



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

NAVETTARAKENNUKSEN VALAISTUKSEN ENERGIATEHOKKUUS

TEKIJÄ: Eveliina Toivanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Eveliina Toivanen			
Työn nimi Navettarakennuksen valaistuksen energiatehokkuus			
Päiväys	28.4.2016	Sivumäärä/Liitteet	41/6
Ohjaaja(t) Lehtori Heikki Laininen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kovaki Oy			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyössä tavoitteena oli tarkastella, kuinka saadaan toteutettua navettarakennukseen energiatehokas ja valaistusvoimakkuudeltaan riittävä valaistus eri valaisintyypeillä. Tavoitteena oli myös suunnitella Kovaki Oy:lle yksinkertainen ja selkeä valaistuksen vertailutyökalu, jota voidaan hyödyntää valaistussuunnitelmia tehdessä. Työssä valittiin tarkasteltavaksi navettatyyppiä noin 18 m leveä pulpettikattoinen pihattonavetta.</p> <p>Tarkoituksena oli vertailla loisteputki-, monimetalli- ja LED-valaistuksen energiankulutuksen eroja, kun valaistusvoimakkuuden taso tilassa on 150 lx. Työssä mallinnettiin DIALuxilla jokaiselle valaisintyypille valaistussuunnitelma ja laskettiin suunnitelmien pohjalta energiankulutus. Easy LEDin PRO200-valaisimilla toteutettuun esimerkinavettaan suoritettiin valaistusvoimakkuusmittaukset ja niitä vertailtiin DIALux-suunnitelmassa saatuihin tuloksiin. Mittaukset suoritettiin neljä kertaa 23:sta eri kohdasta navettaa Tenmarsin TM-209 ja HT:n HT307 -mittareilla.</p> <p>Työssä saatiin tulokseksi, että LED-valaisimilla saadaan toteutettua energiatehokkain valaistus esimerkkikohteeseen ja kohteen valaistusvoimakkuus on riittävä. Yritys sai käyttöönsä valaistussuunnittelun tueksi vertailutyökalun, jolla on helppo esitellä asiakkaalle, millaisia säästöjä valaistuksen uudistamisella saadaan, kun huomioidaan valaisimen käyttöikä ja hankintahinta sekä kulutettava sähköenergia.</p> <p>Opinnäytetyön aihe on tärkeä, koska valaistuksella on merkittävä vaikutus ihmisten työhyvinvointiin ja tehokkuuteen ja riittävällä valaistuksella on tutkitusti vaikutusta lehmien tuottavuuteen ja hyvinvointiin. Perinteisesti valaistus on maataloudessa suuri sähkönkulutuskohde, joten valaistuksen suunnitteluun panostamalla voidaan säästää energiaa ja näin pienentää sähkölaskua.</p>			
Avainsanat energiatehokkuus, maatalous, valaistusvoimakkuus, valaistus			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author Eveliina Toivanen			
Title of Thesis Energy Efficiency of Cowshed Lighting			
Date	28 April 2016	Pages/Appendices	41/6
Supervisor Mr. Heikki Laininen, Lecturer			
Client Organisation Kovaki Oy			
<p>Abstract</p> <p>This thesis was commissioned by Kovaki Oy. The aim was to study the energy efficiency of lighting in a cowshed between different light sources. Another aim was to design a simple calculation tool to help lighting design for the company. The target of the study was about a 60- metre-long pitched roof cowshed and there was LED lighting.</p> <p>The purpose of this thesis was to compare the energy efficiency of fluorescent, multimetal and LED-lighting when the illuminance is 150 lx. The first stage was to make a lighting plan for different light sources using the Dialux software. Secondly, the illuminance level was measurement at the target using the Tenmars TM-209 and HT HT307 lux light meter. Lastly, the measurement result and Dialux plan values were compared.</p> <p>As a result of this thesis, it was noticed that the illuminance level is sufficient in the target cowshed. LED was the most energy efficient and low-cost light source of the reference period. In this thesis, the reference period was 10 years. With the designed calculation tool, the company can demonstrate the financing, lifetime and used energy, of different light sources.</p> <p>The topic of the thesis was important because lighting has a significant effect on people's well-being at work and can increase cows' milk production. Illumination is often one of the biggest sources of energy consumption so right lighting solutions can save energy and reduce electricity costs.</p>			
Keywords energy efficiency, agriculture, illuminance, illumination			

ESIPUHE

Haluan kiittää Kovaki Oy:tä opinnäytetyön aiheesta ja saamastani ohjauksesta. Haluan kiittää Savonia-ammattikorkeakoulun lehtoria Heikki Lainista ohjauksesta ja opetuksesta opinnäytetyön aiheeseen liittyen.

Kuopiossa 28.4.2016

Eveliina Toivanen

SISÄLTÖ

TERMIT JA KÄSITTEET.....	7
1 JOHDANTO	8
2 VALAISTUKSEN SUUNNITTELU.....	9
2.1 Valaistuksen vaatimukset työntekijän näkökulmasta.....	9
2.2 Valaistuksen vaikutukset eläinten näkökulmasta.....	9
2.3 Valaistuksen suunnittelun perusteet.....	9
3 VALAISINVAIHTOEHDOT	10
3.1 Yleistä valaisimen valinnasta navettaan.....	10
3.2 Monimetallilamppu	10
3.3 Kaksikantainen loistelamppu	11
3.4 LED-lamput	12
4 VALAISTUKSEN SUUNNITTELU DIALUXILLA.....	13
4.1 DIALux.....	13
4.2 Suunnittelu DIALuxilla	13
5 VALAISTUSVOIMAKKUUSMITTAUKSET.....	16
5.1 Mittauksiin liittyvät standardit.....	16
5.2 Mittausten suorittaminen ST-kortin mukaisesti.....	16
6 ESIMERKKIKOHTTEEN MITTAUKSET	19
6.1 Tietoja esimerkkikohteesta.....	19
6.2 Mittausten suorittaminen	21
6.3 Mittaustulosten arviointi.....	22
6.4 Parannusehdotuksia valaistusvoimakkuuden tasoon	26
7 ESIMERKKIKOHTTEEN VALAISTUSSUUNITELMAT.....	27
7.1 Valaistuksen suunnittelu	27
7.2 Tilan tiedot DIALuxissa	27
7.3 Suunnitelma LED-valaistuksella	27
7.3.1 Nykyvalaistuksen suunnitelma	27
7.3.2 Paranneltu suunnitelma.....	29
7.4 Suunnitelma käyttäen monimetallivalaisimia	31
7.5 Suunnitelma käyttäen loisteputkivalaisimia	34
8 ENERGIATEHOKAS VALAISTUS.....	38

8.1	Energiatehokkaan valaistuksen suunnittelu.....	38
8.2	Valaistuksen valinta esimerkkikohteeseen.....	38
8.3	Parannusehdotuksia esimerkkikohteen energiansäästöön.....	40
9	YHTEENVETO	41
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	42
	LIITE 1: VALAISTUSVOIMAKKUUDEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA	44
	LIITE 2: VALAISTUSVOIMAKKUUDEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA	45
	LIITE 3: VALAISTUSVOIMAKKUUDEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA	46
	LIITE 4: VALAISTUSVOIMAKKUUDEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA	47

TERMIT JA KÄSITTEET

Luminanssi [$L=cd/m^2$] kuvaa kappaleesta tai pinnasta katsojan silmään heijastuvaa valoa eli pinnan kirkkautta (ST-KORTTI 58.07, 2014).

Valovirta [$\phi=lm$] kuvaa valaisimen valonlähteestä saatavaa näkyvän valon säteilytehoa (Ensto, 2008).

Valaistusvoimakkuudella [$E=lx$] ilmoitetaan tietylle pinnalle kohdistuvan valovirran määrää pinta-alaa kohden. (Ensto, Valaistustekniikka, 2008)

Valovoima [$I=cd$] kuvaa valovirran määrää tietyistä suunnasta (ST-KORTTI 58.04, 2013).

Työalue on alue, jossa näkötehtävä tapahtuu (ST-KORTTI 58.02, 2013).

Häikäisyä on kiusahäikäisyä ja estohäikäisyä. Häikäisy voi haitata näkemistä ja aiheuttaa epämiellyttävää tunnetta. Estohäikäisystä ei ole haittaa, jos kiusahäikäisyä ei esiinny. Kiusahäikäisyn raja-arvo määritetään URG-indeksillä. (ST-KORTTI 58.02, 2013)

Lampun alenemakertoimella ilmoitetaan lampun ikääntymisestä ja siihen kertyneestä liasta aiheutuva valovirran alenema. (ST-KORTTI 58.04, 2013)

Hyötypolttoiällä ilmoitetaan polttotuntimäärä, jonka jälkeen valaistusasennuksen kokonaisvalovirrasta on jäljellä alle 70 %. (ST-KORTTI 58.04, 2013)

Valaistusvoimakkuuden huoltoarvo [E_m] kuvaa valaistusvoimakkuuden keskimääräistä minimiarvoa ennen kuin vanhan asennuksen valaisinhuolto on ajankohtainen. (ST-KORTTI 58.02, 2013)

Valaistusvoimakkuuden yleistasaisuus [U_0] on pinnan valaistusvoimakkuuden minimiarvon [E_{min}] suhde keskimääräiseen valaistusvoimakkuuteen [E_m]. (ST-KORTTI 58.02, 2013)

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on maatalouden valaistuksen energiatehokkuuden ja valaistusvoimakkuuden tutkiminen. Työssä esimerkkikohteena on 18 m leveä ja 60 m pitkä pulpettikattoinen pihattonavetta, jossa valaistus on toteutettu LED-valaisimilla. Työ on tehty Kovaki Oy:lle, jonka työkohteet painottuvat pääasiassa maatalouteen.

Opinnäytetyössä tavoitteena on tarkastella, kuinka saadaan toteutettua navettarakennukseen energiatehokas ja valaistusvoimakkuudeltaan riittävä valaistus eri valaisintyypeillä. Vertailtavat valaisintyypit ovat loisteputki-, monimetalli- ja LED-valaisin. Tavoitteena on myös suunnitella yrityksen käyttöön yksinkertainen ja selkeä valaistuksen vertailutyökalu, jota voidaan hyödyntää valaistussuunnitelmia tehdessä. Sillä voidaan muun muassa havainnollistaa asiakkaalle, kuinka valaistuksen uudistaminen vaikuttaa energiankulutukseen.

Riittävä valaistus on keskeinen tekijä työntekijöiden turvallisuuden ja työskentelymukavuuden kannalta ja sillä on vaikutusta eläinten hyvinvointiin ja lypsykarjan maidontuotannon määrään. Valaistuksen tasaisuudella ja riittäväällä valaistusvoimakkuudella on tutkitusti merkitystä lehmien kiiman kiertoon ja tuottavuuteen (Karlström, 2015). Uutta navettaa rakennettaessa tai jo olemassa olevan navetan valaistuksen uusimista suunniteltaessa kalliimman, mutta paremman valaistuksen valinta voi maksaa itsensä takaisin lisääntyneenä maidon tuotoksena ja pienempänä sähkölaskulla.

2 VALAISTUKSEN SUUNNITTELU

2.1 Valaistuksen vaatimukset työntekijän näkökulmasta

Valaistuksella on merkitystä työntekijöiden työviihtyvyyteen ja työturvallisuuteen karjarakennuksessa. Riittävällä valaistuksella lisätään työntekijöiden tehokkuutta ja hyvinvointia. Onnistuneessa valaistuksessa työntekijän silmiin ei kohdistu kiusallista häikäisyä ja valoisuus on koko työskentelyalueella tasaista, niin että pimeään ja kirkkaan rajoja ei synny eivätkä silmät turhaan rasitu.

Työskentelyalueen riittävä valaistusvoimakkuus riippuu alueella tehtävän työn laadusta. Sisävalaistusstandardissa SFS-EN 12464-1 määritellään, että tiloissa, joissa työskennellään jatkuvasti, valaistusvoimakkuuden täytyy olla vähintään 200 lx (Ensto, Sisävalaistusstandardi, 2009).

2.2 Valaistuksen vaikutukset eläinten näkökulmasta

Valaistuksen vaikutuksesta eläinten hyvinvointiin on tehty paljon tutkimuksia. Lehmä tarvitsee 16 tuntia yhtäjaksoisesti valoa yli 200 lx:n valaistusvoimakkuudella. Tällöin maitotuotos voi kasvaa 6 – 10 % verrattuna siihen, jos tuotantotilojen yhtäjaksoinen valaistus on 8 – 13,5 tuntia ja valaistusvoimakkuus matalampi kuin 200 lx. Riittävässä valaistuksessa lehmän melatoniinin määrä vähenee, jolloin kasvuhormonin määrä lisääntyy. Tämä lisää lehmän aktiivisuutta ja syöntiä, mikä vaikuttaa maidontuotukseen. Kun valaistus laskee tasoltaan 50 lx:iin, lehmä tunnistaa sen yöksi, jolloin melatoniinin määrä kasvaa ja kasvuhormonin määrä vähenee. Hormonien vaihtelut vaikuttavat myös kiiman-kiertoon. (Karlström, 2015)

Maa- ja metsätalousministeriön (MMM) rakentamismääräyksissä ja -ohjeissa kotieläinrakennuksen valaistuksen suositustasoksi on määriteltä 100–250 lx (Maa- ja metsätalousministeriö, 2016). Opin näytetyössä vaadituksi tasoksi määriteltiin vähintään 150 lx, koska se täyttää MMM:n määräykset ja on hyväksi todettu valaistusvoimakkuuden taso.

