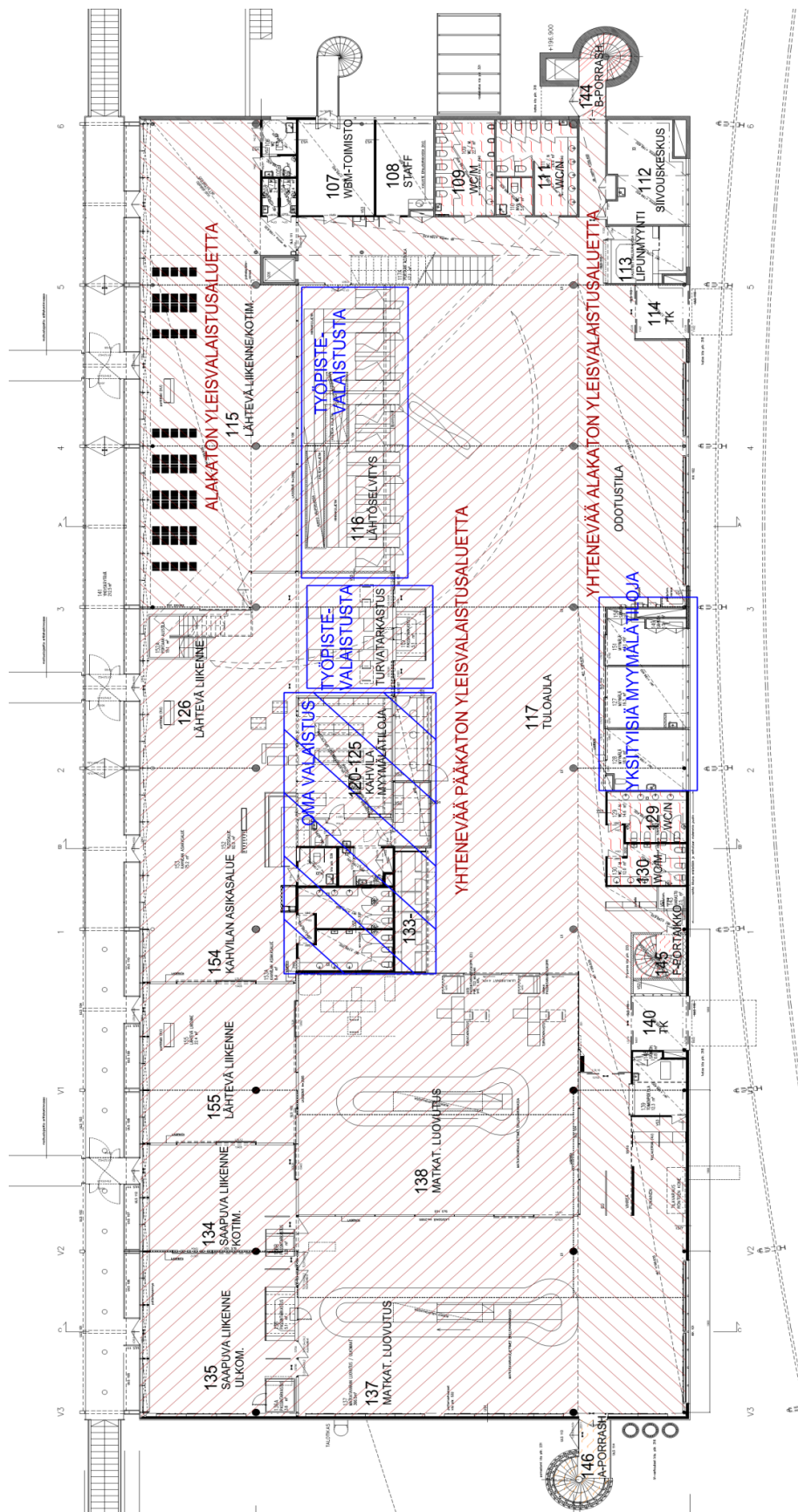
KUVA 9: Terminaalin poikkileikkaukset kahdesta erikohdasta (Rovaniemen lentokentän arkkitehtikuvat, muokattu)

Terminaalialue jakaantui kuvien 9 - 10 mukaisiksi valaistusalueiksi. Suurinta osaa varsinaisesta terminaalialueesta valaisivat yläkatossa olevat valaisimet. Muilta osin 1. kerroksen valaistus oli toteutettu asiakaskäyttötiloissa alakattoon upotettavilla downlight-valaisimilla.

### 7.2.1 Valaistuskuormat

Pääkaton valaisimet valaisivat kuvissa 9 - 10 esitetyn alueen eli suurimman osan hallitilan pinta-alasta. Valaistuksesta vastasivat 2. kerroksen kattotasolle kiinnitetyt 150 W monimetallivalaisimet sekä ikkunoista tuleva päivänvalo. Valaisimia oli kiinnitetty yhteensä noin 90 kappaletta metallisen kattoritilän taakse. Kattopinta oli valaistusalueilla viistosti nouseva, matalimpien valaistusasennusten ollessa A-päädyn matkatavaran luovutusalueella ja korkeimpien kahvilaparven viereisellä lähtöselvitysalueella. Asennuskorkeudet vaihtelivat 4,5 metristä 6,5 metriin. Muilta osin terminaalin tilan yleisvalaistus oli toteutettu alakattoihin asennetuilla pienloisteputkisilla alasvaloilla. Ensimmäistä alakatollista aluetta, hallin pääsisäänkäyntien läheistä edustaa (kuva 10: oikean laidan poikkeava viivoitus), valaisivat position 84 valaisimet (liite 1). Myös oleskeluparven alapuolinen alue, kotimaan lähtevän liikenteen odotustilat, valaistiin hieman vastaavatyypisillä downlight-valaisimilla (liite 1: positio 68).





KUVA 10. Terminaalin valaistusalueet (Rovaniemen lentokentän arkkitehtikuvat, muokattu)

Hallin keskiosa koostui erillisen alakaton omaavasta kahvila/myymälä tilasta sekä kantahenkilökunnan työpisteinä toimivista lähtöselvitys- ja turvatarkastusalueista (kuva 10: siniset rajaukset). Koppialueen valaistus sekä työpistevalaistus muodostivat osansa paikallisesta valaistuksesta, jota ei päädytty ottamaan osaksi valaisinmuutosta. Myös ravintola- ja oleskeluparvi WC-, porraskäytävä- ja käytävätilojen valaistusta uusittiin.

### **7.2.2 Valaistuksen ohjaus**

Terminaalivalaistuksen syötöstä vastasi kaksi valaistuskeskusta, jotka oltiin liitetty osaksi EIB-tyyppistä rakennusautomaatiojärjestelmää. Järjestelmä mahdollisti valaistuksen aikaohjauksen. Käytännössä järjestelmä ei kuitenkaan palvellut enää ohjaustapana, johtuen saapuvan lentoliikenteen satunnaisuudesta ja muuttuvista kellonajoista. Aikaohjaustekniikalla toteutettu valaistuksen ohjaus olisi vaatinut valaistuksen pitoaikojen jatkuvaa säätöä. Keskiyöllä saapuvista lennoista syntyvän matkustajaliikenteen takia valaistus oli toistaiseksi jatkuvalla pidolla.

### **7.3 Tilojen aktiivisuus ja valaistuksen toiminta-ajat**

Valaistuskuormien suhteelliseen kokoon vaikuttavat valaisinten kokonaistehojen ja kappalemäärien lisäksi valaistuksen vuotuinen toiminta. Valaistuksen ohjauksen tuomaa alenemaa voidaan arvioida numeerisesti ohjauskertoimella, jonka suuruus riippuu käytetystä ohjaustavasta ja ohjattavan tilan käyttöluonteesta. Taulukossa 1 on esitetty kootusti tietoja kohteen valaistuksen toiminta-ajoista ja ohjauskertoimista.

Yleisenä esimerkkinä valaistuksen toiminnallisten aikojen arvioimisesta on esimerkiksi työpaikan WC-tilat, joiden käyttöajan voisi ajatella määräytyvän normaalin työpäivän pituuden mukaan. Harvalukuisella henkilökunnalla WC-tilan todelliset käyttötunnit olisivat ehkä kolmasosan ajasta, jona työpaikka on auki. Läsnaolotunnistinohjauksella saatava alenema kyseisessä tilassa olisi tuolloin ohjauskertoimen muodossa ehkä 0,3 - 0,4. Esimerkiksi taulukon 1 pohjalta terminaalitason WC-tilojen valaistuksen vuorokautiseksi pitoajaksi tulee noin 3 tuntia ( $14\text{h} \times 0,2 = 2,8\text{h}$ ) tilan käyttöasteen tasaisuuden huomioiden.



TAULUKKO 1. Valaistuksen käyttöajat ja ohjaustavat vanhojen asennusten osalta

Osa	Til numerot	Tila	Valaistuksen toiminta-ajat (arvio)			Ohjaustapa	Ohjauskerroin
			tuntia/vrk	päivää/viikko	tuntia/vuosi		
0.k A-osa	051,052	WC -tilat	8	5	2080	LT	20 %
0.-2.k A-osa	050,053,146,225	A-portaikko+porrashuoneet	10	5	2600	LT	30 %
0.k A-osa	047 (1/2)	Varasto/kulkutila (ilman ompelimoa)	10	5	2600	painonappi	100 %
0.k A-osa	041	Varasto/kulkutila	11	5	2860	painonappi	100 %
0.k A-osa	042-044	Sähkö- ja teletilat	1	5	260	kytkin	100 %
0.-2.k A-osa	040,145,224	F-porras	12	5	3120	LT	40 %
0.k A-osa	031	Varasto/kokoustila	7	5	1820	painonappi (samassa ohjauspiirissä) (uusitut tilaratkaisut)	100 %
0.k A-osa	054	Varasto/käytävä (häätäpoistumistie)	7	5	1820		
0.k A-osa	056-058	Toimistot	7	5	1820		
0.k A-osa	055	Käytävä	7	5	1820	kytkin	100 %
0.k A-osa	036	Käytävä	10	7	3640	LT	60 %
0.k B-osa	037-039	Varastot	2	5	520	kytkin	100 %
0.k B-osa	030	Matkatavaratila	24	7	8736	LT (ei käyt.)	100 %
0.k B-osa	001,002	Käytävät	3	7	1092	painonappi	100 %
0.k B-osa	008	Teletila	1	5	260	kytkin	100 %
0.k B-osa	021	Telelaituhuone	1	5	260	kytkin	100 %
0.k B-osa	022	Lämmönjakohuone	1	5	260	kytkin	100 %
0.k B-osa	010-018	Sosiaalitulat	3	7	1092	kytkin	100 %
0.k B-osa	007	Pääkeskus	1	5	260	kytkin	100 %
0.k A-B-osat	060,061	Kylmäkatosalue	24	7	8736	aikaohj.(ei käyt.)	100 %
0.-1.k B-osa	029,030, 144-	B-portaikko+porrashuoneet	12	7	4368	painonappi	100 %
0.-1.k B-osa	023,024,035,110	WC -tilat (pienet)	2	5	520	kytkin	100 %
1.k B-osa	109,111	WC -tilat	14	7	5096	LT	20 %
1.k A-osa	129,130	WC -tilat	14	7	5096	LT	20 %
2.k A-B-osat		Terminaalin päävalaistus	24	7	8736	aikaohj.(ei käyt.)	100 %

Taulukossa on listattu vain uusimisen kohteena olleet, keskeiset valaistusalueet, joita on vertailtu myöhemmässä elinkaarilaskennassa. Valaistuksen toiminta-ajat alakerroksen osalta riippuivat ainoastaan kantahenkilökunnan liikkumisesta tiloissa, ja pääterminaalitasolla sekä kantahenkilökunnan että matkustajaliikenteen aktiivisuudesta. Lentoasema-terminaalin viralliset käyttöajat vaihtelivat jokseenkin, mutta olivat suurin piirtein maanantaista lauantaihin klo 4.30 - 23.30 ja sunnuntaisin klo 7.30 - 22.30. Terminaalissa sekä matkatavaran lastaustiloissa valaistusta pidettiin yllä keskiyön saapuvan lentoliikenteen ja matkustajakunnan takia läpi vuorokauden.

Listatut tuntiarvot pohjautuvat yleisiin työaikoihin, tilojen sijaintiin ja käyttötarkoitukseen sekä henkilökohtaiseen käsitykseen tilojen aktiivisuudesta. Tiloissa, joissa ei ollut läsnäolotunnistinta, realistiset pitoajat riippuivat täysin henkilökunnan muistamisesta sammuttaa valaistus poistuessaan. Jotkin nimelliset varastotilat palvelivat myös muunkin tilana, kuten kokoushuoneena, läpikulkutilana tai muussa käytössä. Taulukossa listatut toimistotilat eivät olleet vielä vakiintuneessa käytössä. Tilakohtaiset toiminta-ajat voivat muuttua 30 vuoden tarkastelujakson aikana joko ylä- tai alakanttiin.

## **8 VALAISTUKSEN ENERGIAITEHOKKUUDEN PARANTAMINEN MUUTOSKOHTEESSA**

### **8.1 Valaistusjärjestelmän uusimisen lähtökohdat**

Lähtökohta lentoasematerminaalin valaistusjärjestelmän parantamiselle oli mahdollisimman suurten energiasäästöjen aikaansaaminen taloudellisten investointien puitteissa. Valaistusvoimakkuus tiloissa haluttiin pitää käyttäjäystävällisellä tasolla, mutta keinovalaistuksen kuluvaan energiankulutukseen haluttiin kokonaisuudessaan pysyvä lasku. Kohteen aiempi valaistusjärjestelmä oli otettu käyttöön lentoasematerminaalin valmistuessa 90-luvun taitteessa eikä valaistusta oltu sittemmin uudistettu kokonaisuudessaan. Yli 20 vuotta vanhaa valaisinkantaa korvaamaan haluttiin toimivia, nykyaikaisia valaisinratkaisuja, joilla saavutettaisiin tarvittava valaistustaso pienemmällä energiankulutuksella. LED-tekniikkaa päädyttiin käyttämään korvaavana valonlähteenä.

Valaisinuudistusten lisäksi valaistusjärjestelmää haluttiin muuttaa ohjaukseltaan toimivammaksi, koska käytössä olevilla, perinteisillä ohjaustavoilla ei katsottu saavutettavan tarpeeksi hyödykästä tasoa. Keinovalaistuksen pitoaikaa haluttiin muuttaa enemmän tilojen käyttöä vastaavaksi. Valaistuksen ohjausta tehostettiin lisäämällä läsnäolotunnistinhajauksia muutosalueina oleviin tiloihin sekä lentoasematerminaalin päätason osalta eri ohjaustapoja yhdistävällä valaistusohjausjärjestelmällä.

### **8.2 Valaistusuudistukset**

Uudet valaisinratkaisut asennettiin pääosin samoille paikoille kuin vanhat valaisimet. Tiloihin haluttiin kyetä tuottamaan suurin piirtein sama valaistustaso tarpeellisen valovoimakkuuden puolesta. Paikoittaisia poikkeavuuksia kuitenkin tehtiin asennuspaikkojen ja valaisinpisteiden suhteelliseen määrään. Alla on listattu muutoskohteenä olleet tila-alueet käytetyt valaisinratkaisut positiointeen. Punaisella sävyllä on eritelty tiloihin jääneet vanhat valaisimet. Asennusten koko purkamiselle ei nähty tarvetta, joten ainoastaan valaisimet poistettiin ja vanhoja syöttöryhmiä hyödynnettiin uusia valaisinasennuksia ryhmiteltäessä.

### 8.2.1 Valaisin muutokset terminaalitasolla

Terminaalin yleisvalaistus alue otettiin päätoimiseksi muutoskohteeksi valaistusuudistusta suunniteltaessa. Valaistus uusittiin alueelta kokonaan vaihtamalla vanhat 150 W valaisimet uusin DALI-yhteensopiviin 55 W LED-valaisimiin (liite 1: positio 110).

Poikkeavalla viivoituksella esitettyä (kuva 10), alakattojen downlight-valaistusta ei päädytty ottamaan osaksi valaistusmuutosta osittain investointisyyistä. Valaisimia oli kappalemäärältään pääterminaalitasolla 150–160. Olemassa olevien downlight-valojen energiansäästöpotentiaali arvioitiin oletusarvoisesti liian pieneksi valaisinten tehon ollessa 13 W ja vastaavaan asennusympäristöön ja valontuottoon soveltuvien LED-valaisinten tehojen vaihdellessa 9–13 W välillä. Taulukossa 2 on listattu kaikki terminaalitasoon tila-alueet, joissa valaistusmuutoksia tehtiin.

TAULUKKO 2. Terminaalitasoon valaistusmuutosalueet

Tila-numero	Tilanimi	Valaistusala [m <sup>2</sup> ]	Vanhat valaisimet [kpl]	Vanhat valaisin-positiot (x)	Uudet valaisimet [kpl]	Uudet valaisin-positiot (x)	Jääneitä valaisimia [kpl]
-	katos, roskakatos	30	3	(x)	3	(111)	3
109	WC /M	22,7	12	$2*(65)+10*(x)$	2	(108)	12
110	WC /INVA	5,6	3	$2*(x)+1*(y)$	1	(104)	3
111	WC /N	25	14	$3*(65)+11*(x)$	3	(108)	14
129	WC /N	14,6	10	$3*(65)+4*(67)+3*(68)$	7	$3*(108)+4*(105)$	7
130	WC /M	12	9	$2*(65)+3*(67)+4*(68)$	5	$2*(108)+3*(105)$	5
144	B-porrash.	12,4	2	(65)	2	(111)	2
145	F-porrash.	7,1	2	(65)	2	(103)	2
146	G-porrash.	13,4	4	(65)	3	(103)	3
225	G-porrash.	13	2	(65)	2	(103)	2
224	F-porrash.	7	2	(65)	1	(103)	1
-	terminaalin katto	1850	90	(77)	90	(110)	90
Yhteensä =		1983	153	Uudet valaisimet =	121	jääneet valaisimet =	144

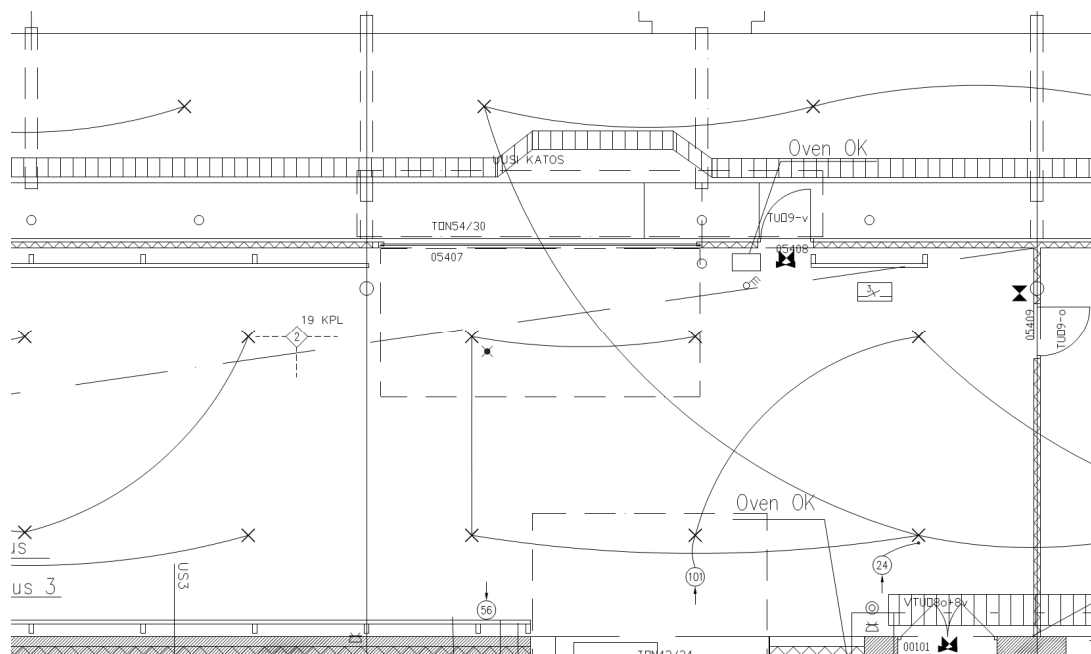
### 8.2.2 Valaisin muutokset kellaritasolla

Kellaritasolla valaistusta päädyttiin muuttamaan ottaen huomioon kappaleessa 7 esitettyjä tekijöitä, kuten valaistuskuormia ja valaistuksen toiminta-aikoja. Vanhojen valaisintyyppien yhteneväisyys vaikutti myös hieman siihen, missä tiloissa valaistusta muutettiin.

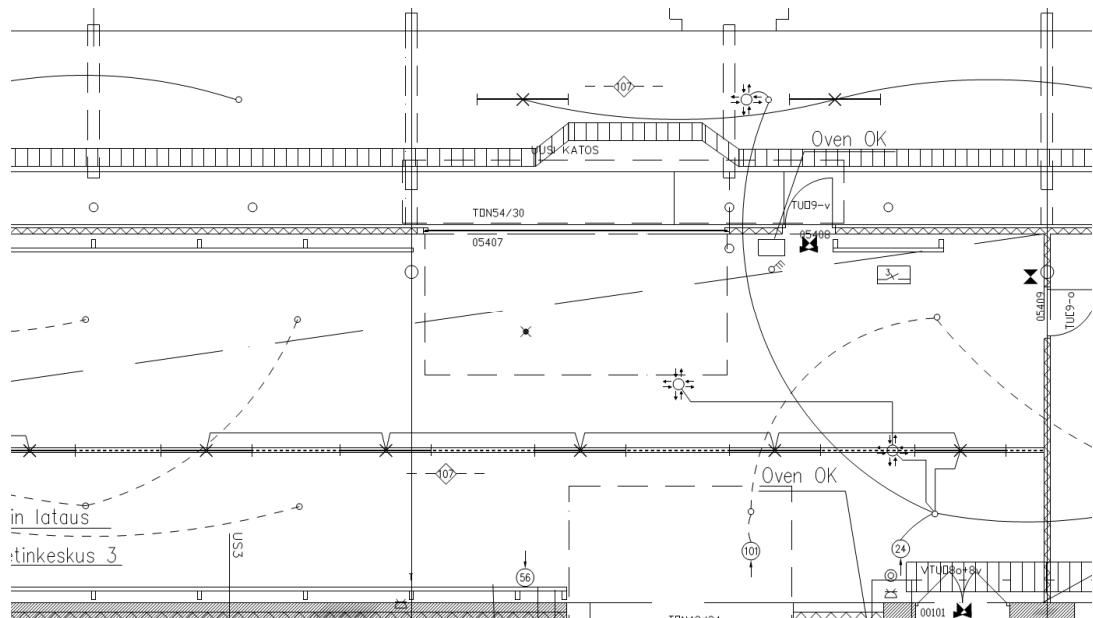
Vanhoja valaisimia jätettiin paikka paikoin osaksi uusittujen tilojen valaistusta kustannussyistä. Conversion-kit-tyypeistä LED-valoputkien sovittamista vanhaan valaisinkan-

taan hyödynnettiin hallitilassa (047+), jossa vanhat valaisinrungot mukautettiin LED-putkille yhteensopivaksi. Kellaritason valaistusalueita, joihin ei tehty uudistuksia, olivat yksityisessä käytössä olevat ompelimoitat (047), Finnairin henkilöstö- ja varastotilat (032 - 034), väestönsuoja sekä B-puolen muuntamokeskuksen läheisyydessä sijaitsevat pienet tekniset tilat (003 - 005). Määrällisesti suurimmat valaisinmuutokset toteutettiin laajoihin matkatavara- ja varastotiloihin sekä kylmäliikennetilaan.