2.3 Valaistuksen suunnittelun perusteet

Sisävalaistusstandardiin SFS-EN 12464-1 pohjautuvissa ST-korteissa 58.02 ja 58.04 on annettu ohjeita valaistuksen oikeanlaiseen suunnitteluun. Valaistussuunnittelun lähtökohtana on valita tilaan riittävä ja tarkoituksenmukainen valaistus. Suunnittelussa on otettava huomioon päivänvalon vaikutus ja siitä mahdollisesti aiheutuva häikäisy. Valaistuksen täytyy olla tasaista ja tilassa oleskeleville miellyttävää. Valaistuksen tasaisuutta voidaan tarkastella luminanssijakauman avulla. Suunnittelussa täytyy ottaa huomioon valaistuksen asennustavat ja IP-luokituksen tarve, valaisimien huollettavuus sekä energiankulutus. Tilan korkeus, leveys, syvyys sekä muoto vaikuttavat valaistuksen toteutukseen samoin kuin seinien, katon ja lattian heijastuskertoimet. Myös tilan kiinteät kalusteet ja rakenteet vaikuttavat valaisimien sijoitteluun ja valaistuksen suunnitteluun. Valaisinta valittaessa kannattaa kiinnittää huomiota valaisimen ominaisuuksiin, kuten polttoikään, valotehokkuuteen, alenemakertoimeen sekä käyttö- ja hankintakustannuksiin. (ST-KORTTI 58.02, 2013); (ST-KORTTI 58.04, 2013).

3 VALAISINVAIHTOEHDOT

3.1 Yleistä valaisimen valinnasta navettaan

Valaistussuunnittelussa on valaistukselle asetettujen vaatimuksen lisäksi valittava tilaan oikeanlainen valaisin. Valaisimen täytyy olla suojaukseltaan, ohjattavuudeltaan ja liitännältään tilaan sopiva ja hyväksytty.

Valaisimia valittaessa täytyy ottaa huomioon, että kotelointiluokka on riittävä, valaisin ei lämpene ja liitäntälaitte on ympäristöön sopiva. Standardin SFS 6000 kohdan 705.512 mukaan sähkölaitteen kotelointiluokan on oltava vähintään IP44 (Sähköinfo, 2012). Valaisimen täytyy kestää korroosiota, koska navetassa on ammoniakkihöyryjä, jotka syövyttävät etenkin metallia. Nykyisin navetassa käytetään usein kuivikkeena turvetta, joka pölisee ja on herkkä syttymään. Tästä syystä on järkevää valita valaisin, joka on kotelointiluokaltaan vähintään IP55, mielellään IP65. Tällöin valaisin on pölytiivis ja suojattu vesisuihkulta. Lisäksi valaisimen täytyy soveltua asennettavaksi normaalisti syttyvälle alustalle, tällöin valaisimesta löytyy merkintä "F" tai merkintä "D", joka tarkoittaa, että valaisimen pintalämpötila ei nouse yli 90 °C alueille, joille voi kertyä pölyä (Glamox, 2016).

Sisävalaistusstandardissa SFS-EN 12464-1 on määritelty, että maataloudessa, karjarakennuksessa, valaistusvoimakkuuden huoltoarvo E_m on oltava 50 lx ja värintoistoindeksi $R_a = 40$ (Ensto, Sisävalaistusstandardi, 2009). Indeksien R_a enimmäisarvo on 100, eli standardissa vaadittu indeksi on varsin matala. Navetoissa käytetään usein lamppuja, joiden R_a on yli 70 ja väriämpötila yli 4 000 K. 3 300 K – 5 300 K väriämpötila koetaan viileän valkoisena, joka on ihmisilmälle miellyttävä väriämpötila.

3.2 Monimetallilamppu

Monimetallilamppu koostuu lasikuvusta, jonka sisällä on joko kvartsilasinen purkausputki tai keraaminen purkausputki, sekä lampun kannasta. Kvartsilasiset monimetallilamput ovat suurempitehoisempia kuin keraamiset. Lamppujen purkausputket sisältävät eri metallien jodideja. (ST-KORTTI 58.08, 2009)

Monimetallilamppuja on usealla eri kannalla. Kotelointiluokaltaan vähintään IP55 valaisimiin sopivat monimetallilamput ovat usein kannaltaan E40.



KUVA 1. Philips CDO-TT Plus keraaminen monimetallilamppu (Philips, 2016)



KUVA 2. IP64 koteloitu luokan teollisuuden purkausvalaisin (I-Valo, 2016)

Monimetallilampuilla on hyvä värinsoistokyky ja värin pysyvyysominaisuudet. Lamput kuitenkin syttyvät hitaasti ja kestää useita minuutteja saavuttaa täysi valoteho. Myös lampun jälleensyttymisaika on useita minuutteja. EuP-direktiivissä on määrätty, että kvartsilasiset kierrekantaiset monimetallilamput poistuvat markkinoilta vuonna 2017. (ST-KORTTI 58.08, 2009).

3.3 Kaksikantainen loistelamppu

Loistelampuissa valontuotto perustuu elektroniseen sähköpurkaukseen, kun lampun päissä olevien katodien välille kytketään sähkövirta. Loistelampun sisällä on elohopeahöyryä ja lampun sisäpinnalla on loisteainekerros. Sähköpurkaus virittää elohopeahöyryn atomit ja virityksen purkautuessa elektronit palaavat takaisin alemmille energiatasoille, jolloin syntyy ultraviolettisäteilyä, joka muuttuu näkyväksi valoksi loisteainekerroksessa. Loistelamppuja käytetään aina joko magneettisten kuristimien ja sytyttimien tai elektronisten liitälaitteiden kanssa. (ST-KORTTI 58.08, 2009).

Kaksikantaiset loistelamput tunnetaan nimellä T5- tai T8-putki. Näiden kantana on T5-putkessa G5 ja T8-putkessa G13. Koteloitu luokaltaan IP55 valaisimia on valmistettu kummallekin putkityypille.



KUVA 3. T8-loisteputki G13-kannalla (Philips, Lamput Ammattivalaistus, 2016)

Loistelampujen valoteho on hyvä sopivassa lämpötilassa, ne ovat pitkäikäisiä ja väri- ja tehovaihtoehtoja on laaja valikoima. Liitälaitteiden elektroniikka voi kuitenkin käyttökohteen olosuhteiden vuoksi vikaantua ja aiheuttaa palovaaran.

3.4 LED-lamput

LED (Light Emitting Diode) on puolijohdekomponentti, johon johdettaessa sähkövirtaa tuottaa näkyvää valoa (ST-KORTTI 58.08, 2009). LED-lamput ovat energiatehokkaita ja niiden käyttökustannukset ovat alhaiset. LEDien käyttöikä on pitkä, esimerkiksi 25 000 h, ja valon laatu ja värintoistokyky ovat hyviä. LEDit toimivat hyvin kylmissäkin olosuhteissa eivätkä kuumene käytössä vaarallisesti. (Sähköturvallisuuden Edistämiskeskus ry, 2016).

LED-lamppuja on saatavilla E14, E27, GU5.3, G4 ja GU10 - kantaisina (Sähköturvallisuuden Edistämiskeskus ry, 2016). Navetassa käytettävissä LED-valaisimissa LEDit ovat moduuleina eikä palanutta LEDiä voi vaihtaa vaan koko valaisin on uusittava.



KUVA 4. Ledistys Oy:n Moduled modulaarinen LED-valaisin (Ledistys, 2016)

4 VALAISTUKSEN SUUNNITTELU DIALUXILLA

4.1 DIALux

DIALux on valaistuslaskentaohjelma, jolla voidaan suunnitella valaistus sisä- ja ulkotiloihin sekä tie-, liikuntapaikka- ja hätävalaistus. DIALuxilla voidaan mallintaa päivänvalon vaikutus valaistukseen. Mallinnusta varten voi asettaa rakennuksen tarkan maantieteellisen sijainnin ja rakennuksen suunnan. Laskennan voi tehdä päivän ja tunnin tarkkuudella sekä ilmoittaa pilvimallin eli onko sää pilvinen, vaihteleva vai aurinkoinen. DIALuxissa tilaa voidaan tarkastella ja suunnitella joko 2D- tai 3D-tasolla. Ohjelmassa olevan oppaan avulla suunnittelu on helppoa ja kaikki tarvittavat asiat tulevat huomioiduksi, vaikka ei olisi aikaisemmin valaistuslaskentaa suorittanut. Ohjelma on kuitenkin vain apuväline valaistusta suunnitellessa, joten suunnittelijalla täytyy olla tarpeeksi pohjatietoa voidakseen tulkita ohjelmalla saatuja laskentatuloksia.

4.2 Suunnittelu DIALuxilla

Valaistuksen suunnittelu aloitetaan tuomalla ohjelmaan rakennuksen DWG- tai DXF-pohja tai sijoittamalla tilan kokotiedot ja muoto. Tilalle määritellään huoltokaavio käyttäen yleiskäyttöistä menetelmää tai laajennettua, mikä on sisävalaistusstandardin mukainen. Huoltokaaviossa määritellään tilan ympäristöehdot sekä valaisimien huoltoväli. Tilan pinnoille asetellaan heijastussuhteet sekä pintojen materiaalit ja värit. Seuraavaksi tilaan sijoitetaan oikeassa mittakaavassa rakennuksen ikkunat, ovet, tilaelementit sekä mahdolliset kalusteet. Navettaa suunnitellessa tilaelementtejä ovat parret, pylväät, robottihuone ja ruokintapöytä. Parsirautojen lisääminen olisi melko työlästä, eikä DIALuxissa ole sopivaa elementtiä kuvaamaan niitä, joten niitä ei suunnitelmaan lisätä. Tilan kokotietojen ja tilaelementtien lisäämisen jälkeen valitaan valaisimet ja asetetaan ne haluttuun kohtaan ja korkeuteen. Ohjelmaan voi syöttää halutun valaistusvoimakkuuden tason, jolloin ohjelma laskee tarvittavan määrän valaisimia, tai vaihtoehtoisesti valaisimia voi sijoittaa tilaan haluamansa määrän.

Valaistuksen tason laskennan voi suorittaa koko tilalle tai halutuille laskentapisteille. Laskennan voi suorittaa vakiona tai laajennettuna. Oleellimmat tulokset saadaan myös vakiolaskennasta. Tuloksissa näkyy valittujen valaisimien tietoja (Kuva 6) sekä valaistuksen tason tiedot lukseina ilmoitettuna sekä isolux-käyrästä pohjapiirustukseen mallinnettuna (Kuva 7).

DIALuxissa tilaa voi tarkastella 3D-näkymänä (KUVA 5) perinteisen 2D-näkymän lisäksi.

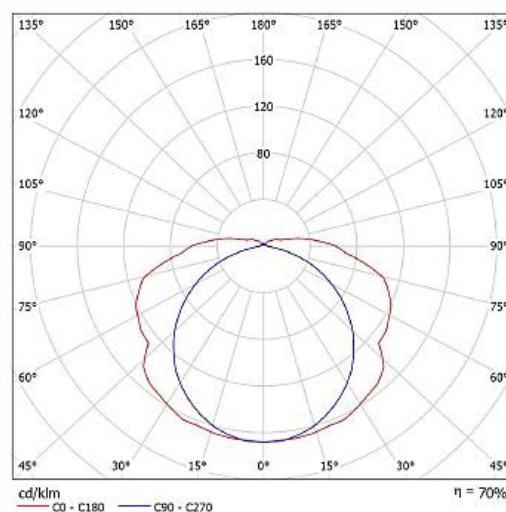


KUVA 5. 3D-näkymä DIALuxissa

REXEL_FI 4321638 Certus/2x58W/akryyli / Valaisintietoarkki



Valaistu alue 1:



Valaisinten luokittelu CIE: 90
 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 38 67
 87 90 70

Certus on korroosionkestävä IP65 koteloitu luokan yleisvalaisin.
 Läp johdotettu runko on lasikuituvahvisteista polyesteriä ja kuvut joko akryyli-
 tai polykarbonaattimuovia.

Koteloitu luokka: IP 65. F

Suojausluokka I.

Asennus: Kattopintaan, valaisinripustuskiskoon tai vajjeriin.

Rakenne: Runko lasikuituvahvisteista polyesteriä, salvat terästä. Kupu
 iskunkestävää akryyliä tai polykarbonaattia.

Valonlähde: T8 36W, 58W, T5 28W, 49W, 54W.

Sähköinen asennus: Kytkentärimat päissä. Läpivientiaukot molemmissa
 päissä. Läp johdotettu 5x2,5 mm².

Jännite: 230 V, 50 Hz.

Lisätietoja: Saatavana myös alumiiniheijastin.

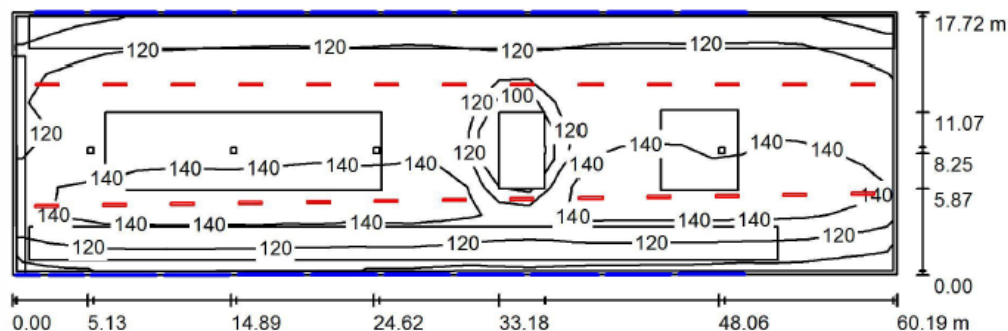
Valaistu alue 1:

Häikäisyarvot UGR:N mukaan											
U	Katto	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
U	Sainrit	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30
U	Lattia	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tien koko	X	Näkökulme poikittain Lampun keskivälissä					Näkökulme pitkittäin Lampun keskivälissä				
2H	2H	18.9	20.3	19.4	20.7	21.1	17.1	18.4	17.5	18.8	19.3
	3H	21.5	22.7	22.0	23.2	23.7	18.3	19.5	18.0	20.0	20.4
	4H	22.8	24.0	23.3	24.4	24.5	18.7	19.9	19.2	20.3	20.6
	6H	24.0	25.0	24.5	25.5	26.1	19.0	20.1	19.5	20.5	21.1
	8H	24.5	25.5	25.0	26.0	26.5	19.0	20.1	19.6	20.6	21.1
	12H	24.9	25.9	25.4	26.4	26.9	19.1	20.1	19.6	20.6	21.1
4H	2H	19.5	20.7	20.0	21.1	21.6	18.1	19.3	18.6	19.7	20.2
	3H	22.4	23.4	22.9	23.9	24.4	19.6	20.6	20.1	21.1	21.6
	4H	23.9	24.8	24.4	25.3	25.9	20.2	21.1	20.7	21.6	22.2
	6H	25.2	26.0	25.8	26.6	27.2	20.6	21.4	21.2	22.0	22.6
	8H	25.8	26.6	26.4	27.1	27.7	20.7	21.5	21.3	22.0	22.7
	12H	26.3	27.0	26.9	27.6	28.3	20.8	21.5	21.4	22.1	22.7
8H	4H	24.2	25.0	24.8	25.5	26.1	21.2	22.0	21.8	22.6	23.2
	6H	25.8	26.4	26.4	27.0	27.7	22.0	22.6	22.6	23.2	23.9
	8H	26.5	27.1	27.2	27.7	28.4	22.3	22.9	22.9	23.5	24.1
	12H	27.3	27.7	27.9	28.4	29.1	22.5	23.0	23.1	23.6	24.3
12H	4H	24.2	24.9	24.8	25.5	26.1	21.5	22.2	22.1	22.8	23.4
	6H	25.9	26.4	26.5	27.0	27.7	22.4	23.0	23.1	23.6	24.3
	8H	26.7	27.2	27.3	27.8	28.5	22.9	23.3	23.5	24.0	24.7
Välitele koltojen peikoo valaistimen etäisyyden tarkasteleeksi: 5											
S = 1.0H		+0.1	/	-0.1			+0.1	/	-0.1		
S = 1.5H		+0.2	/	-0.2			+0.2	/	-0.2		
S = 2.0H		+0.3	/	-0.3			+0.4	/	-0.5		
Välitelelasko		BK10					BK14				
Korjautokijä		9.3					4.6				
Korjatus häikäisyarvot sahteos 10400lm kokonaisuutena											

KUVA 6. Valaisintietoarkki DIALuxin laskentatuloksista

Valaisintoimittajan antamista tiedoista riippuen valaisintietoarkissa on usein kuva valaisimesta, tietoa sen rakenteesta, koteloitu- ja suojausluokista sekä asennuksesta. Valaisimien häikäisyarvot on tau-lukoitu pintojen eri heijastussuhteilla, ja valaisintietoarkissa on lampun valonjakokäyrä. Valonjako-käyrän kuvaaja osoittaa valovoiman suuruuden eri suuntiin, koordinaatiston ollessa skaalattuna 1 000 lm:n valonlähdeksi vastaavaksi (Ensto, 2008). CO-C180 käyrä on piirretty valaisimen pitkit-täisakselin suunnassa ja CO-C270 valaisimen poikittaisakselin suunnassa.

Tila 1 / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 8.000 m

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava
1:431

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	130	96	161	0.736
Lattia	27	90	3.04	152	0.034
Katto	70	50	43	79	0.861
Seinät (4)	90	75	43	128	/

Käyttötaso:

Korkeus: 0.600 m
 Rasteri: 29 x 9 Pisteet
 Reuna-alue: 0.250 m

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	26	REXEL_FI 4321638 Certus/2x58W/akryyli (1.000)	7261	10400	134.0
			Yhteensä: 188798	Yhteensä: 270400	3484.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $3.27 \text{ W/m}^2 = 2.52 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 1064.00 m^2)**KUVA 7. Valaistuslaskennan tuloksia DIALuxista**

Valaistuslaskennan tulosten yhteenvedossa on tietoja tilan valaistusvoimakkuudesta ja luettelo käytetyistä valaisimista. Tuloksissa ρ on pinnan heijastussuhde, E_m on tilan valaistusvoimakkuuden huoltoarvo määritellyllä käyttötasolla, lattialla, katossa ja seinissä. E_{min} ja E_{max} kertovat minimi- ja maksimi-arvot tasoilla. E_{min}/E_m kuvaavat valaistusvoimakkuuden yleistasaisuutta (U_0) pinnoilla. Tuloksissa näkyy, jos valaisimille on aseteltu huoltokerroin yleiskäyttöisellä menetelmällä. Valaisinluettelossa on ilmoitettu myös valaisimien ja lamppujen valovirta (lm) ja teho (P).

5 VALAISTUSVOIMAKKUUSMITTAUKSET

5.1 Mittauksiin liittyvät standardit

Valaistuksen laadun arviointiin ja mittauksiin on laadittu ST-KORTTI 58.07. Kortissa on esitetty muun muassa standardien SFS-EN 12665:2012, SFS-EN 12464-1 ja SFS-EN 15193 määritelmät ja vaatimukset valaistukselle ja valaistuksen energiatehokkuudelle. SFS-EN 12464-1 määrittelee sisätiloissa tapahtuvalle työskentelylle ohjearvoja valaistusvoimakkuudelle, häikäisylle, valaistuksen tasaisuudelle ja värinöistölle. Standardissa käsitellään suppeasti myös mittauksia. Energiatehokkuutta käsitellään standardissa SFS-EN 15193, jossa on laskentaohjeet ja kaavat rakennuksen valaistuksen energiankulutuksen laskentaan. ST-kortin ohjeet soveltuvat normaalirakentamisen sisätilojen valaistusmittauksiin. (ST-KORTTI 58.07, 2014).

5.2 Mittausten suorittaminen ST-kortin mukaisesti

Valaistuksen laatua arvioitaessa ja mitattaessa ensin tarkastetaan valaisimien ja lampujen tyypit, valmistajat, puhtaus ja vahingoittumattomuus sekä valaisimen asennukset ja kiinnitykset, suuntaus ja ohjaus.

Jotta mittaustuloksista saataisiin luotettavat, mittaukset täytyisi suorittaa samassa käyttölämpötilassa, jossa mittari on kalibroitu (yleensä +25 °C). Jos mittaria joudutaan käyttämään poikkeuksellisissa lämpötiloissa, pitää kennon ja mittariosan lämpötila pitää lähellä kalibrointilämpötilaa tai käyttää korjauskertoimia. ST-kortissa annetaan ohjeet mittarin ominaisuuksille. Mittarissa olisi hyvä olla muun muassa värinkorjaussuodatin ja kosinikorjausominaisuus sekä mittarin ja valokennon välissä olisi hyvä olla riittävän pitkä johto, ettei mittajaan varjo vääristäisi mittaustulosta. (ST-KORTTI 58.07, 2014).

Mittausten aluksi mittarin valokennon annetaan olla mitattavaa valaistusvoimakkuutta vastaavassa valaistuksessa niin pitkään, ettei mittarin lukema enää muutu. Verkköjännite pyritään pitämään samalla tasolla kuin todellinen valaistuksen käyttötilanne, koska verkköjännite vaikuttaa lamppujen valovirtaan. Ympäristön lämpötilan täytyy vastata todellista käyttölämpötilaa, koska ympäristön lämpötila vaikuttaa lamppujen antamaan valovirtaan. Lamppujen täytyy saavuttaa normaali toimintalämpötilansa ennen mittausten suorittamista. Lamppujen edellinen huolto tarkistetaan niiden likaisuudesta ja pimeänä olevien lamppujen määrä ja sijainti kirjataan muistiin. Mittaukset voidaan suorittaa pistemenetelmällä, jolloin tila jaetaan ruutuihin ja mittaukset suoritetaan aina keskeltä ruutua, sovitusta mittauskorkeudesta. Ruudukon ruudun pituuden suhde leveyteen on 0,5 – 2. Uudisrakennuksissa mittauspisteiden suositellaan olevan samat kuin valaistuslaskentaohjelmasta saaduissa mittaustuloksissa. (ST-KORTTI 58.07, 2014).

Jos valaistusasennus on symmetrinen tai samanlainen valaistus toistuu koko tilassa, mittaukset voidaan suorittaa pienemmältä alueelta. Tila jaetaan yhtenäisiin alueisiin, jotka ovat samaa vaatimus-

luokkaa, jos tilassa on useampi valaistuksen vaatimusluokka. Mittaustuloksista määritetään valais-
tusvoimakkuuden keskiarvo E_m ja tasaisuus U_0 . Tilassa olevista epäolennaisista paikoista saadut pie-
nimät ja suurimmat arvot voidaan jättää harkinnan mukaan pois laskennasta. Valaistusvoimak-
kuusmittauksen tiedot kirjataan raportointilomakkeeseen ST 58.07.01 (Kuva 8 ja 9) ja tilan pohjapii-
rustukseen, mutta tapauksittain mittaukset ja kirjaukset voidaan tehdä suppeammin. (ST-KORTTI
58.07, 2014).



ST 58.07.01

1 (2)

VALAISTUKSEN LAATUMITTAUSPÖYTÄKIRJA

1. YLEISTIEDOT					
1.1 Kohteen tiedot	Kohde				
	Osoite				
	Yhteyshenkilö	Sähköposti	Puhelin		
1.2 Tiedot mittausten suorittajasta ja mittausajankohdasta	Nimi				
	Osoite				
	Sähköposti	Puhelin			
	Päivämäärä	Kellonaika			
2. TIEDOT MITATTAVASTA TILASTA JA SEN VALAISTUKSESTA					
2.1 Huonepintojen heijastuskertoimet (seinät nimetty kuvassa)					
Seinä A	Seinä B	Seinä C	Seinä D		
Lattia	Katto				
Heijastuskertoimet on saatu					
<input type="checkbox"/>	arvioimalla	<input type="checkbox"/>	mittaamalla	<input type="checkbox"/>	muulla tavoin
2.2 Valaisimien tiedot					
Tyyppi ja ikä		Määrä			
Liitäntälaitteiden tyyppi					
Lisävarusteet					
Kiinnitykset					
Asennustavat					
Valaisimien kunto ja puhtaus					
Viimeksi suoritettun valaisinhuollon ajankohta					
2.3 Lamppujen tiedot					
Tyyppi ja ikä		Määrä			
2.4 Päivänvalon määrä					
2.5 Verkkojännite					
2.6 Ympäristön lämpötila					
3. MITTAUSRUUDUKON MÄÄRITTELY					
3.1 Alueen pidemmän sivun mitta					
3.2 Alueen lyhyemmän sivun mitta					
3.3 Mittauspisteiden pidempi etäisyys (lasketaan)					
3.4 Mittauspisteiden lyhyempi etäisyys (lasketaan)					

4. MITTAUSTULOKSET	
4.1 Valaistusvoimakkuusmittaukset	
4.1.1 Em	4.1.2 Emax
4.1.3 Emin	
4.1.4 Emin/Emax	4.1.5 Emin/Em
4.2 Luminanssimittaukset	
Keskimääräiset luminanssit	
4.2.1 Näkökohde	
4.2.2 Väliön lähiympäristö	
4.2.3 Näkökentän reuna-alue	
4.2.4 Katsojaa vastapäätä olevat pystypinnat	
4.2.5 Ikkuna	
4.2.6 Katto	
4.2.7 Ikkunaseinä	
4.2.8 Valaisimet	
4.2.9 Muut kirkaat kohteet	
Luminanssisuhteet	
4.2.10 Näkökohde / väliön lähiympäristö	
4.2.11 Näkökohde / näkökentän reuna-alueet	
4.2.12 Valaisimet/katto	
4.2.13 Ikkuna/ikkunaseinä	
5 YHTEENVETO MITTAUSTULOISTA SEKÄ VALAISTUKSEN LAADUSTA MITTAUSTULOSTEN PERUSTEELLA	
5.1 Tarkastukseen osallistuneet henkilöt	
5.2 Tarkastuksessa käytetyt mittarit ja mittalaitteet	
5.3 Päätelmät ja yhteenveto mittaustuloksista ja valaistuksen laadusta	
5.4 Päiväys ja allekirjoitukset	
Aika ja paikka	Aika ja paikka
Allekirjoitus ja nimen selvennys	Allekirjoitus ja nimen selvennys
Aika ja paikka	Aika ja paikka
Allekirjoitus ja nimen selvennys	Allekirjoitus ja nimen selvennys