Suurin muutos alkuperäisiin asennuksiin nähden toteutettiin kylmäliikennetilassa (060 - 061), jossa yksittäiset, kattoasennetut elohopeavalaisimet korvattiin kiinteillä piirilevydiodisilla LED-valaisimilla. Uusia valaisinasennuksia helpottamaan lisättiin tilaan koko aluetta halkova valaisinripustuskisko, johon valaisimia ja liiketunnistimia keskitettiin oleellisimmille paikoille. Alueen valaistus saatiin kyseisellä ratkaisulla riittävän toimivaksi (kuvat 12).

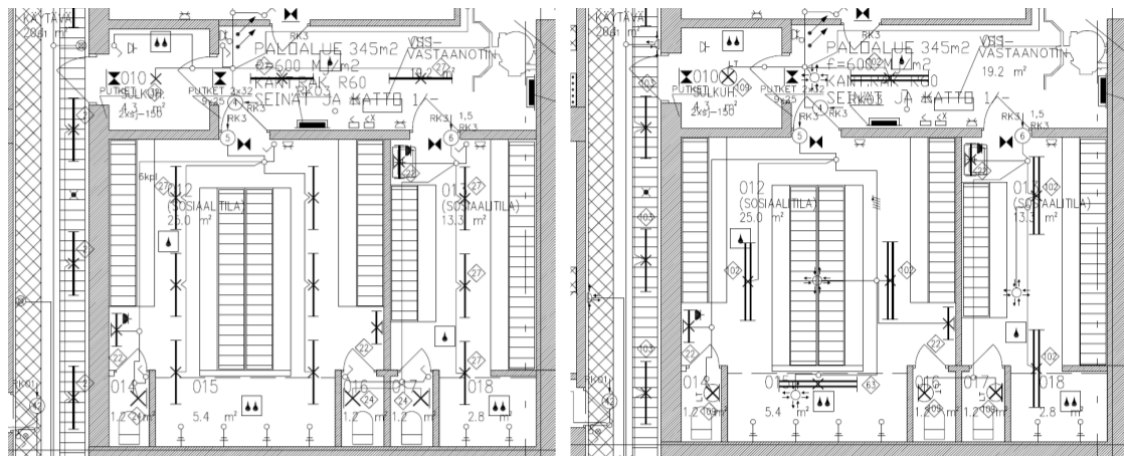


KUVA 11: Ulkokatoksen vanhoja valaisinasennuksia (Rovaniemen lentokentän arkkitehtikuvat, muokattu)



KUVA 12: Ulkokatoksen uusia valaisinasennuksia (Rovaniemen lentokentän arkkitehtikuvat, muokattu)

Sosiaali- ja teletilojen valaisinkokonaisuuksia muutettiin taulukosta 4 poikkeavasti korvaamalla 1x36 W loisteputkivalaisimia 2x24 W LED-valaisimilla (tilat 042–044, 012–013). Valopisteiden suhteellista määrää vähennettiin myös WC-tiloista (051, 052, 129, 130) valotason jään silmämääräisesti riittäväksi.



KUVA 13: Sosiaalityötilojen valaistusmuutokset; vanhat vasemmalla, uudet oikealla. (Rovaniemen lentokentän arkkitehtikuvat, muokattu)

TAULUKKO 3. Kellaritason tilajakauma ja valaisinpisteet

Tila-numero	Tilan nimi	Valaistusala [m <sup>2</sup> ]	Vanhat valaisimet [kpl]	Vanhat valaisinpisteet (x)	Uudet valaisimet [kpl]	Uudet valaisinpisteet (x)	Jääneitä valaisimia [kpl]
001	eteinen	23	5	(2)	2	(103)	2
002	käytävä	22,1	4	(2)	4	(103)	4
002+	käytävä	20,1	5	(2)	5	(103)	5
003	hissikoneh.	6,1	1	(27)			1
004	taukotila	16,4	4	3*(18)+1*(22)			4
005	muuntamo	19,6	4	3*(2)+1*(32)			4
006	hissi		1	(32)			1
007	pääkeskus	26,1	2	(3)	2	(102)	2
008	telelaite	30,3	9	(2)	7	(102B)	7
009	VSS	26	3	(27)			3
010	sulkuh.	4,3	1	(32)	1	(109)	1
011	sos.til.eteinen	19,2	6	4*(32)+2*(27)	1	(102)	5
012+015	sos.tila+suihku	30,4	6	4*(27)+2*(22)	3	(102)	5
013+018	sos.tila+suihku	16,1	3	3*(27)+1*(22)	2	(102)	3
014	sos.tila WC	1,2	1	(24)	1	(109)	1
015	(012)						
016	sos.tila WC	1,2	1	(24)	1	(109)	1
017	sos.tila WC	1,2	1	(24)	1	(109)	1
018	(013)						
019	akkuhuone	3,9	1	(32)			1
020							
021	telelaitteh.	22,3	4	(3)	4	(102B)	4
022	lämmönjakoh.	27,7	4	3*(4)+1*(27)	3	(103)	4
023	WC, B-puoli	2,1	1	(22)	1	(104)	1
024	WC, B-puoli	2,1	1	(22)	1	(104)	1
025	WC, B-puoli	2,1	1	(22)			1
026	WC, B-puoli	2,1	1	(22)			1
027	varasto	2,9	1	(32)			1
028	varasto	2,7	1	(32)			1
029	porras B	12,5	2	(45)	6	2*(111)+4*(106)	6
030	matkat.lastaus	663	49	47*(63)+2*(69)	48	(102)	50
031+054	konf.tila+054	191,5	13	(63)	13	(102)	13
032	Finnair mek.	15,2	2	(63)			2
033	Finnair kuorm.	15	2	(63)			2
034	Finnair kuorm.	25,2	4	(63)			4
035	WC-matkat.	2,7	1	X	1	(104)	1
036	käytävä	14,5	4	(75)	4	(102)	4
037	kuivaush.	3,8	1	(69)	1	(103)	1
038	varasto	3,7	1	(71)	1	(103)	1
039	varasto	8,4	2	(71)	2	(103)	2
040	F-porras	8,9	2	(65)	2	(103)	2
041	varasto	186,9	17	(63)	17	(102)	17
042	sähkötila	8,7	2	(71)	1	(102)	1
043	teletila	18,5	6	(71)	2	(102)	2
044	varasto	8,5	2	(71)	1	(102)	1
045	kuljetintila	19	3	(69)			3
046	kuljetintila	19	3	(69)			3
047	ompelimo	137,3	12	(63)			12
047+	viereinen hallit.	193,3	14	(63)	14	(63B)	14
048	väestönsuoja	24,9	4	(70)			4
049	väestönsuoja	68,9	4	(70)			4
050	käytävä	14,2	3	(75)	2	(102)	2
051	WC, A-puoli	15	11	3*(65)+5*(67)+3*(68)	8	5*(105)+3*(108)	8
052	WC, A-puoli	15	11	3*(65)+5*(67)+3*(68)	8	5*(105)+3*(108)	8
053	G-porras	13,1	4	(65)	4	(103)	4
054	(031)						
055	käytävä	21,9	2	(63)	4	(102)	4
056-057	toimistot	38,1	2	(63)	2	(102)	2
058	pukuhuone	7,4	1	(63)			1
059	WC	2,8	1				1
060	kylmäliikennet.	69,9	6	(64)			3
061	kylmäliikennet.	543,9	50	(64)	34	(107)	34
-	kylmäkatos	284,5	16	(64)	8	(107)	8
062	sähkötila	2,9					
063	sähkötila	1,3					
Uusittu valaistusala =		2520	329	Uudet valaisimet =	224	Kaikki valaisimet =	289

### 8.3 Uudet valaisinratkaisut

Valaisimet valittiin terminaalin päävalaistus- ja ulkokatosaluetta lukuunottamatta asennusmitoiltaan ja runkotyypiltään vastaamaan vanhoja valaisinratkaisuja. Näin välttyttiin turhilta yhteensopivuus ongelmilta asennusvaiheessa. Esimerkiksi upotettavat WC-valaisimet saatiin yhteen sovittua helposti vanhoihin upotusaukkoihin ilman ylimääräistä asennustyötä.

Perinteisiä T8/G13-kantaisia 18, 36 ja 58 W loisteputkilamppuja korvaamaan valittiin Valtavalon LED-valonlähteitä sekä osin samaisen valmistajan valoputkille soveltuvia valaisinmalleja. 18 W työpistevalaisimet korvattiin position 104 valaisimella ja 10 watin LED-valoputkella. 36 W loisteputkia hyödyntävät valaisimet korvattiin poikkeustiloja (008, 012 - 013, 042 - 044) lukuunottamatta position 103 runkovalaisimilla ja 19 W LED-putkella. 58 W loisteputkia käyttävät valaisinmallit korvattiin position 102/102B valaisimella ja 24 W LED-putkilla siten, että valonlähteiden määrä pysyi valopistettä kohti samana. 58 W teollisuusvalaisinrunkoja oli määrällisesti eniten ja valaisintyypiksi valittiin myös varasto- ja hallitiloihin soveltuva 1–3 -putkinen teollisuusvalaisin. Kaikki LED-putkia hyödyntävät valaisimet toimivat ainoastaan soveltuvina runkoina ilman suurempaa optiikkaa, koska valonlähteet eivät tätä vaatineet.

Käytetyt LED-valoputket suuntaavat itsessään kaiken valonsa noin 120 asteen valokeilana tilaan eivätkä ne siten vaadi käytettävältä valaisimelta suuremmin valaisinoptiikkaa. Valokeilaa voidaan myös suunnata putken liitinpäiden mahdollistaen valonlähteen pyöritettävyyden kiinnitysmekanismin nähdessä. Tästä syystä LED-putkista saadaan valmistajan mukaan sama tai parempi valovirta pinta-alaa kohti entä perinteisestä, vertautuvasta loisteputkesta. LED-putkien periaatteellinen valonjakauma on esitetty liitteessä 2 ja vertailukohdaksi on esitetty erään Fagerhultin teollisuusvalaisinmallin valonjakauma perinteisellä loisteputkella. (Valtavalo: G2 -esite)

LED-valoputkien lisäksi valaistusuudistuksessa käytettiin valaisimia, jotka hyödynsivät suoraa vaihdettavia LED-lamppuja (liite 1: positiot 105, 106, 109) sekä valmistajan kautta vaihdettavia LED-valonlähteitä (liite 1: positiot 110, 111). Taulukossa 4 on esitetty vanhoja valonlähteitä pääasiassa korvaamaan valitut valaisimet tai valonlähteet.

Vanhojen valaisinmallien tyyppitiedoista ei ollut saatavilla enää tarkempaa tietoa, joten arviointia on tehty valonlähteen ja siihen liittyvän liitäntälaitteen kautta. Esimerkki tuotteina on Osramin perusmallisia valonlähteitä vanhalle valaisinkannalle. Valovirta ja -tehokkuustiedot on saatu valmistajien teknisistä tuotekorteista. Huomattavaa on, että taulukossa on nimenomaan lamppu ja elektroninen liitäntälaitte -kombinaatio suhteessa korvaavaan valaisinmalliin teknisiin tietoihin, joten arvot eivät ole keskenään vertailukelpoisia. Valonlähteen tuottama valovirta ei muunnu tilan valaistusvoimakkuudeksi yhtälailla, kuin koko valaisimesta saatava valovirta, mutta antaa suuntaavaa käsitystä korvaavien ratkaisuiden valontuottokyvystä suhteessa vanhaan valaisinkantaan.

TAULUKKO 4. Tuotteita ja valoteknisiä tietoja

Valaisinratkaisu (1 x valonlähde)		Valovirta [lm] (4000K/25C)		valotehokkuus [lm/W]	
Vanha valonlähde	Korvaava tuote	Vanha valonlähde	Korvaava tuote	Vanha valonlähde	Korvaava tuote
		Lamppu+ECG	Koko valaisin	Lamppu+(ECG)	Koko valaisin
Dulux D/E 13W/840	pos.105,106 valaisimet	900<	375-1126	58	42, 75
Dulux D/E 18W/840	pos.109,111 valaisimet	1200<	1030-1100	60-69	73, 74
L 18W/840 G13	VV10W E LED-putki	1250-1350<	1030 (S)	66-75	110 (S)
L 36W/840 G13	VV19W E LED-putki	3200-3350<	2030 (S)	89-95	110 (S)
L 58W/840 G13	VV24W E LED-putki	5000-5200<	2570 (S)	86-91	110 (S)
CDM-T 150W/942	EASY LED MM99 55W	10800<	5000	65-67	91
HQL 250 W E40	GLG1578-1NW-C 35W	14000<	4025	56	115

Vaihtelevuus arvoissa vanhoilla valonlähteillä liitäntälaitteen tyypistä johtuen. Oletuksena Osram Quicktronic -malleja.

(S) = valovirta suuntautuu suoraan putkesta = LED-putken valovirta ja valotehokkuus

< = valonlähteen+ECG laitteen kombinaation tuottama valovirta. Todellinen tilaan saatava valovirta riippuu valaisinoptiikasta

Sosiaali- ja teletilojen valaisinkokonaisuuksia muutettiin taulukosta 4 poikkeavasti korvaamalla 1x36 W loisteputkivalaisimia 2x24 W LED-valaisimilla (tilat 042–044, 012–013). Valaistustason muuttumista muutamilla, keskeisillä tila-alueilla on tarkasteltu liitteissä 2 ja 3 esitetyissä valaistussimuloinneissa matkatavarahallissa, varastotilassa 041 ja terminaali-alueella. Koska vanhoista valaisimista ei ollut saatavilla enää tarkkoja teknisiä tietoja, vertailu on tehty käyttäen Fagerhultin valaisinmalleja, jotka hyödyntävät kappaleessa 9.4.1 esitettyjä valonlähteitä.

### 8.3.1 Ohjausuudistukset

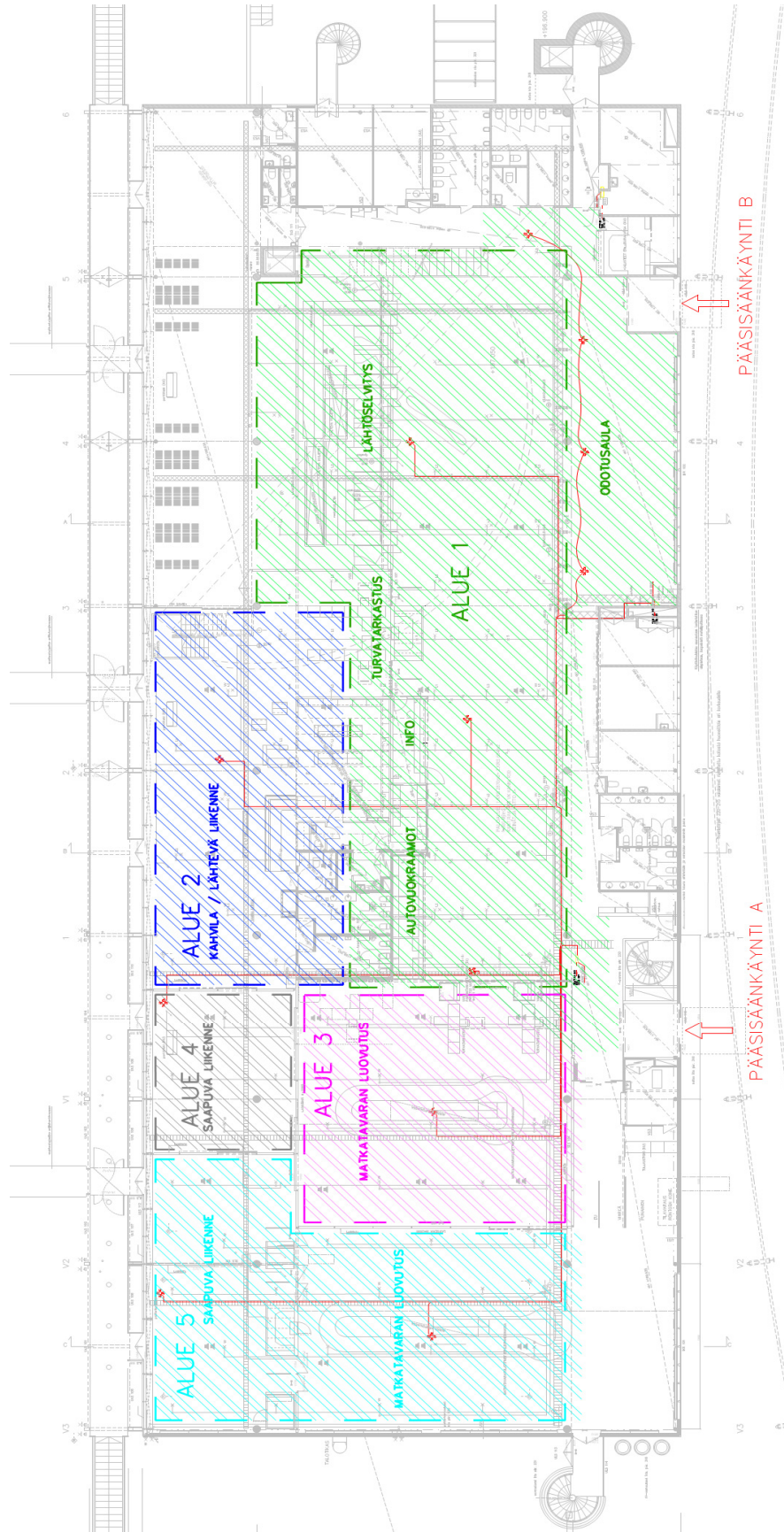
Valaistuksen ohjauksia muutettiin paikalliskytkin ja liiketunnistin ohjauksista läsnäolotunnistin ohjauksiin kaikissa tiloissa, joissa ohjauksen katsottiin olevan kannattavaa. Käytännössä kaikkiin tiloihin, joihin toteutettiin valaisinuudistuksia, toteutettiin myös läsnäolotunnistinohjaus. Poikkeuksia olivat satunnaisen käytön sähkö- ja teletilat, joihin



ohjaus jätettiin toteuttamatta käytännöllisyyssyistä. Kaikki vanhat liiketunnistimet uusittiin läsnäolotunnistimiksi. WC- ja käytävätiloissa hyödynnettiin vanhaa liiketunnistin ohjauskaapelointia mahdollisuuksien mukaan siten, että tunnistimia ainoastaan uudelleen sijoitettiin sopivimmille paikoille käyttäjien liikkumiseen nähden. Liiketunnistimia pyrittiin sijoittamaan sisäänkäyntien ja kulkuväylien läheisyyteen. Laajoilla varastoalueilla (tilat 031, 041) ja käytävätiloissa (002, 029) valaistuksen liiketunnistin ohjauksessa hyödynnettiin olemassa olevia painonappilinjoja. Painonapit poistettiin ja jäljelle jääneen ohjauskaapeloinnin osaksi liitettiin liiketunnistimia keskeisille paikoille. Varastotila 047 jätettiin painonappiohjattavaksi, koska osassa tilaa toimi yksityinen ompelimo-yritys. Koska alueen valaistus oli suunniteltu yhtenäiseksi, olisi valaisinten ryhmitys ja kaapelointi pitänyt uusia kokonaan, mikäli tilaan olisi välttämättä haluttu liiketunnisteen ohjaus.

Kaikissa uusissa läsnäolotunnistimissa oli integroitu kytkinominaisuus, jolloin jokainen läsnäolotunnistin voitiin kytkeä jakorasian kautta osaksi valaistusryhmän ohjausta paikalliskytkimen tavoin. Ominaisuus tuli hyötyyn tiloissa, joissa ei ollut entuudestaan keskuksen valaistusryhmälle menevää erillistä ohjauskaapelointia. Täten välttyttiin pitkien keskukseen menevien ohjauskaapeleiden vetämiseltä uusia liiketunnistimia lisäiltäessä.

Terminaalissa uusittua valaistusta haluttiin kyetä ohjaamaan dynaamisemmin satunnaisesta tilankäytöstä johtuen. Terminaaliin suunniteltiin KNX-väyläteknikkaa hyödyntävä valaistuksenohjausjärjestelmä, joka mahdollistaisi yksittäisen valaisimen osoitteellisen ohjauksen. Järjestelmällä saatiin jaoteltua terminaalin valaistuskokonaisuus kuvan 14 mukaisiksi käyttöalueiksi samalla mahdollistaen valaistuksen pitoaikojen rytmittämisen paremmin tilan käyttötarvetta vastaavaksi. Katkoviivat rajaavat KNX-ohjauksen piirissä olevat kattovalaisimet. Suunnittelija määrittäisi ohjelmaan kuhunkin alueeseen kuuluvat valaisimet (valaisinosoitteet), jotka toimisivat kyseiselle alueelle asennettujen läsnäolotunnistimien reagoidessa liikkeeseen. Lähtevän ja tulevan liikenteen alueille asennettiin lisäksi päivänvaloanturillisia läsnäolotunnistimia. Valoisuusanturit kykenisivät mittaamaan laajojen ikkunapintojen läpi saatavaa päivänvaloa ja himmentää koko terminaalin valaistusta sen mukaisesti.