Kuva 9. ST 58.07.01, Valaistuksen laatumittauspöytäkirja sivu 2/2

6 ESIMERKKIKOHTTEEN MITTAUKSET

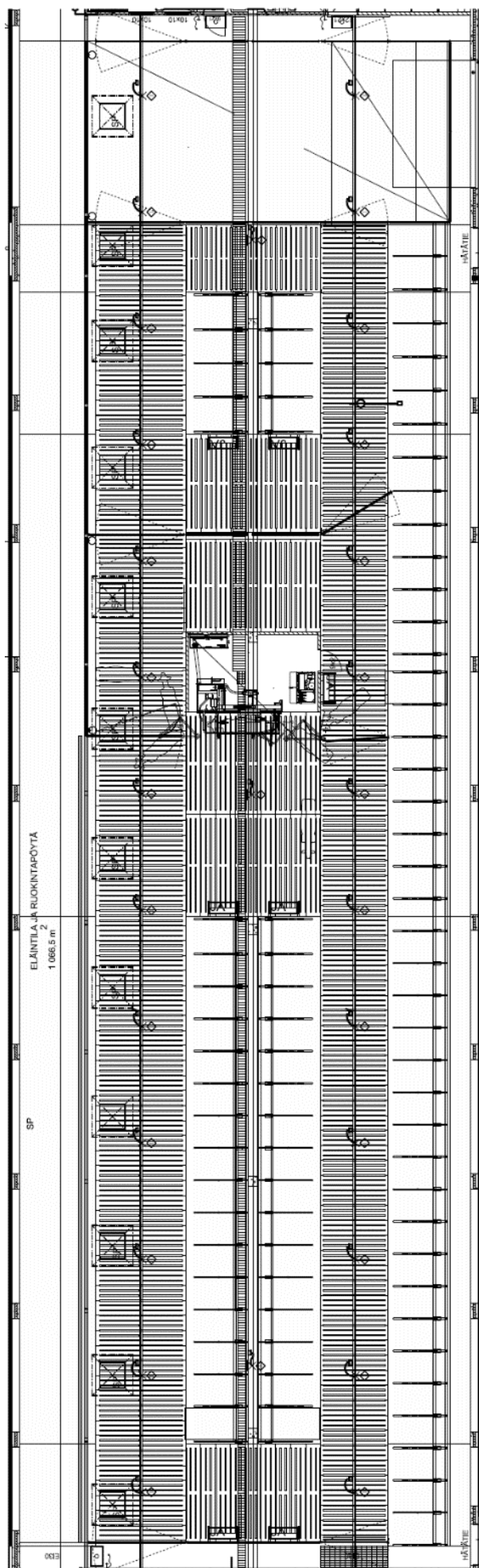
6.1 Tietoja esimerkkikohteesta

Valaistusvoimakkuusmittauksissa esimerkkikohteena käytettiin lokakuussa 2014 käyttöönotettua 18 m leveää ja 60 m pitkää pulpettikattoista pihattonavettaa, jonka kummallakin pitkällä seinällä on kahden metrin korkuiset ilmatäyteverhoseinät. Valot on jaettu kahteen ramppiin, joissa kummassakin on 13 valaisinta valaisinripustuskipustukseen asennettuna. Lisäksi parsipetien keskellä ja robotin vieressä on yövaloja kolme kappaletta. Navetan toisessa päässä on hoito- ja poikimakarsinat, joiden päällä on viimeinen valaisin kummastakin rampista. Hoitokarsinoiden valaisimet, kumpikin ramppi ja yövalot ovat omilla ohjauksillaan. Valaisimien ohjaus on toteutettu perinteisillä painonapeilla, niin että käyttäjä itse saa päättää valojen paloajan. Ruokintapöydän puolella valaisimet ovat 5,4 m:n korkeudella lantakäytävän tasolta mitattuna ja toisen puolen rampin valaisimet ovat 4,4 m:n korkeudella. Valaisimet ovat keskellä lantakäytävää. Kohteessa on Easy LEDin PRO 200 -valaisimet (KUVA 10), joiden yhden valaisimen teho on 50 W ja kotelointiluokka IP65 (FarmLED, Tuotteet, 2016).



KUVA 10. Easy LED PRO-200 (FarmLED, PRO-sarja, 2016)

Valaisimien sijainnit on esitetty valaistuksen tasopiirustuksessa (KUVA 11).

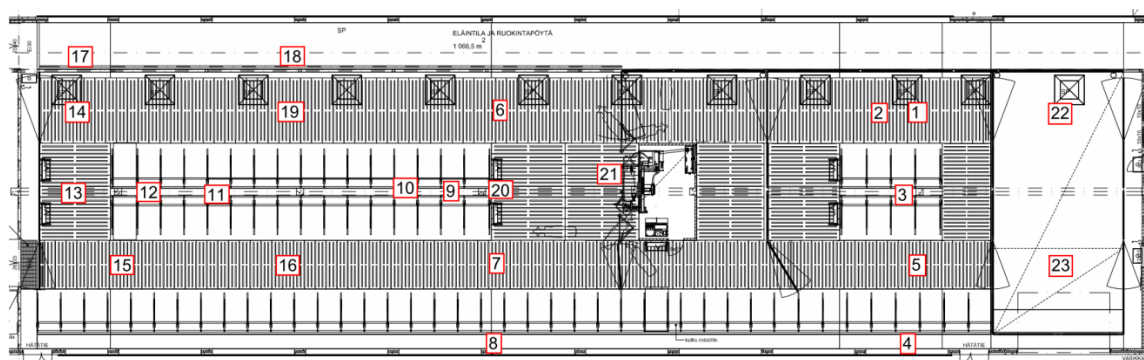


KUVA 11. Valaistuksen tasopiirustus esimerkinavetasta

6.2 Mittausten suorittaminen

Esimerkkikohteeseen suoritettiin valaistusvoimakkuusmittaukset neljä kertaa: sekä päivänvalon aikaan että pimeään aikaan kahdesti. Kolme ensimmäistä mittausta tehtiin huhtikuun lopun ja toukokuun alun aikana. Toukokuun 12. päivä mittausta tehtiin illalla noin klo 23, jolloin ulkona oli pimeää. Joulukuun lopussa valaistus mitattiin illalla noin klo 19.30. Mittauksia suoritettaessa kaikki eläintilan päivävalot paloivat. Ensimmäisiä mittauksia suoritettaessa myös yövalot olivat päällä. Mittaukset suoritettiin useamman kerran, jotta tuloksia voitiin analysoida varmemmin. Valaistuksen täytyi olla keskiarvollisesti 150 lx:n tasoa, kun päivävalot ovat päällä. Yöllä valaistusvoimakkuuden pitäisi olla 50 lx:n tasoa, mutta kyseistä tilannetta ei mitattu, koska ei haluttu sotkea eläinten päivärhythmiä.

Ensimmäisissä mittauksissa valaistusvoimakkuus mitattiin 21 pisteestä eri puolilta navettaa. Kolmessa myöhemmässä mittauksessa valaistusvoimakkuus mitattiin lisäksi sairas- ja poikimakarsinoista kahdesta kohtaa. Mittauspisteistä kuusi pistettä sijaitsee ruokintapöydän puoleisella lantakäytävällä suoraan valaisinriipustuskiskon alla. Näistä kuudesta pisteestä pisteet 14, 6, 1 ja 22 ovat suoraan valaisimien alla ja pisteet 19 ja 2 valaisimien puolivälissä. Viisi pistettä oli vastaavasti toisella lantakäytävällä suoraan valaisinriipustuskiskon alla. Pisteet 5, 7 ja 23 ovat suoraan valaisimien alla ja pisteet 15 ja 16 valaisimien puolivälissä. Valaisinriipustuskiskojen puolivälistä, keskiparsien huoltokäytävältä ja sen kanssa samassa linjassa, mittauksia otettiin kahdeksasta eri kohdasta. Piste 21 sijaitsee robotin vieressä ja piste 15 ruokintakioskien vieressä. Ruokintapöydältä läheltä niskapuomia otettiin kahdesta kohtaa mittaukset, samoin kaksi mittausta otettiin navetan toisesta laidasta, parsien ja ikkunan väliseltä huoltokäytävältä. Käyttötasoksi ja mittauskorkeudeksi määriteltiin 60 cm:ä. 60 cm:n korkeus on eläimen silmää alempana, joten jos valaistusvoimakkuus tällä tasolla on riittävä, se on riittävä myös eläimen silmän kohdalla ylempänä. Mittauspisteet näkyvät KUVA 12.



KUVA 12. Pohjakuva mittauspisteillä

Mittalaitteina käytettiin ensimmäisissä mittauksissa Tenmarsin LED light meter TM-209 -mittaria (KUVA 13) sekä HT:n HT307 Lux/fc light meter -mittaria (KUVA 14). Muissa mittauksissa mittaukset suoritettiin vain HT:n mittarilla. Mittalaitteet oli kalibroitu lampun värilämpötilalle 2856 K ja niitä ei ollut käytetty aiemmin. HT:lle ilmoitettu käyttölämpötila on $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ ja Tenmarsin käyttölämpötila on $5\text{ °C} \sim 40\text{ °C}$. Huhtikuussa ja toukokuussa tehdyt mittaukset voitiin suorittaa lähellä käyttölämpötilaa, mutta joulukuun mittauksien aikana lämpötila oli alle 10 °C . Ensimmäiset mittaukset suoritettiin kahdella mittarilla, jotta tiedettäisiin, antaisiko HT samat tulokset kuin Tenmars. Kahdella

mittarilla yhtä aikaa mitatessa mittarit olivat vierekkäin täysin samalla tasolla. Tuloksien mahdolliseen eroavaisuuteen vaikuttaa mittarien tarkkuus sekä mittauskennon asento valaisimeen nähden ja mittauskennon kohdistuvat varjot.



KUVA 13. Tenmars LED light meter TM-209 (Tenmars, 2016)



KUVA 14. HT307-light meter (Hedtec, 2016)

6.3 Mittaustulosten arviointi

Mittaustulokset ovat suoraan mittarin ilmoittamia arvoja. Tuloksista ei laskettu kosini- ja lämpötilakorjattuja arvoja, koska tavoite oli saada suuntaa antavat tulokset valaistuksen tasosta. Ensimmäisen ja toisen mittauksen tuloksia voidaan vertailla keskenään, koska ne on tehty päivävalon aikaan. Kummassakin mittauksessa tuloksiin vaikuttaa ulkoa tuleva valo. Kolmannen ja neljännen mittauksen tuloksia voidaan vastaavasti arvioida keskenään, koska mittaukset on suoritettu pimeään aikaan, jolloin tuloksiin ei vaikuta päivänvalo.

Ensimmäiset mittaukset suoritettiin 25.4.2015 klo 15 ja toiset mittaukset 7.5.2015 klo 14.30. Ensimmäisten mittausten aikana verhoseinät olivat auki noin puoli metriä ja toisissa mittauksissa täysin auki. Mittausajankohtana valaisimet olivat olleet käytössä noin puoli vuotta. Saadut mittaustulokset on esitetty TAULUKKO 1.

TAULUKKO 1. Ensimmäisen ja toisen mittauksen tulokset

Mittauspöytäkirja

Kohde Esimerkkikohde
Mittauspäivä 25.4.2015 klo 15->

Mittauspiste	lux	
	Mittari 1	Mittari 2
1	470	470
2	373	369
3	317	315
4	2440	2550
5	684	681
6	531	535
7	540	557
8	1387	1394
9	240	237
10	263	258
11	320	328
12	314	313
13	181	187
14	322	310
15	444	434
16	460	440
17	711	721
18	790	807
19	246	247
20	410	403
21	284	279
22		
23		

Mittauspöytäkirja

Kohde Esimerkkikohde
Mittauspäivä 7.5.2015 klo 14.30–15.30

Mittauspiste	lux
	Mittari 1
1	450
2	450
3	202
4	2430
5	634
6	422
7	556
8	1015
9	218
10	240
11	200
12	134
13	180
14	298
15	375
16	522
17	1010
18	1050
19	290
20	137
21	187
22	358
23	255

Parsien välissä sijaitsevat mittauspisteet on korostettu vihreällä ja ruokintapöydällä sekä parren ja ikkunan välisellä huoltokäytävällä sijaitsevat pisteet keltaisella. Niiden arvojen suuruuteen vaikuttaa, missä kohdassa mittari on ollut ja kuinka paljon ulkoa on tullut valoa. Parsien välissä tulosta vääristää parsien aiheuttamat varjot. Mittaria siirtämällä muutamia kymmeniä senttejä eri kohtaan tulokseen pystyi saamaan useiden kymmenien luksin eron. ST-kortin mukaan valaistusvoimakkuuden keskiarvon laskennasta voidaan jättää epäolennaiset pisteet pois, joten mittauksista laskettiin valaistusvoimakkuuden keskiarvot E_{ka} kaikilla mittauspisteillä ja pisteillä, joiden mittauksiksi ei vaikuttaneet varjot. Keskiarvot on esitetty TAULUKKO .

TAULUKKO 2. Valaistusvoimakkuuden keskiarvot

Mittauspäivä	25.4.2015	25.4.2015	7.5.2015
Mittari	Mittari 1	Mittari 2	Mittari 1
E_{ka} (kaikki pisteet)	558	564	505
E_{ka} (Osa pisteistä)	412	410	383

25.3. tehdyissä mittauksissa HT:llä mitattuiden voimakkuuksien keskiarvo oli 558 lx ja Tenmarsilla mitattujen arvojen keskiarvo oli 564 lx. Jos ei oteta huomioon mittauspisteitä, joihin vaikuttaa merkittävästi varjot ja ulkoa tuleva valo, niin saadut tulokset ovat 412 lx ja 410 lx. Tulokset ovat lähellä toisiaan, joten voitiin todeta, että luotettavat tulokset saadaan käyttämällä pelkkää HT:n mittaria myöhemmissä mittauksissa. 7.5. suoritettujen mittausten valaistusvoimakkuuden keskiarvoksi saatiin kaikki mittauspisteet huomioiden 505 lx ja osa pisteistä huomioiden 383 lx.

Päivänvalon aikaan suoritettujen mittausten tuloksista on hankala arvioida valaistuksen riittävyyttä, koska luonnonvalo vaikuttaa tuloksiin merkittävän paljon. Tuloksien perusteella voidaan todeta, että keväällä ja kesällä päivänvalon aikaan riittävä valaistusvoimakkuus saadaan polttamalla vain osaa valoista.

Kolmannen ja neljännen kerran mittaukset suoritettiin pimeään aikaan, joten niitä voidaan vertailla keskenään. Kolmannet mittaukset tehtiin 12.5.2015 noin klo 23 ja neljännet mittaukset 29.12.2015 klo 19.30. Kummallakin kerralla verhoseinät olivat täysin kiinni. Kolmannella kerralla mittaukset tehtiin kahden eri mittaajan toimesta, jotta selviäisi vaikuttaako mittaaja tuloksiin. Neljänsiä mittauksia suoritettaessa valaisimet olivat olleet käytössä reilun vuoden. Saadut tulokset on esitetty TAULUKKO

12.5. tehdyissä mittauksissa suurimmat erot kahdella mittaajalla syntyivät parsien välissä sijaitsevilla mittauspisteissä. Niissä huomaa selvästi eron, miten parsirautojen luomat varjot vaikuttavat mittaustulokseen. Muutamien kymmenien senttien ero mittauskohdassa voi vaikuttaa tulokseen jopa 60 lx. Tästä johtuen valaistusvoimakkuuden keskiarvoa laskettaessa keskiarvo laskettiin kaikilla mittauspisteillä ja vain osalla mittauspisteistä. Laskennasta jätetään pois pisteet, joka on mittauspöytäkirjoissa värjätty vihreällä ja keltaisella. Keskiarvot on esitetty TAULUKKO .

TAULUKKO 3. Kolmannen ja neljännen mittauksen tulokset.

Mittauspöytäkirja

Kohde	Esimerkkikohde
Mittauspäivä	12.5.2015 klo 22.50–23.30
Mittaaja:	1

Mittauspiste	lux
	Mittari 1
1	160
2	151
3	68
4	73
5	194
6	153
7	191
8	51
9	69
10	101
11	57
12	81
13	103
14	135
15	181
16	190
17	83
18	68
19	154
20	80
21	73
22	142
23	187

Mittauspöytäkirja

Kohde	Esimerkkikohde
Mittauspäivä	12.5.2015 klo 22.50–23.30
Mittaaja:	2

Mittauspiste	lux
	Mittari 1
1	158
2	158
3	122
4	77
5	202
6	161
7	191
8	71
9	129
10	117
11	74
12	49
13	107
14	138
15	188
16	183
17	85
18	88
19	164
20	80
21	93
22	144
23	201

Mittauspöytäkirja

Kohde	Esimerkki- kohde
Mittauspäivä	29.12.2015 klo 19.20–19.40

Mittauspiste	lux
	Mittari 1
1	153
2	146
3	100
4	52
5	191
6	128
7	191
8	60
9	112
10	97
11	97
12	96
13	88
14	130
15	170
16	193
17	67
18	82
19	128
20	120
21	80
22	133
23	191

TAULUKKO 4. Valaistusvoimakkuuden keskiarvot

Mittauspäivä	12.5.2015	12.5.2015	29.12.2015
Mittari	Mittari 1	Mittari 1	Mittari 1
Mittaaja	1	2	1
E_{ka} (kaikki pisteet)	119	130	122
E_{ka} (Osa pisteistä)	183	190	175

Mittaustuloksista saatiin 1.mittaajalla keskiarvoksi kaikki mittauspisteet huomioiden 119 lx ja huomiolla vaan osa pisteistä, keskiarvo on 183 lx. 2. mittaajan tuloksista keskiarvot olivat 130 lx ja osalla pisteistä laskettuna keskiarvo on 190 lx. Keskiarvollisen valaistusvoimakkuuden tulokset ovat

suuruusluokiltaan yhtä suuret. Eri mittajaan mittaaman tulokset eivät ole täysin samat, mutta erot eivät myöskään ole merkittäviä.

29.12. suoritetun mittauksen mittaustulokset eivät juuri eroa 12.5. tehdyistä mittauksista. Saaduista tuloksista laskettu kaikkien mittauspisteiden keskiarvo on 122 lx ja huomioimalla vain osa pisteistä, keskiarvo on 175 lx. Valaistusvoimakkuus on samaa tasoa kuin aiemmissa mittauksissa.

Pimeään aikaan suoritettujen mittausten tulosten perusteella voidaan todeta, että valaistuksen taso täyttää Maa- ja metsätalousministeriön säädöksessä asettaman suosituksen, että valaistusvoimakkuus on eläintilassa 100–250 lx:n väliin. Opinnäytetyössä valaistusvoimakkuuden tavoitetasoksi asetettiin 150 lx, mikä toteutuu esimerkkikohteessa, kun laskennassa huomioitiin vain olennaiset pisteet. Tuloksista voidaan huomata, että valaistusvoimakkuus on melko tasainen, jolloin eläimen silmään ei kohdistu häiritsevää valon ja hämärän vaihtelua.

Mittaustuloksista havaittiin, että valaisinramppien metrin korkeusero vaikuttaa valaistusvoimakkuuden suuruuteen noin 30 lx. Päiväaikaan ero on huomattavasti suurempi, mutta silloin valaistusvoimakkuuden eroon vaikuttavat ulkoa tuleva valo sekä verhoseinien asento.

6.4 Parannusehdotuksia valaistusvoimakkuuden tasoon

Mittaustuloksien perusteella valaistuksen tasaisuudesta tehtiin muutamia huomioita. Pimeään aikaan tehdyissä mittauksissa huomataan, että mittauspisteissä 13 ja 21 on muita pisteistä alhaisempi valaistusvoimakkuus. Piste 13 on ruokintakioskien vieressä ja piste 21 robotin vieressä. Robotin luona valaistuksen lisääminen ei ole välttämätöntä, koska robottikopissa palaa valo jatkuvasti. Mittauksia suoritettaessa robotissa oli lehmä lypsyssä, joten kopista tuleva valaistusvoimakkuus ei näy mittaustuloksissa. Piste 13 alhaisempi tulos voitaisiin korjata lisäämällä yksi valaisin nykyisten valaisinripustuskiskojen väliin.

Vaikka mittaustuloksissa keskiarvollista valaistusvoimakkuutta laskettaessa ruokintapöydällä olevat mittauspisteet jätettiin pois laskennasta, tuloksista huomioitiin, että ruokintapöytä on hieman hämärä. Jos valaistuksen tasoa haluttaisiin parantaa, kannattaisi ruokintapöydän päälle lisätä muutama valaisinpiste. Näillä valaisinpisteillä saataisiin varsinkin talviaikaan ruokintapöydän valaistus paremmaksi, mutta valoisanaikaan hyödynnettäisiin ulkoa tulevaa valoa energian säästämiseksi.

7 ESIMERKKIKOHTTEEN VALAISTUSSUUNITELMAT

7.1 Valaistuksen suunnittelu

Esimerkkikohteen nykyinen valaistus mallinnettiin DIALuxilla. Samantasoinen valaistus suunniteltiin myös käyttäen loisteputki- ja monimetallivalaisimia. DIALux-mallinnuksen perusteella arvioitiin, olisiko valaistus kannattanut toteuttaa toisella poltinvaihtoehdolla ja mikä valaistus on edullisin toteuttaa käyttökään suhteutettuna.

7.2 Tilan tiedot DIALuxissa

DIALuxiin mallinnettiin tilan koko ja suurimmat tilaelementit, jotka vaikuttavat laskentatuloksiin. Tilan korkeudeksi määritettiin 8 m ja käyttötasoksi 60 cm. Seinät ovat valkoiseksi maalattua betonia. Valkoisen värin heijastussuhde on 70–85 %; työssä heijastussuhteeksi asetettiin 85 %, koska maali-pinta on kiiltävä. Lantakäytävän ritiläpalkit ovat betonia, jonka lanta tummuttaa, joten heijastussuhteeksi asetettiin 24 %. Katto on valkoista peltiä, sen heijastussuhde on 70 %. Tila määriteltiin ympäristöehdoiltaan normaaliksi tilaksi ja valaisimien huoltoväliksi vuosi. Navettaympäristö voisi olla ympäristöehdoiltaan myös likainen tila, koska parsien kuivikkeena käytetään usein turvetta, joka põlisee ja tilassa olevan kosteuden kanssa kertyy valaisimiin.

7.3 Suunnitelma LED-valaistuksella

Valaistuslaskenta tehtiin nykyisellä valaistuksella ja parannellulla versiolla, koska huomattiin, ettei nykyvalaistuksen laskenta antanut tarpeeksi hyvää tulosta. Parannellussa versiossa valaisimia oli 34 kappaletta, kun nykyisessä asennuksessa niitä on 26 kappaletta.

7.3.1 Nykyvalaistuksen suunnitelma

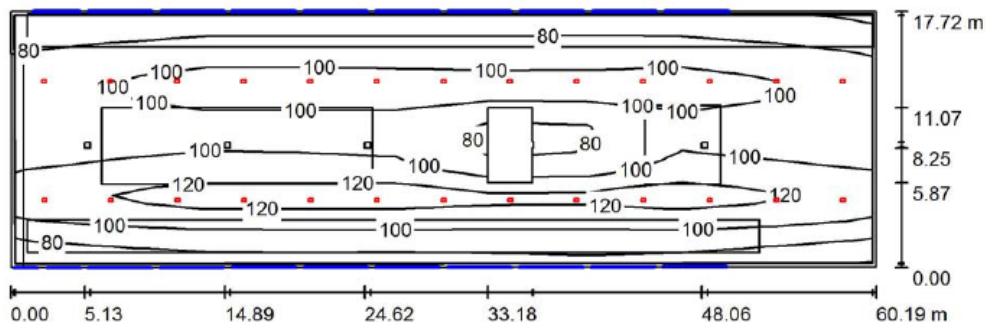
Kohteessa on 26 kappaletta Easy LEDin PRO-200 valaisimia, joiden yhden valaisimen teho on 50 W ja väriämpötila 5 000 K. Valaisimen tekniset tiedot on esitetty taulukossa 5..

TAULUKKO 5. Easy LED PRO – 200 valaisimen tekniset tiedot. (FarmLED, Tuotteet, 2016)

Ledejä:	60	Paino:	2,5kg
Mitat: (PxLxK)	257 x 230 x 86 mm	Himmennystapa:	Erotettu 1-10 V
Ylijännitesuojaus:	(common et diff) 6 kV/3 kA	Käynnistysvirta-piiri-huippu:	1 A, t=10 ms (50 % Ipeak)
Maavuotovirta:	0,41 mA	Käyttöjännite:	230 VAC (toiminta-alue: 195,5–253 VAC)
Käyttöikä:	80.000 h	Suojausluokka:	IP 66
D-luokitus:	Erotettu 1-10 V	Ylijännitesuojaus:	Kyllä
Takuu:	5 vuotta	Kokonaistehonkulutus: (2 vaihtoehtoa)	260 mA – 50W 320mA – 60W
Virta: (2 vaihtoehtoa)	260 mA – 0,23A 320mA – 0,28A	Valovirta (6000 K): (2 vaihtoehtoa)	260 mA – 6000 lm 320mA – 7000 lm

DIALux-suunnitelmaan sijoitettiin myös mittauspisteet, jotta voitiin tarkastella, onko valaistusvoimakkuusmittauksissa saadut tulokset lähelläkään DIALuxilla saatavia valaistusvoimakkuuden arvoja. Laskentatulokset on esitetty seuraavissa kuvissa. Kuvassa 15 näkyy laskentatulokset ja tilan käyttötason isolux-käytöstö. Kuvassa 16 on tilan 3D-esitys.

Tila 1 / Yhteenveto



Tilan korkeus: 8.000 m

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava
1:431

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	96	59	128	0.609
Lattiat (25)	24	62	0.55	122	/
Katot (5)	70	12	0.68	35	/
Seinät (4)	85	34	8.44	107	/

Käyttötaso:

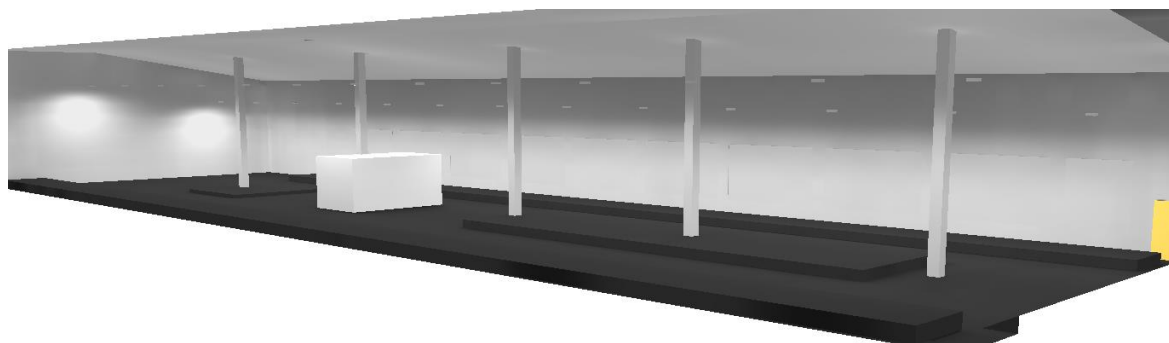
Korkeus:	0.600 m
Rasteri:	29 x 9 Pisteet
Reuna-alue:	0.250 m

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	26	Easy LED PRO 200 Oslon 60 - 150degFrost (5000K CRI72 nominal) (1.000)	5130	5130	50.0
			Yhteensä: 133380	Yhteensä: 133380	1300.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $1.22 \text{ W/m}^2 = 1.27 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 1064.00 m^2)

KUVA 15. DIALux suunnitelma



Kuva 16. Tilan 3D-esitys LED-valaistuksella

Seuraavassa taulukossa on mittaamalla saadut valaistusvoimakkuudet ja DIALuxin laskemat valaistusvoimakkuudet mittauspisteissä. DIALuxin laskelmapisteiden valaistusvoimakkuuksien keskiarvo on kaksikymmentä luksia heikompi kuin mittaamalla saatujen valaistusvoimakkuusarvojen keskiarvo.