KUVA 14. Terminaalin valaistuksenohjauksen vaikutusalueet (Rovaniemen lentokentän arkkitehtikuvat, muokattu)

KNX-pohjaisen valaistusohjausjärjestelmän tarkoituksena oli mahdollistaa eri ohjaustapojen (päällä/pois-, liikentunnistin-, päivänvalo-ohjaus) toimiminen yhdistettynä säätönä. Vanhoja alakatossa olevia kohdevalaisimia odotusaulan ja sisäänkäyntien läheisyydessä ei voitu ottaa osaksi KNX-ohjausta. Läsnaolotunnistinohjausta kuitenkin jatkettiin kyseisille alueille.

### 8.3.2 Valaistuksen toiminta-ajat

TAULUKKO 5. Valaistuksen käyttöajat ja ohjaustavat uusituilla asennuksilla

Osa	Til numerot	Tila	Valaistuksen toiminta-ajat (arvio)			Ohjaustapa	Ohjauskerroin (arvio)
			tuntia/vrk	päivää/viikko	tuntia/vuosi		
0.k A-osa	051,052	WC -tilat	8	5	2080	LT	20 %
0.-2.k A-osa	050,053,146,225	A-portaikko+porrashuoneet	10	5	2600	LT	30 %
0.k A-osa	047 (1/2)	Varasto/kulkutila (ilman ompelimoa)	10	5	2600	painonappi	100 %
0.k A-osa	041	Varasto/kulkutila	11	5	2860	LT	40 %
0.k A-osa	042-044	Sähkö- ja teletilat	1	5	260	kytkin	100 %
0.-2.k A-osa	040,145,224	F-porras	12	5	3120	LT	40 %
0.k A-osa	031	Varasto/kokoustila	7	5	1820	LT	30 %
0.k A-osa	054	Varasto/käytävä (hätäpoistumistie)	7	5	1820	LT	60 %
0.k A-osa	056-058	Toimistot	7	5	1820	tilan 031 LT ohjaus toistaiseksi	
0.k A-osa	055	Käytävä	7	5	1820	LT	60 %
0.k A-osa	036	Käytävä	10	7	3640	LT	60 %
0.k B-osa	037-039	Varastot (pienet)	2	5	520	LT	75 %
0.k B-osa	030	Matkatavaratila	24	7	8736	LT	70 %
0.k B-osa	001,002	Käytävät	3	7	1092	LT	60 %
0.k B-osa	008	Teletila	1	5	260	kytkin	100 %
0.k B-osa	021	Telelaitehuone	1	5	260	LT	85 %
0.k B-osa	022	Lämmönjakohuone	1	5	260	kytkin	100 %
0.k B-osa	010-018	Sosiaalitilat	3	7	1092	LT	70 %
0.k B-osa	007	Pääkeskus	1	5	260	kytkin	100 %
0.k A-B-osat	060,061	Kylmäkatosalue	24	7	8736	LT	60 %
0.-1.k B-osa	029,030, 144-	B-portaikko+porrashuoneet	12	7	4368	LT	60 %
0.-1.k B-osa	023,024,035,110	WC -tilat (pienet)	14	7	5096	LT	10 %
1.k B-osa	109,111	WC -tilat	14	7	5096	LT	20 %
1.k A-osa	129,130	WC -tilat	14	7	5096	LT	20 %
2.k A-B-osat		Terminaalin päävalaistus	24	7	8736	ohjausjärjestelmä	40% - 70%

Vertailtaessa taulukossa 5 esitettyjä valaistuksen toiminta-aikoja vanhaan ratkaisuun, ei valaistuksen vuotuisia pitoaikoja tiloittain ole muutettu. Läsnaolotunnistin ohjauksilla saavutettu hyöty on arvioitu ohjauskertoimen muodossa tiloittain.

Terminaalin käyttötaso oli hyvin jaksoittaista, lentoliikenteen kellonajoista riippuvaa. Matkustajaliikenteen aikaansaamaa tilankäyttöä voisi kuvata ympärivuorokautiseksi, satunnaiseksi, mutta lyhytjaksoiseksi oleskeluksi. Matkustajaliikenne oli aktiivista noin kolmen tunnin välein toistuvissa tunnin jaksoissa pitkin vuorokautta.

Terminaalin matkustajaliikennöinnissä on huomattavan paljon kausittaista vaihtelua eikä tilan käyttöastetta, läsnaolotunnistimien aktiivisuutta tai päivänvalosäädöllä saata-

vaa alenemaa pysty tarkasti arvioimaan kuin vasta järjestelmän toimiessa. Aikaohjaus-  
tekniikalla toteutettu valaistuksenohjaus olisi vaatinut valaistuksen pitoaikojen jatkuvaa  
säättöä, eikä tästä syystä toiminut käytännöllisenä ohjausmenetelmänä. Järjestelmän  
kaavailtiin säästävän tarpeettomasta valaistuksen pidosta syntyviä energiakustannuksia  
huomattavasti samalla nostaen valonlähteiden keskimääräistä käyttöikää ja vähentäen  
huoltotyön määrää.

## 9 ELINKAARIKUSTANNUKSET

Elinkaarikustannuslaskelmien tarkoituksena on kartoittaa hankkeen kokonaiskustannuksia koko sen toiminnallisen käyttöiän ajalta. LCC-laskelmissa huomioidaan hankkeen tulevia kustannuksia, joita syntyy esimerkiksi valaistusjärjestelmää tarkasteltaessa sen käytöstä ja ylläpidosta, energia- ja huoltokustannusten muodossa. Laskenta tehdään vertailemalla kahta tai useampaa vaihtoehtoa keskenään. Laskelmat auttavat löytämään kokonaisedullisimman ratkaisun, koska alkuinvestointien puolesta edullisin hankintaratkaisu ei välttämättä ole pitkällä aikavälillä taloudellisin. (Talotekniikan elinkaaritarkastelut 2001, 1, 57)

Elinkaarikustannusten arviointiin on käytetty Fagerhult LCC - Life Cycle Cost - laskentaohjelmaa. Fagerhultin sivuilta saatava ilmaisohjelma auttaa määrittämään valaistuskokonaisuuksiin liittyviä investointi-, asennus- ja ylläpitokustannuksia. Ohjelma auttaa arvioimaan valaistuksen energiatehokkuutta ottamalla huomioon yksittäisen valaistusratkaisun erinäisiä kriteerejä, kuten valaisimen ja valonlähteen hankintaan ja vaihtoon liittyviä hintoja, kulutustehoja, valonlähteiden kestoisuuksia, ohjaustavasta riippuvia säästöjä ja muita kriteerejä. Ohjelmalla saadaan vertailtua valaistusratkaisujen tuomaa kokonaistaloudellisuutta syötettyjen tietojen pohjalta.

### 9.1 Laskentamenetelmät

Elinkaarikustannuslaskenta pohjautuu samoille periaatteille kuin nykyarvomenetelmällä tehtävä investointilaskenta. Laskenta voidaan tarkoituksen mukaan ja tarvittavilla tiedoilla suorittaa verrattain tarkasti, mutta monessa tapauksessa sillä saavutetut arvot ovat enemmänkin suuntaa-antavia, kuten tässä työssä. Valaistuksen elinkaarilaskennassa on paljon epävarmuustekijöitä, jotka jäävät monesti arvioinnin varaan. Laitteiden käyttöikä, huolto- ja uusimistarpeen tiheys sekä energiankulutuksen tarkka määrittäminen on haastavaa. Pelkästään energiankulutukseen vaikuttavat valaisimien kokonaistehon lisäksi ohjausmenetelmillä saatu hyöty suhteessa valaistavan tilan käyttöasteeseen ja lamppujen palamisaikaan.

Investoinnin elinkaarikustannukset  $LCC_{TOT}$  lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$LCC_{TOT} = K_i + K_e + K_h + K_j \quad (4)$$

missä  $K_i$  on investointikustannus,  $K_e$  energiakustannusten nykyarvo ja  $K_h$  huoltokustannusten nykyarvo ja  $K_j$  jäännöskustannusten nykyarvo. Kaikkien summakomponenttien osalta huomiodaan sen hetkinen energian hinta ja -hintakehitys, korkokanta ja laskentajakson pituus. (Talotekniikan elinkaaritarkastelut 2001, 58)

Energiakustannukset ovat käytöstä aiheutuvia kuluja, jotka koostuvat sähköenergian kulutuksesta. Yhtälössä 5 on esitetty kustannusten laskentakaava, missä  $E$  on vuotuinen valaistuksen energiankulutus [MWh/a],  $H_e$  energian hinta nykyhetkellä [EUR/MWh],  $r_e$  energiakustannusten laskentakorko [%/100] ja  $t$  tarkasteluajan pituus [a]. (Siltala 2010, 53)

$$K_e = E \cdot H_e \cdot \frac{(1+r_e)^t - 1}{r_e(1+r)^t}, \quad (5)$$

Huoltokustannukset ovat ylläpitokustannuksista, kuten lamppujen vaihtoa ja puhdistusta, joita suoritetaan tietyin väliajoin.  $H_a$  on vuotuinen huoltokustannus [EUR],  $t$  huoltoväli [a] ja  $r$  reaalikorko [%/100]. (Siltala 2010, 53)

$$K_h = H_a \cdot \frac{(1+r)^t - 1}{r \cdot (1+r)^t}, \quad (6)$$

Jäännöskustannukset ovat laitteen käytöstä poistamisesta syntyviä kuluja, kuten purku-, hävitys-, kierrätys- tai kaatopaikkamaksuja. Jäännösarvo määräytyy seuraavasti:

$$K_j = J \cdot \frac{1}{(1+r)^l}, \quad (7)$$

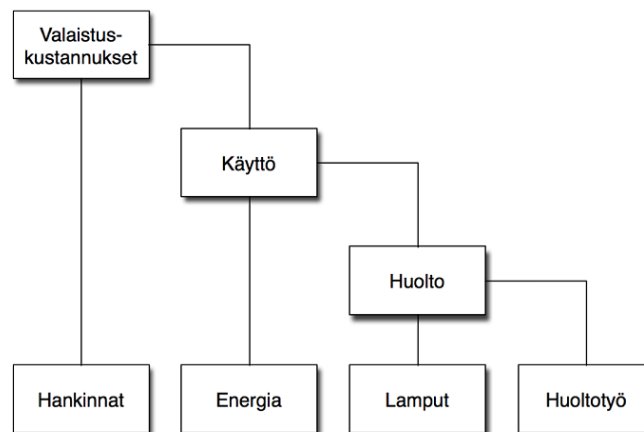
missä  $J$  on jäännösarvokustannus [EUR],  $r$  reaalikorko ja  $l$  laitteen poistoaika [a] (Talotekniikan elinkaaritarkastelut 2001, 60)

Kaavoissa käytettävä reaalikorko  $r$  lasketaan seuraavasti:

$$r = \frac{r_n - i}{1 + i}, \quad (8)$$

missä  $r_n$  on nimelliskorko [%/100] ja  $i$  inflaationarvo [%/100]. Nimelliskorko on sama kuin investoinnille asetettu tuottovaatimus. Reaalikorko huomioi aina ajasta johtuvan rahan arvon alenemisen eli inflaation. (Siltala 2010, 53)

Elinkaaritarkastelu ottaa huomioon valaistuksen koko kustannusrakenteen (Kuva 15). Valaistuskustannuksiin sisällytetään järjestelmän ensisijainen asennustyö ja hankintoihin kaikki järjestelmän kiinteät kustannukset, kuten valaisin-, ohjaus- ja liitäntälaitte- ja kaapelimateriaalikustannukset.



KUVA 15. Valaistusjärjestelmän kustannusrakenne (Sinisalo 2011, 38)

## 9.2 Vertailukohdat

LCC-laskennan lähtökohtana oli saada aikaan energiataloudellinen viitekehys tai vertailupohja lentoasematerminaalin uusitulle valaistukselle. Vertailukohdaksi on otettu asematerminaalin vanha valaistusjärjestelmä niiden tilojen osalta, joihin valaistusuudistuksia toteutettiin.

LCC-ohjelmaa hyväksikäyttäen simuloitiin kohteen valaistusasennukset käytettävissä olevien tietojen perusteella vastaamaan mahdollisimman hyvin todenmukaisia asennuksia. Simuloinnissa on hyödynnetty yleistä tietämystä kohteesta sekä valaisinluetteloita ja sähkötasokuvia.

Koska kohde oli vanha, oli käytössä oleva tieto valaisintyyppien puolesta jokseenkin puutteellista. Yksityiskohtaisia, teknisiä tuotetietoja ei ollut mahdollista saada kaikkien

käytettyjen valaisimien osalta. LCC-laskennassa on tehty tältä osin oletuksia valonlähteitä, kulutustietoja ja käyttöaikoja koskien. Perusteita on esitetty myöhemmissä kappaleissa.

Ensisijainen vertailukohta on vanha järjestelmä, jossa olemassa olevia valaisimia hyödynnettäisiin vailla lisä uudistuksia koko vertailujakson ajan. Vertailussa on oletettu, että vanhat valaisinrunkot kestäisivät edelleen käytössä seuraavat 30 vuotta. Oletus on varsin optimistinen, koska valaisimet olivat jo yli 20 vuotta käytössä palvelleita. Vanhan järjestelmän elinkaarikustannukset muodostuisivat siis ainoastaan kustannusrakennemallin viidestä oikeanpuolimmaisesta laatikosta, joissa ainoat kiinteät hankintakustannuksen tulisivat vaihdetuista valaisimien valonlähteistä ja liitäntälaitteista. Huoltotyön on oletettu tapahtuvan yksittäisesti aina kukin valonlähteen tai liitäntälaitteen eliniän päättyessä.

LCC-laskennassa on oletettu, että vanhojen valaisimien valonlähteet ja liitäntälaitteet jouduttaisiin uusimaan kokonaisuudessaan piakkoin eli ensimmäinen järjestelmähuolto olisi heti tarkastelujakson alussa.

### 9.3 Laskennan alkuarvot

Lentoasematerminaalin valaistusjärjestelmän elinkaarta on tarkasteltu 30 vuoden ajanteella, koska nykyisten LED-valaisimien käyttöikä on huomattavan pitkä. Viitteitä uuden valonlähdeteknologian lanseeraamisesta ei ole, enkä usko, että radikaalisti parempaa, syrjäyttävää tekniikkaa, tulisi 30 vuoden aika tuomaan suurempaa aihetta harkita valaistusjärjestelmän uudelleenuusimista energiatehokkaampaan ratkaisuun.

Sähkön hintana on käytetty 0,15 €/kWh sisältäen sähkönkulutus- ja siirtohinnan. Todellinen käytännön hinta määräytyy kohteeseen sovitun sähkösopimuksen mukaan. Energian hinnannousuna on käytetty 1,0 %:a, joka on noin kolmasosa viimeisen 10 vuoden aikana tapahtuneesta hinnan noususta (kuva 1). Sähkön hintakehitys on ollut ennätyksellisen nopeaa, mutta realistisesti arvioituna energian hinnan kasvu tulee varmasti olemaan jatkossa maltillisempaa. Laskentakorko määräytyy yleensä tuottovaatimusten mukaan ja laskelmassa on oletusarvoisesti käytetty 3,0 %:a. Inflaation arvona on käytetty 1,85 %:a, joka on vuotuinen keskiarvo vuosilta 2000–2012. (Heiskanen 2013, 27)



Valaistuksen energiankulutuksesta syntyvää hiilidioksiidi jalanjälkeä arvioidaan ohjelman CO<sub>2</sub> -päästökertoimella. LCC-laskennassa on käytetty Suomen kansallista sähkön tuotannon LCA-päästökerrointa 0,418 kg CO<sub>2</sub>/kWh, joka ottaa huomioon maakohtaiset tiedot koskien sähköntuotantoon käytettyjen polttoaineiden ominaisuuksia. Mikäli valtio ei kykene tuottamaan energiaa ekologisesti, on kerroin huomattavasti suurempi. (Päästökertoimet 2014)

## 9.4 Valaistustarvikekustannukset

Elinkaarilaskennassa, kuten myös investointilaskelmissa, yksikköhinnat ovat suuressa roolissa. Kiinteitä kustannuksia on arvioitu laskennassa todellisten tuotteiden vähittäishintojen kautta pääasiassa sähkötukkuri SLO:n hintakatalogiin sekä erillisten valaisinvalmistajien hintatietoihin perustuen. Oletuksena on, että kaikki tarviketilaukset tehtäisiin suurissa erissä, jolloin valaisintarvikkeet ja kaapelointimateriaali voitaisiin olettaa saatavan vähittäishintoja halvemmalla. Laskelmassa on käytetty -25 %:n alennusta koskien tarvikemateriaaleja, joiden hintaa on arvioitu SLO:n hintatietoihin perustuen. Hintoihin on sisällytetty sen hetkinen arvonnalisävero.

### 9.4.1 Vanhan järjestelmän valaistustarvikekustannukset

Vanhojen asennusten LCC-laskenta on toteutettu käyttäen taulukon 6 esimerkkituotteita ja valaisintarvikkeita. Kaikista käytetyistä valaisimista ja valonlähteistä ei ollut tarkkaa tietoa, joten soveltuvia valonlähteitä on arvioitu valaisinluettelossa (liite 1) esitettyjen tehotietojen pohjalta sekä puutteellisilta osin valaisinrunkojen mittasuhteisiin perustuen. Laskennassa on käytetty taulukoiden tuotteita, jotka ovat yleisten valaisinvalmistajien perusvaihtoehtoisia valonlähteitä kohteen valaisinkannalle. Kullakin valmistajalla oli pieniä eroavaisuuksia vastaavan tyyppisten valonlähteiden taloudellisessa eliniässä ja hinnassa.

Lamppujen kokonaistehot ja hyötypolttoiat on laadittu käyttäen valmistajien teknisiä tuotekortteja, joissa oli eriteltynä suurimmaksi osin valonlähteen ottama kokonaisteho ja hyötypolttoikä liitäntälaitteesta riippuen. Fagerhult LCC-laskentaohjelman valonläh-

deavustajan antamia tietoja valonlähteiden kokonaistehoista on käytetty apuna laaditta-  
essa taulukon 6 arvoja.

TAULUKKO 6. Tuotetietoja

Valonlähteet	Valmistaja	Tuote	Kanta	Värisävy [K]	Hinta (SLO) sis.alv [€]	Hinta (-25%) sis.alv [€]	Ottoteho sis. häviöt		Elinikä L70	
							CCG [W]	ECG [W]	CCG [h]	ECG [h]
Pienloisteputki	Osram	Dulux D/E 13W/840	G24d-1	4000	9,1	6,8	17	15	10000	13000
Pienloisteputki	Osram	Dulux D/E 18W/840	G24d-2	4000	8,9	6,7	23	20	10000	13000
Loisteputki	Osram	L 36W/840 G13	T8	4000	6,2	4,7	43	35	13000	18000
Loisteputki	Osram	L 58W/840 G13	T8	4000	7,1	5,3	68	56	13000	18000
Loisteputki	Osram	L 18W/840 G13	T8	4000	5,3	4,0	24	18	13000	18000
Monimetallilamp.	Philips	CDM-T 150W/942	G12	4200	61,5	46,1	167	160	12000	12000
Elohopealamp.	Osram	HQL 250 W E40	E40	3900	17,6	13,2	275		24000 (B)	
Liitäntälaitteet	Valmistaja	Tuote	Kanta		Hinta (SLO)	Hinta (-25%)			Elinikä [h]	
Sytytin	Osram	St 111	T8		1,5	1			60000	
Kuristin	Helvar	LxxA- 230V	T8		15	11			60000	
Elekt.liitäntälaitte	Helvar	El 1xxxs 220-240V	T8		65	49			50000	
Elekt.liitäntälaitte	OMS	Pro HID 1x150W	G12		114	86			50000	

LCC-laskennassa valonlähteiden taloudellinen elinikä vastaa kunkin valaisimen virallista huoltoväliä eli kunkin valaisimen valonlähde vaihdetaan valotehon laskiessa alle 70 %:n (L70).

Valonlähteiden lisäksi osa vanhan valaisin kannan tarvike- ja ylläpitokustannuksista syntyy loistevalaisinten liitäntälaitteista. Lamppujen lisäksi liitäntälaitteet ovat käytössä kuluvia osia, joita joudutaan vaihtamaan tietyin väliajoin. Taulukkoon 6 on kirjattu myös esimerkkituotteet liitäntälaitteita koskien. Elinkaaritarkastelun vertailupohjaksi on arvioitu vanhan valaisinkannan loistevalaisimet ilman elektronisia liitäntälaitteita sekä elektronisten liitäntälaitteiden kanssa. Ensimmäisessä vertailutilanteessa loistevalaisimien on oletettu sisältävän ainoastaan magneettisen kuristimen ja sytyttimen (CCG). Toisessa vertailussa loistevalaisimiin on huomioitu elektronisen liitäntälaitteen edut valaisinten energiankulutuksessa ja valonlähteiden eliniässä (ECG).

#### 9.4.2 Uuden järjestelmän valaistustarvikekustannukset

Taulukoissa 7–8 on esitetty kaikki vanhoja valaisinkantoja korvaamaan valitut LED-valaisimet sekä niiden vastaavat valonlähteet hinta- ja teknisineen tietoineen. Uusien valaisinhankintojen hintoihin arvioin -15 % eräalennuksen, mikäli tuote tilattaisiin yksityiseltä valmistajalta. Valaisinten kokonaiskappalemäärät on esitetty valaisinluettelossa (liite 1). Suurimmassa osaa LED-valaisimia ei käytetty erikoisempia liitäntälaitteita.