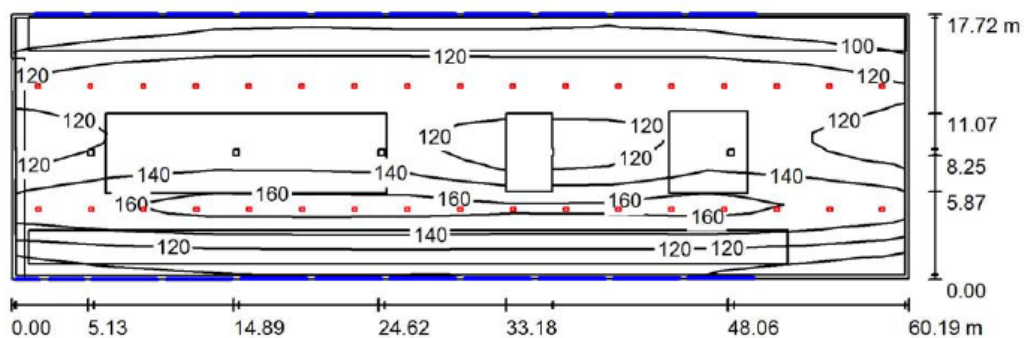
TAULUKKO 6. Mittaustulokset ja DIALuxin tulokset

Mittauspiste	Mittaustulokset		DIALux tulokset
	12.5.2015	29.12.2015	
1	160	153	107
2	151	146	106
3	68	100	98
4	73	52	77
5	194	191	128
6	153	128	107
7	191	191	128
8	51	60	75
9	69	112	98
10	101	97	98
11	57	97	97
12	81	96	96
13	103	88	86
14	135	130	93
15	181	170	117
16	190	193	119
17	83	67	76
18	68	82	87
19	154	128	102
20	80	120	96
21	73	80	91
22	142	133	98
23	187	191	115
keskiarvo [lx]	119	122	100

7.3.2 Paranneltu suunnitelma

Todellisella valaisimien määrällä DIALux-suunnitelmaa tehtäessä huomattiin, että laskennassa saatu valaistusvoimakkuus jää liian vähäiseksi. Tästä syystä tehtiin toinen suunnitelma, jossa kumpaankin valaisinramppiin lisättiin kaksi valaisinta, eli valaisimia oli tämän jälkeen yhteensä 34 kappaletta. Tällöin tulokseksi saatiin seuraavien kuvien mukaiset laskentatulokset. Kuvassa 17 näkyy käyttötason isolux-käyrästä ja kuvassa 18 on tilan 3D-esitys.

Tila 1 / Yhteenveto



Tilan korkeus: 8.000 m

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava
1:431

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	128	83	167	0.647
Lattiat (25)	24	82	0.73	160	/
Katot (5)	70	16	0.91	47	/
Seinät (4)	85	44	11	174	/

Käyttötaso:

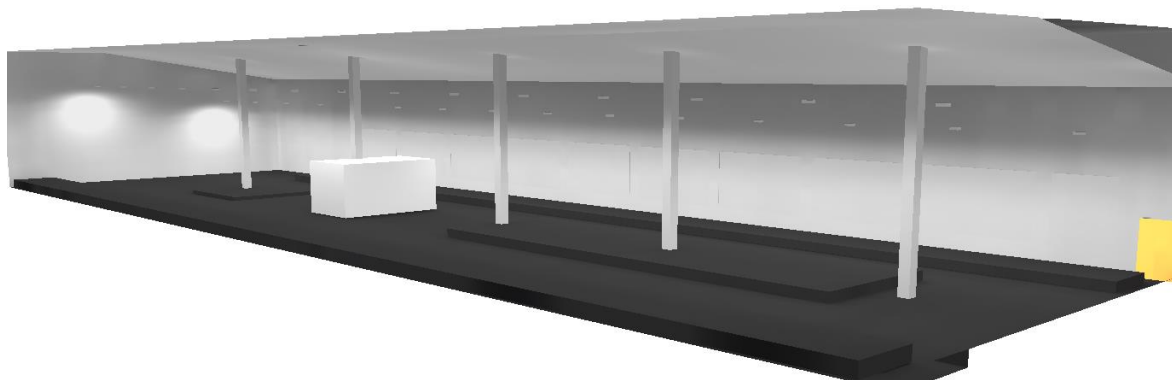
Korkeus: 0.600 m
 Rasteri: 29 x 9 Pisteet
 Reuna-alue: 0.250 m

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	34	Easy LED PRO 200 Oslon 60 - 150degFrost (5000K CRI72 nominal) (1.000)	5130	5130	50.0
			Yhteensä: 174420	Yhteensä: 174420	1700.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $1.60 \text{ W/m}^2 = 1.25 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 1064.00 m^2)

KUVA 17. DIALux suunnitelma 34 kpl valaisimella



KUVA 18. Tilan 3D-esitys

Seuraavassa taulukossa on mittaustulokset ja DIALux tulokset. Lisäämällä valaisimien määrää DIALux-suunnitelmaan, saatiin valaistusvoimakkuuden keskiarvo mitattuja arvoja paremmaksi.

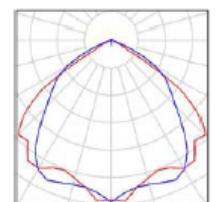
TAULUKKO 7. Mittaustulokset ja DIALux tulokset 30 valaisimella

	Mittaustulokset		DIALux tulokset
Mittauspiste	12.5.2015	29.12.2015	
1	160	153	137
2	151	146	140
3	68	100	130
4	73	52	103
5	194	191	161
6	153	128	140
7	191	191	164
8	51	60	99
9	69	112	129
10	101	97	129
11	57	97	128
12	81	96	126
13	103	88	114
14	135	130	121
15	181	170	157
16	190	193	161
17	83	67	100
18	68	82	115
19	154	128	137
20	80	120	128
21	73	80	112
22	142	133	130
23	187	191	154
keskiarvo [lx]	119	122	131

7.4 Suunnitelma käyttäen monimetallivalaisimia

Kohteeseen suunniteltiin valaistus käyttäen Rexel Finland Oy:n toimittamia LF8-monimetallivalaisimia, jotka ovat suljettuja teollisuusvalaisimia. DIALuxin laskentatuloksista valaisimen tiedot on esitetty KUVA 19.

16 Kappale REXEL_FI 4421017 LF8 HB/HIT150/M
Tavarnumero: 4421017
Valovirta (Valaisin): 12375 lm
Valovirta (Lamput): 16500 lm
Valaisimien teho: 170.0 W
Valaisinten luokittelu CIE: 99
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 53
92 99 99 75
Varustus: 1 x Philips CDO-TT Plus 150W/828
(Korjaustekijä 1.000).



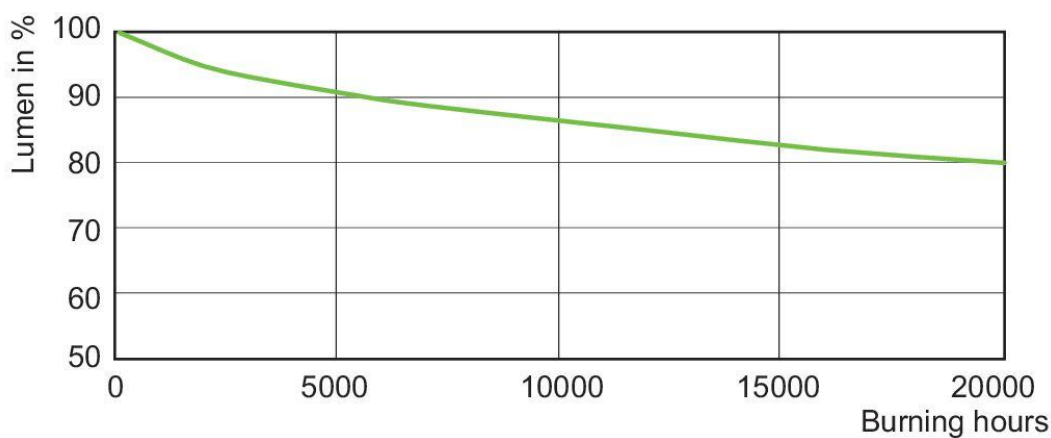
KUVA 19. Luettelo valaisimista, DIALux suunnitelmassa

LF8-monimetallivalaisin on kotelointiluokaltaan IP64. Valaisimen runko on alumiinia ja lasi iskunkes-
tävää lasia. Kuvassa valaisin.



KUVA 20. LF8-monimetallivalaisin (Sähkönumerot.fi, 2016)

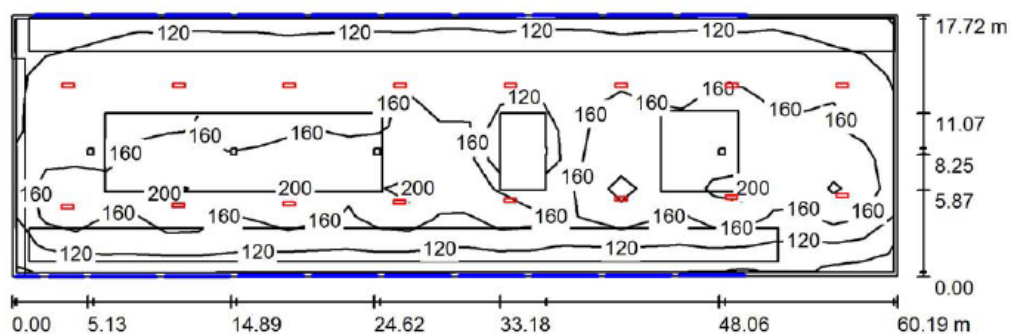
Kuvassa 21 on esitetty Philipsin CDO-TT Plus 150 W/828- monimetallipolttimon valovirran aleneman kuvaaja. Kuvaajasta voidaan huomata, että poltin menettää valovirrastaan 20 % 20 500 tunnin aikana. Tämä tarkoittaa siis 16 tunnin polttoajalla vajaata kolmea ja puolta vuotta. Poltinta ei ole välttämätöntä siinä vaiheessa vielä vaihtaa, mutta valovirran aleneminen vaikuttaa myös valaistusvoimakkuuden suuruuteen.



KUVA 21. Philips CDO-TT Plus 150 W- monimetallipolttimon valovirran alenema (Philips, CDO-TT poltin, 2016)

Suunnitelma toteutettiin asettamalla haluttu valaistusvoimakkuustaso, ja ohjelma laski tarvittavien valaisimien määrän. Tilaan tarvittiin 16 kpl valaisimia, jotta valaistus on mahdollisimman tasainen ilman suuria valaistusvoimakkuuden vaihteluita. Saatu laskentatuloks on esitetty kuvassa 22. Kuvassa 23 on tilan 3D-esitys. Mittaustulokset ja DIALux-tulokset taulukossa 8.

Tila 1 / Yhteenveto



Tilan korkeus: 8.000 m

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava
1:431

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	150	80	244	0.530
Lattia	24	105	3.76	222	0.036
Katto	70	3.04	0.72	16	0.237
Seinät (5)	85	35	1.37	106	/

Käyttötaso:

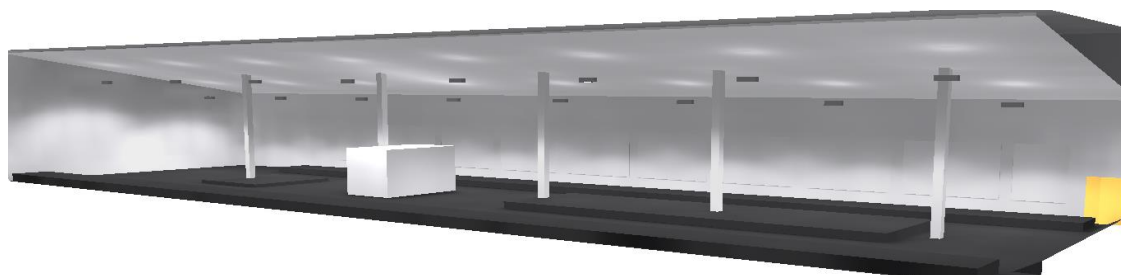
Korkeus: 0.600 m
 Rasteri: 29 x 9 Pisteet
 Reuna-alue: 0.250 m

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	16	REXEL_FI 4421017 LF8 HB/HIT150/M (1.000)	12375	16500	170.0
			Yhteensä: 197996	Yhteensä: 264000	2720.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $2.56 \text{ W/m}^2 = 1.70 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 1064.00 m^2)

KUVA 22. DIALux suunnitelma LF8-valaisimilla



Kuva 23. Tilan 3D-esitys LF8-valaisimilla ja monimetallipolttimoilla

TAULUKKO 8. Mittaustulokset ja monimetallien DIALux-laskennan tulokset

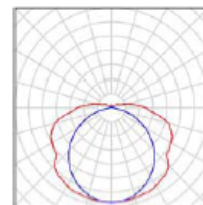
Mittauspiste	Mittaustulokset		DIALux tulokset
	12.5.2015	29.12.2015	
1	160	153	180
2	151	146	156
3	68	100	180
4	73	52	92
5	194	191	220
6	153	128	168
7	191	191	223
8	51	60	96
9	69	112	180
10	101	97	167
11	57	97	162
12	81	96	170
13	103	88	137
14	135	130	142
15	181	170	219
16	190	193	171
17	83	67	110
18	68	82	128
19	154	128	155
20	80	120	175
21	73	80	170
22	142	133	163
23	187	191	201
keskiarvo [lx]	119	122	164

Monimetallivalaisimilla suunnitellun valaistuksen valaistusvoimakkuuden keskiarvo on korkeampi kuin mittauksilla saatujen arvojen keskiarvo. Suunnitelmaa ei olisi voinut toteuttaa vähemmällä valaisimien määrällä, koska valaistusvoimakkuus olisi vaihdellut liikaa navetan erikohdissa. Valaistusvoimakkuus on muuten paremmalla tasolla kuin LEdeillä toteutettuna, mutta voimakkuuden vaihtelu on suurempaa joissakin osin tilaa. Esimerkkikohteeseen ei voisi toteuttaa valaistusta järkevästi monimetallivalaisimilla, koska tila on niin matala.

7.5 Suunnitelma käyttäen loisteputkivalaisimia

Esimerkkikohteeseen suunniteltiin loisteputkivalaistus DIALuxilla. Valaisimena käytettiin Rexelin Certus 2x58 W -loisteputkivalaisinta ja putkina Philipsin TL-D 58 W -loisteputkia. DIALuxin valaisinluettelo on kuvassa 24 ja kuvassa 25 kuva valaisimesta.

26 Kappale REXEL_FI 4321638 Certus/2x58W/akryyli
 Tavaranumero: 4321638
 Valovirta (Valaisin): 7261 lm
 Valovirta (Lamput): 10400 lm
 Valaisimien teho: 134.0 W
 Valaisinten luokittelu CIE: 90
 Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 38
 67 87 90 70
 Varustus: 2 x Philips TL-D 58W (Korjaustekijä
 1.000).

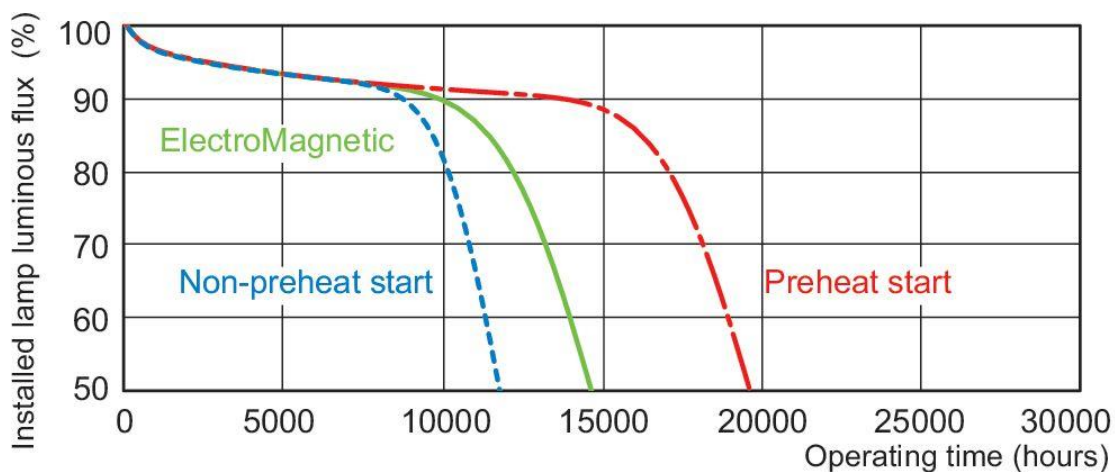


KUVA 24. Luettelo valaisimista, DIALux suunnitelmasta



KUVA 25. Certus-loisteputkivalaisin (Rexel, 2016)

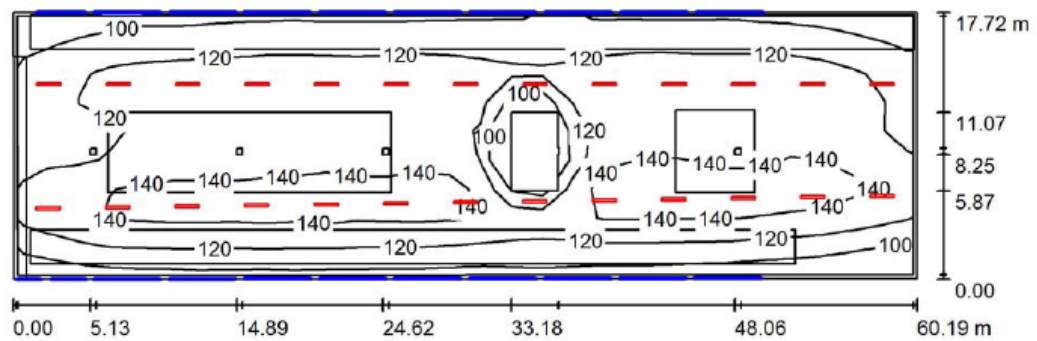
Valaisin on kotelointiluokaltaan IP 65 ja hyväksytty asennettavaksi palavalle alustalle "F" sekä suo-
 jausluokaltaan I. Certus-valaisimen runko on lasikuituvahvisteista polyesteriä, kupu iskunkestävää
 akryyliä ja kuvun kiinnityssalvat terästä.



Kuva 26. Philipsin TL-D Super 80 58 W loisteputken valovirran aleneman kuvaaja. (Philips, 2016)

Tilan isolux-käyrä ja laskennan tulokset on esitetty kuvassa 27.

Tila 1 / Yhteenveto



Tilan korkeus: 8.000 m

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava
1:431

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	125	87	156	0.698
Lattia	24	86	2.05	147	0.024
Katto	70	4.15	1.00	24	0.240
Seinät (5)	85	62	2.29	122	/

Käyttötaso:

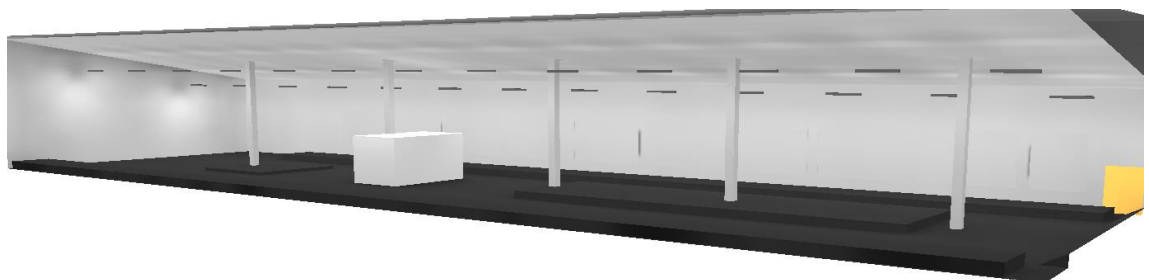
Korkeus: 0.600 m
 Rasteri: 29 x 9 Pisteet
 Reuna-alue: 0.250 m

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	26	REXEL_FI 4321638 Certus/2x58W/akryyli (1.000)	7261	10400	134.0
			Yhteensä: 188798	Yhteensä: 270400	3484.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $3.27 \text{ W/m}^2 = 2.62 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 1064.00 m^2)

KUVA 27. DIALuxin valaistussuunnitelma



KUVA 28. Loisteputkivalaisimia käytettäessä tilan 3D-esitys.

TAULUKKO 9. Mittaustulokset ja DIALuxin tulokset

	Mittaustulokset		DIALux tulokset
Mittauspiste	12.5.2015	29.12.2015	
1	160	153	136
2	151	146	135
3	68	100	136
4	73	52	99
5	194	191	153
6	153	128	137
7	191	191	157
8	51	60	104
9	69	112	129
10	101	97	129
11	57	97	123
12	81	96	122
13	103	88	106
14	135	130	116
15	181	170	139
16	190	193	145
17	83	67	99
18	68	82	108
19	154	128	131
20	80	120	129
21	73	80	120
22	142	133	127
23	187	191	136
keskiarvo [lx]	119	122	127

Loisteputkivalaisimien valaistusvoimakkuuden keskiarvo on lähes sama kuin LED-valaisimien mittaustuloksista laskettu keskiarvo. Käyttötason isolux-käyrä näyttää tasaiselta, joten loisteputkilla päästäisiin samantapaiseen valaistukseen kuin LED-valaistuksella. Loisteputket kuitenkin vievät huomattavasti enemmän sähköenergiaa, joten edullisempi ratkaisu se ei siinä suhteessa ole. Loisteputkien valovirran alenema on nopeampaa kuin monimetallivalaisimien. Jos loisteputki sytytetään lämpimässä ympäristössä, on putki pitkäikäisempi. Lämpimässä ympäristössä käytetyn loisteputken valovirran alenema on esitetty kuvassa 26 punaisella käyrällä.

8 ENERGIATEHOKAS VALAISTUS

8.1 Energiatehokkaan valaistuksen suunnittelu

Valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttaa moni seikka, jotka täytyy valaistussuunnittelussa ottaa huomioon. Sisävalaistusstandardi asettaa omat vaatimuksensa valaistuksen valaistusvoimakkuudelle sekä valon laadulle ja riittävälle määrälle. Energiatehokkuuteen vaikuttaa standardin asettamat vaatimukset valonlähteelle ja lisäksi valaisimen ominaisuudet ja ohjauksella toteutettu tarpeenmukainen käyttö.

Valaistuksen energiatehokkuutta voidaan vertailla valoteknisestä ja teknistaloudellisesta näkökulmasta. Valoteknisessä analyysissä huomioidaan valaistusvoimakkuus (lx), tasaisuus U_0 (E_{min}/E_m), DIALuxista saatu ominaisen verkkoon kytketyn kuorman laskentatuloks $W/m^2/100lx$, LENI-indeksi sekä UGR-indeksi. Näistä mittareista saadun indeksiarvon asteikko on 1-5. Teknistaloudellisessa analyysissä huomioidaan investoinnin takaisinmaksuaika ja nykyarvo, energiankulutus sekä CO₂-päästöt. (Alppilux, 2016).

Standardissa SFS-EN 15193 "Rakennusten energiatehokkuus – Valaistuksen energiatehokkuus" määritellään, että valaistuksen energiatehokkuus voidaan arvioida mittaamalla tai laskemalla. Standardissa on esitetty LENI-luku (Lightning Energy Numeric Indicator), joka kuvaa rakennuksen vuotuista valaistusenergiaa. Valaistusenergia ilmoitetaan muodossa kWh/m²/vuosi. (Alppilux, 2016). LENI-luku ottaa huomioon valaistuksen ohjauksen. LENI-luku lasketaan kaavalla,

$$LENI = \frac{W_{KOK}}{A}$$

jossa W_{KOK} on valaistukseen käytetty vuotuinen kokonaisenergia kWh/vuosi ja A on valaistettu huoneistoala m². (Alppilux, 2016).

DIALux laskee tilaan suunnitellun valaistuksen ominaisen verkkoon kytketyn kuorman ja vertaa sitä siihen, kuinka paljon energiaa tarvitaan neliölle, että 100 lx:n taso täyttyy. Eli tulokseksi saadaan $W/m^2/100lx$ -arvo.

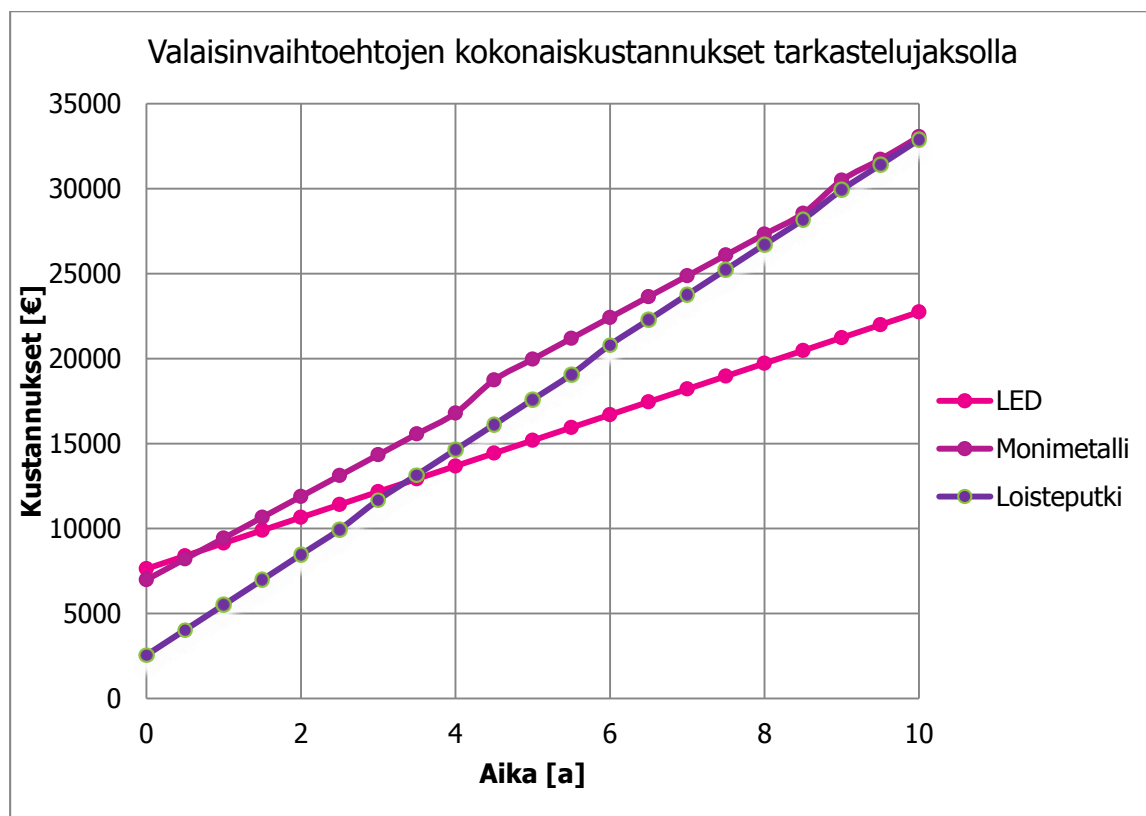
8.2 Valaistuksen valinta esimerkkikohteeseen

Esimerkkinavettaan toteutettiin valaistus käyttämällä LED-valaisimia ja ohjauksena perinteinen painonappi-ohjaus. Kohteen valaistussuunnitelmat tehtiin vain LED-tekniikalle, eikä esimerkiksi monimetallia pidetty vaihtoehtona. LED-tekniikkaa pidettiin energiatehokkaimpana ja huoltovapaana sekä paloturvallisena. Opinnäytetyössä arvioitiin nykyisen valaistusratkaisun sekä loisteputkivalaisimilla ja monimetallivalaisimilla suunnitellun valaistuksen energiatehokkuutta teknistaloudellisesta näkökulmasta. Arvioinnissa huomioitiin energiankulutus, investointikustannukset ja polttimoiden vaihtokustannukset. CO₂-päästöjä ei arvioinnissa otettu huomioon.

Laskennassa valaisimien polttoaika vuodessa oli 5 840 h/a eli 16 h/d. Sähköenergian hinta laskettiin Pohjois-Karjalan sähkön hinnaston perusteella käyttäen PKS Oiva 1-aika sopimusta ja 3x63 A-sulakekokoja. Valaisimien hinnat ovat viitteellisiä hintoja, jotka on saatu yrityksen ostolaskujen kirjanpidosta.