Ainoastaan terminaalin päävalaistuksesta vastaavassa 110 position valaisimessa sekä WC-valaistukseen käytetyissä 105 position valaisinmallissa oli valaisimen osoitteellisen ohjattavuuden mahdollistava liitäntälaitte. Vastaavan liitäntälaitteen hinta on arvioitu oletusarvoisesti 100 €/kpl. Ulkovalaistukseen käytetyt 107 position valaisimet eivät tukenneet valonlähteen vaihtomahdollisuutta kiinteän rakenteensa puolesta, joten valonlähteen elinikän päättyessä koko valaisin vaihdetaan oletustuksellisesti.

Laskennassa on käytetty investointeina taulukossa 7 eriteltyjä valaisin hintoja, joihin sisältyi valonlähde. Myöhemmät valonlähdehankinnat tulisi tehdä useiden vuosien päästä 30 vuoden aikajänteellä. Tästä syystä käytettyjen esimerkkituotteiden hintoihin on otettu -35 % alennus LED-tuotteiden odotettavasta hintojen laskusta johtuen. Käytetty hinta-arvio vastaisi valaisimeen soveltuvan, vastaavan valonlähdetuotteen keskimääräistä hankintahintaa 30 vuoden aikana. Jopa suurempikin alennusprosentti olisi voinut olla tiettyjen valonlähteiden kohdalla täysin käypä. Kalliimpien valonlähteiden keskimääräinen ostohinta tukkualennuslisällä voisi todennäköisesti olla vielä huomattavan paljon halvempi, mikäli tuleva hintakehitys Suomen markkinoilla heijastelisi Yhdysvaltain markkinahintojen kehitystä (kappale 5.2.1).

TAULUKKO 7. LED-valaisimet valaisinpositioittain

Valaisinpositio	Valaisin	Valmistaja	Hinta sis. alv [€] (+valonlähde)	Hinta sis. alv [€] -15% tai -25% (SLO)
102	LED-TEVA-322	Valtavalo	225	191
102B	LED-TEVA-322	Valtavalo	225	191
103	ORION-118 LED	M-light	120	102
104	LED-CINDY-109 +PR	M-light	83	71
105	SYL-LIGHTER 195 LED	Havells Sylvania	208	156
106	AVN260GHLED	Alpilux	172	129
107	GLG1578-1NW-C6-D	Greenlux	550	413
108	LETKA ALTNL22	Alpilux	356	267
109	SONO A2SNAB RADAR	Airam	106	80
110	REFLEX EASY LED MM99	Iguzzini	658	494
111	PROTECT 001	Defa Lightning	50	38

TAULUKKO 8. LED-valonlähteet esimerkkituotteilla

Valaisinpositio	Vastaava valonlähde	Esimerkkituote	Kanta	Värisävy [K]	Elinikä L70 [h]	Hinta sis.alv [€] (SLO, VV tai arvio)	Hinta sis.alv [€] -35%
102	LEDtube 150cm, 2x24W	Valtavalo LED-putki	G13	4000	50000	70	45,5
102B	LEDtube 150cm, 1x24W	Valtavalo LED-putki	G13	4000	50000	70	45,5
103	LEDtube 120cm, 1x19W	Valtavalo LED-putki	G13	4000	50000	64	41,6
104	LEDtube 60cm, 1x10W	Valtavalo LED-putki	G13	4000	50000	54	35,1
105	LEDspot 1x15W	M7AHGE AR111 15W	G53	4000	40000	115	74,8
106	LEDbulb 1x8W	LED A55 PRO FR 8W	E27	4000	30000	29	18,9
107	LED 1x35W	kiinteä diodi -piirilevy		4000	70000	550	357,5
108	LEDtube 120cm, 1x19W	Valtavalo LED-putki	G13	4000	50000	64	41,6
109	LEDbulb 1x15W	LED AR111 15W 8AST	G10	4000	25000	137	89,1
110	LED 1x55W	LED + liitäntälaitte		5000	65000	150	97,5
111	LEDbulb 1x14W	A7UAAD 11W/840	E27	4000	25000	43	28,0

## 9.5 Ohjaustarvikekustannukset

Vanhoja liiketunnistimia korvattiin kellaritasolla uusilla läsnäolotunnistimilla, joiden kappalemääriä ja tuotteen hintoja on arvioitu taulukon 9 mukaisesti.

TAULUKKO 9. Läsnaolotunnistimet tiloittain

Osa	Tila	Tilanumero	Tunnistimet
0.k A-osa	WC:t	051, 052	2x360°+3xPD9
0.-2.k A-osa	Käytävä+A-portaikko	050,053,146,225	4x360°
0.k A-osa	Varasto	047	-
0.k A-osa	Varasto	041	2x360°
0.k A-osa	Sähkö- ja teletilat	042 - 044	-
0.k A-osa	F-porras	040, 145, 224	3x180°
0.k A-osa	Varastot	031, 054	2x360°
0.k A-osa	Käytävä	055	2x360°
0.k A-osa	Käytävä	036	1x360°
0.k A-osa	Toimistot	056 - 058	-
0.k A-osa	Varastot	037 - 039	2x180°+1x360°
0.k B-osa	Matkatavaratila	030	7x360°
0.k B-osa	Käytävät, eteinen	001 - 002	5x180°+1x360°
0.k B-osa	Teletila	008	-
0.k B-osa	Telelaitehuone	021	1x360°
0.k B-osa	Lämmönjakuhuone	022	-
0.k B-osa	Sosiaalitulat	010 - 018	4x360°
0.k B-osa	Pääkeskus	007	-
0.k A-B-osa	Kylmäkatosalue	060 - 061	10x360°
0.-1.k B-osa	B-portaikko	029	1x180°
0.-1.k B-osa	B-porrashuoneet	144 -	1x180°
0.-1.k B-osa	Pienet WC:t	023,024,035,110	2x180°
1.k B-osa	WC:t	109, 111	2x360°
1.k B-osa	WC:t	129 - 130	2x360°
2.k A-B-osa	Terminaali		KNX-laitteet

Läsnaolotunnistin	Kpl	Hinta (SLO) sis. alv [€]	Hinta (-25%) sis. alv [€]
Luxomat PD4-M-C-EN	41	310	233
Luxomat Indoor 180-M	14	230	173
Luxomat PD9-	3	150	113

KNX-valaistuksen ohjausjärjestelmän toimilaitteista ja tarvikehankinnoista syntyvät kustannukset on arvioitu taulukossa 10. Hankintakustannuksissa ei ole huomiotu KK04-keskusvarausta ja sen toimilaitteita, jotka lisättäisiin järjestelmään ehkä tulevaisuudessa ravintola- ja oleskeluparven valaistusta uusittaessa. Hinnat on arvioitu yleisen sähkötukkuri SLO:n vähittäishintojen kautta olettaen, että tilauksiin saataisiin -25 %:n tukku-alennus. KNX-toimilaitteiden hankinnoista syntyvät kustannukset nousisivat noin 12 000 € luokkaan riippuen tavarantoimittajasta ja saaduista alennuksista.

TAULUKKO 10. KNX-järjestelmän tarvikekustannuksia

Tuote	Tarkenne	Valmistaja	Hinta (SLO) €/kpl+alv.	Hinta €/kpl+alv. -25% tukkuale	Kappaletta (KK01-03)	Yhteishinta €*kpl
Läsnäolotunnistin 360*	6131/10-183-500	ABB	383	287	9	2585
Läsnäolotunnistin 360* + valoanturi	6131/11-24-500	ABB	466	350	3	1049
LAN/EIB linjayhdistin	IPR/S 2.1	ABB	879	659	3	1978
Linjayhdistimen teholahte	CP-D24/2.5 VDC/A	ABB	167	125	2	251
KNX -väylän teholahte	SV/S 30.640.5, 640mA	ABB	636	477	2	954
16-ryhmäinen DALI -säädin	DG/S1.16.1	ABB	980	735	2	1470
LAN/EIB tiedonsiirtoyhdistin	6186-L	ABB	3980	2985	1	2985
4-ohjauspainike	6127/02-84-500	ABB	182	137	2	273
painikkeiden väliliitäntäyksikkö	6120/12-101-500	ABB	146	110	2	219
Merkinantokaapeli KLMA, 100m	LSZH 4x0,8+0,8	Draka	133	100	2,5	249
Tietoverkkokaapeli CAT6 UTP, 100m	UC400 23 2x4P HF	Draka	228	171	1	171
KNX -järjestelmän kiinteät kustannukset ilman asennustyötä						12183

## 9.6 Asennus- ja huoltotyökustannukset

Asennus- ja huoltotyökustannuksia on arvioitu valaisinkohtaisesti €/kpl. Laskennassa eriteltiin työkustannukset ensisijaiseksi asennus- ja materiaalikustannuksiksi, valonlähteen vaihtotyöksi, liitäntälaitteen vaihtotyöksi, yleiseksi huoltotyöksi ja ohjauksen asennus- ja materiaalikuluiksi. Laskennassa on käytetty tuntiperusteista työveloitusta 52 €/h arviolla.

### 9.6.1 Vanhan järjestelmän ylläpitoon liittyvät työkustannukset

Vanhan järjestelmän eli vertailuratkaisun oletuksena oli tarkastelujakson alussa tapahtuva ryhmähuolto, jossa kaikkien valaisinten valonlähteet ja mahdolliset liitäntälaitteet uusittaisiin sekä valaisimet puhdistettaisiin.

Normaalin lampun vaihtotyön arvelin kestävän noin 5 minuuttia ollen 4,5 €/kpl. Huoltotyö olisi valaisimen puhdistusta kestoaltaan saman verran. Haastavassa, nostolaitetta vaativassa tilassa, molempien kesto olisi 10 minuuttia eli 9 €. Liitäntälaitteen vaihdon on arvioitu kestävän 20 minuuttia ollen noin 17 €/valaisin.

### 9.6.2 Uuden järjestelmän asennus-, muutos- ja huoltotyökustannukset

Uuden valaistusratkaisun ensisijainen asennustyö koostuu vanhan valaisimen poistamisesta sekä uuden tilalle asentamisesta. Tällöin yhden uuden valaisinasennuksen asentaminen kestäisi oletuksellisesti puoli tuntia ollen 26 €/valaisin. Samaa työhintaa on käytetty ”conversion-kit” -tyypin valaisinasennuksissa. Terminaalin kattovalaisimien asennustyön kestoksi on arvioitu 45 minuuttia per valaisin eli 39 €/kpl.

Järjestelmän ensisijaisen asennustyön jälkeen LED-valaisimia huolettaisiin normaalisti vaihtamalla valonlähteitä, kuristimia ja mahdollisia liitäntälaitteita sekä puhdistamalla valaisimia. Huolto tapahtuisi oletuksellisesti valonlähteen hyötypolttoian päättyessä samoin kuin loistevalojen osalta, mutta pitemmällä aikavälillä. Suurimmassa osaa LED-valaisimia vaihto tapahtuisi 50 000 tunnin pitoajan jälkeen. Kellaritason valaisimissa ei käytetty erikoisempaa liitäntälaitetta, joten liitäntälaitteiden sijaan on kyseisten valaisimien huoltomenot arvioitu keskimääräistä suuremmiksi. DALI-liitäntäisten valaisinten liitäntälaitteen vaihtokulut on sen sijaan eritelty ohjelmaan.

Liitäntälaitteettomien valaisinten huoltotyön kestoksi on arvioitu 25 minuuttia eli 22 €/valaisin, joka sisällyttäisi mahdolliset valaisinosien vaihdot ja valaisimen puhdistuksen. Samassa yhteydessä vaihdettaisiin myös valonlähde (+5 minuuttia). Huolto tapahtuisi valonlähteen hyötypolttoian päättyessä (L70). Terminaalin kattovalojen osalta valonlähteen sekä valaisimen sisäisen liitäntälaitteen on oletettu kestävän yhtä kauan. Huolto tapahtuisi tällöin oletuksellisesti 65 000 tunnin hyötypolttoajan jälkeen. Nostolaitetta vaativa huoltotyö per valaisin on arvioitu 40 minuutin kestolla ollen noin 35 € lisänä liitäntälaitteen ja valonlähteen kustannukset yhteensä 150 €.

Asennuskustannuksiin on joidenkin tilojen osalta lisätty tunnista viiteen tuntiin vaihteleva työlisa, joka huomioi tilakohtaisia muutostyökustannuksia, kuten uudelleenkaapelointikuluja. 52 - 260 €:n lisät ovat kokonaisvertailun kannalta mitättömiä, mutta oikaisivat tilakohtaisia kustannusvertailulukemia. Uutta MMJ -sisäasennuskaapelia asennettiin erityisesti valaisinsyöttöjä ja -ryhmityksiä uusittaessa eniten kellaritason kylmäkatosalueella sekä jatkettuna KNX-linjakaapelointina terminaalin kattoalueella. Valaistus uudistusta toteutettaessa periaatteena oli vanhan valaistuskaapelointia hyödyntämisen mahdollisuuksien mukaan.

Yhden läsnäolotunnistimen asennuskuluksi on arvioitu 26 €:a. Terminaalin valaistusohjausjärjestelmän asennus- ja suunnittelukuluiksi on arvioitu 10 000 €:a.

### **9.7 Huomioimattomat kustannukset**

Laskennassa ei ole huomioitu kustannuksia, joiden arvioiminen pohjatiedon puolesta olisi muodostunut enemmänkin arvailuksi.

Tällaisia kuluja olivat:

- valaistusuudistuksen suunnittelu ja dokumentointi kulut (ohjausjärjestelmää lukuunottamatta)
- muun kuin yksittäisen valaisinpisteen vaihdosta syntyvät kulut (uudelleenkaapelointikustannukset)
- valaisinmateriaalin ja muiden tarvikkeiden poistosta aiheutuneet jäännöskustannukset
- valaisinten, valonlähteiden tai liitäntälaitteiden satunnaisesta vikaantumisesta syntyvät kustannukset

## 10 ELINKAARILASKENNAN TULOKSET

Laskentatuloksissa on vertailtu valaistusjärjestelmiä sekä kokonaisuuksina, mutta myös tiloittain taloudellisen onnistuneisuuden kannalta. Vertailupohjana on vanha valaistusjärjestelmää sekä perinteisellä (CCG) että elektronisella (ECG) liitäntälaittekannalla. Laskentatulosten näkökulmasta valaistusmuutoksen epävarmin tekninen muuttuja oli uuden ohjausjärjestelmän toimintatehokkuus ja sillä aikaansaatu kustannusetu.

### 10.1 Kokonaisuuksien vertailu

Alapuolella on esitetty edellisten kappaleiden taustatiedoilla toteutettu elinkaarikustannusvertailu kuvissa 16–20. Vertailussa ovat vanhan järjestelmän ylläpidosta koituvat kustannukset suhteessa uusitun järjestelmän alkuinvestointeihin ja ylläpitokuluihin. Lähtöarvoina on käytetty 30 vuoden pitoaikaa ja muita edellisissä kappaleissa esitettyjä arvoja.

Laskentatuloksissa on eritelty investointikustannukset molempien ratkaisujen osalta. Käytännössä investointikustannukset voisi vanhan järjestelmän osalta sisällyttää osaksi huolto- ja valonlähdekustannuksia, mutta ohjelman käyttöluonteen takia laskennan toteuttaminen ei olisi tällöin onnistunut. Kohta ”valaisinkustannukset yhteensä (ilman lamppuja)” ilmaisee hieman virheellisesti kustannuksia. Koska tavarantoimittajilla valonlähde liittyi osaksi ostettavaa valaisinta, en lähtenyt erittelemään näitä keskenään. LED-ratkaisun osalta kohta pitää siis sisällään sekä valaisinten että valonlähteiden kokonaishinnat. Vanhan järjestelmän osalta kohdassa on summattu yhteen vain ensimmäiseen järjestelmähuoltoon sisältyvät kokonaiskulut.

”Asennuskustannukset yhteensä” ilmoittaa kappaleissa 9.5 ja 9.6.2 eriteltyjä ohjaustarvikkeita, niihin liittyviä työkuluja sekä pienesti muutostöistä johtuvia työkustannuksia.

”Materiaali ja työkustannukset” -kohta sisältää kappaleessa 9.6 määriteltyjä, ensisijaisia asennuskustannuksia (26 € tai 39 €/valaisin) LED-valaistuskokonaisuuden suhteen, sekä ensimmäiseen ryhmähuoltoon liittyviä liitäntälaitte- ja valaisinhuoltotyökuluja. Järjes-



telmähuolto piti vanhan valaistuksen osalta käytännössä sisällään liitäntälaitteen oston (12 €, 25 €, 49 € tai 86 €) ja asennuksen (17 €) sekä valonlähteen vaihdon ja valaisimen puhdistuksen (2\*4,5 € tai 2\*9 €).

Kohdassa energiakustannukset on eritelty valaistusjärjestelmän energiankulutuksesta aiheutava hinta pitoajan, ohjaustavan ja valaisimien ottaman kokonaistehon puolesta käyttäen LCC-laskentaan kuuluvia parametrejä. Kokonaistehoarviot on summattu taulukoissa 6 ja 8 esitettyjen tehotietojen pohjalta. Kokonaisteho muodostuu valonlähteiden kappalemäärää mukaillen lampun ja sen käyttölaitteen yhdistelmästä sekä oletusarvoisesta 0,5 watin tyhjäkäyntitehosta per valaisin (8760h/vuosi). Valaisinvalmistajat ilmoittivat käytettyjen LED-valaisimien ottotehojen olevan käytännössä samat kuin liitettävien valonlähteiden nimellistehot (taulukko 8). Liitäntälaitteissa muodostuu toki pieniä häviöitä, mutta näiden suuruus on suhteellisen minimaalista kokonaisvertailun kannalta enkä alkanut sitä huomioida.

Valonlähdekustannukset huomioivat investointikustannusten jälkeiset valonlähdekustannukset ja lamppujen vaihtotyökulut tarkastelujakson aikana. Suurimmat kulut näiden osalta muodostuvat position 107 valaisimista, jotka joudutaan vaihtamaan kokonaan. Liitäntälaittekustannukset summautuvat samalla periaatteella. Huoltokustannukset ovat valaisimien puhdistusta sekä uuden järjestelmän osalta myös kuristintarvikekuluja ja niiden vaihtotyötä.

Kohta ”valaistusratkaisun nykyarvo” summaa kaikki edellämainitut menoerät ja esittää ratkaisun todellisen hinnan 30 vuoden ajanjaksolla. Kriittinen piste (takaisinmaksuaika) kertoo hetken, jolloin vertailuvaihtoehdon investointikustannukset saadaan katettua valaistuskokonaisuuden käytöstä syntyvillä säästöillä suhteessa vertailtavaan ratkaisuun. Kriittisen pisteen jälkeen vaihtoehto alkaa tuottaa suhteellista voittoa. LENI-arvo antaa viitteellistä suuntaa energiatehokkuuteen kappaleen 6.5 mukaisesti.

## Valaistusratkaisujen kustannusvertailu

### Yleiset tiedot

Nykyinen valaistusratkaisu (vertailuratkaisu takaisinma...

Valaisintyyppien lukumäärä

Valaisintyytit

Valaisimien lukumäärä

Valonlähteiden kokonaismäärä

### Investointikustannukset

Valaisinkustannukset yhteensä (ilman lamppuja)

Valonlähdekustannukset yhteensä

Asennuskustannukset yhteensä

Materiaali- ja työkustannukset yhteensä

### Investointi

### Energiakustannukset

Valaistusratkaisun kokonaisteho

Keskimääräinen käyttökerroin

Teho yhteensä

Keskimääräinen toiminta-aika

Energiankulutus vuodessa

Sähkön hinta 0,15 EUR/kWh

Energiakustannukset vuodessa

### Energiakustannusten nykyarvo

### Valonlähdekustannukset

Valonlähteiden kokonaismäärä

Valonlähteiden vaihtokustannukset yhteensä

### Valonlähdekustannusten nykyarvo

### Liitäntälaitteen kustannukset

Liitäntälaitteen kokonaisvaihtokustannus

### Liitäntälaittekustannusten nykyarvo

### Huoltokustannukset

Huoltokustannukset yhteensä

### Huoltokustannusten nykyarvo

### Valaistusratkaisun nykyarvo

### Kriittinen piste (nykyarvomenetelmä)

### Tuotto

### LENI

### LED - valaistusjärjestelmä

32  
10 - Syl-Lighter 195 LE...  
6 - ALTNL22 1x22W  
2 - LED-TEVA 322  
10 - ORION-118 LED  
16 - LEDtube 1x24W  
17 - LED-TEVA 322  
5 - LED-TEVA 322  
...

357  
459

97 513,65 EUR  
0 EUR  
32 287 EUR  
10 348 EUR

140 149 EUR

11,3 kW  
62,3 %  
7,0 kW  
6 636 h/vuotta  
46,7 MWh

7 002 EUR  
160 367 EUR

459  
39 925,25 EUR  
93 645 EUR

12 606 EUR  
22 989 EUR

5 599 EUR  
11 283 EUR

428 433 EUR  
2,5 vuotta  
914 664 EUR  
~10,3 kWh/m2, vuotta

### Vanha valaistusjärjestelmä

Nykyinen valaistusratk...

34  
10 - Dulux D/E 1x13W/...  
6 - Dulux D/E 2x18W/840  
6 - T8 L 1x36W/840 G13  
3 - T8 L 1x58W/840 G13  
10 - T8 L 1x36W/840 G13  
16 - T8 L 2x58W/840 G13  
17 - T8 L 2x58W/840 G13  
...

404  
528

6 174,7 EUR  
0 EUR  
0 EUR  
16 078 EUR

22 253 EUR

48,3 kW  
95,9 %  
46,3 kW  
7 130 h/vuotta  
330,2 MWh

49 530 EUR  
1 134 347 EUR

528  
9 650,7 EUR  
147 877 EUR

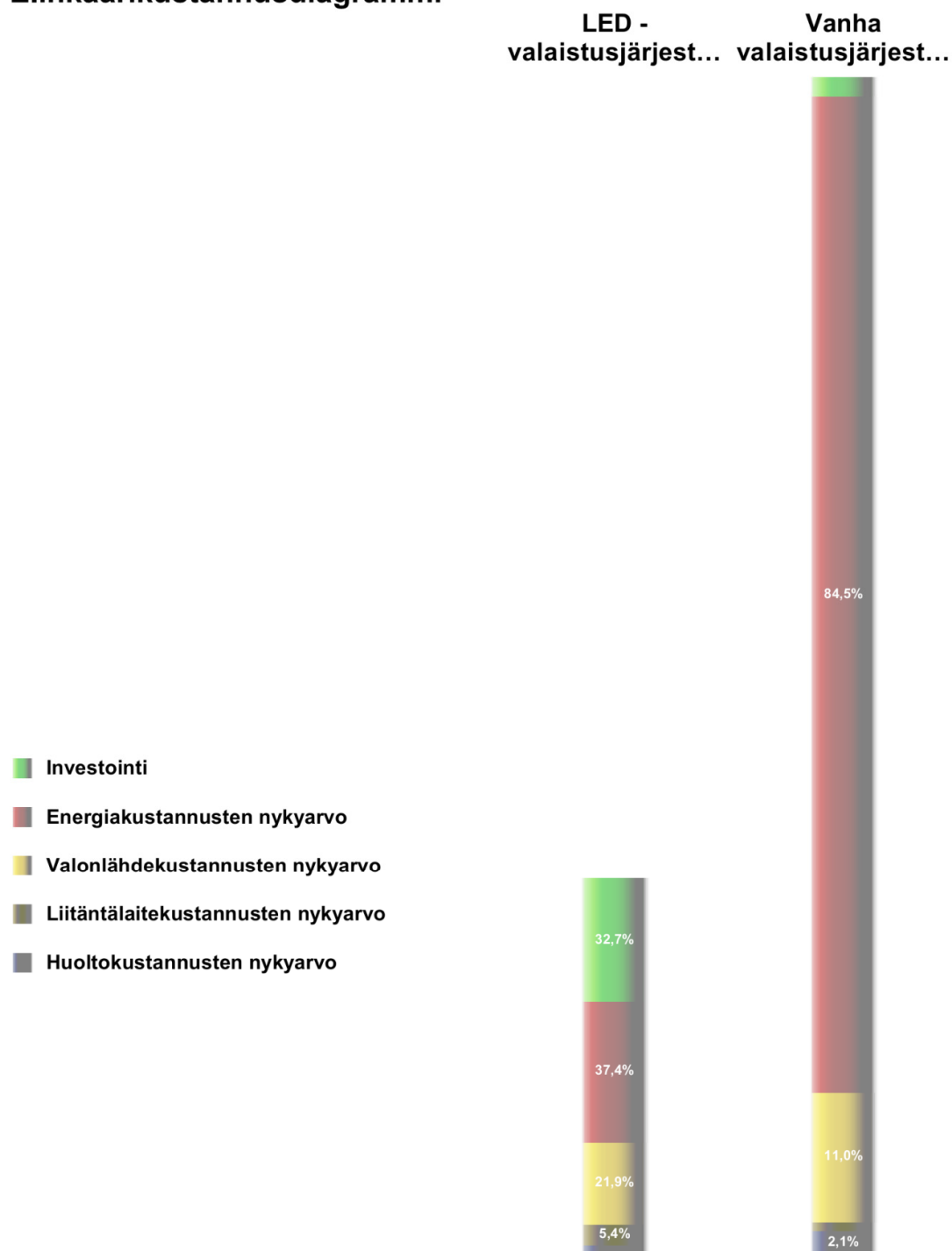
10 353 EUR  
10 151 EUR

2 223 EUR  
28 469 EUR

1 343 097 EUR  
- vuotta  
0 EUR  
~72,6 kWh/m2, vuotta

KUVA 16: Vertailu vanhaan valaistusjärjestelmään, jossa CCG-laitteet, KNX - ohjauksen tuoma alenema 35 %

## Elinkaarikustannusdiagrammi



## Valaistusratkaisujen kustannusvertailu

### Yleiset tiedot

Nykyinen valaistusratkaisu (vertailuratkaisu takaisinma...)

Valaisintyyppien lukumäärä

Valaisintyytit

### LED - valaistusjärjestelmä

32

10 - Syl-Lighter 195 LE...

6 - ALTNL22 1x22W

2 - LED-TEVA 322

10 - ORION-118 LED

16 - LEDtube 1x24W

17 - LED-TEVA 322

5 - LED-TEVA 322

...

357

459

### Vanha valaistusjärjestelmä...

Nykyinen valaistusratk...

34

10 - Dulux D/E 1x13W/...

6 - Dulux D/E 2x18W/840

6 - T8 L 1x36W/840 G13

3 - T8 L 1x58W/840 G13

10 - T8 L 1x36W/840 G13

16 - T8 L 2x58W/840 G13

17 - T8 L 2x58W/840 G13

...

404

528

Valaisimien lukumäärä

Valonlähteiden kokonaismäärä

### Investointikustannukset

Valaisinkustannukset yhteensä (ilman lamppuja)

97 513,65 EUR

6 174,7 EUR

Valonlähdekustannukset yhteensä

0 EUR

0 EUR

Asennuskustannukset yhteensä

32 287 EUR

0 EUR

Materiaali- ja työkustannukset yhteensä

10 572 EUR

31 607 EUR

### Investointi

140 373 EUR

37 782 EUR

### Energiakustannukset

Valaistusratkaisun kokonaisteho

11,3 kW

44,1 kW

Keskimääräinen käyttökerroin

62,4 %

96,3 %

Teho yhteensä

7,0 kW

42,4 kW

Keskimääräinen toiminta-aika

6 632 h/vuotta

7 293 h/vuotta

Energiankulutus vuodessa

46,6 MWh

309,5 MWh

Sähkön hinta

0,15 EUR/kWh

Energiakustannukset vuodessa

6 985 EUR

46 432 EUR

### Energiakustannusten nykyarvo

159 975 EUR

1 063 397 EUR

### Valonlähdekustannukset

Valonlähteiden kokonaismäärä

459

528

Valonlähteiden vaihtokustannukset yhteensä

39 925,25 EUR

9 650,7 EUR

### Valonlähdekustannusten nykyarvo

93 094 EUR

117 969 EUR

### Liitäntälaitteen kustannukset

Liitäntälaitteen kokonaisvaihtokustannus

12 759 EUR

25 836 EUR

### Liitäntälaittekustannusten nykyarvo

22 997 EUR

32 532 EUR

### Huoltokustannukset

Huoltokustannukset yhteensä

5 581,5 EUR

2 223 EUR

### Huoltokustannusten nykyarvo

11 203 EUR

22 488 EUR

### Valaistusratkaisun nykyarvo

427 641 EUR

1 274 167 EUR

### Kriittinen piste (nykyarvomenetelmä)

2,5 vuotta

- vuotta

### Tuotto

846 526 EUR

0 EUR

### LENI

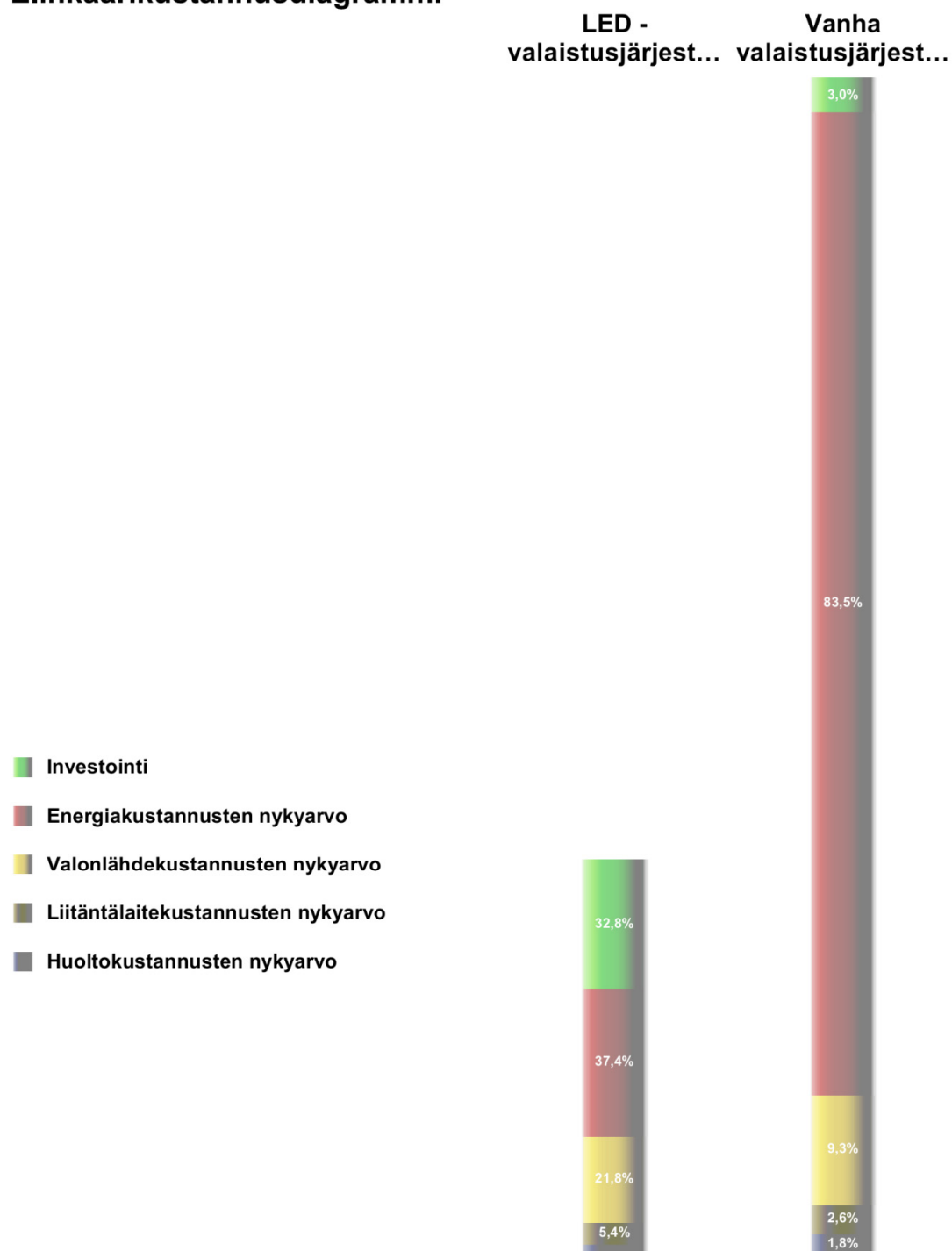
~10,2 kWh/m2, vuotta

~68,0 kWh/m2, vuotta

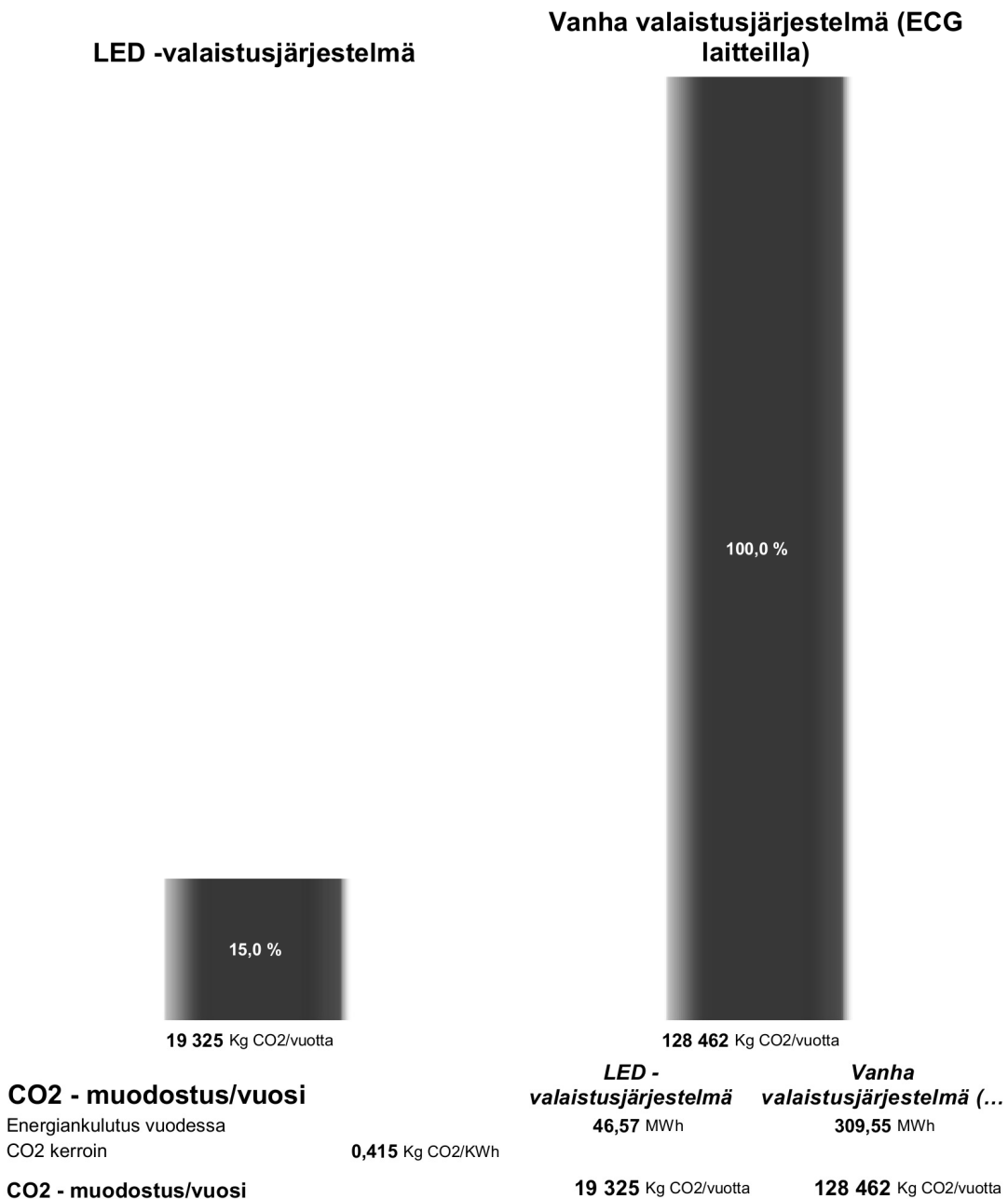
KUVA 18: Vertailu vanhaan valaistusjärjestelmään, jossa ECG-laitteet. KNX-

ohjauksen tuoma alenema 35 %

## Elinkaarikustannusdiagrammi



## CO<sub>2</sub>-muodostus



## 10.2 Uuden ohjausjärjestelmän tuomat säästöt

LCC-vertailussa terminaalin valaistusohjausjärjestelmän todellista toimintatehokkuutta ja etua valaistuksenpitoon oli hankala arvioida muutoin kuin oletusarvoisesti järjestelmän ollen vielä toteutusasteella. Erillisen LCC-simuloinnin avulla on tarkasteltu ohjauksen tuomaa kokonaistuoton muuttumista eri alenema arvoilla. Laskennassa käytettiin samoja alkuarvoja, työhinnointelukriteereitä ja valaisintuotetietoja kuten edellä esitetyissä kappaleissa.

Vertailukohtana oli 90 kappaletta monimetallivalaisimia liitäntälaitteisella asennuksella (86 €/kpl) ja 8736 tunnin vuotuisella pitoajalla. Jokainen 1 % alenema terminaalin kattovalaistuksen ohjauskertoimessa tuotti noin +1950 € muutoksen 30 vuoden tarkastelujaksolla ratkaisujen keskinäiseen nykyarvoon. Mikäli uudella valaistuksenohjausjärjestelmällä saavutettaisiin edellisessä kokonaisvertailussa oletettu 40 % alenema valaistuksen pitoon, vastaisi se noin 78 000 € tulosodotusta edellä esitetyillä laskenta-arvoilla. 20 vuoden tarkastelujaksolla kyseinen summa oli noin 1350 €.

## 10.3 Terminaalin alakaton valaistuksen säästöpotentialiaali

Terminaalien aulatilojen yhteydessä olevaa alakattojen downlight-valaistuksen ei otettu osaksi valaistusuudistusta, mutta valaistusalueen säästöpotentialiaali on arvioitu erillisellä LCC-laskennalla.

Alueen valaistuksesta vastasi noin 130 kattoon upotettua alasvaloa. (Liite 1: positiot 83, 84). Korvaavana LED-valaisinmallina valonlähteen, liitettävyyden ja kokotietojen puolesta olisi voinut olla esimerkiksi Havells Sylvanian Lighter-malliston 165 LED 9 W/4000K -valaisin, joka on pienempi 9 watin versio position 105 valaisinmallista, oletushintana 140 € (sisältäen valonlähteen 75 €, L70 = 60000 h) sekä huoltotyön lisänä 100 € liitäntälaittekustannus. Sekä valonlähde että liitäntälaitte vaihdettaisiin oletuksellisesti samaan aikaan. Vertailukohtana olivat vanhat 13 watin pienloisteputkiset downlight-valaisimet (lamppu 7 €, L70 = 13 000h) 25 € liitäntälaitteella, yhteisteholtaan 15 W.

Täydellä 8736 tunnin vuotuisella käyttöajalla LED-ratkaisu tuottaisi 27 000 € säästöt energiakustannuksissa, mutta kokonaisuutena tuotto-odotus olisi negatiivinen noin -28 000 € edellä mainituilla laskentakriteereillä. Mikäli läsnäolotunnistinohjaus voitaisiin LED-ratkaisuun toteuttaa +100 €/valaisin kustannuslisällä ja 40 %:in käyttöaikojen alenemalla, olisi tuotto ollut edelleen negatiivinen -26 000 €. Suurimmat kustannukset muodoistuivat valonlähteiden ja liitälaitteiden vaihdosta. Mikäli nämä saataisiin hankittua alle 100 €/valaisin hintaan, voisi tuottoa 30 vuoden ajalla kertyä alle 10 000 € mittakaavassa. Suurin oletamus laskennassa oli vanhojen valaisinrunkojen kestäminen tarkastelujakson ajan.

#### **10.4 Tilakohtaiset vertailut**

Valaistusjärjestelmien tilakohtaisen vertailun lopputulokset on esitetty yhteenvetona taulukossa 11. Vertailussa oli liitälaitteinen vanha valaistus ja LED-ratkaisu samoilla oletuslaskenta-arvoilla ja LCC-laskentamenetelmillä kuin edellisissä kappaleissa. Kohdat ”investointi” ja ”nykyarvo” ilmoittavat samoin kuin kokonaisvertailussa euro arvoin, mutta ainoastaan tiloittain eritellyillä arvoilla. Vertailua tasavertaistamaan on taulukossa nostettu esille tilassa käytettyjen valonlähteiden suhteellinen määrä. Kohta huomioi valonlähteiden tilakohtaisen karsimisen tai lisäyksen, mikäli valaisin muutoksen yhteydessä tilan valonlähdemäärä muuttui suhteessa vanhoihin valaisinasennuksiin. Esimerkiksi -2 kplvalonlähteitä voi tarkoittaa joko kahden 1-lamppuisen valaisimen tai yhden 2-lamppuisen valaisimen suhteellista poistumista tilasta. Terminaalin osalta nykyarvo on määritetty ohjausjärjestelmän tuodessa 40 % ohjausaleneman valaistuksen pitoon. Tulosten todenmukaisuutta vääristää mahdollisesti eniten oletus, että vanhat valaisinrungot kestävät 30 vuoden tarkastelujakson ilman ylimääräisiä kustannuksia sekä kaikkien työtuntien tilakohtainen tarkka arviointi. Tulosten tarkoitus on antaa suuntaavaa käsitystä siitä, millä tila-alueilla valaistusmuutokset onnistuivat parhaiten.



TAULUKKO 11. Tiloittaisten vertailujen tulokset

Osa	Tila	Tilanumero	Vanha [€]	Uusi [€]		Tuotto [€]	Tuotto inves- toinnille [%]	Valonlähde määrä [kpl]
			Nykyarvo	Investointi	Nykyarvo			
0.k A-osa	WC:t	051, 052	3707	3786	5291	-1584	-42	-6
0.-2.k A-osa	A-portaikko+käytävä	050,053,146,225	3379	1818	3121	258	14	0
0.k A-osa	Varasto	047+	19007	1368	5767	13240	968	0
0.k A-osa	Varasto	041	22140	4245	7553	14587	344	0
0.k A-osa	Sähkö- ja teletilat	042 - 044	1347	1189	1296	51	4	-2
0.k A-osa	F-porras	040, 145, 224	2019	924	1754	265	29	0
0.k A-osa	Varasto, hätäp.tie	031, 054	10994	3481	5366	5628	162	0
0.k A-osa	Käytävä	055	677	1320	2039	-1362	-103	2
0.k A-osa	Käytävä	036	2501	894	2073	428	48	0
0.k A-osa	Toimistot	056 - 058	3383	434	793	2590	597	0
0.k A-osa	Varastot	037 - 039	578	1464	1593	-1015	-69	0
0.k B-osa	Matkatavaratila	030	181591	11024	59471	122120	1108	-2
0.k B-osa	Käytävät, eteinen	001 - 002	3163	3064	3577	-414	-14	-3
0.k B-osa	Teletila	008	1010	1953	2146	-1136	-58	-2
0.k B-osa	Telelaitehuone	021	526	1094	1167	-641	-59	0
0.k B-osa	Lämmönjakohuone	022	431	709	810	-379	-53	0
0.k B-osa	Sosiaalitulat	010 - 018	3984	2735	3811	173	6	-2
0.k B-osa	Pääkeskus	007	225	434	477	-252	-58	0
0.k A-B-osa	Kylmäkatosalue	060 - 061	426301	21184	94037	332264	1568	-27
0.-1.k B-osa	B-portaikko	029	3685	940	1865	1820	194	4
0.-1.k B-osa	B-porrash.+katokset	144 -	4606	680	3845	761	112	0
0.-1.k B-osa	Pienet WC:t	023,024,035,110	1211	908	1573	-362	-40	0
1.k B-osa	WC:t (peilivalaisimet)	109, 111	1838	1517	2725	-887	-58	0
1.k B-osa	WC:t	129 - 130	7428	2791	6339	1089	39	-7
2.k A-B-osa	Terminaali		582718	70153	208558	374160	533	0
YHTEENSÄ			1288449	140109	427047	KA = 207		

\*miinukselle menevät

## 11 TULOSTEN ARVIOINTI

### 11.1 Takaisinmaksuaika (kriittinen piste)

Valaistushankkeen onnistumista voidaan yleisesti ottaen arvioida monesta eri näkökulmasta. Toteutetun valaisinmuutoksen pääasiallinen tavoite oli energiatehokkuuden parantaminen, joten keskeisin tarkastelu taloudellisesta ja ekologisesta näkökulmasta kulkee pitkälti käsi kädessä. Yksiselitteisenä arviointikriteerinä hankkeen onnistumiselle voidaan tältä osin pitää takaisinmaksuaikaa, joka määrittää ajankohdan, jolloin investoinnin yhteenlasketut nettotuotot maksavat investoinnin takaisin eli ylittävät hankintakustannukset (hankintakustannukset/vuotuinen nettotuotto).