Polttimoiden elinikä saatiin valaisinvalmistajien ilmoittamista tiedoista. Elinikää arvioitiin myös yrityksen omiin kokemuksiin.

Laskennasta saatiin kuvion 1 mukainen käyrästä.



KUVIO 1. Valaisinvaihtoehtojen kokonaiskustannukset 10 vuoden tarkastelujaksolla.

Kuviosta huomataan, että esimerkkinä käytetystä valaisimista LED on hankintakustannuksiltaan kallein ja loisteputkivalaisimet halvin vaihtoehto. LEDin ja monimetallin hintaero hankintavaiheessa on vajaa 1 000 euroa. LED on vuoden käytön jälkeen halvempi kuin monimetalli ja neljän vuoden jälkeen halvempi kuin loisteputki. Kymmenen vuoden käytön jälkeen loisteputken ja monimetallin ero on vajaa 300 euroa ja LED on näitä kahta vaihtoehtoa 10 000 euroa halvempi. Tarkastelujakson aikana monimetallivalaisimiin polttimot joudutaan vaihtamaan kaksi kertaa, 4,5 vuoden käytön jälkeen ja 9 vuoden kohdalla. Loisteputkivalaisimiin polttimot ja sytyttimet vaihdetaan kolme kertaa, joka kolmas vuosi. Näillä polttimilla 10 vuoden kohdalla valovirran alenema ei ole juurikaan heikennyt, koska polttimot ovat lähes uusia. LEDin valovirran alenema voi olla huomattavissa, koska 10 vuodessa polttoaikaa on kertynyt 58 400 tuntia ja valaisimien ilmoitettu polttoikä on 80 000 tuntia.

Kymmenen vuoden käytön jälkeen loisteputkivalaisimien rungot ovat luultavasti siinä kunnossa, että osa niistä on vaihdettava uusiin ja ainakin elektroniset liitäntälaitteet ovat käyttöikänsä päässä. Monimetallien alumiinivalurunko kestää pitkään, joten niiden vaihto ei ole ajankohtainen ainakaan ensimmäisen kymmenen vuoden käytön jälkeen. Tulevaisuudesta ei tiedä, kuinka EuP-direktiivi vaikuttaa monimetallilamppujen käyttöön ja hintatasoon. LED-valaisimien käyttöikä on loppuillaan kymmenen vuoden käytön jälkeen, joten kaikki valaisimet täytyy silloin uusia. LED-tekniikan voi olettaa kehittyvän vielä paremmaksi, joka luultavammin vaikuttaa myös hintatasoon, joten LED-valaisimien hinnat saattavat olla alhaisemmat kymmenen vuoden päästä. Kymmenen vuoden päästä LED-valaisimien vaihto uusiin ei ole iso investointi, huomioiden rahansäästö, joka syntyy tarkastelujakson aikana energiansäästöissä.

8.3 Parannusehdotuksia esimerkkikohteen energiansäästöön

Esimerkkinavetassa valaistuksen energiatehokkuutta voitaisiin parantaa muuttamalla valaistuksen ohjausta automaattisemmaksi. Kellokytkimellä valot saataisiin ohjattua palamaan tasan 16 h päivässä, koska pidemmällä valaistusajalla ei ole tutkittua hyötyä, mutta vähempi valaistusaika voi vaikuttaa lehmien tuotoksen määrään.

Jottei energiaa kuluisi valaistukseen turhaan kirkkaina päivinä, jolloin päivänvalo tulee paljon navettaan, kellokytkimen lisäksi kannattaisi asentaa hämäräkytkin. Tällöin valot palavat vain, kun niille on tarvetta. Kesäisin valaistusvoimakkuus voi vaihdella paljon nopeastikin, mikä täytyy ottaa huomioon hämäräkytkimen asetteluja säädettäessä. Hämäräkytkin ja kellokytkin eivät ole kallis investointi asennuskustannukset huomioiden.

9 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella kuinka navettarakennukseen voidaan toteuttaa energiatehokas ja valaistusvoimakkuudeltaan riittävä valaistus eri valaisintyypeillä. Vertailtavat valaisintyypit olivat LED-, loisteputki- ja monimetallivalaisimet. Esimerkkikohteena työssä oli 18 m leveä ja 60 m pitkä pulpettikattoinen pihattonavetta, joka valmistui vuoden 2014 syksyllä. Navetan valaistus on toteutettu LED-valaisimilla. Työssä oli tarkoituksena saada yksinkertainen laskentatyökalu Kovaki Oy:n käyttöön valaistussuunnittelun tueksi.

Opinnäytetyötä varten esimerkinavettaan suoritettiin valaistusvoimakkuusmittaukset neljä kertaa ja navettaan suunniteltiin myös DIALuxilla valaistussuunnitelmat eri poltinvaihtoehdoilla. Työtä tehdessä opin suorittamaan valaistusvoimakkuusmittauksia ja ymmärtämään mitkä kaikki seikat vaikuttavat valaistuksen voimakkuuteen ja laatuun sekä millainen valaistus on hyvä ihmissilmälle. Valaistussuunnitelmien tekeminen opetti suunnittelemaan valaistusta ja ottamaan huomioon tilan muodon ja korkeuden sekä tilan ympäristöolosuhteiden asettamat vaatimukset valaisimille ja niiden sijoittelulle.

Energiatehokkuutta tarkasteltaessa täytyy huomioida muutakin kuin valaisimen kuluttama teho ja sitä kautta saatu energiansäästö. Energiaa säästyy, kun hyödynnetään päivänvaloa sekä toteutetaan valaistuksen ohjaus järkevästi. Valaisinta valittaessa huomiota kannattaa kiinnittää kulutettavan tehon lisäksi valaisimen tuottamaan valovirtaan sekä valaisimen elinikään. Pitkäikäisempi valaisin kuormittaa vähemmän ympäristöä, koska elinikänsä päässä olleista polttimosta ei synny turhaa jätettä.

Opinnäytetyön tuotoksena syntyneellä laskentatyökalulla yritys voi nopeasti laskea eri valaisinvaihtoehtojen aiheuttamat kustannukset halutulla tarkastelujaksolla. Laskentatulokset mallintuu kuvioon, josta on helppoa havainnollistaa asiakkaalle eri valaisinvaihtoehtojen aiheuttamat kustannukset ja syntyvät säästöt.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

Alppilux. (15. 02 2016). *Valaistusopas*. Noudettu osoitteesta Energiatehokkuus:

<http://www.alppilux.fi/fi/energiatehokkuus/energiatehokkuus>

Ensto. (26. 11 2008). *Valaistustekniikka*. Noudettu osoitteesta Perussuuret:

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398034451/1228398095075.html>

Ensto. (30. 04 2009). *Sisävalaistusstandardi*. Noudettu osoitteesta Vaatimustaulukko:

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228462209986/1228462257834/1236345205406.html>

FarmLED. (10. 02 2016). *PRO-sarja*. Noudettu osoitteesta <http://farmled.fi/wp-content/uploads/2015/09/PRO200-250x250.jpg>

FarmLED. (1 2016). *Tuotteet*. Noudettu osoitteesta PRO-200: <http://www.farmled.fi/products/pro200/>

Glamox. (20. 03 2016). *Symbolien selitykset*. Noudettu osoitteesta <http://glamox.com/fi/symbolien-selitykset>

Hedtec. (10. 02 2016). Noudettu osoitteesta <http://tuoteluettelo.hedtec.fi/tuotekuvat/21803>

I-Valo. (02 2016). *Teollisuusvalaisimet*. Noudettu osoitteesta <http://www.i->

[valo.com/verkkokauppa/img/imagecache/250x250_6221.jpg](http://www.i-valo.com/verkkokauppa/img/imagecache/250x250_6221.jpg)

Karlström, T. (2015). Valoa karjalle. *Nauta*.

Ledistys. (09. 02 2016). Noudettu osoitteesta <http://www.ledistys2013.faarao.org/files/images/Kuva1.png>

Maa- ja metsätalousministeriö. (15. 02 2016). *Lainsäädäntö, maaseutu ja rakentaminen, rakentamissäädökset*.

Noudettu osoitteesta Liite 11: MMM-RMO C3: Kotieläinrakennuksen valaistus:

<http://mmm.fi/documents/1410837/1853806/L11-rmoC3-01.pdf/030d184e-ae5f-4ec6-a008-9720547007be>

Philips. (10. 02 2016). Noudettu osoitteesta

<http://images.philips.com/is/image/PhilipsConsumer/d0d567de6392497789aba4a300d8e2da-SLG-global-001?wid=1024>

Philips. (20. 03 2016). *CDO-TT poltin*. Noudettu osoitteesta

<http://images.philips.com/is/image/PhilipsConsumer/73ecb27727f94239a018a4a3009fa52c-LMG-global-001?wid=1024>

Philips. (02 2016). *Lamput ammattivalaistus*. Noudettu osoitteesta Kaasupurkauslamput (HID):

[http://images.philips.com/is/image/PhilipsConsumer/ffa360b45d1041f99832a4a300a013e2-RTP-global-001?wid=494&hei=435&\\$pnlarge\\$](http://images.philips.com/is/image/PhilipsConsumer/ffa360b45d1041f99832a4a300a013e2-RTP-global-001?wid=494&hei=435&$pnlarge$)

Philips. (02 2016). *Lamput Ammattivalaistus*. Noudettu osoitteesta Fluorescent Lamps and Starters:

[http://images.philips.com/is/image/PhilipsConsumer/TP927922083000-RTP-global-001?hei=500&\\$jpglarge\\$](http://images.philips.com/is/image/PhilipsConsumer/TP927922083000-RTP-global-001?hei=500&$jpglarge$)

Rexel. (10. 02 2016). *Stara-valaisinluettelo*. Noudettu osoitteesta Teollisuusvalaisimet:

<http://stara.rexel.fi/altImage.html?uid=1922999>

ST-KORTTI 58.02. (2013). Sähkötieto ry.

ST-KORTTI 58.04. (2013). Sähkötieto ry.

ST-KORTTI 58.07. (2014). Sähkötieto ry.

ST-KORTTI 58.08. (2009). Sähkötieto ry. Noudettu osoitteesta <https://severi.sahkoinfo.fi/search>

Sähköinfo. (2012). *D1-2012 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista*. Sähköinfo.

Sähkönumerot.fi. (2016). Noudettu osoitteesta <http://www.sahkonumerot.fi/4421016/img/large/color.jpg>

Sähköturvallisuuden Edistämiskeskus ry. (15. 02 2016). *Energiatehokkuutta sähköllä*. Noudettu osoitteesta

Valaistus, valonlähteet: http://www.stek.fi/Energiatehokkuutta_sahkolla/Valaistus/fi_FI/Valonlahteet/

Tenmars, E. (10. 02 2016). *Light Meter*. Noudettu osoitteesta

http://tenmars.com/proimages/sr/09_%E7%85%A7%E5%BA%A6%E9%8C%B6/TM-

[209%E6%8B%B7%E8%B2%9D.jpg](http://tenmars.com/proimages/sr/09_%E7%85%A7%E5%BA%A6%E9%8C%B6/TM-209%E6%8B%B7%E8%B2%9D.jpg)

LIITE 1: VALAISTUSVOIMAKKUUDEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Mittauspöytäkirja

Kohde	Esimerkkikohde
Mittauspäivä	25.4.2015 klo 15->

Mittauspiste	lux	
	Mittari 1	Mittari 2
1	470	470
2	373	369
3	317	315
4	2440	2550
5	684	681
6	531	535
7	540	557
8	1387	1394
9	240	237
10	263	258
11	320	328
12	314	313
13	181	187
14	322	310
15	444	434
16	460	440
17	711	721
18	790	807
19	246	247
20	410	403
21	284	279
22		
23	191	192

LIITE 2: VALAISTUSVOIMAKKUUDEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Mittauspöytäkirja

Kohde	Esimerkkikohde
Mittauspäivä	7.5.2015 klo 14.30-15.30

Mittauspiste	lux	
	Mittari 1	Mittari 2
1	450	
2	450	
3	202	
4	2430	
5	634	
6	422	
7	556	
8	1015	
9	218	
10	240	
11	200	
12	134	
13	180	
14	298	
15	375	
16	522	
17	1010	
18	1050	
19	290	
20	137	
21	187	
22	358	
23	255	

LIITE 3: VALAISTUSVOIMAKKUUDEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Mittauspöytäkirja

Kohde	Esimerkki- kohde
Mittaus- päivä	12.5.2015 klo 22.50-23.30
Mittaaja:	1

Mittaus- piste	lux
	Mittari 1
1	160
2	151
3	68
4	73
5	194
6	153
7	191
8	51
9	69
10	101
11	57
12	81
13	103
14	135
15	181
16	190
17	83
18	68
19	154
20	80
21	73
22	142
23	187

Mittauspöytäkirja

Kohde	Esimerkkikohde
Mittaus- päivä	12.5.2015 klo 22.50-23.30
Mittaaja:	2

Mittaus- piste	lux
	Mittari 1
1	158
2	158
3	122
4	77
5	202
6	161
7	191
8	71
9	129
10	117
11	74
12	49
13	107
14	138
15	188
16	183
17	85
18	88
19	164
20	80
21	93
22	144
23	201

LIITE 4: VALAISTUSVOIMAKKUUDEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Mittauspöytäkirja

Kohde	Esimerkkikohde
Mittaus-päivä	29.12.2015 klo 19.20-19.40

Mittaus-piste	lux
	Mittari 1
1	153
2	146
3	100
4	52
5	191
6	128
7	191
8	60
9	112
10	97
11	97
12	96
13	88
14	130
15	170
16	193
17	67
18	82
19	128
20	120
21	80
22	133
23	191