Talousopissa kaikki investoinnit, jotka alittavat takaisinmaksuajallaan asetetun tavoiteajan, ovat kannattavia. Energiatehokkuuden parantamista edistävässä hankeessa viitetä hyvästä takaisinmaksuajasta antaa esimerkiksi Työ- ja elinkeinoministeriö, joka on viime vuosikymmen loppupuolelta asti myöntänyt energiatukea yrityksien ja yhteisöjen investointeihin koskien vastaavan tyyppisiä ympäristömyönteisiä kehityshankkeita. Yksi tuen kriteeri on investoinnin takaisinmaksuaika. Alarajaltaan energiatukea ei myönnetä investoinneille, joiden takaisinmaksuaika on alle 2 - 3 vuotta, koska hankkeen katsotaan olevan hyvin kannattava ja joka tapauksessa toteutuva. Mikäli takaisinmaksu aika on 3 - 6 vuotta investoinnin katsotaan olevan kohtuullisen hyvä. Takaisinmaksuajan ollessa 6 - 10 vuotta, täyttää hanke vielä energiansäästöinvestoinnin kriteerit. Yli 10 vuoden takaisinmaksuajalla olevaa hanketta ei mielletä enää täysin kokonaisuudessaan energiansäästötoimenpiteeksi. (Yritysten energiaopas 2014)

Valaistusmuutoshankkeessa takaisinmaksuaika on käytännössä sama kuin kappaleen 9.1 tuloksissa esitetty ”kriittinen piste”. Energiatehokkuushankkeeksi valaistusmuutos on ollut hyvin kannattava, takaisinmaksuajan ollessa 2,5 vuotta toteutetuilla laskelmilla. Laskentaparametreista sähkönhinnalla ja -hinnankehityksellä on oleellisin vaikutus takaisinmaksuaikaan, koska LED- ja ohjausratkaisuilla aikaansaatu kulutusenergian pitkäjaksoinen aleneminen tuottaa suurimman osan vuotuisista nettotuotoista.

## 11.2 Energiansäästöjen syntyminen

Valaistusmuutoksen vuotuiset nettotuotot syntyvät siis luonnollisesti suurimmaksi osin säästettävästä energiasta. Edellä esitetyt laskentatulokset heijastelevat kaikilla osin valtavia energiansäästöjä jopa energiatehokkuushankkeeksi. Yli kolmin kertaiset energiansäästöt olivat ennen laskentaa jopa odotettavia. Yllättävää oli kuitenkin vuotuisen energiankulutuksen radikaali tippuminen 310–330 MWh:sta alle 50 MWh:iin, joka korreloi suoraan noin 6 -kertaa pienempiin energiakustannuksiin vuodessa. Tulos on mittakaavaltaan yllättävä, mutta sille löytyy myös useita selityksiä.

### 11.2.1 Valaisimien säästöpotentiaali

Kohteen alkuperäisen, yli 20 vuotta vanha valaisinkanta, oli useita suuria valaistusalueita koskien tekniikaltaan jo päivettyynyttä ja tehonkulutukseltaan ylisuurta. Suurimmat energiansäästöt ovat syntyneet kylmäkatosalueen, matkatavarahallin ja pääkaton valaisimien uusimisesta.

Taulukosta 4 ja liitteen 1 valaisinluettelosta voi huomata, että esimerkiksi kylmäkatostilojen 250 wattisia elohopeavalaisimia korvaamaan valitut 35 watin LED-valaisimet alittavat nimellisteholtaan aiemman valaisinkannan moninkertaisesti. Valaisinpisteiden suhteellisella karsimisella ja keskittämisellä on vähennetty kokonaiskulutusta. Myös pääterminaalin alueen monimetallivalaisimien uusimisella on saatu säästöjä valaisin-kohtaisten kokonaistehojen tippuessa kolmannekseen alkuperäisestä.

Loistevalaisinkanta on myös tarjonnut vastaavaa säästöpotentiaalia. Loisteputkien korvaamista LED:ksi on monien valaisinvalmistajien artikkeleissa havainnollistettu rinnastuksella korvata esimerkiksi 36 watin T8-mallinen loistevalaisin 18–20 watin T8 LED -valoputken omaavalla valaisimella. Esimerkin loistevalolla kokonaisteho nousee 42 - 45 wattiin perinteisellä liitäntälaitteella, LED-valaisimen kokonaistehon ollen valonlähteelle nimellinen. Toteutetuilla muutoksilla on saatu 2 - 3ertainen alenema yksittäisiä valopisteitä vertaillen.

Liitteiden 2 ja 3 tulokset antavat viitteitä, että ainakin suurimmilla tila-alueilla valaistusvoimakkuus on ollut ylimitoitettua nykyisen SFS-standardin asettamiin valaistusvaatimuksiin nähden. Vuotuisesta käytöstä syntyvä säästöpotentiaali

Kohteen aiemman valaistusjärjestelmän energiansäästöpotentiaalia yksittäin suuresti nostava tekijä on valaistuksen vuotuinen käyttö. 310–330 MWh vuotuinen energiankulutus noin 4500 m<sup>2</sup> valaisuun on jo lähtökohtaisesti järin suuri, johtuen laajojen valaistusalueiden jatkuvasta päälläpidosta. Pinta-alaltaan pienten ja harvaksellisessa käytössä olevien tilojen valaistusmuutokset eivät ole säästöpotentiaaliltaan yhtä kannattavia, tai ovat jopa kannattamattomia, verrattuna pinta-alaltaan suurempien valaistusalueiden muutosratkaisuun.

Taloudellisessa ja ekologisessa mielessä oleellista on, että uudet tekniset ratkaisut pääsevät käytössä syntyvien suhteellisten energiansäästöjen kautta maksamaan itsensä takaisin. Mikäli käyttöaikaa ei ehdi koko elinkaaren aikana kertyä tarpeeksi, on toteutettu uudistus aina kannattamaton. Taloudellisen onnistuneisuuden näkökulmasta tiloissa, joissa valaistuksen vuotuiset käyttöajat jäivät alle 1000 tuntiin per vuosi, ja joiden valaisinkanta koostui nimellisteholtaan 36 watin tai sen alle menevistä valaisimista, ei korvaavilla muutosratkaisuilla päästy kannattavaan lopputulokseen.

### 11.2.2 Ohjauksen tuomat säästöt

Tiloissa, joissa valaistuksen pitoajat olivat korkeita, päästiin erittäin hyviin säästöarvioihin. Toiseksi suurin energiakulutukseen tippumiseen vaikuttava tekijä, on toimivan ohjauksen tuominen näille tila-alueille, joissa aiemmin on ollut lähes jatkuva valaistuksen pito. Myös valonlähde-, liitäntälaitte- ja huoltokustannukset vähentyvät vaihdettavien osien kestäessä pidempään.

Valaistuksen käyttöaikoja ja tiloissa tapahtuvaa aktiivista liikehdintää on hankala tietää tarkalleen, mutta todennäköisesti kappaleessa 8.3.2 esitetyt alenemakertoimet heijastelevat läsnäolotunnistimien aktiivisuutta kohtuu realistisesti. Oletuksena on, että läsnäolotunnistimen vasteajat ovat noin 5 - 15 minuuttia.

### 11.3 Valaistussimulointi

Valaistustasoja tutkittiin muutamilla tila-alueilla. Matkatavarahallin valaistusvoimakkuuden keskimääräinen taso 0,85 metrin korkeudella lattiapinnasta oli leveällä valonjaoilla olevilla esimerkkiloistevalaisimilla 550 lx ja asennetulla LED-valaisimilla 340 lx koko hallitilassa. Tilassa ei huomioitu valaistusesteitä, kuten kuljetinhihnoja. Vastaavasti varastotilan 041 valaistusvoimakkuus oli keskileveän valonjaon omaavilla esimerkkiloistevalaisimilla 650 lx ja LED-valaisimilla 380 lx (liite 2). Standardin SFS-EN 12464-1 taulukossa 5.52 on esitetty suositeltavia valaistusvoimakkuustasoja lentoasematiloille. Työkäytön varastotiloille ja matkatavaratilalle suositus taso on 200 lx. (SFS-EN 12461-1 2003, 68)

Liitteessä 3 on tarkasteltu terminaalin kattovalaisimien tuottamaa valaistusvoimakkuutta. Simuloinnissa käytetyillä monimetallivalaisimilla saavutetaan 720 lx keskimääräinen valaistusvoimakkuus LED-ratkaisujen päästessä 300 lx vastaavaan arvoon. Päivänvalon osuutta valaistusvoimakkuuteen ei ole huomioitu laskelmissa. Tulo- ja lähtötilojen, matkatavaratilojen sekä odotusaulojen suositus valaistusvoimakkuus on 200 lx standardiin EN-12464-1 perustuen. (SFS-EN 12461-1 2003, 68)

Liitteen 2 valonjakaumakuvaajissa huomattavaa on, että LED-putki pääsee aina 100 % hyötysuhteeseen luonnollisen valonsuuntauksen takia. Fagerhultin T8-loisteputkellisissa teollisuusvalaisimissa L.O.R. -hyötysuhteet vaihtelivat noin 63–88 % välillä riippuen valaisinmallista.

Valaistussimuloinnin tulokset, taulukon 4 valonlähteiden vertailu sekä kappaleessa 8.2 esitetyt valaisinpisteiden suhteelliset muutokset viittaa siihen, että valaistusuudistuksella ei saavuteta yhtä korkeaa valaistusvoimakkuutta tiloissa kuin edeltävillä asennuksilla. Valaistusvoimakkuuden SFS-standardin mukainen taso on kuitenkin täytynyt keskeisillä tila-alueilla liitteiden 2 ja 3 tuloksiin viitaten.

### 11.4 Energiatohokkuuden paraneminen

Tuloksissa esitettyjen LENI-arvojen osalta huomioitavaa on, että toteutettu valaistusuudistus ei ole yksiselitteisesti vertailukelpoinen vanhaan ratkaisuun. Jotta LENI-arvoilla

olisi valaistusteknistä vertailukelpoisuutta, täytyisi sekä uuden että vanhan valaistusratkaisun tuottaa keskimäärin sama valaistusvoimakkuus tila-alueilla. Kumpaakaan ratkaisua ei ole suunniteltu standardin SFS-EN 12464-1 pohjalta.

Valaistuksen energiatehokkuus paranisi tulosten mukaan moninkertaisesti. Mikäli noin 10 kWh/m<sup>2</sup> LENI-arvo saavutetaan, viittaa se erittäin hyvään energiatehokkuustasoon ottaen huomioon, että kyseessä on suuri palvelukohde. Kohde ei tyyppinsä tai vuotuisen käyttöaikojen puolesta vertaannu mihinkään kappaleessa 6 esitettyihin vertailukohteisiin ja taulukoiden käyttöaikoihin.

## **11.5 Tuloksiin vaikuttavat epävarmuustekijät**

Elinkaarilaskennan menetelmillä on lähtökohtaisesti mahdollista saada eksakteja, todellisuuteen vertautuvia tuloksia. Tuloksia vääristää kuitenkin usein käytettyjen laskentasarvojen tarkkuus ja vertailuratkaisun kaikkien kustannustekijöiden laskennallinen huomioiminen.

### **11.5.1 Alkuarvojen epävarmuustekijät**

Vertailuratkaisujen keskinäiseen, taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavat eniten käytetyistä alkuarvoista tilaajan määrittämän laskentakoron lisäksi, kohteeseen ostetun sähkön hinta ja hinnan kehitys tulevaisuudessa. LED:ien ja toteutettujen ohjausratkaisujen etuna on nimenomaan kulutusenergian pitkäjaksoinen huomattava aleneminen. Jotta energiansäästöillä saatua etua ja valaistusuudistuksen kannattavuutta voisi hahmotella paremmin, tarkastelin kokonaisvertailun osalta yksittäisen laskentaparametrin arvon poikkeamasta aiheutuvaa muutosta uuden järjestelmän kokonaistuottoon.

Sähkönhinnan muutos  $\pm 0,01$  €/kWh mittakaavalla aiheutti vertailuratkaisusta riippuen  $\pm 60\,000$ – $65\,000$  € muutoksen sekä sähkönhinnan kehitys  $\pm 0,1$  % muutoksella  $\pm 12\,000$ – $13\,000$  € vaihtelun tuottoon muiden alkuarvojen pysyessä samana. Suurin vaikutus kokonaistuottoon aiheutuu mittavassa vertailussa, halutusta laskentakorosta, jonka muutosuhdetta ei voi arvioida yhtä lineaarisesti. Vertailu ECG-laitteeseen vanhaan järjes-

telmään esimerkiksi 2,0 % laskentakorolla olisi muuttanut kokonaistuottoa noin +130 000 €, saman summan ollessa 6,0 % korolla noin -275 000 €.

### **11.5.2 Yleisten laskenta-arvojen epävarmuus**

Vertailtaessa valaistusjärjestelmien nykyarvoja toisiinsa, muodostuvat suurimmat epävarmuustekijät yleisten laskenta-arvojen tarkemmasta tietämyksestä seuraavilta osin: Valaistuksen vuotuisien pitoaikojen, ohjauksien tuoman alenaman ja muutosratkaisun toteutukseen kuluneiden työtuntimäärien arvioimisessa muodostuvat mahdollisesti suurimmat poikkeamat. Työveloituksen kriteerit koskevat tasavertaisesti molempia ratkaisuja ja tarvittavat hankintakustannukset ovat hinnoiltaan realistisia niiltä osin, kuin niitä on laskennassa huomioitu. Valaisinten, valonlähteiden tai liitäntälaitteiden satunnaisesta vikaantumisesta syntyviä kustannuksia ei laskennassa ole esimerkiksi otettu huomioon.

Koska tarkastelujakso on pitkä, voivat valaistuksen toiminnalliset ajat vaihdella huomattavasti kolmenkymmenen vuoden tarkastelujakson aikana. Ei-keskeisten tilojen käyttötarkoitus ja -luonne voi esimerkiksi muuttua. Tämä vaikuttaisi suoraan saatuihin tuloksiin, koska laskenta-arvot vuotuisen pitoaikojen osalta on annettu olettaen, että tilojen käyttöluonne pysyy samana koko tarkastelujakson ajan.

### **11.5.3 Huomioimattomista kustannustekijöistä aiheutuva muutos**

Käytettyjen laskentaparametrien lisäksi vertailuratkaisuihin kiinteästi liittyvät menoerät, joita laskelmassa ei huomioitu vaikuttavat lopullisiin tuloksiin. Kappaleessa 8.7 on tuotu esille kustannuksia, jotka todellisuudessa nostavat muutosratkaisun nykyarvoa laskentalopputuloksia korkeammaksi. Kustannukset liittyvät suurimmalta osin valaistusmuutoksen ensisijaisiin investointeihin suunnittelu- ja asennustyökustannusten muodossa. Näiden mahdollisen suuruus luokan olettaisin olevan noin 10 000 - 30 000 € välillä.

Vertailuratkaisujen tuloksellista paremmuutta toiseen suuntaan kallistava, huomioimaton tekijä, muodostuu mielestäni lähtökohtaisesta oletuksesta, että vanhat valaisinrungot kestävät 30 vuoden laskentajakson ajan ilman ylimääräisiä kustannuksia. Valaisimet kestävät kyllä pitkiä aikoja siisteissä sisäolosuhteissa, nimellisen teknisen eliniän ollessa

15–20 vuotta. Uskoisin, että vanhat valaisimet olisivat pystyneet kuntonsa puolesta palvelemaan vielä hyvän aikaa, mutta niiden vaihtaminen jossain kohti 30 vuoden tarkastelujaksoa olisi ollut pakonomaista pelkästään toimivuus- ja sähköturvallisuussyistä. Valaisimesta saatava valovirranmäärä laskee valaisimen eliniän pitkittyessä kupujen ja heijastimien pinttymisestä johtuen. Vertailutarkastelussa oli 407 valaisinta, joiden korvaaminen toisi hankintakustannusten muodossa huomioitavan lisän vanhan järjestelmän investointikustannuksiin. (Talotekniikan elinkaaritarkastelut 2001)



## 12 POHDINTA

Rovaniemen lentokenttäterminaalin valaistusmuutoshanke onnistui taloudellisesti laskentatulosten perusteella erittäin hyvin. Käytetyillä LED-valaisimilla ja toteutetuilla ohjaus uudistuksilla on saatu optimoitua kohteen valaistusjärjestelmää vuotuisen energiankulutuksen osalta huomattavasti. Valaistus uudistukseen käytetyt ensisijaiset investoinnit maksavat itsensä takaisin 2–3 vuoden välillä riippuen siitä, kuinka tarkasti kustannustekijöitä huomioidaan elinkaarilaskennassa. Asennus- ja huoltotyökulut sekä valaistuksen toiminta-ajat pienten tilojen osalta ovat arvioita, jotka voivat mennä todellisuudessa puoleen tai toiseen. Todellisia asennustyöstä johtuvia kustannuksia on hankala arvioida ”€/valaisin” -periaatteella työn pitäen sisällään paljon erinäisiä vaiheita, kuten asennusmateriaalin siirtoa ja poistoa, purkutyötä, valaistusryhmämuutoksia, uudelleenkaapelointia ja dokumentointia. Huomioimattomia kustannuksia voisi oletetusti sisältyä muutosratkaisuun maksimissaan +30 000 €:n verran, jolloin tämän vaikutus takaisinmaksuaikaan olisi noin puoli vuotta.

Kohde on kaiken kaikkiaan tarjonnut suurta energiansäästöpotentiaalia. Kohteen luonteelle omainen, valaistuksen korkea käyttöaste on suuriin yksittäinen syy, joka on mahdollistanut valaistusjärjestelmän energiansäästöjen moninkertaistumisen käytetyn valaistustekniikan lisäksi. Suunniteltaessa perinteisten valonlähdemallien korvattavuutta LED-ratkaisuilla, taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta on syytä kiinnittää erityistä huomiota kohteelle tai tilalle ominaiseen vuotuisen käyttötuntimäärään. LED-tuotteiden olessa keskimääriin perinteisiä valonlähteitä hyödyntäviä valaisimia kalliimpia, voidaan niiden alkuperäisiä, korkeita investointikustannuksia kompensoida käytöstä syntyvällä energianalennemalla. Jos valaistuksen vuotuiskäyttöaikaa ei ehdi kertyä, jäävät myös energiankulutuksen kautta saatavat säästöt pieniksi ja investointien kannattavuus laskee.

Valaistuksessa energiatehokkuuden määritelmä on tuottaa sama valaistustaso valaistusvoimakkuudeltaan pienemmällä kokonaisteholla. Arvioitaessa valaistusmuutoksen onnistuneisuutta energiatehokkuuden näkökulmasta, on huomioitava, että energiatehokkuuden paranemista ei voida suoranaisesti todentaa edellä mainitusta syystä LENI-arvoja vertailemalla. Tarkasteltujen tilojen valaistusvoimakkuudet ja valaistuksen visuaalinen vaikutelma on muuttunut paitsi valaisinpisteiden uudelleensijoittelun ja poistu-

misen takia, myös syystä, että kukin valaisinmalli luo aina yksilöllisen valovaikutelman valovoimakkuuden ja -jakauman osalta. Toteutetuilla muutosratkaisuilla ei liitteiden 2 ja 3 tuloksiin viitaten päästä yhtäläiseen, tiloittaiseen valaistusvoimakkuuteen edeltävien asennusten kanssa. Toisaalta aiemmat valaistusasennukset ovat suurelta osin olleet yli-imitoitettuja valontuotoltaan, joten valaistusvoimakkuuden laskulle on ollut tässä suhteessa varaa. Liitteiden 2 ja 3 tulokset antavat viitteitä, että EN -valaistusstandardien mukaiset valaistusvoimakkuusvaatimukset kuitenkin täyttyvät suurimmassa osaa tiloista. LENI-lukemat eivät ota kantaa valaistuksen laadullisiin ominaisuuksiin, joten valaistuksen tiloittainen onnistuneisuus visuaalisuudeltaan ja valaistusvoimakkuudeltaan on viimekädessä tilaajan ja loppukäyttäjien arvioitavana. Mikäli toteutetut ratkaisut ovat tältä osin valaistusteknisesti onnistuneita, on kohteen valaistusjärjestelmän energiatehokkuutta saatu parannettua moninkertaisesti.

Ajankohta LED-yleisvalaistusratkaisuja hyödyntävän muutoshankkeen toteutukselle on ollut otollinen, mikäli kappaleessa 5.2.1 esille nostetut lähteet antavat viitteellisesti oikeaa suuntaa tuotteiden hintalaatukehityksestä ja tulevaisuudennäköymistä. Yleisvalaistuksesta vastaavien LED-valaisimien hankintakustannuksiin on aiemmin jouduttu investoimaan huomattavasti enemmän samalla, kun tekniikan taso valotehokkuudeltaan on vielä 5 vuotta sitten ollut huomattavasti kauempana nykytasosta. Suomessa LED-tuotteiden hintakehitys tulee todennäköisesti hieman jäljessä eikä ole päässyt niin lähelle käytännön hintatasoan entä muualla maailmassa. Kaupallisen LED-tekniikka alkaa markkinoille tulevien tuotteiden osalta lähestyä jo teoreettista huippuaan valotehokkuudeltaan. Käytetyt LED-tuotteet eivät pääse tässä suhteessa vielä lähellekään huippuaan valotehokkuudeltaan, mutta ovat valotehokkuudeltaan ja eliniältään parempia perinteisiin valonlähdevaihtoehtoihin nähden.

Yleisvalaistuksen osalta LED-tekniikasta ei yleisesti ole ehtinyt kertyä vielä pitkäjätksoistä käyttökokemusta tekniikan ollessa suhteellisen uutta. Valaisin ja valonlähde valmistajat takaavat tuotteidensa pitkäikäisyyttä, mutta todellisia elinkaariajattelun mukaisia, kymmenien vuosien käyttökokemuksia ei ole ehtinyt vielä kertyä. Kaikkien LED-tuotteiden toimintavarmuudesta ei ole varmasti yhtenevää mielipidettä. Jos valonlähde-tekniikan potentiaali jää esimerkiksi asennusympäristöstä johtuen alle odotusarvon, kasvavat valaisinkohtaiset oletuskustannukset. Tässä yhteydessä vaaka voi kallistua myös toiseen suuntaan, jos tuotteet ylittävät toimivuudellaan ja pitkäikäisyydellään nimelliset oletusarvonsa.

## LÄHTEET

Sinisalo, M. 2011. Toimistovalaisituksen ohjausjärjestelmät ja elinkaarikustannustarkastelu. Sähkötekniikan korkeakoulu: Aalto-yliopisto. Diplomityö

TEM. Työ- ja elinkeinoministeriö. Lentoliikenteen päästökauppa. Luettu 18.12.2013.  
<https://www.tem.fi/>

Finavia. Tiedotteet. 2007. Luettu 12.1.2013.  
<http://archive.finavia.fi/tiedotteet/tiedote?t=finavia-laatii-energia--ja-ilmasto-ohjelman-1091475&tyyppi=Finavia>

Finavia. Tietoa Finaviasta. Vastuullista ympäristötyötä. Luettu 12.1.2013.  
<https://www.finavia.fi/>

Tilastokeskus. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin. Energian hinnat 2013. Luettu 18.12.2013  
[http://tilastokeskus.fi/til/ehi/2013/02/ehi\\_2013\\_02\\_2013-09-18\\_kuv\\_005\\_fi.html](http://tilastokeskus.fi/til/ehi/2013/02/ehi_2013_02_2013-09-18_kuv_005_fi.html)

Paunu, J. Sähkönmarkkinahinnan kehitys päästökaupanaikana. Tampereen teknillinen yliopisto: Sähkötekniikan koulutusohjelma. Projektityö Luettu 23.2.2014  
[http://butler.cc.tut.fi/~repo/Opetus/Projektityot/Juha-Pekka\\_Paunu\\_paastokauppa.pdf](http://butler.cc.tut.fi/~repo/Opetus/Projektityot/Juha-Pekka_Paunu_paastokauppa.pdf)

Energiavirasto. Sähkön hinnan muodostuminen. Luettu 15.12.2013.  
<http://www.eon.fi/fi/yksityisasiakas/sahko/Sivut/Sahkomarkkinakatsaus.aspx>

Suomen Valotekninen Seura (SVS). 2008. Valaistushankintojen energiatehokkuus: Taustaraportti versio 4

Ympäristöministeriö. Suomen Rakentamismääräyskokoelma D3. Rakennusten energiatehokkuus: Määräykset ja ohjeet 2010

Ympäristöministeriö. Suomen Rakentamismääräyskokoelma D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta: Määräykset ja ohjeet 2012

Valosto. Tiedostot: Energiatehokas valaistus. Luettu 24.2.2014  
[http://www.valosto.com/tiedostot/Energiatehokas\\_valaistus.pdf](http://www.valosto.com/tiedostot/Energiatehokas_valaistus.pdf)

Lich.de. Lich Wissen 01. Lightning with artificial light. [www.light.de](http://www.light.de)

LED -tietopaketti. Cariitti Oy. Luettu 12.3.2014. [www.cariitti.fi](http://www.cariitti.fi)

Fagerhult. LED. Taloudellisuus. Luettu 24.4.2014 [www.fagerhult.fi](http://www.fagerhult.fi)

EIA -artikkeli. U.S. Energy Information Administration. LED-valonlähteiden kehitysenusteita. Luettu 1.5.2014.  
<http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=15471>

Talotekniikan elinkaaritarkastelut. 2001. Suomen talotekniikan kehityskeskus Oy.

Heiskanen M. 2013. Kaukolämpö- ja maalämpöjärjestelmän kustannusvertailu pientalon lämmitysjärjestelmänä. Opinnäytetyö

Peter Kelly-Detwiler. 2014. LEDs Will Get Even More Efficient: Cree Passes 300 Lumens Per Watt. Forbes. Luettu 12.5.2014  
<http://www.forbes.com/sites/peterdetwiler/2014/03/27/leds-will-get-even-more-efficient-cree-passes-300-lumens-per-watt/>

Sähköinfo-lehti. 2009. Artikkel: Vanhat loistelamput voi korvata LED-valoputkilla. Luettu 13.4.2014 [http://www.sahkoala.fi/ajankohtaista/sahkoinfo-lehti/sahkoinfo-lehti\\_2-2009/fi\\_FI/led-valoputket/](http://www.sahkoala.fi/ajankohtaista/sahkoinfo-lehti/sahkoinfo-lehti_2-2009/fi_FI/led-valoputket/)

Wikipedia.2014. LED. Luettu 12.3.2014 <http://en.wikipedia.org/wiki/LED>

Fagerhult. 2014. LED. Tulevaisuus Luettu 2.2.2014  
<http://www.fagerhult.fi/indoor/LED/default.asp>

Fagerhult. 2014. Valosäätö. Luettu 2.2.2014  
[http://www.fagerhult.fi/indoor/planering/technical-info/pdf/Valonsaato\\_12.pdfvqv](http://www.fagerhult.fi/indoor/planering/technical-info/pdf/Valonsaato_12.pdfvqv)

Tukes.2013.Muistio. LED-valoputket loistelamppujen korvaajina

Digital Lumens.2014. LED hintakehitys. Luettu 17.3.2014.  
<http://www.digitallumens.com/resources/blog-post/downstream-innovations-led/>

Ekovallo. 2011. Toimintamalli - Elohopealampuista energiatehokkaampaan valaistukseen. Aalto-yliopisto. Luettu 20.3.2014  
<http://lightinglab.fi/ekovallo/News/toimintamalli%20raportti.pdf>

Yritysten energiaopas. 2009. Energiatuet ja energiansäästöinvestoinnit. Luettu 10.5.2014.  
[http://ek2.ek.fi/yritysten\\_energiaopas/fi/energiatuet\\_saastoinvestoinnit/toinen\\_seulonta.php](http://ek2.ek.fi/yritysten_energiaopas/fi/energiatuet_saastoinvestoinnit/toinen_seulonta.php)

Päästökertoimet. Luettu 1.12.2014  
[http://www.soglasheniemerov.eu/IMG/pdf/technical\\_annex\\_fi.pdf](http://www.soglasheniemerov.eu/IMG/pdf/technical_annex_fi.pdf)

PROJECTUS TEAM

Lämpöteknilinen Insinööritoimisto, LIT  
Sähköteknilinen Insinööritoimisto, SIT  
Kivenlahdenkatu 1, 02320 ESPOO  
Puh. 09-260 670, Fax. 09-2606 7221

RAKENNUSKOHTEN NIMI JA OSOITE:  
**ROVANIEMEN LENTOASEMA**  
**MATKUSTAJA-ASEMARAKENNUS RO 060**  
**PL 8132, 96101 ROVANIEMI**

VALAISINTAULUKKO

RO 060 TSÄH 99 110

LAAT.	TARK.
HYV.	

PVM.

19.5.2014

TYÖNRO:

161004

PIIR.NRO:

601

MUUTOSPVM.

REV.

ASENNUSTAPAMERKINNÄT

- K = Kattoasennus
- S = Seinäasennus
- V = Vaijeriasennus
- U = Uppoasennus
- KK = Kosketinkiskoasennus
- KL = Kalustossa
- RK = Ripustuskiskoasennus
- RP = Ripustusputkiasennus
- P = Pylväs

HEIJASTINMERKINNÄT

- HE = Eloksoitu heijastin
- HEt = Effecta-heijastin
- HM = Maalattu heijastin

LIITÄNTÄLAITTEET

- EL = Elektroninen ei säädettävä liitäntälaite
- ES = Elektroninen säädettävä liitäntälaite
- D = DALI-liitettävyyys

HÄIKÄISYSUOJAMERKINNÄT

- BR = Baffeli
- LA = Lamelliritilä
- MR = Metalliruuturitilä
- OA = Opaaliakryyli
- OL = Opaalilasi
- OP = Optiritilä
- PM = Prismamuovi
- RR = Rengasritilä
- TR = Taittoritilä
- Sec = Iskunk. suojalasi
- PK = Polykarbonaatti
- L = Lasi
- M = Mäntyritilä
- KA = Kasettiritilä
- ML = Matalaluminanssi
- A = Kirkas akryyli

LAMPPULYHENTEET

- H = Hehkulamppu, himmeä
- K = Hehkulamppu, kirkas
- L = Loistelumppu
- LE = Loistelumppu Ø 26mm
- HE = Heijastinlamppu
- HPp = Pääpeililamppu
- Halo = Halogeenilamppu
- HgLx = Elohopealamppu
- HgLn = Lanthanida-elohopealamppu
- Kd = Kohdelamppu
- MM = Monimetallilamppu
- SpNa = Suurpainenaatriumlamppu
- HgSNF = Sekavalokasvilamppu
- PL = Pienoisloistelumppu
- LED = LED-lamppu
- LEDv = LED-valoputki, G13-kanta
- LEDk = LED-valonlähde, kiinteästi valaisimessa

HUOMAUTUKSET:

- 2) Valaisimessa varavalo 20W/24V halogeenikanta g4, pikasytytys.
- 3) Erillinen orsi valaisimille, Valaisimessa liitosjohto ja pistotulppa.
- 5) Valaisimet mustia.
- 6) Varustettu varavalolampunpitimellä g4 ja halogeenilampulla 20W/24V.
- 8) Vaijeriripustus h~3,5m, musta spiraaliliitosjohto
- 10 Valaisimien väri, käsittelemätön alumiini

<b>PROJECTUS TEAM</b> Lämpötekniillinen Insinööritoimisto, LIT Sähkötekniillinen Insinööritoimisto, SIT Kivenlahdenkatu 1, 02320 ESPOO Puh. 09-260 670, Fax. 09-2606 7221	RAKENNUSKOHTeen NIMI JA OSOITE: <b>ROVANIEMEN LENTOASEMA</b> <b>MATKUSTAJA-ASEMARAKENNUS RO 060</b> <b>PL 8132, 96101 ROVANIEMI</b>		<b>VALAISINTAULUKKO</b> <b>RO 060 TSÄH 99 110</b>		TYÖNRO: <b>161004</b>	
	LAAT.	TARK.	PVM. <b>19.5.2014</b>	PIIR.NRO: <b>601</b>	MUUTOSPVM.	REV.

[illegible]

<div>PROJECTUS TEAM</div> <div>Lämpöteknilinen Insinööritoimisto, LIT</div> <div>Sähköteknilinen Insinööritoimisto, SIT</div> <div>Kivenlahdenkatu 1, 02320 ESPOO</div> <div>Puh. 09-260 670, Fax. 09-2606 7221</div>	RAKENNUSKOHTEEN NIMI JA OSOITE:				VALAISINTAULUKKO			TYÖNRO:		
	ROVANIEMEN LENTOASEMA				RO 060 TSÄH 99 110			161004		
	LAAT.		TARK.		PVM.		PIIR.NRO:	MUUTOSPVM.	REV.	
HYV.				19.5.2014		601				
MATKUSTAJA-ASEMARAKENNUS RO 060										
PL 8132, 96101 ROVANIEMI										

POSITIO	LUETTELO		VALMISTAJA / VALAISINTYYPPI	S=SYM. E=EPÄSYM.	HÄIKÄISYSUOJA	HEIJASTIN	TEHO	LAMPPU	ASENNUSTAPA	LIITÄNTÄLAITE	PAIKKA / MÄÄRÄ														HUOMAU- TUKSIA	MUUTOS
	NRO	SIVU									Piir. Nro. 050	Piir. Nro. 102	Piir. Nro. 103	Piir. Nro. 106	Piir. Nro. 107	Piir. Nro. 110	Piir. Nro. 111	Piir. Nro. 113						YHTEENSÄ		
61			BEGA 8012	S	L	HE	1x50	HgLx	U										21					21	Opaalilasi	
63			INTER-GRAYDON IG-23 258HE	S	-	HE	2x58	LE	K/RK			12	0			6	6							109		
63B			INTER-GRAYDON IG-23 258HE	S	-	HE	1x22W	LED	K/RK			15												15		
64			ELECTRO-VALO OY 92-250	S	L	HE	1x250	HgLx	K			0	3											3		
65			ENSTO AVRK 23.36/	S	PK	-	1x36	LE	K/S			0		5		7	7							19	10)	
66			ENSTO AVRK 23.18/	S	PK	-	1x18	LE	K/S					2	4		3							9	10)	
67			THORN 5701/17	S	-	ovut	1x13	PL	U			0		6	3		4							13		
68			THORN 5703/22	S	-	HE	2x18	PL	U			0		10	34									44		
69			INTER-GRAYDON IG-44 136	S	A	HE	1x36	LE	K/RK			0	2		17	2/?								21+		
70			INTER-GRAYDON IG-44 258	S	A	HE	2x58	LE	K/RK			8												8		
71			INTER-GRAYDON IG-20 136	S			1x36	LE	K/RK			0	0											0		
73			ENSTO AVR 12	S	PK		1x60	H	K/S			2												2		
75			INTER-GRAYDON IG-23 158	S		HE	1x58	LE	K/RK			0	0											0		
76			IDMAN 3046-118	S	OA		1x18	LE	KL				2		3									5		

<div>PROJECTUS TEAM</div> <div>Lämpöteknilinen Insinööritoimisto, LIT</div> <div>Sähköteknilinen Insinööritoimisto, SIT</div> <div>Kivenlahdenkatu 1, 02320 ESPOO</div> <div>Puh. 09-260 670, Fax. 09-2606 7221</div>	RAKENNUSKOHTEEN NIMI JA OSOITE: ROVANIEMEN LENTOASEMA MATKUSTAJA-ASEMARAKENNUS RO 060 PL 8132, 96101 ROVANIEMI								VALAISINTAULUKKO RO 060 TSÄH 99 110				TYÖNRO: 161004		
	LAAT.		TARK.		PVM.			PIIR.NRO:			MUUTOS PVM.		REV.		
	HYV.				19.5.2014			601							

POSITIO	LUETTELO		VALMISTAJA / VALAISINTYYPPI	S=SYM. E=EPÄSYM.	HÄIKÄISYSUOJA	HEIJASTIN	TEHO	LAMPPU	ASENNUSTAPA	LIITÄNTÄLAITE	PAIKKA / MÄÄRÄ														HUOMAU- TUKSIA	MUUTOS
	NRO	SIVU									Piir. Nro. 050	Piir.Nro.102	Piir.Nro.103	Piir.Nro.106	Piir.Nro.107	Piir.Nro.110	Piir.Nro.111	Piir.Nro.113						YHTEENSÄ		
77			IDMAN 376 20/15 CDM-T150W	S			1x150	MM	K							0								0	2) 5)	
78			IDMAN 80817				1x400	SpNa								18								18	3)	
80			THORN 5703/22	S		HE	2x9	PL	K								42							42	5)	
81			THORN 5703/22	S		HE	2x9	PL	K								8							8	5) 6)	
82			BEGA 2539	S	L		1x18	PL	K					18										18		
83			THORN DL100 113SS	S		HE	1x13	PL	U					71	47									118		
84			THORN DL100 113SS	S		HE	1x13	PL	U					8	5									13	6)	
85			FAGERHULT 20081	S	TR	HE	1x36	LE	U					9										9		
86			FAGERHULT 32553	S	ML	HE	2x58	LE	RK						8									8	8)	
87			THORN DL100 118SS	S		HE	1x18	PL	U						11									11		
88			THORN DL100 118SS	S		HE	1x18	PL	U						1									1		
90			ENSTO AVRK 23.30/	S	PK		1x30	LE	S					6										6	10)	
91			FAGERHULT 20087	S	TR	HE	2x58	LE	U					2										2		



[illegible]

<div>PROJECTUS TEAM</div> <div>Lämpöteknilinen Insinööritoimisto, LIT</div> <div>Sähköteknilinen Insinööritoimisto, SIT</div> <div>Kivenlahdenkatu 1, 02320 ESPOO</div> <div>Puh. 09-260 670, Fax. 09-2606 7221</div>	RAKENNUSKOHTEEN NIMI JA OSOITE:					VALAISINTAULUKKO					TYÖNRO:		MUUTOSPVM.		REV.
	ROVANIEMEN LENTOASEMA					RO 060 TSÄH 99 110					161004				
	MATKUSTAJA-ASEMARAKENNUS RO 060					LAAT.	TARK.	PVM.			PIIR.NRO:				
	PL 8132, 96101 ROVANIEMI					HYV.		19.5.2014			601				

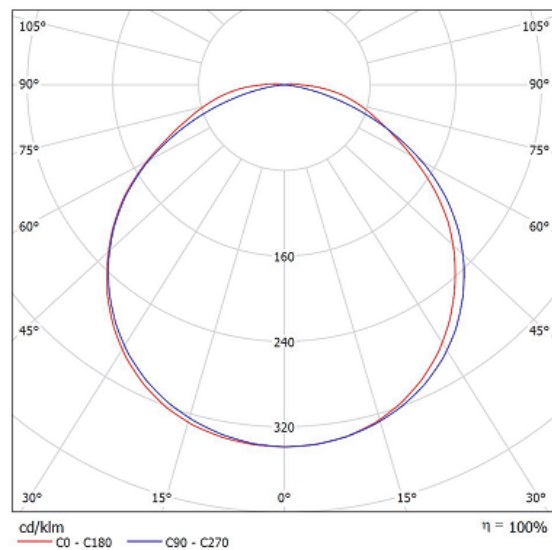
POSITIO	LUETTELO		VALMISTAJA / VALAISINTYYPPI	S=SYM. E=EPÄSYM.	HÄIKÄISYSUOJA	HEIJASTIN	TEHO	LAMPPU	ASENNUSTAPA	LIITÄNTÄLAITE	PAIKKA / MÄÄRÄ												HUOMAU-TUKSIA	MUUTOS
	NRO	SIVU									Piir. Nro. 050	Piir.Nro.102	Piir.Nro.103	Piir.Nro.106	Piir.Nro.107	Piir.Nro.110	Piir.Nro.111	Piir.Nro.113					YHTEENSÄ	
UUDET LED-VALOT																								
102			LED-TEVA-322 3x22W	S			2x24W	LEDv	K/S/RK			43	53										96	
102B			LED-TEVA-322 3x22W	S			1x24W	LEDv	K/S/RK			15	11										26	
103			M-LIGHT ORION-118 LED	S			1x19W	LEDv	K/S			8	17	5		3							33	
104			LED-CINDY-109 +PR	S			1x10W	LEDv	S				3		1								4	
105			LUMIANCE SYL-LIGHTER 195 LED	S			1x15W	LED	U	D		10		7									17	
106			ALPPILUX AVN260GHLED	S			1x9W	LED	S				4										4	
107			GREENLUX GLG1578-1NW-C6-D				1x35W	LEDk	K/RK			26	17										43	
108			ALPPILUX LETKA ALTNL22	S			1x22W	LED	S			6		5	5								16	
109			AIRAM SONO - A2SNAB RADAR	S			1x15W	LED	K/S				4										4	
110			REFLEX EASY LED MM99739	S			1x55W	LED	K	D						53	37						90	
111			DEFA LIGHTING PROTECT 001	S			1x18W	LED	K				2		5		2						9	

Tekijä  
Puhelin  
Faksi  
Sähköpostiosoite

### Valtavallo Oy Teva-150cm-2putkea 2x24W tubes C / Valaisintietoarkki

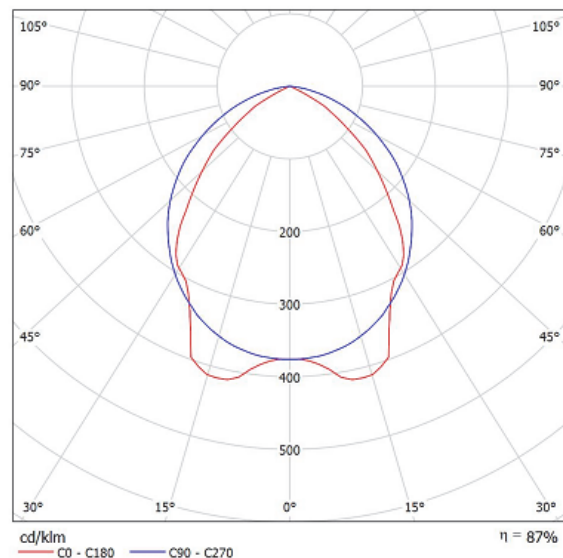
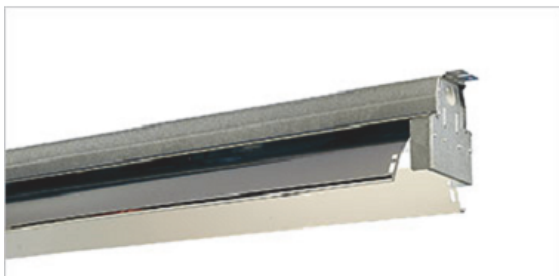
Valaistu alue 1:

Löydät valaisimen kuvan valaisinluettelosta.

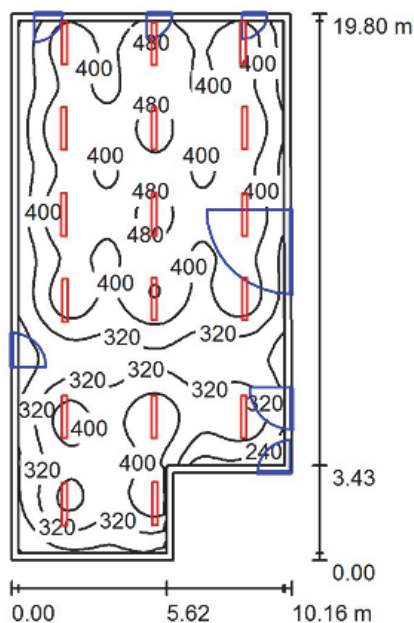


### Fagerhult 32443-46 Indulux Keskileveä valonjako 2xT8 58 W / Valaisintietoarkki

Valaistu alue 1:



## Varasto 041, LED / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 3.500 m, Asennuskorkeus: 3.150 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:255

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	377	157	516	0.417
Lattia	20	340	158	440	0.465
Katto	70	78	56	116	0.719
Seinät (6)	50	180	63	723	/

**Käyttötaso:**

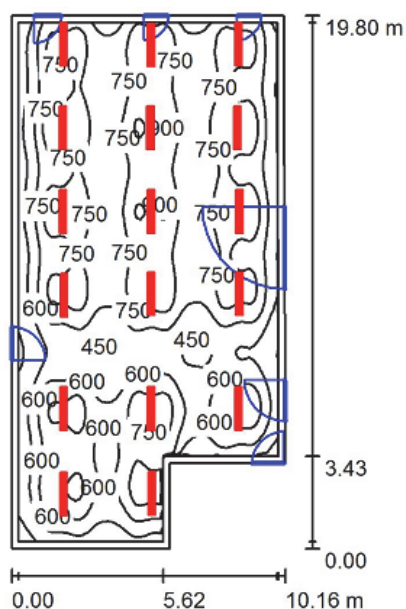
Korkeus: 0.850 m  
Rasteri: 128 x 64 Pisteet  
Reuna-alue: 0.250 m

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	17	Valtavalo Oy Teva-150cm-2putkea 2x24W tubes C (1.000)	5424	5440	47.4
Yhteensä: 92203			Yhteensä: 92480	805.8	

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $4.31 \text{ W/m}^2 = 1.14 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $187.11 \text{ m}^2$ )

## Varasto 041, loistep. / Yhteenveto



Tilan korkeus: 3.500 m, Asennuskorkeus: 3.150 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:255

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	651	231	932	0.354
Lattia	20	595	244	793	0.411
Katto	70	115	76	142	0.664
Seinät (6)	50	220	80	1357	/

#### Käyttötaso:

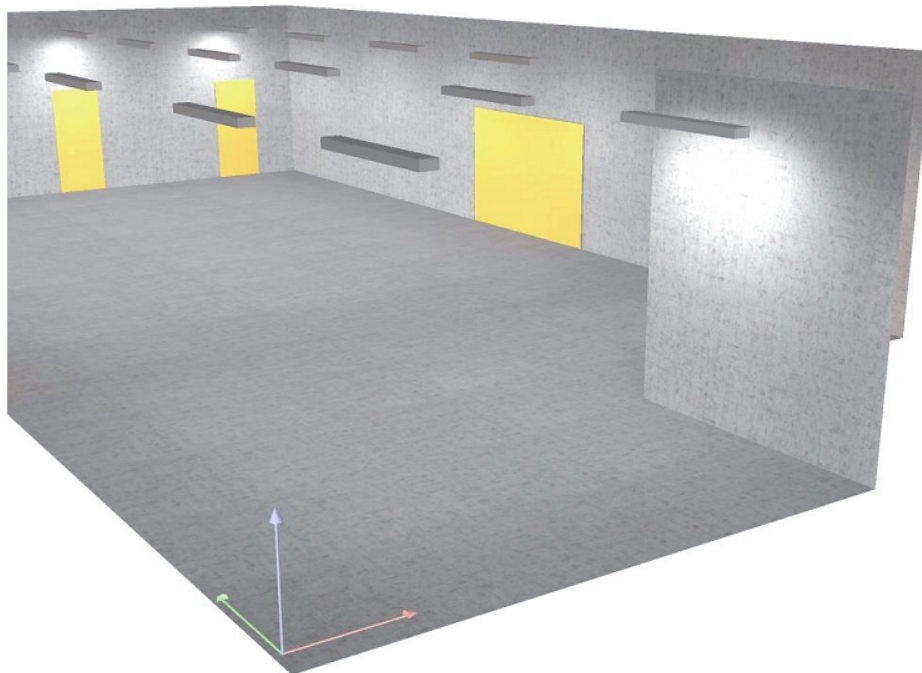
Korkeus: 0.850 m  
Rasteri: 128 x 64 Pisteet  
Reuna-alue: 0.250 m

#### Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	17	Fagerhult 32443-46 Indulux Keskileveä valonjako 2xT8 58 W (1.000)	8693	10000	107.0
Yhteensä:			147778	Yhteensä: 170000	1819.0

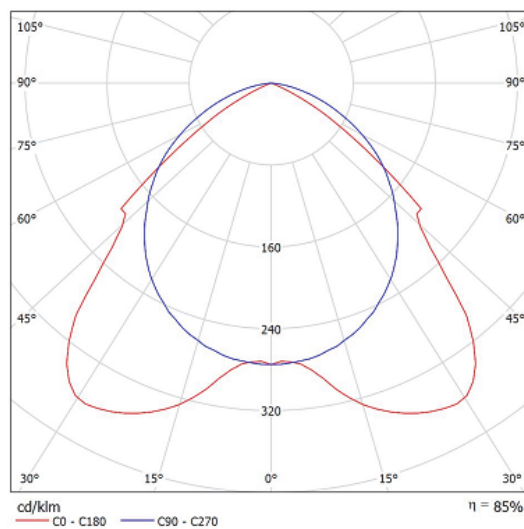
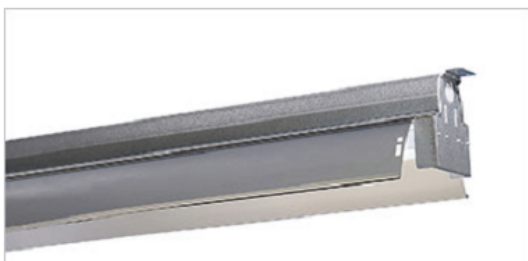
Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $9.72 \text{ W/m}^2 = 1.49 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $187.11 \text{ m}^2$ )

## Varasto 041, LED / Kolmiulotteinen kuvanmuodostus

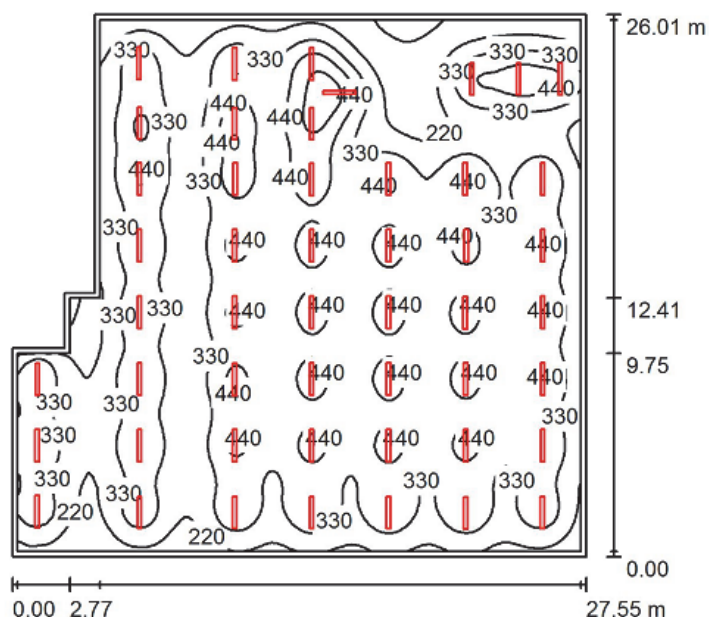


## Fagerhult 32403-46 Indulux Leveä valonjako 2xT8 58 W / Valaisintietoarkki

Valaistu alue 1:



## Matkatavarahalli, LED / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 3.500 m, Asennuskorkeus: 3.150 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:334

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	345	91	623	0.263
Lattia	20	324	110	485	0.338
Katto	70	69	46	92	0.668
Seinät (8)	50	150	55	350	/

**Käyttötaso:**

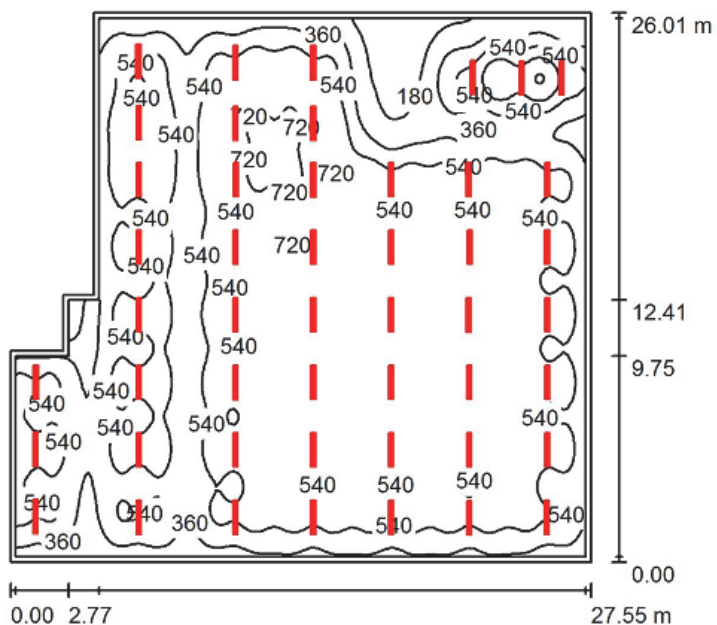
Korkeus: 0.850 m  
Rasteri: 128 x 128 Pisteet  
Reuna-alue: 0.250 m

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	49	Valtavalo Oy Teva-150cm-2putkea 2x24W tubes C (1.000)	5424	5440	47.4
Yhteensä: 265760			Yhteensä: 266560		2322.6

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $3.54 \text{ W/m}^2 = 1.03 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $657.01 \text{ m}^2$ )

## Matkatavarahalli, loistep. / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 3.500 m, Asennuskorkeus: 3.150 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:334

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	547	81	938	0.148
Lattia	20	517	137	784	0.265
Katto	70	101	57	123	0.563
Seinät (8)	50	186	53	522	/

**Käyttötaso:**

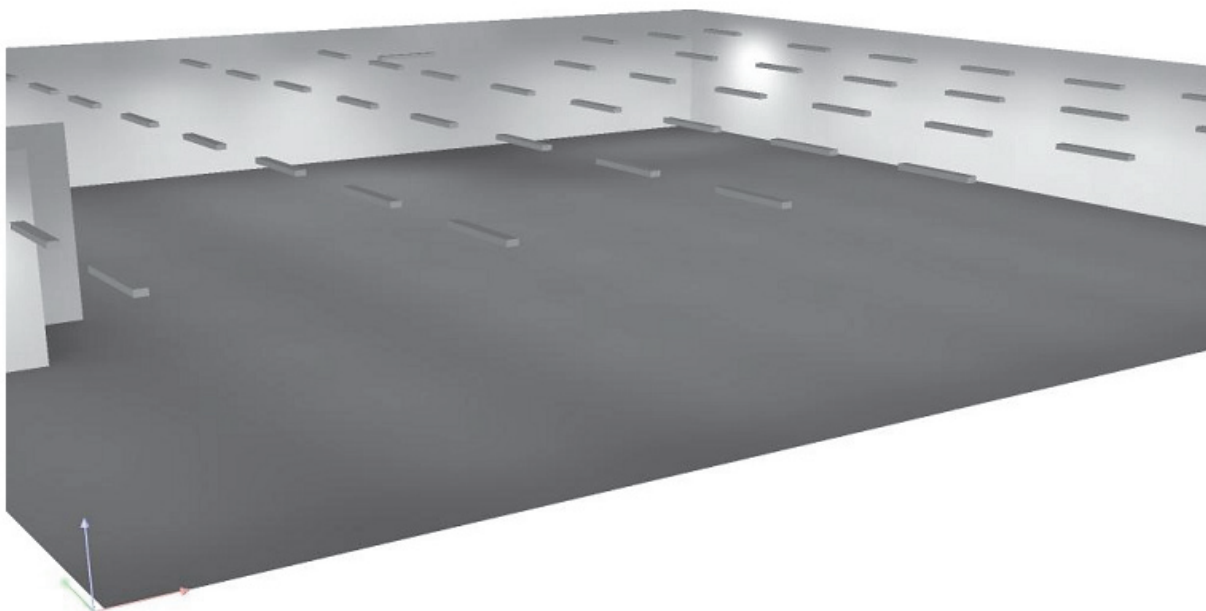
Korkeus: 0.850 m  
Rasteri: 128 x 128 Pisteet  
Reuna-alue: 0.250 m

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	48	Fagerhult 32403-46 Indulux Leveä valonjako 2xT8 58 W (1.000)	8546	10000	107.0
Yhteensä:			410215	Yhteensä: 480000	5136.0



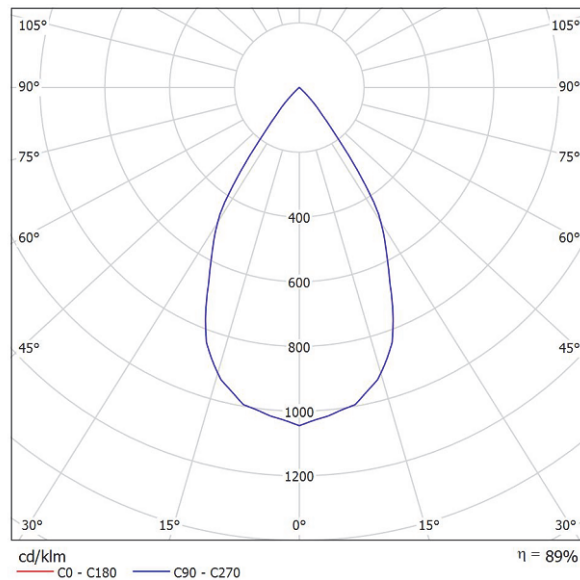
## 3D-kuva tilasta



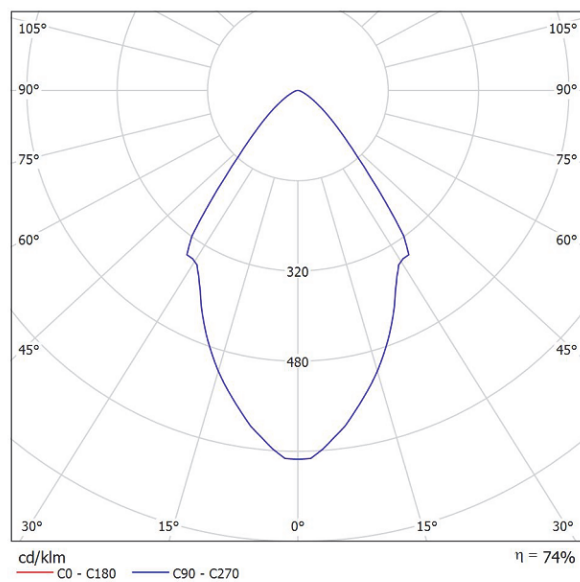
## Liite 3. Valaistussimulointi: Terminaalin päävalaisimet

**IGUZZINI MM99 Reflex Easy 64.6W / Valaisintietoarkki**

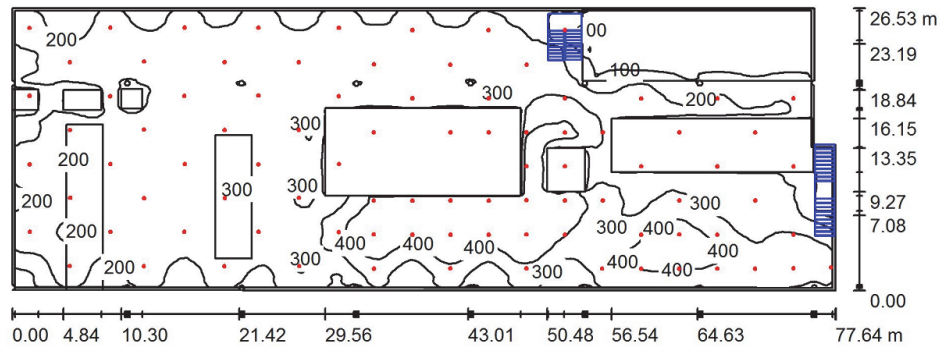
Valaistu alue 1:

**FAGERHULT 77256 Pleiad Power G2 1xHIT-CRI 150 W / Valaisintietoarkki**

Valaistu alue 1:



## Terminaali, LED / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 6.700 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:556

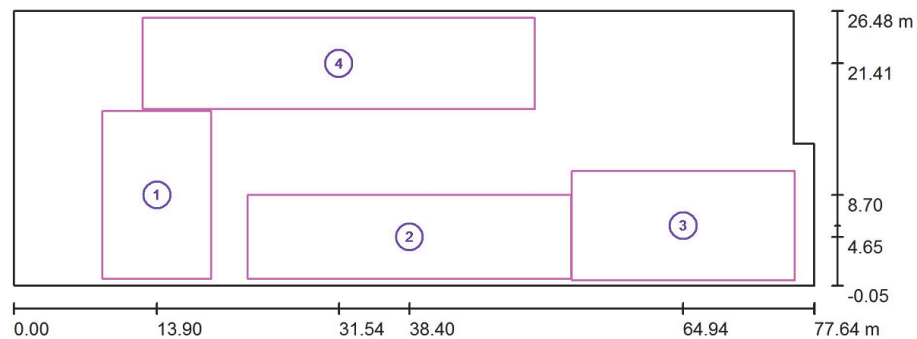
Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	257	36	498	0.141
Lattiat (20)	83	227	1.05	525	/
Katto	70	166	38	297	0.229
Seinät (6)	73	138	41	1662	/

**Käyttötaso:**

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

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	90	IGUZZINI MM99 Reflex Easy 64.6W (1.000)	4446	5000	64.6
Yhteensä: 400104			Yhteensä: 450000		5814.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $2.86 \text{ W/m}^2 = 1.11 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala: 2032.33 m<sup>2</sup>)**Terminaali, LED / Laskettavat pinnat (tuloksien yleisnäkymä)**

Mittakaava 1 : 556

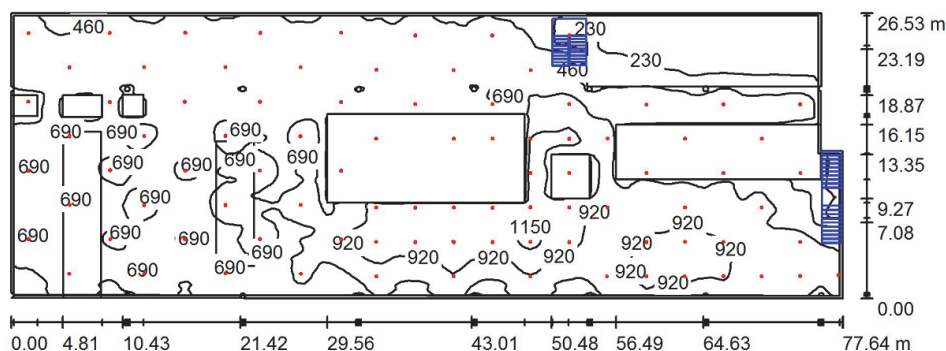
**Laskettavien pintojen luettelo**

Numero	Tunnus	Tyyppi	Rasteri	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1	Laskettava pinta 1	kohtisuora	64 x 64	248	116	301	0.468	0.386
2	Laskettava pinta 2	kohtisuora	128 x 32	367	154	511	0.418	0.301
3	Laskettava pinta 3	kohtisuora	128 x 64	324	144	461	0.445	0.313
4	Laskettava pinta 4	kohtisuora	128 x 128	248	145	332	0.583	0.436

**Yhteenvedo tuloksista**

Tyyppi	Lukumäärä	Keski [lx]	Min. [lx]	Maks. [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
kohtisuora	4	297	116	511	0.39	0.23

## Terminaali, HIT / Yhteenveto



Tilan korkeus: 6.700 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:556

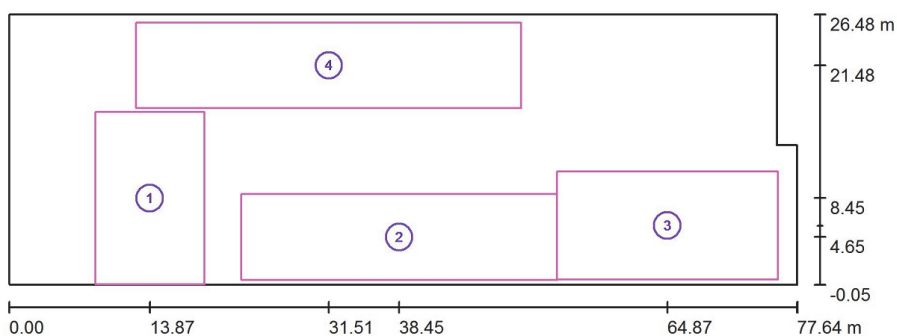
Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	640	117	1237	0.182
Lattiat (49)	83	572	3.25	1212	/
Katto	70	465	135	723	0.290
Seinät (7)	73	405	128	4386	/

**Käyttötaso:**

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

**Luettelo valaisimista**

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	90	FAGERHULT 77256 Pleiad Power G2 1xHIT-CRI 150 W (1.000)	10413	14000	160.0
Yhteensä:			937169	Yhteensä: 1260000	14400.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $7.09 \text{ W/m}^2 = 1.11 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $2032.33 \text{ m}^2$ )**Terminaali, HIT / Laskettavat pinnat (tuloksien yleisnäkymä)**

Mittakaava 1 : 556

**Laskettavien pintojen luettelo**

Numero	Tunnus	Tyyppi	Rasteri	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1	Laskettava pinta 1	kohtisuora	128 x 128	642	360	766	0.561	0.470
2	Laskettava pinta 2	kohtisuora	128 x 128	868	475	1233	0.548	0.386
3	Laskettava pinta 3	kohtisuora	64 x 32	812	460	1086	0.566	0.423
4	Laskettava pinta 4	kohtisuora	128 x 128	595	369	774	0.619	0.477

**Yhteenveto tuloksista**

Tyyppi	Lukumäärä	Keski [lx]	Min. [lx]	Maks. [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
kohtisuora	4	726	360	1233	0.50	0.29

Valaisin sijoittelussa huomioitu katon kaltevuus

3D-kuvat tilasta:

