

# Tehokas valaistus vertailukelpoisella valaistussuunnitelmalla

Henry Mattila

Opinnäytetyö

Elokuu 2020

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Mattila, Henry	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Elokuu 2020
	Sivumäärä 61	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Tehokas valaistus vertailukelpoisella valaistussuunnitelmalla</b>		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikka		
Työn ohjaaja(t) Vesa Hytönen, Marjukka Nuutinen		
Toimeksiantaja(t) Ledistys Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Ledistys Oy. Ledistys valmistaa pitkäikäisiä ja valotehoisia ledivalaisimia pääasiassa maatalouden ja teollisuuden yrityksille. Ledistys Oy tekee valaisimien lisäksi kattavaa valaistussuunnittelutyötä yrityksille. Opinnäytetyön tarkoituksena on lisätä tietoisuutta valaisimista, valaistussuunnittelusta ja valaistuksen hyödyistä.</p> <p>Opinnäytetyön aikana otettiin yhteyttä maatalouden ja teollisuuden yrityksiin ja kartoitetaan heidän tietämystään ja tarpeitaan valaistukselle. Työssä otettiin myös yhteyttä valaistuksen asiantuntijoihin ja kyseltiin heiltä Suomen yritysten tietämyksestä valaistuksen hyödyistä. Haastatteluissa huomattiin mahdollisuuksia uusien tekniikoiden hyödyntämiselle valaistuksessa.</p> <p>Haastattelut osoitettiin yrityksille, joilla on ollut käytössään ledivalaisimet yli vuoden ajan. Joukko valittiin, jotta voitaisiin saada riittävästi numerodataa valaistuksella saatavista hyödyistä. Tutkimuksessa keskityttiin suurilta osin maatalousyrityksiin, sillä maidontuotannon tiloilta voidaan suoraan saada vertailtavaa tietoa uudesta ja vanhasta valaistusratkaisusta.</p> <p>Haastatteluiden perusteella luotiin ohjeistus tehokkaalle valaistukselle teollisuus ja maatalous kohteisiin. Ohjeistuksessa otetaan huomioon tärkeimmät tekijät, joilla voidaan saada parhaimmat energiahyödyt. Suurimpiin energiahyötyihin luetaan tuotannolliset ja terveydelliset hyödyt. Ohjeistuksessa otetaan huomioon kuitenkin myös muita näkökulmia, kuten: työskentelymukavuus, tilojen näyttävyys ja immuniteetin nousu.</p> <p>Tuloksena saatiin kumpaankin toimintaympäristöön valaistusratkaisuiden vertailutaulukko. Taulukossa voi verrata nykyistä valaistusta kahteen muuhun valaistusratkaisuun. Vertailutaulukoiden pohjalta on tehty pisteytystaulukot yksinkertaistamaan tuloksia.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Valaistusohje, ledivalaisin, ledivalaistus, valaistussuunnittelu, valaistusvertailu		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Mattila, Henry	Type of publication Bachelor's thesis, JAMK	Month Year August 2020 Language of publication: Finnish
	Number of pages 61	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Efficient lighting with comparable lighting designing</b>		
Degree programme Bachelor's Degree programme in Energy and Environmental Technology		
Supervisor(s) Vesa Hytönen, Marjukka Nuutinen		
Assigned by Ledistys Ltd		
Abstract  <p>The thesis was assigned by Ledistys Ltd. Ledistys Ltd is a LED-lighting manufacturer. The company focuses on delivering long term and powerful LED-lights for industrial and agricultural companies. The company also delivers professional level lighting design service. The main goal of the thesis was to increase awareness about lighting, lighting design and the benefits of good quality lighting.</p> <p>The thesis was created on the information gathered through a survey about the knowledge and requirements of lighting in agricultural and industrial companies. A different survey was introduced to the professionals in the lighting industry. The professionals were asked about lighting knowledge in Finnish companies. The surveys showed possibilities for new technologies to be used in lighting solutions. Nowadays quality lighting solutions are achieved with LED-lighting solutions.</p> <p>A company was considered suitable for an interview if it had experience at least one year of using LED-lighting. The survey group was chosen to get numeric data on the benefits of quality LED-lighting. The study concentrated more on the survey made for agricultural industry because dairy farms could easily provide information about yielding milk before and after the lighting renovation.</p> <p>After all companies and professionals of lighting had been interviewed an introduction for a new quality lighting was made for target group from the information gathered. This helps a company to design the best possible energy efficient lighting solution, which includes the working efficiency and the wellbeing of workforce. The outline covers effects on human immunity factors, the looks of the premises and the effects on the workflow.</p>		
Keywords/tags (subjects) LED lighting, LED light, lighting outlines, lighting design, lighting solution comparison		
Miscellaneous (Confidential information)		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>3</b>
1.1	Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet .....	3
1.2	Kehittämismenetelmä.....	4
<b>2</b>	<b>Tehokas valaistus</b> .....	<b>5</b>
2.1	Kohdeympäristöt .....	6
2.2	Valaistussuunnittelu DIALux evo 9 -ohjelmalla .....	8
2.3	Valaistustekniset suureet ja määritelmät .....	11
<b>3</b>	<b>Työn toteutus</b> .....	<b>15</b>
3.1	Haastatteluiden luonti .....	16
3.2	Tietolähteet .....	18
3.3	Kyselyn tulokset .....	19
3.4	Laadukkaan valaistuksen laatiminen .....	23
3.5	Valaistusohjeen laadun varmentaminen .....	31
<b>4</b>	<b>Työn tulokset</b> .....	<b>32</b>
4.1	Saadun tiedon hyödyntäminen .....	32
4.2	Vertailutaulukko .....	33
4.3	Tavoitteet .....	35
<b>5</b>	<b>Pohdinta</b> .....	<b>36</b>
5.1	Miten opinnäytetyö onnistui.....	36
5.2	Tulosten luotettavuus .....	37
5.3	Jatkokehitysehdotukset .....	38
	<b>Lähteet</b> .....	<b>39</b>
	<b>Liitteet</b> .....	<b>41</b>
	Liite 1. Nopea ohje tehokkaalle valaistukselle.....	41
	Liite 2. Ote standardista SFS EN 12464-2011 .....	42
	Liite 3. Kyselyt .....	43
	Liite 4. Vertailumallinnus.....	44

Liite 5. Heijastussuhteiden muutos.....	45
Liite 6. Valon aleneman korjauskertoimen muutos.....	46
Liite 7. Reuna-alueiden muutos .....	47
Liite 8. Kaikkien arvojen muutos .....	48
Liite 9. Valaistuskäyrät samalla tavalla, kuin vertailumallinnuksessa.....	49
Liite 10. Varjostava tekijä, 4000 luumenin valaisimet.....	50
Liite 11. Varjostava tekijä, 10000 luumenin valaisimet.....	51
Liite 12. Varjostava tekijä, 16000 luumenin valaisimet.....	52
Liite 13. Varjostava tekijä, asennus keskelle tilaa .....	53
Liite 14. Vertailtavien arvojen taulukko.....	54
Liite 15. Pistetaulukko maatalouden kohteisiin.....	55
Liite 16. Pistetaulukko teollisuuteen .....	56

## **Kuviot**

Kuvio 1. Yksinkertaisen tilan automaattisuunnittelu DIALux:lla. ....	9
Kuvio 2. Valaistusvoimakkuus ja valovirta.....	12

## **Taulukot**

Taulukko 1 Valon aleneman laskenta .....	10
--	----

# 1 Johdanto

## 1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Ledistys Oy on vuonna 2012 aloittanut LED-valaisintoimittaja. Yrityksen strategiana oli ensiksi tuoda Kiinasta LED-valaisimia. Strategiaan tuli kuitenkin muutos vuonna 2014, jolloin yritys alkoi itse valmistaa valaisimia. Siitä lähtien runko on pysynyt samankaltaisena, mutta sisältö on kehittynyt. Komponentit saavat vuosittain parannuksia energiantehokkuuteen liittyen. Valaisimet ovat yksi osa Ledistys Oy:n toimintaa. Ledistys Oy tekee kattavat valaistussuunnitelmat valaisimillaan ja lopputuloksena on kirkas ja toimiva työympäristö.

Ledistys Oy:n asiakkaita ovat pääasiassa teollisuuden ja maatalouden kohteet. Yrityksen kilpailuetuna on valaistussuunnitteluun panostaminen, vankkarakenteiset valaisinmallit ja valaisinten pitkäikäisyys.

Ledistys Oy:ssä oli huomattu, etteivät kaikki teollisuuden ja maatalouden yritykset ole tietoisia niistä mahdollisista hyödyistä, joita valaistuksella voidaan saada aikaan. Suurella osalla on tietoa kyllä LED-valaistuksen tuomista säästöistä sähkön kulutukseen. Tämän päivän LED-valaistus pystyy kuitenkin tekemään paljon muutakin. Hyödyt ovat useimmiten niin suuria, että ne kattavat uuden valaisin saneerauksen kustannukset. Hyödyt tulevat myös tarpeen tehtäessä uudisrakennusta.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on lisätä tietoisuutta paremman valaistuksen tuomista hyödyistä. Opinnäytetyön tehtävä on luoda mahdollisimman kattava opas tehokkaan valaistuksen suunnitteluun. Opas löytyy liitteistä opinnäytetyön loppuosasta. Oppaassa käsitellään mahdollisimman monta asiaa, jotka tulee ottaa huomioon uutta valaistusta suunniteltaessa nimenomaan teollisuus- tai maatalousympäristöön. Opinnäytetyössä käsitellään enimmäkseen muita kuin energiankäyttöön liittyviä hyötyjä, sillä sähköenergiatehokkuus tunnetaan jo hyvin.

Teoria- ja tutkimustiedon lisäksi kokemustietoa haettiin maatalouden ja teollisuuden yrityksiltä sekä valaistuksen asiantuntijoilta. Teollisuus yritykset edustivat mm. konepajoja, puuteollisuutta ja betonteollisuutta. Asiantuntijoita haastateltiin Pro Agrialta, Ledistys Oy:stä, Rambollilta ja Signifylta. Maatalouden yrityksistä useimmat ovat maidontuotannon yrityksiä.

## 1.2 Kehittämismenetelmä

Ollessani töissä Ledistys Oy:llä havaitsin, että suomalaiset teollisuus- ja maatalousyritykset tekevät valaistusratkaisuissa investointeja, jotka eivät ole aina yrityksen edun mukaisia. Havaitsin tarpeen parantaa yritysten tietoisuutta valaistuksesta. Kehittämismenetelmänä käytettiin kyselyä. Kyselyllä pyrittiin löytämään asiakkaiden tarpeita ja tietoutta valaistuksesta.

Työssä tehty kyselyn tutkimusote on sekä kvalitatiivinen sekä kvantitatiivinen. Kvantitatiivinen tutkimus käsittelee määrällistä vastausdataa. Vastaukseksi saadaan samankaltaisia vastauksia useampi. Kvalitatiivinen tutkimusote käsittelee esimerkiksi avoimia kysymyksiä, missä vastaajalla on mahdollisuus vastata kysymykseen omin sanoin. (Kananen 2015, 20)

Tutkimuskysymykseni asetin seuraavalla tavalla: Miten tietoisuutta valaistuksesta voidaan lisätä? Millainen on hyvä ohje uudelle valaistukselle? Kvalitatiivisen näkökulman tutkimukselle tuo kysely, jonka esitin yrityksille. Kysymykset ovat avoimia, joihin voitiin vastata mahdollisimman erilaisella tavalla eri yritysten välillä. Erilaisten yritysten toivottiin antavan mahdollisimman erilaisia vastauksia, jotta kaikki mahdolliset ongelmakohdat tulisi ratkaistua. Avoimet kysymykset testasivat samalla yritysten tietoisuutta valaistuksesta. Kvantitatiivinen tutkimusote tulee kyselyiden määrästä. Kysely esitettiin kymmenelle eri yritykselle. Kysely haluttiin suorittaa useammalle yritykselle, jotta vastauksia voitaisiin verrata ja varmistaa omia ja yrityksen näkemyksiä. Kyselyssä kartoitin remontin tehneiltä yrityksiltä kokemuksia uudesta valaistuksesta. Kaikki yritykset ovat tehneet valaistusremontin LED-valaisimilla. Työssä vertailtiin LED-valaistusta ja valaisimia, jotka ovat jääneet vanhaksi n. 10 vuotta sitten.

Yrityksiltä saatavilla vastauksilla määriteltiin ne asiat, joista yritysten täytyi tietää lisää. Lisätieto auttaa yrityksiä valitsemaan oikeanlaisen valaistussuunnitelman. Väärästä valinnasta valaistuksen suhteen, koituu yritykselle mahdollisesti terveyshaittoja ja ylimääräisiä rahallisia kustannuksia. Kyselyn tavoitteena oli etsiä valaistuksella saavutettavia hyötyjä, jotka eivät suoranaisesti liittyneet sähköenergian säästöön. Potentiaalisiksi kohteiksi totesin käyvän mahdollisimmat suuret kohteet, sillä heillä voisi olla parempaa dataa. Suuremmissa kohteissa on mahdollisuudet tehdä havaintoja valaistuksen saavuttamista hyödyistä.

Kyselyn esitin kymmenelle eri maatalouden- ja teollisuuden yritykselle (liitteet 3,4 ja 5). Yritykset koostuvat suurilta osin Ledistys Oy:n asiakkaista. Valitsin määräksi kymmenen, jotta saadaan hieman käsitystä eri toimialueiden tietämyksestä. Mukana oli myös molemmilta toimialueilta muiden yritysten toimittamia valaistusratkaisuja. Tarkoituksena tällaisessa menettelyssä on varmistaa, että hyödyt saadaan valaistuksesta ja valaistussuunnittelusta eivätkä ole riippuvaisia valaisinvalmistajasta ja -toimittajasta.

## **2 Tehokas valaistus**

Tehokas valaistus on asioita, jotka liittyvät tilan valaisemiseen kattavasti. Tilan valaisemiseen liittyy: valon määrä valaisimista, valon määrä tietyllä pinnalla tai alueella, valon tasaisuus, valotiheys eli luminanssi, heijastussuureet, valon alenemakerroin tai huoltokerroin, häikäisykerroin, valon väri ja väritoisto.

Tehokas valaistus saadaan tilaan, jossa nämä edellä mainitut määreet on otettu huomioon niin, ettei työskennellessä kiinnitä huomiota valaistuksen kattavuuteen.

Useimmiten laadukas valaistus saadaan aikaan lisäämällä tilaan valoa ja tekemällä tilaan suunnitelma, jossa on otettu huomioon tilan käyttötarkoitus. Tehokas valaistus saadaan usein aikaan LED-valaisimilla.

## 2.1 Kohdeympäristöt

Kohdeympäristöinä olivat maatalouden maidontuotannon tilat. Tiloissa useimmiten on pelkästään lypsäviä lehmii, mutta tilanne vaihtelee maatalon mukaan. Maatalon ympäristössä lehmät viettävät suurimman osan ajastaan sisätiloissa Suomessa. Tämä johtuu pitkästä talviajasta, jolloin laitumella ei kasva ruokaa. Sisätiloissa tarvitaan vuorokausirytmii hoitaa keinovalaistuksella, sillä ulkoa tuleva valo ei useimmiten riitä asettamaan oikeanlaista vuorokausirytmii lehmille.

Maitotilalla tarkasteltavana karjana on lypsävät lehmät, sekä umpilehmät. Umpi-lehmä tarkoittaa lehmää, joka on lypsytuolla. Lehmät pitävät välissä tuotantotauon, jonka pituus on noin kuudesta kahdeksaan viikkoa. (Tavoitteena onnellinen umpi-lehmä 2018.)

Umpilehmillä on erilaiset vaatimukset valaistuksen osalta verrattuna lypsäviin lehmii. Valaistuksella voidaan lehmän näköaistia stimuloida samalla tavalla kuin ihmisenkin näköaistia. Valaistuksella voidaan esimerkiksi kohdentaa ruokintapöytä, jolloin lehmä ajautuu syömään. Kun lehmä syö niin se myös tuottaa maitoa. Valaistuksella pääasiassa ylläpidetään lehmän vireystilaa pimeään aikaan. Valaistuksella säädetään kokonaan lehmän vuorokausirytmii, jonka pituudet vaihtelevat lehmän käyttötarkoituksen mukaan.

Lehmälle tulisi olla selkeä vuorokausirytmii, jotta voidaan maksimoida maidontuotanto. Vuorokausirytmii säädellään valaisimilla siten, että eläin tulkitsee alle 50 luksin valon yöksi. Yöksi halutaan tässä tapauksessa määrittellä kahdeksan tunnin jakso ja loput ovat niin sanotusti työtunteja. Vuorokausirytmiiä säädellään valaisimien sijoittelulla, siten että ruokintapöydän päälle asetetaan valaisimet ohjaamaan karjaa oikeaan suuntaan. (Vuorio 2020.)

Lypsylehmille määrittellään riittäväksi valomääräksi standardin mukaan yli 200 luksia maituhuoneeseen (SFS-EN-12464-1-2011). Muuten karjarakennuksessa vaaditaan 50

luksia. Laadukkaalla valaistuksella voidaan saavuttaa 6 %:n lisääntyminen maidontuotannossa. Vertailukohteena on riittämätön valaistus, joka jää alle 200 luksin. (Photo-period Management of Dairy Cattle 2016.)

Jokaiselle eläintyypille voidaan asettaa oikeanlainen valaistus eläimen käyttötarkoituksen mukaan. Lypsylehmät tarvitsevat 16 tuntia työtä ja kahdeksan tuntia unta. Umpilehmälle tarvitaan kahdeksan tuntia päivää ja 16 tuntia unta. Onnistunut valaistusratkaisu syntyy, kun eläinten, valaisimien ja suunnitelman tarpeet on otettu huomioon. (Karlström 2019.)

Maatalousympäristössä pyritään saamaan mahdollisimman lyhyt poikima-aika. Kiima-ajan tarkkailu voidaan havaita hyvässä valossa parhaiten. Kiimojen määrittäminen auttaa koko maatilaa ohjaamista. Lehmät pääsevät kiimaan nopeammin, kun maatilalla on kiimalle otolliset tilat. Vasikoiden lisääntyminen takaa tilan toimimisen tulevaisuudessa.

Toisena kohdeympäristönä oli teollisuuden yritykset. Kohdeympäristöinä oli erilaisia tuotantotiloja ja pienempiä korjaamoja. Tarkastelemissani teollisuuden yrityksissä tuotettiin moottoriosia, metallitavaraa, betonielementtejä, vaneria ja puutuotteita. Ympäristöissä valaisimet altistuvat monille rasitteille, kuten tärinälle, kuumalle ilmalle ja likaantumiselle. Teollisuuden yrityksissä valaistukselle asetetaan vaatimuksia, kuten koneiden näkyvyys, koneiden ympäristön näkyvyys, tehtävän työn mahdollistaminen riittävällä valon määrällä ja energiatehokkuus.

Kohdeympäristöissä käytetään tällä hetkellä purkauslamppuja: monimetalli- ja suurpainenatriumlamppuja (SPNA). Loisteputkivalaisimet ovat myös erittäin yleisiä mainituissa tämän opinnäytetyön kohdeympäristöissä. Purkauslamput tuottavat oranssia tai vaaleaa valoa. Monimetallivalaisin tuottaa vaaleaa valoa ja SPNA-lamppu tuottaa oranssia valoa. Purkauslamppuista saadaan paljon valoa, mutta niillä on hyvin hidas syttymäaika. Hitaasta syttymäajasta saattaa talvisaikaan aiheutua ongelmia, sillä teollisuuden ympäristössä työntekoon tulee pysäytys. Maatalouden ympäristössä puolestaan lehmät saattavat villiintyä ja loukata itsensä. (Perustietoa valaistustekniikasta. n.d.).

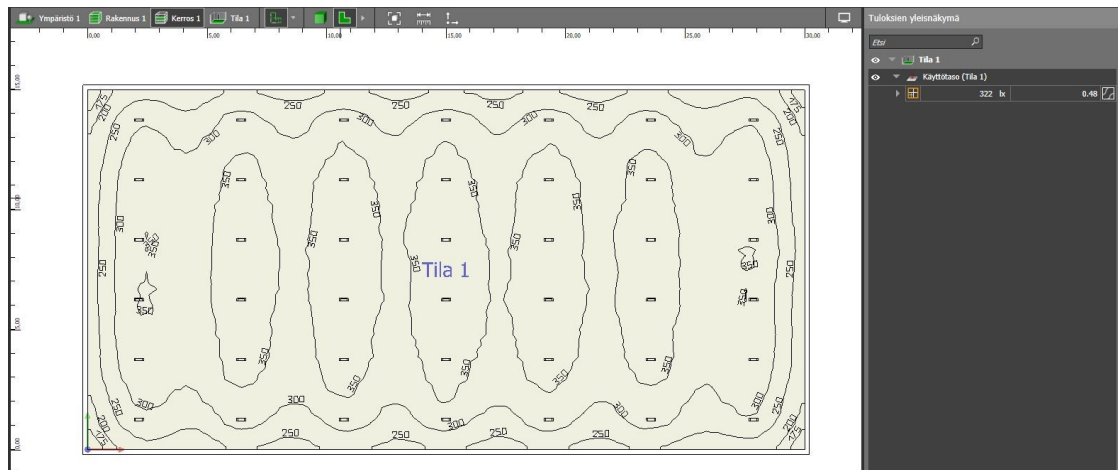
## 2.2 Valaistussuunnittelu DIALux evo 9 -ohjelmalla

Valaistussuunnittelussa puhuttaessa viitataan suunnitteluun, joka on luotu valaistus-suunnitteluohjelmalla. Tässä opinnäytetyössä käytettiin DIALux evo 9:ä. DIALux on tarkoitettu sisä- ja ulkovalaistuksen suunnitteluun. Ohjelmalla voidaan mallintaa kohteen ympäristö sekä sisätilat selkeästi käyttäen ohjelmaan ladattuja valaisimien tietoja. Ohjelmasta on saatavilla ilmaisversio, joka on tällä hetkellä DIALux evo 9 (DIALux is the software for your professional lighting design 2020).

DIALux-ohjelman päätavoite on antaa vastaus kysymykseen: Miltä valaistus tulisi näyttämään, jos käytössä on tietty määrä valaisimia? Ohjelmaan ladataan valaisimet, joita suunnittelussa halutaan käyttää. Ohjelma osaa haluttujen valaistusvoimakkuuden ja valaistusvoimakkuuden tasaisuuden arvojen perusteella asetella valaisimet tilaan automaattisesti. Automaattinen valaisimien sijoittelu voidaan suorittaa joko valon määrän perusteella tai valon tasaisuuden perusteella.

Automaattinen sijoittelu käyttää ladattujen valaisimien tietoja tuottaakseen tilanteen, jossa oletusarvot täyttyvät. Oletusarvona mittauskorkeudelle on 80 cm. Sijoittelun jälkeen voidaan suorittaa laskelma. Laskelmasta voidaan nähdä tarkastelutasolle tuleva keskimääräinen valaistusvoimakkuus ja tasaisuus. Kuviosta 1 nähdään ohjelman antamat suureet laskennan jälkeen. Oikealla ylä laidassa keskimääräinen valon tasaisuus laskettuna minimi valaistusvoimakkuuden suhteesta keskimääräiseen valaistusvoimakkuuteen ja keskimääräinen valaistusvoimakkuus sekä suuremmissa kuvassa valon jakautuminen alueittain. DIALux laskee valon tasaisuuden minimin ja koko tilan keskiarvon valaistusvoimakkuuksista.

Ohjelmaan voi tuoda omat valaisintiedot LDT-tiedoston avulla. LDT-tiedoston nimi viittaa Luminaire Data Fileen. Tiedostosta käytetään nimeä valonjakotiedosto. Valonjakotiedosto voidaan luoda valaisimesta saatavan valonmittauksen yhteydessä. Valonmittauksia tekeviä yrityksiä löytyy Suomesta. Valaisimen valomittauksen jälkeen voidaan saatua LTD-tiedostoa muokata LDT-editorilla. (LDT Editor is the tool for viewing and editing basic data in LDT-files n.d.; Vuorio 2020.)



Kuvio 1. Yksinkertaisen tilan automaattisuunnittelu DIALux:lla.

Valaistusta suunniteltaessa DIALuxissa on arvoja, joita voidaan muuttaa suunnitelmassa täsmäämään oikeata tilannetta kentällä paremmin. Suunnittelussa muutettavia suureita ovat valovirran aleneman huoltokerroin, reuna-alueet, mittauskorkeus ja heijastuskertoimet.

Valovirran alenemalla tarkoitetaan ledin valovirran pienenemistä sen elinaikana. ledi heikkenee, kun siitä virtaa sähköä läpi. DIALuxissa on asetus, jolla voidaan kompensoida esimerkiksi ledin heikkenemistä. Kyseistä arvoa kutsutaan huoltokerroimeksi. Huoltokerroin on luku 1, kun valon alenemaa ei oteta huomioon. Huoltokerroimen suuruuteen vaikuttaa myös valaisimen kuvun likaantuminen ja tilan pintojen likaantuminen. Tilanteessa, missä valon huoltokerroimelle annetaan arvo, joka on pienempi kuin yksi, saavuttaa valaisin suunnitellun valonvoimakkuuden vasta tietyn ajan kuluessa. (ST 57.40, 2017, 4.)

Valon aleneman huoltokerroin lasketaan jokaiselle valaisimelle erikseen. Myös tilan aiheuttama valon alenema vaikuttaa huoltokerroimen suuruuteen. Huoltokerroimen laskennassa käytettäviä vaikuttavimpia arvoja ovat: valaisimen valovirran alenema päätettyyn osuuteen asti, itse valaisimen alenemakerroin ja tilan alenemakerroin. (CLO ja L100 – ympäristöystävällinen ja taloudellinen valinta n. d.)

LED-valaisimille on käytössä L-kerroin, jota käytetään valaisimen huoltokerrointa laskettaessa. L-kerroin määrittää sen osuuden valovirrasta, joka on jäljellä tietyn käyttöajan jälkeen. L-kerrointa kutsutaan valovirran alenemaksi. Ledistys Oy:llä L-kertoimena käytetään 90 %:a, kun käyttöaika on 100000 tuntia (MODULED MDL801 MITAT JA TEKNISET TIEDOT 2020.). 90 % kuvaa valovirran suuruutta, kun käyttöaika on ylittynyt. Huoltokerroin määritellään yleensä vain ledin valovirran aleneman kompensoimisena, mutta valovirta voi alentua myös valaisimen tekniikan vuoksi. Esimerkiksi lika on yksi valovirtaa heikentävistä tekijöistä. LED-valaisimen alenema on usein pieni, sillä valaisimet valmistetaan Suomessa laadukkaista osista, kuten alumiinista. Ledistys Oy:n valaisimissa alenema on 1. Suurempi arvo on parempi. Lopuksi huoltokertoimen laskentaan otetaan tilan vaikuttamat tekijät. Maitotilalla on hyvin todennäköistä tilan likaantuminen. Likaantumisen kertoimena Fagerhult käyttää arvoa 0,94. Koko huoltokertoimen laskentataulukko löytyy taulukosta 2.

Taulukko 1. Valon aleneman laskenta (CLO ja L100 – ympäristöystävällinen ja taloudellinen valinta n. d.)

	<b>L80</b>	<b>L100</b>
Valovirran alenema (LLMF)	x 0,80	x 1,00
Valonlähteen eloonjäämiskerroin (LSF)	x 1,00	x 1,00
Valaisimen alenemakerroin (LMF)	x 0,94	x 0,94
Huonetilan alenemakerroin (RSMF)	x 0,95	x 0,95
Huoltokerroin (MF)	= 0,71	= 0,89

Reuna-alueet määrittävät seinästä pois otettavan alueen määrän. Reuna-alueet pois luetaan DIALuxin valaistuslaskennasta. Tällöin valaistuslaskennan tulos näyttää paremmalta valaistusvoimakkuuden ja sen tasaisuuden osalta, koska seinien edustat jäävät usein hämärämmäksi kuin tilan keskiosat.

Heijastuskerroin määrittää valon määrän heijastumisen prosentteina. Oletusasetuksena on lattialle 30 %, seinille 50 % ja katolle 70 %. DIALux asettaa tilojen oletusasetukseksi tasakaton. Mallinuksissa täytyy ottaa huomioon tilan todellinen muoto, sillä harjakattoinen tila heijastaa eri lailla valoa kuin tasakattoinen.

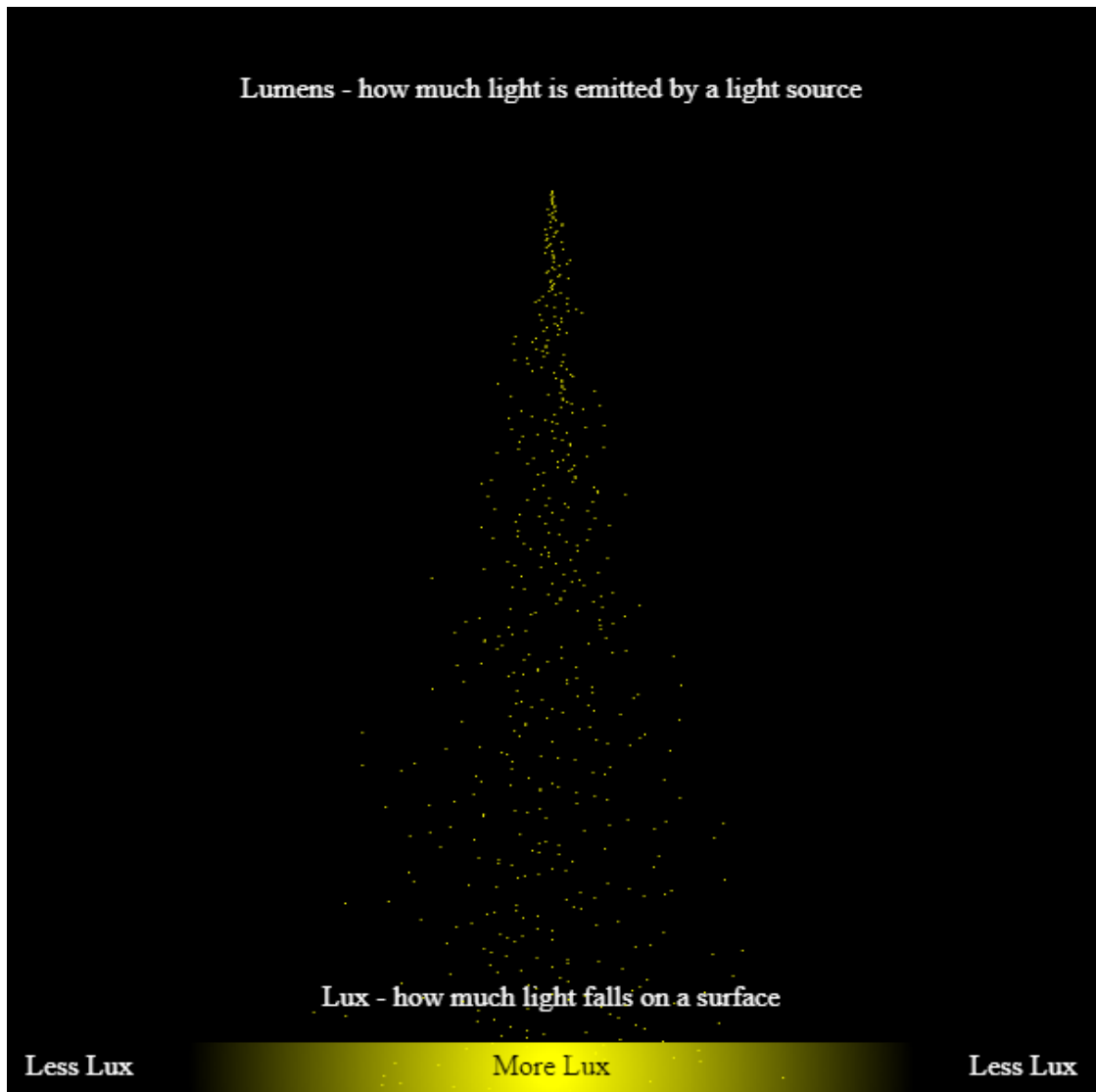
## 2.3 Valaistustekniset suureet ja määritelmät

Nykyään laadukkaalta valaistukselta vaaditaan tiettyyn tilaan ja käyttötarkoitukseen pääasiassa riittävästi tasaista valoa, joka ei häikäise työntekijää. Sisävalaistusstandardissa SFS-12464-1-2011 on määritelty riittävä valaistusvoimakkuus 80 cm:n korkeudelle lattian pinnasta. Lisäksi on määritetty oikeat värikerroin eli  $R_a$ -kerroin, häikäisyindeksi eli UGR, valaistusvoimakkuuden tasaisuus ja lopuksi valaistusvoimakkuus eli luksit päätetyllä mittauskorkeudella. Mittauskorkeus asetetaan toimintaympäristöön ja tarkoitukseen sopivaksi esimerkiksi navetassa lehmän pään korkeus voidaan asettaa mittauskorkeudeksi.

Seuraavat suureet tulevat LDT-tiedoston mukana DIALuxiin mallinnettaessa valaistusta. Suureet ovat esimerkiksi: valaisimen  $R_a$  tai CRI eli värintoistoindeksit, valaisimen valovirta ja kyseisen valaisimen 3D-malli. Kohteeseen mallinnettavia muuttujia ovat esimerkiksi kohteen pinta-ala, muoto sekä seinien, lattian ja katon heijastussuhteet. Ohjelmassa on jokaiselle muuttujalle annettu oletusarvot. (ST 57.40, 2017, 3.)

Valaistusvoimakkuuden (E) yksikkö on luxi (lx). Luxi kertoo valon määrän valitulla pinnalla. Valonvoimakkuudesta voidaan käyttää myös käsitettä ”valon intensiteetti”. Valon määrää valonlähteestä kutsutaan valovirraksi ( $\emptyset$ ), joka mitataan luumeneissa (lm). Valaistusvoimakkuus ja valovirta ovat havainnollistettu kuviossa 2. (ST 57.40, 2017, 2.)

Värintoistokyky kertoo 0–100 asteikolla valaisimen kyvystä toistaa värejä verrattuna hehkusäteilijään.  $R_a$ -indeksi kertoo arvon kahdeksan väripisteen avulla ja CRI-indeksi tuotetaan puolestaan 15:stä eri väripisteen havaittavuudesta. Usein kuitenkin valaisimissa ilmoitetaan  $R_a$ - indeksi. (ST 57.40, 2017, 3; Sanna Salmela 2017.)



Kuvio 2. Valaistusvoimakkuus ja valovirta

Valon tasaisuudella on suuri merkitys valaistuksen suunnittelussa. Standardissa määritellään tasaisuus ( $U_0$ ) keskimääräisen valaistusvoimakkuuden ja maksimivalaistusvoimakkuuden suhteena (ST 57.40, 2017, 6). DIALux laskee kuitenkin arvon minimi- ja maksimi valaistusvoimakkuudesta.

Valon väriämpötilalla kerrotaan valon väri kelvineinä. Vertailuasteikko on luotu hehkusäteilijästä, joka loistaa tietyn väristä valoa kyseisessä lämpötilassa. Esimerkiksi alle 3300 kelvinin lämpötilassa hehkusäteilijä loistaa lämpimän väristä valoa. Yli 5300 kelvinin valo vaikuttaa kylmän väriselle. Päivänvalon väriämpötila asettuu 5500-6000K väliin. (ST 57.40, 2017, 3; Perustietoa valaistustekniikasta n.d.)

Kiusahäikäisystä käytetään termiä UGR (unified glare rating). Kiusahäikäisystä kerrotaan tässä yhteydessä hyvin vähän, sillä tämän opinnäytetyön käyttöympäristöissä valaisimet sijoitetaan niin, korkealle ettei katosta aiheudu häikäisyä toimintatiloihin. Häikäisylukema on viiden ja neljäkymmenen välillä. Matalampi on parempi. Pienempi lukema kuin 10 UGR ei tuota näkyvää häikäisyä ja 30 on jo liikaa. Standardissa mainitaan kullekin tilalle maksimi häikäisykerroin. (Glare and UGR 2018.)

Valon värilämpötilalla (K) on suuresti merkitystä niin ihmisille kuin eläimillekin käyttötarkoituksen mukaan. Esimerkkinä lehmät eivät näe tarkasti punaisen väristä valoa. Navetoissa voidaan käyttää punaista valoa yöaikaan, eikä lehmien vuorokausirytmii ei pääse rikkoutumaan öisin. Navetassa kuitenkin karja näkee sen verran, etteivät panikoi. Tarvittaessa samalla ihminen näkee toimia navetassa. Sinisen valon voi erottaa tarkasteltaessa 5000K väristä valoa tuottavaa valaisinta. Sinistä valoa voi käyttää esimerkiksi autoteollisuudessa valaistaessa auton kylkeä, jolloin nähdään tummassa auton pellissä olevat naarmut selkeämmin. Selkeyteen vaikuttaa myös valon intensiteetti eli valaistusvoimakkuus tarkasteltavalla pinnalla.

Parhaaksi valoväriksi vuorokausirytmien määrittämiselle sopii mahdollisimman luonnonmukainen valon väri. Opinnäytetyössä on käytetty LED-valaistusta ja valoväri on ollut päivänvaloa mukaista. Valaisimien värilämpötila on 4000K, joka vastaa päiväsaikaan saatavaa valkoista valoa. Valon määrän eli valaistusvoimakkuuden vaikutus on suurimmassa osassa tehokkaan valaistuksen määrittelyssä. Valaistusvoimakkuuden tasaisuus vaikuttaa myös suuresti eläinten käyttäytymiseen. Esimerkiksi tilanteessa, jossa valaisimet on asennettu eläinten taakse ja ruokintapöydän ruoka jää varjoon. Varjot voivat saada eläimen ruokailuhalut laskemaan. Tilanne voidaan kuitenkin ratkaista asentamalla ruokintapöydälle omat valaisimet, joilla valaistus pidetään tasaisena.

Ihmisten aivoihin voidaan valaistuksen kautta vaikuttaa silmien välityksellä. Silmän reseptorit ottavat kukin vastaan tietynlaisen valospektrin. Valaisimen valospektrillä voidaan määrittää silmän aktivoitumistaso. Samsung Electronics on kehittänyt tuotantoon syaanin väristä valoa tuottavan LED-kortin. LED-kortti on piirilevy, minkä pin-

nassa ledit ovat. Ledin syaanin värisellä valolla on tarkoituksena vähentää melatoniinin tuotantoa. Alentuneella melatoniinin tuotannolla voidaan ohjata vuorokausirytmisiä. Samsung Electronics kertoo heidän uuden ledikomponenttinsa pystyvän supistamaan melatoniinin tuotannon 18 prosenttia matalammaksi verrattuna tavalliseen LED-valaistukseen. (Samsung Electronics Unveils Its First Family of 'Human-centric' LED Components to Enhance Indoor Lifestyles 2020.)

Tekniikkaa voitaisiin käyttää esimerkiksi kolmivuorotyössä, jossa väsymys uhkaa helposti työntekoa. Tällaisessa tilanteessa asennettaisiin LED-valaisimet, joilla saadaan tuotettua valoa, joka estää suurimman melatoniinituotannon ihmisellä. Samaa voitaisiin käyttää eläimiinkin. Maidontuotannossa olisi mahdollista aktivoida lypsykarjaa vieläkin enemmän. Maidontuotanto voi nousta jopa 10 % loisteputkivalaisimiin verrattuna (Karlström 2019.).

### **Valaistuksen ohjattavuus**

Ohjauksilla tarkoitetaan valaisimen ohjattavuutta. Valaisinta voidaan ohjelmoida käyttäjän tarpeen mukaan. Ohjauksia on monenlaisia kuten: ajastin säätö, vakiovalosäätö ja valaisimeen itsessään vaikuttava säätö CLO ”Constant Light Output” eli vakiovalovirta (CLO ja L100 – ympäristöystävällinen ja taloudellinen valinta n. d.). Teollisuus ja maatalousympäristöissä on käytössä LED-valaisimia, joiden ”draiverissa” eli ajurissa on ohjelmoitu vakiovalovirta säätö. Vakiovalovirta pyrkii tasoittamaan LED-yksikön valovirran alenemisen. Valaisimet säädetään uutena tuottamaan 80 % kokonaisvalotehosta (Vuorio 2020.). Ajan myötä valotehoa lisätään pikkuhiljaa, jolloin valon heikkenemistä ei huomaa.

Vakiovalosäätö on noussut tämän hetken trendiksi maatalouksissa erityisesti. Kyseisellä säädöllä on tarkoitus säästää valaisimien palamisaikaa ottamalla huomioon ulkoa tuleva auringonvalo. Vakiovaloanturi sijaitsee valmistajan mukaan vaihdellen valaisimen vieressä, tilan sovitussa paikassa tai ulkoilmassa mittaamassa auringosta tulevaa valoa. Anturin sijoittaminen on tärkeää sillä ulos laitettavat anturit eivät välttämättä kerro tarkalleen sisällä vallitsevaa tilannetta. Sisälle laitettavat anturit antavat selkeimmän kuvan sisätilan valomäärästä. Anturi lisää syöttöä valaisimiin tullessa pimeää ja päivän koittaessa päinvastoin. Anturista saatavan signaalin käyttö vaihtelee

valmistajan mukaan. Esimerkkeinä on portaattomasti valaisinta säätäviä malleja ja sellainen anturi ja valaisin yhdistelmä, jossa anturi sammuttaa koko rivin valaisimia kirikkaassa valossa ja illan tullessa taas päinvastoin. Tällainen valaisimen sammuttava säätö aiheuttaa suuren portaan valaistusvoimakkuuteen ja saattaa luoda tehottoman ympäristön esimerkiksi navetan eläimille, vaikka säästäisikin sähköenergiaa.

Ajastusohjaus syntyy, kun kytkentään liitetään kellokytkin tai ohjelmalla asetetaan käyttöajat. Käyttöajat määritellään usein vastaamaan eläinten tai ihmisten tarpeita. Käyttöajan ohjattavuudella navetassa voidaan säätää lehmien uni ja työskentelyajat automaattisesti. Työntekijöiden ei siis tarvitse itse käsin sammuttaa ja sytyttää valoja.

### **3 Työn toteutus**

Yrityksillä oli yleisesti tietoa LED-valaisimilla saatavista energiatehokkuuteen liittyvistä hyödyistä. Yleisenä tietona valaisimista on, että LED-valaisimet tuottavat enemmän valoa wattia kohden kuin muut valaisinmallit. Muita käytössä olleita valaisintyyppisiä ovat monimetalli, suurpainenatrium ja loisteputkivalaisimet. Suurella osalla maatalouden yrityksistä oli purkauslamppu valaisimien kanssa ongelmia. Sähkökatkoksen sattuessa valaisimet ovat pitkän aikaa pimeinä, sillä monimetallivalaisin täytyy jäähtyä sammumisen jälkeen. Myös SPNA-lampulla kestää pitkän aikaa syttyä täyteen tehoon. Suurella osalla on myös käytössä loisteputkivalaisimet, joilla ei ole niin suuri valaisuteho, mutta syttyvät nopeasti ja sopivat tällöin matalampiin tiloihin.

Tavoitteena opinnäytetyössä oli tuoda esille LED-valaisimien vahvuuksia verrattuna esimerkiksi loisteputkiin ja purkauslampuihin. Uudella valaistuksella yritykset onnistuisivat tekemään huomattavasti enemmän. Tavoitteena oli myös kartoittaa yritysten tietoisuutta valaistuksesta. Tietoisuutta testattiin kyselyllä, jossa kyselin uudistetun valaistuksen vaikutuksista työn tehokkuuteen sekä työnlaatuun.

Kysely esitettiin yrityksille, joiden tuotantotilat olivat uudistettu yli vuosi sitten. Näin mahdolliset hyödyt olisivat havaittavissa. Yritykset, joilla LED-valaistus olisi ollut näin kauan, olivat kuitenkin vähemmistöä. LED-valaistus on yrityskäytössä uusi asia ja tullut viime aikoina huomattavasti edullisemmaksi vaihtoehdoksi esimerkiksi loisteputkien rinnalla.

Kohdeyritykset ovat suuriltaan Ledistys Oy:n asiakkaita. Kohdeympäristöjä oli metalliteollisuudesta, korjaamoyrityksiä sekä maatalouden yrityksiä. Haastatteluun osallistui myös valaistuksen asiantuntijoita. Maatalouden yrityksiltä pyrittiin saamaan tietoa liittyen maidontuotannon määriin, sillä siten voitaisiin verrata uudistetun ja vanhan valaistuksen eroja.

### 3.1 Haastatteluiden luonti

Ensiksi haastattelut luotiin teollisuuteen. Kohteina oli Ledistys Oy:ltä saadut teollisuuden yritysasiakkaat. Kysymyksillä pyrittiin löytämään valaistuksella saavutettuja hyötyjä vanhempaan valaistukseen verrattuna. Kysely kaikille tahoille löytyy liitteestä 3.

Kysymykseni yrityksille ovat: Millainen valaistus oli ennen verrattuna nykyiseen? Minkälaiset syyt perustelivat valaistusremontin tarpeellisuuden? Kysyin myös, että onko rakennusta vaihdettu valaisin remontin yhteydessä. Ensimmäiset kysymykset toimivat antamaan kuvaa toiminta alueesta ja sen tarpeista. Kartoitan myös tässä vaiheessa hieman yrityksen historiaa, jotta voin saada käsityksen mahdollisen valaistuksen hyödyistä tullutta dataa. Mitä vanhempi yritys sitä enemmän heillä on dataa vanhasta sekä uudesta tilanteesta.

Toisekseen kysyin valaistuksen mielialaan vaikuttavista tekijöistä, joista Mikael Kopperoinen on myös maininnut opinnäytetyössään (Kopperoinen. 2020.). Työntekijöiden mieliala vaikuttaa suoraan tehtyyn työhön ja sen tulokseen. Mielialaan vaikuttaa valaistuksen kautta valon laatu, toimitilojen siisteys ja näiden kautta työnteki-

jän sairastelu. Lisääntynyt valomäärä voi aiheuttaa tekijöitä, jotka eivät olleet toivotu-  
tuja valaistusremontin yhteydessä. Tutkintani kohteena olevat tilat eroavat toimisto-  
tiloista esimerkiksi likaisuutensa puolesta.

Lopuksi keskusteltiin vielä valaistusratkaisun toimittajasta. Kysyin toimitetuista valai-  
simista toimivuutta ja myös sitä, että miten valaisimet oli suunniteltu laitettavaksi ti-  
loihin. Valaisinten oikeanlaisen suunnittelun avulla saadaan valosta otettua hyödyt  
irti. Teollisuuden haastatteluiden jälkeen halusin kuulla valaistuksen asiantuntijoilta  
näkemyksiä nykypäivän valaistus tietämyksestä, sekä valaistustottumuksista viimei-  
sen kymmenen vuoden ajalta.

Asiantuntijoille luotiin erilaiset kysymykset. Asiantuntijoina ajattelen sellaisia henki-  
löitä, jotka ovat pitkään olleet valaisimien kanssa tekemisissä valaistusaiheen parissa.  
Heillä on useimmiten kokemusta useamman yrityksen valaistuksesta, joten kysyin  
pitkäaikaisempia kokemuksia 10 vuoden ajalta. Halusin rajata kysymykseni kymme-  
neen vuoteen, sillä monilla yrityksillä on valaistus siltä ajalta, jolloin ei vielä LED-  
valaisimet olleet tuttuja.

Toisekseen pohdin asiantuntijoiden kanssa kysynnän vaatimuksia valaistukselle. Tä-  
män päivän LED-valaisimet kykenevät palamaan 11 vuotta yhtenä väittää Philips.  
Philips väittää, että LED-kortista saatavasta maksimi valovirrasta saadaan 80 % vielä  
100 000 tunnin jälkeen. Tämän takia valaisinten toimittajan sekä valaisimien käyttä-  
jän täytyy olla keskenään yhteyksissä valaisimien kunnosta. Arvio aika on niin suuri,  
että kuvittelisin valaisimien olevan eräänlaisessa testikäytössä yrityksillä.

Seuraavaksi kysyn samanlaisia hyödyistä, mitä kysyn aikaisemmin teollisuuden ja  
maatalouden yrityksistä. Pyrin löytämään asiantuntijoilta tietoa LED-valaisimien  
muista hyödyistä liittyen tuotannon energiatehokkuuteen. Kysyin tekijöistä, jotka  
saavat yritykset vaihtamaan valaistuksen uuteen LED-valaistukseen. Myös miten yri-  
tysten johtohenkilöt ovat tietoisia valaistuksella saatavista hyödyistä. Lopuksi kysyin  
asiantuntijoilta tulevista uudistuksista, joista he ajattelevat olevan energiatehokasta  
hyötyä. Halusin tällä lisätä omaa tietämystäni tulevista tekniikoista, joita olisi mah-  
dollista käyttää haastatteluiden kohteessa.

Maataloudessa sekä teollisuudessa käytin samoja kysymyksiä kartoittamaan valaisimista saatavia hyötyjä. Kysyin kokemuksia pääasiassa maidontuotannon ympäristöstä konkreettisia lukuja, joista voitaisiin suoraan nähdä valaisimilla saatu hyöty. Maatalouteen valmistelemani kysymyksillä on samantapainen rakenne kuin teollisuuden tekemilläni kysymyksillä. Ensiksi kartoitin maatilán tarkoituksen ja koon. Kartoitin tehdyt uudistukset ja sen että onko valaisin remontti ollut ainoa tehty remontti valaisinremontin yhteydessä. Tällaisella pyrin saamaan mahdollisimman häiriöttömät tarkasteluolosuhteet hyötyjen kannalta.

Kohteiksi otin maitotiloja ja vapaa-ajan harrastukseen tehtyjä maneesirakennuksia. Maitotiloilla kohderakennuksina olisi. Lypsynavetta, vasikkala ja umpilehmäkarsina. Maneesin omistajalta kysyn vertailua harrastajilta. Ratsastus harrastajat kiertävät muissakin maneesissa, joten heiltä voidaan kerätä mielipiteitä sekä perusteluja hyvän valaistuksen tuomista hyödyistä harrastustoiminnassa.

### 3.2 Tietolähteet

Suurin osa tiedosta kerättiin tutkimusjoukolta, jossa oli mukana maatalouden-, teollisuuden yrityksiä ja valaistuksen asiantuntijoita. Heidän kauttaan saadaan mahdollisimman käytännön läheistä tietoa. Asiantuntioilta voidaan saada myös paljon tutkimustietoa ja teoriaa liittyen valaistukseen. Yrityksiltä saadaan käytännön kokemuksia, mielipiteitä ja dataa, jolla voidaan osoittaa laskennallisten hyötyjen paikkansapitävyyttä.

Toisekseen käytin suuresti tietoa Severi-palvelun ST-kortistosta. Kortistossa mainitaan otteita luoduista standardeista. Kortiston on luonut Sähkötieto ry. Kortistosta keräsin suurimman osan tiedoista liittyen sähkötekniisiin suureisiin ja määritelmiin.

Loput tiedoista keräsin itse tutkien DIALux ohjelmistoa ja haastatellessani yrityksiä ollessani myyjänä Ledistys Oy:llä. Myyjän työssä sain paljon kehotuksia asioista, joilla on merkitystä työntekijöiden arjessa. Esimerkkinä vastaavasta on eräs haastattelu

metallialan työntekijän kanssa ja hän kertoi, että valoa täytyy olla hitsaus pöydän päällä niin, että hitsausmaskin takaa näkee ilman otsalamppua tai muuta lisävaloa.

### 3.3 Kyselyn tulokset

#### **Teollisuus**

Kyselyssä oli mukana kymmenen teollisuuden yritystä. Aikaisemmin yrityksissä oli käytetty valaisimina loisteputkia, halogeeni-, monimetalli- ja suurpainenatriumlamp-puja. Valaisimien uusimisen oli yleensä tullut tarpeelliseksi, kun vahojen valaisimien valovirta oli laskenut huomattavasti. Kahdessa yrityksessä valaistus on ollut aikaisem-min hyvä korkeiden vaatimusten vuoksi.

Valaistuksen tuomista hyödyistä tiedettiin huomattavasti enemmän niissä kahdessa yrityksessä, joissa oli jo ennen led-valaistusta riittävä valaistus. Muissa yrityksissä tie-dettiin kyllä, että valaistus on tärkeä osa työtehokkuutta, mutta valaistuksesta osat-tiin kertoa vain energiatehokkuuden puolesta. Energiatehokkuudesta suurimpana osana kerrottiin melkein jokaisen yrityksen kohdalla olevan sähkölaskussa tehtävät säästöt. Poikkeuksena muutaman yrityksen kohdalla sähköenergian kulutuksella ei ollut vaikutusta valintaan, sillä heidän omat toimilaitteensa kuluttavat suuren mää-rän sähköenergiaa. Suuremmat hyödyt he saivat, kun led-valaisimien myötä ei tarvinnut kahden vuoden aikanakaan olla vaihtamassa vikaantuneita loisteputkia toimitilo-jen kattoon.

Mielialaan vaikuttavia tekijöitä on ollut selkeästi vaikeampi huomata. Muutamat yri-tykset eivät olleet huomanneet vaikutusta mielialaan työntekijöillä. Eräs betonialan yrittäjä antoi tuntuma-arvion nousseesta tuotannon tehokkuudesta. Hän arvioi tehon nousseen kymmenellä prosentilla. Parantuneen laadun oli huomannut kolme yritystä tutkimusjoukosta. Tuotannon parantumisen ja lisääntymisen arvelen johtuvan paran-tuneesta olotilasta tullessa töihin. Yritykset, joissa tuotannon laatu ja nopeus olivat lisääntyneet, kertoivat työntekijöiden tulevan paremmilla mielin töihin valaistusre-montin jälkeen.

Teollisuudessa suurimpana huolena on turvallisuus, sillä kyseisissä ympäristöissä liikkuu suuria koneita ja voimia. Tapaturman sattuessa kustannukset nousevat, kun täytyy hoitaa työntekijä, sekä yrityksen imago heikkenee. Teollisuuden yrityksissä on määritelty kullekin yritykselle sopiva turvallisuuden taso. Tuohon turvallisuuden tasoon liittyy valaistus oleellisena osana.

### **Asiantuntijat**

Asiantuntijahaastattelussa kartoitettiin ensin valaistuksessa tapahtuneita muutoksia kymmenen vuoden aikana. Suurimpana asiana esille nousi led-valaisimien lisääntyminen ja hinnan laskeminen. led-valaisimet toivat mukanaan suuren määrän ominaisuuksia, jotka eivät olleet ennen mahdollisia mukaan lukien: ohjattavuuden mahdollisuudet, valotehonn lisääntyminen ja terveysvaikutukset. led-valaistuksen ohjattavuudessa esille nousi DALI-säädöt, vakiovalosäätö, ajastus ja liiketunnistus. Valotehon lisääntyminen wattia kohden oli suurilta osin asiantuntijoiden mielissä. Viimeiseksi hieman vaikeammin todettavissa ovat terveysvaikutukset, joita on myös tutkittu paljon. Terveysvaikutuksista oli todettu suurimpana tekijänä ihmisen immunitaattitason nousu. Työntekijät tulivat siis harvemmin kipeäksi.

Tuolloin kymmenen vuotta sitten joitain mittauksiakin jo tehtiin valaistuksen riittävyydestä. Nykyään mittausten ja suunnitelmien tarkkuus on suoritettu tarkemmin. Suunnitelmat ja mittaukset tehdään usean projektin kohdalla. Tietoa valaistuksella saatavista hyödyistä on tullut lisää ja valaistussuunnitelma halutaan tehdä tarkasti, jotta kaikki hyödyt saadaan esille. Aikaisemmat valaistussuunnitelmat tehtiin suurilta osin loisteputkivalaisimilla. Teollisuudessa käytetyistä muista valaisimista käytetyimpiä ovat SPNA eli suurpainenatrium valaisin ja monimetalli valaisin. Kyseisistä valaisimista saadaan paljon valoa, mutta niistä aiheutui myöhemmin muita ongelmia kuten: valaisimen hidas syttymisnopeus sähkökatkoksen yhteydessä ja purkauslamppuissa niiden ympäristöystävällisyys.

Valaistukselta vaadittavat ominaisuudet ovat myös muuttuneet hieman kymmenen vuoden aikana. Aikaisemmin ei osattu kiinnittää huomiota ihmisten vuorokausrytmin hallitsemiseen keinotekoisella valaistuksella. Human centric lighting on uusi ilmiö, johon kiinnitetään nykyään huomattavasti enemmän huomiota kuin kymmenen

vuotta sitten (What is human centric lighting N.d). HCL:n peruseriaatteena on luoda sisätiloihin mahdollisimman suotavat oltavat työnteekijöille. Ihmiskeskeisen valaistus-suunnittelun tekijä on esimerkiksi valon värin säätäminen luonnollisen päivärytmin mukaan ja valaistusvoimakkuuden säätäminen sopivaksi työpäivän aikana.

led-valaisimet ovat mahdollistaneet monia teknisiä sovellutuksia, joilla pystytään kattamaan vaativammatkin toiveet valaistukselta. led-valaisimiin voidaan asentaa erilaisia linsskejä, joilla voidaan ohjata valoa haluttuun paikkaan. Valoa voidaan tuottaa myös korkeammalta, jotta valaisimet eivät altistu esimerkiksi kuumissa tiloissa prosessissa tuotetulle kuumalle höyrylle. Prosessista syntyvä kuuma höyry ehtii jäähtyä hieman ennen kuin saavuttaa katossa olevat valaisimet. Ledin käyttöikä lyhenee huomattavasti, ellei valaisin saa johdettua ledistä lämpöä pois.

### **Ohjaus**

Ohjattavuus on tuonut ledivalaisimille uuden mahdollisuuden mukauttaa valaistusta. Ohjauksella tarkoitetaan yksinkertaisuudessaan valon kytkemistä pois tai päälle. Kyselyiden mukaan ohjauksella voidaan tehdä montaakin asiaa, jotka helpottavat päivittäistä arkea. Esimerkkeinä tällaisista ohjauksista ovat vakiovalosäädin ja kellokytkin. Vakiovalon säätö ja ajastus olivat tärkeitä yli puolelle kyselyn tehneistä yrityksistä.

Kellokytkimellä voidaan helpottaa säätämään päivittäinen vuorokausirytmisi maataloudessa. Vuorokausirytmisi ansiosta lypsävät lehmät saavat juuri oikean määrän lepoa, mutta myös mahdollisimman tehokkaan päivän. Maatalot kertoivat, että oikeat vuorokauden rytmit kullekin eläimelle määritetään tilan tarkastajan puolelta. Esimerkiksi lypsävälle lehmälle paras päivän pituus on 16 tuntia työtä ja kahdeksan tuntia lepoa. (G.E. Dahl, T.H. Elsasser, A.V. Capuco, R.A. Erdman, R.R. Peters 1997)

Vakiovalosäätimellä voidaan säätää valaisimen valovirtaa siten, että ulkoa tuleva valo otetaan huomioon. Valaisimet himmentyvät automaattisesti auringonvalon paistessa sisään. Vakiovalosäädön toteutuksesta vastaan tuli kahta eri tyyliä. Ensimmäi-

sessä hieman vanhemmassa toteutustavassa ulkoa tulevan valon lisääntyessä osa valaisimista sammutettiin. Sääto voidaan toteuttaa myös himmentämällä valaisimia, jolloin valon määrää voidaan hallita portaattomasti.

Kahdessa teollisuuden yrityksessä mainittiin CLO-tekniikka, jonka vuoksi tietyt LED-valaisimet valittiin. CLO tarkoittaa Constant light output eli vakiovalovirta. Vakiovalovirralla pyritään pitämään tilassa jatkuvasti sama valaistusvoimakkuus. Yritysten kertoman mukaan valaisimet asetettiin asennuksen jälkeen tuottamaan 85 % kokonaisvalovirrasta. Ajan myötä ledin kuluessa kasvatetaan valaisimeen syötettävää virtaa, jolloin valaistusvoimakkuus pysyy samana mahdollisimman pitkään.

Asiantuntijoiden kanssa keskusteltiin uusista mahdollisuuksista valaisuuden osalta tuli vastaan teknologia nimeltä power over ethernet. POE:n idea on yhdistää valaistus osaksi internettiä. Kyseistä ympäristöä kutsutaan nimellä internet of things (IoT). Valaisimia voidaan siis ohjata internet yhteyden avulla eikä valaisimiin tarvitse erikseen liittää asennuskaapelia, vaan virta tulee ethernet kaapelin kautta. Näin ollen asennus helpottuu. PoE:llä mahdollistetaan laitteen asennus syrjäiseen tai hankalaan paikkaan. Cat 5 ja Cat 6 ethernet kaapeli on edullisempaa ja se on yleensä valmiiksi asennettu rakennuksiin. Cat 5 ja Cat 6 ovat kategorioita, jotka määrittävät ethernet johdon maksimi tiedonsiirto nopeuden. Cat 5 pystyy maksimissaan sataan megabit-tiin sekunnissa ja Cat 6 pystyy kymmeneen gigabittiin sekunnissa tiedonsiirron nopeuteen. (Power over Ethernet N.d.)

Haastatteluissa mainittiin lisäksi tunable white-tekniikka. Säädettävä valkoisen valon tekniikka saavutetaan asentamalla ledivalaisimeen sekä lämpimän väristä valoa tuottavia diodeja ja kylmän väristä valoa tuottavia diodeja. Kylmän sävyistä valoa saadaan sammuttamalla lämmintä valoa tuottavat diodit ja lämmintä valoa saadaan tekemällä päinvastoin. Kyseinen tekniikka auttaa luomaan sisätiloihin entistä tehokkaammin luonnollista valoa vastaavan tilanteen. Aamulla tultaessa töihin valo olisi hieman punertavaan suuntaan samalla tavalla kuin auringonvalo aamulla. Luonnon valoa imitoiden voidaan auttaa ihmisen aivoja heräämään aamulla kevyemmin. Päi-

vällä valon väri säädetään valkoiseksi ja illalla taas ennen töihin lähtöä säädetään hieman punaiseen päin. Tekniikalla voidaan hieman rauhoittaa aivoja verrattuna koko päivän valaisevaan kirkkaaseen valkoiseen valoon. (Citizen tunable white led n. d.)

### **Maatalous**

Maataloudesta suurimmaksi osaksi kerrottiin paloturvallisuudesta. ledivalaisimien helppo asennus sekä puhtaus nousivat etualalle kysyessäni vanhemman valaistuksen remontointiin. Asennusta Loisteputkivalaisimiin verrattuna kaikkia ledivalaisimia ei tarvitse aukaista ja asentaa läpijohdotusta. Haastatteluita tehdessäni kuulin myös Useiden ledilaittevalmistajien tuottavan kestäviä ratkaisuja, jotta valaisimet kestäisivät maatalossa tapahtuvat rasitteet, kuten syövyttävä ammoniakki kaasu ja karpäsien jätökset.

Ohjattavuuden merkitys oli joillekin asiaan perehtyneille tärkeä asia. Kertoman mukaan maatalolla valaistuksen automaattisuus antaa sekä sähköenergian säästöä että ajallista säästöä suuremmissa maatalo kokonaisuudessa. Vakiovalosäätö oli yksi toiminto, joilla maatalot halusivat kerryttää säästöä valaisimen iän suhteen sekä sähköenergiasta. Kyselyn aikana kysyin kahdelta maatalolta tunable white-tekniikasta, johon vastaus oli kielteinen. Tunable white säätö ei maitotilalla välttämättä ole tarpeellinen.

### **3.4 Laadukkaan valaistuksen laatiminen**

Valaistukselle on asetettu standardi ohjeistamaan tilaan vaaditut valaistussuureet. Otin standardista SFS-EN 12464-1-2011 otteen, josta voidaan nähdä muutamia tiloja, joita työssäni tuli vastaan kuten esimerkiksi varasto, lastausalue ja kahvihuoneet. Liitteessä 2 on mainittu muutama kyseisen standardin mukaisia vaatimuksia. Voidaan havaita, että standardissa on hyvin kattavasti kerrottu mahdollisimman otolliset olot kullekin työtehtävälle. Suoraa tuota standardia noudattamalla ei kuitenkaan saada hyvää valaistusta aikaiseksi. Hyvässä valaistuksessa täytyy ottaa huomioon myös

muut tilaan vaikuttavat tekijät: valaistussuunnitelman tarkkuus tilaan, tilan rakenteista aiheutuvat mahdolliset varjostavat rakenteet, valaisimien asennus ja ohjattavuuden mahdollisuudet

### **Suunnittelussa käytettävät arvot.**

Reuna-alueet ovat mallinnettavan tilan mittausalueesta pois otettu alue seinästä luettuna. Esimerkiksi arvo voi olla yhden metrin, jolloin jokaisesta seinästä otetaan metrin verran valaistuslaskennallista aluetta pois. Tilan reuna-alueilla voidaan tilan valon tasaisuus saada näyttämään erittäin hyvältä, mikäli tarkkoja mittauksia ei ole suoritettu tai noudatettu. Suurentamalla reuna-alueen määrää tilanteessa, joissa tilaan on sijoitettu valaisimet keskelle tilaa, voidaan saada suurikin tasaisuuden lukema, mutta todellisuudessa seinät ovat pimeät ja tilanteessa, jossa seinien vieressä sijaitsee, jalkakäytävä on tämä kyseinen käytävä todennäköisesti varjossa ja pimeä. Valomäärän vaihtelu voi aiheuttaa työntekijälle ärsyksen.

### **Valon väri**

Valon värillä voidaan säätää sisätilaolot käyttötarkoituksen mukaan. Lämpimillä värisävyillä voidaan saada aamun ja illan vaikutelma sisätiloissakin. Melatoniinia alkaa kehittyä, kun valoväri muuttuu kellertäväksi ja valon määrä alenee alle 50 luksin. Esimerkkinä tällaisesta voi olla, että maitokarja kun halutaan nukkumaan, niin säädetään valaisimet tunable white järjestelmällä keltaisemmaksi ja vieläpä lasketaan valon määrää. Melatoniinia alkaa kehittyä ja eläimet alkavat pikkuhiljaa vajota uneen. Valon intensiteetillä voidaan säädellä vireystasoa päivän aikana. Samanlainen käytäntö toimii ihmisilläkin.

Ihmisten käytökseen voidaan vaikuttaa samalla tavalla, mutta käänteisessä tarkoituksessa. Valolla voidaan lisätä työntekijän tehokkuutta esimerkiksi tilassa, jossa tehdään yötyötä, voidaan haluta käyttää kirkasta päivänvaloa imitoimaan sisätiloihin päivän. Tällöin ihmisen aivot eivät lähde kehittämään melatoniinia niin suurii määriä kuin normaalisti. Valon määrän tulee olla sopiva, sillä suuret määrät valoa voivat aiheuttaa päänsärkyä.

Valon värillä saadaan myös muita hyötyjä esimerkiksi autoteollisuudessa. Maalauksessa voidaan tarkastella työn tulosta eri valoissa riippumatta sään olosuhteista. Peltiä voidaan tarkastella sekä aamuauringon valossa, että keskipäivän valossa. Hyötyä on myös sairaalan leikkaussalissa, missä voidaan muuttaa näkyvyyttä eri ihmisen osien välillä.

Tekniikka, jolla valon väriä voidaan muuttaa, kutsutaan ”tunable white” nimellä. Tunable white teknologiaa mainostetaan useimmiten tunnelman luojana tiloihin, jossa oleskellaan. Työskentelytiloihin voidaan tunable white:n avulla luoda tehokas ilmapiiiri ja päiväsaikaan voidaan asettaa valon väri kirkkaaksi sekä nostaa valon intensiteettiä. (Matikainen n.d.)

### **Tasaisuus**

Varjoalueet lisäävät omalta osaltaan valon epätasaisuutta. Esimerkiksi lehmien ruokintapöydän tukirakenteet voivat luoda vahvoja varjoja, vaikka valaistus olisi muuten riittävä. Varjot pienentävät valon tasaisuuden arvoa ( $U_0$ ). Tasaisuuden arvo voi kuitenkin näyttää hyvältä, vaikka tilassa on häiritseviä varjoja. Varjoalueet aiheuttavat ärsykkeen ihmiselle tai eläimelle tultaessa kirkkaasta tilasta varjoon. Tällainen tilanne on hyvin yleinen lypsävien lehmien ruokintapöydän lähetyvillä, mikäli tilannetta ei ole otettu huomioon. Haittaava varjo syntyy navetassa eläimen takana olevasta valaisimesta tai teollisuudessa koneen taakse sijoitetusta valaisimesta. Suurin tasaisuuteen vaikuttava tekijä on suuritehoiset valaisimet, joita sijoitellaan tilaan harvakseltaan.

Asennuksella on suuri vaikutus valaistuksen tasaisuuteen sekä valovoimakkuuden riittävyyteen. Seuraavaksi käyn läpi muutaman esimerkkitalanteen, joita tekemieni haastatteluiden kautta tuli vastaan. Esimerkeissä tarkastellaan eroja esimerkkitalaan, joka on jokaisessa vertailussa samankokoinen. Esimerkkitalan koko on 30 m x 15 m x 4 m. Valaisimet asetellaan tilaan automaatti toiminnolla. Automaatti toiminto pyrkii saamaan tietyn tavoitetason valaistusvoimakkuuden ( $E$ ) ja valaistuksen tasaisuuden arvolle ( $U_0$ ). Valaistusvoimakkuuden tavoitetaso on 300 luksia ja tasaisuuden miniminä on 0.40. Arvo kuitenkin ylittyy usein. Tasaisuuden arvosta voidaan kuitenkin päätellä varjojen määrä kyseisessä tilassa.

### **Vilkkuminen**

LED-valaisimilla tehtävässä valaistusratkaisussa tulee ottaa huomioon valaisimien vilkkumattomuus. Valaisimesta tuleva valo näyttää vilkkuvan paljon niissä tapauksissa, joissa LED-valaisimen taajuus on välillä 15Hz – 20Hz. Herkimpien ihmisten silmä pystyy näkemään vilkkumisen, kun valaisimen tuottaman valon taajuus on alle 100Hz. Taajuuden lukema kertoo, että montako kertaa valo syttyy ja sammuu yhden sekunnin aikana. Mikäli tämä syttyminen ja sammuminen on liian hidasta, voidaan vilkkuminen huomata erittäin helposti. Vilkkunnan taajuus määräytyy LED-valaisimessa olevan draiverin toiminnasta. Draiveri on komponentti, mihin valaisinasennuksen yhteydessä sähkökaapeli kytketään. Draiveri muuntaa verkkovirran sopivaksi käytettäväksi valaisimessa. Esimerkkinä LED-valaisin, mikä tarvitsee tasavirtaa toimiakseen. Draiveri muuntaa vaihtovirran tasavirraksi. Tasavirran taajuus, jännite ja virta määräytyvät tuolloin. Valaisimen draiverilla voidaan siis suuresti vaikuttaa vilkkuntaan. (What Makes an LED Bulb Flicker and How to Solve the LED Flicker Effect.n.d; Understanding LED Drivers and How To Choose the Right One 2020.)

### **Valaistussuunnitelman tarkkuus**

Valaistussuunnitelman on tarkoitus osoittaa valon jakautuminen tilassa mahdollisimman todenmukaisesti. Tilaan mallinnetaan valaistustilanne käyttäen valaisimen mallia eli LDT-tiedostoa. Tiedosto pitää sisällään esimerkiksi valaisimen fyysisen koon, valaisimesta saatavan valovirran ja valaisimen tuottaman valojakokäyrän. LDT-tiedostoja eli valaisin malleja käyttäen luodaan valaistus mallinnettavaan tilaan. LDT-tiedostosta saatavia tietoja ei voi valaistussuunnittelun aikana muuttaa. Valaistussuunnittelija voi kuitenkin vaikuttaa esimerkiksi seuraaviin arvoihin DIALux valaistussuunnitelmassa: valon aleneman huoltokerroin, valaisimien asennuskorkeus, valaistuskannan mittauskorkeus, heijastussuureet pinnoille ja reuna-alueet. Valaistussuunnitelman tulokseen vaikuttavat muut tekijät ovat: rakenteiden mallintamisen tarkkuus, valaisimien sijoittelu tilaan, valaisimien asennuskorkeus.

Valaistussuunnitelmasta saadaan tarkka, mikäli otetaan huomioon valaistusvoimakkuuteen vaikuttavat tekijät yleisellä mittauskorkeudella 80 cm lattiasta. Valaistusvoimakkuuteen vaikuttaa heijastussuureet tilan pinnoista, mahdolliset varjostavat teki-

jät kuten: pienemmät rakennukset tilan sisällä tai rakennuksen tukirakenteet, yhteisvalovirta valaisimista ja valaisimien asennuskorkeudesta. Tilan pintojen likaisuus vaikuttaa heijastuvan valon määrään. DIALux:ssa vakioarvo seinän heijastussuurelle on 50 %.

### **Lähtötilanne**

Loin esimerkkikuvat kuvaamaan muutamaa tilannetta, joihin olen kuvannut erilaisia ratkaisuja sekä suunnittelun osalta että ratkaisun osalta. Suunnittelussa olen luonut vertailun vakioarvoilla tehdyn ja paremman näkymän antavilla arvoilla tehdyn suunnitelman välillä. Muutettaviksi arvoiksi määrittelin: heijastussuhteet, valon aleneman huoltokerroimen, asennuskorkeuden, mittauskorkeuden ja reuna-alueet. DIALux antaa heijastussuhteille vakioarvot: lattia 20 %, seinät 50 % ja katolle 70 %. Valon aleneman huoltokerroimeksi DIALux antaa 1,00, mutta vertailukuvassa huoltokerroin on asetettu 0,85. Asennuskorkeudeksi olen valinnut räystäskorkeuden eli neljä metriä. Vertailussa rakennus on aina samankokoinen: 30 m \* 15 m \* 4 m. Mittauskorkeus on vertailukuvassa 0,80 metriä tilan lattiasta. Reuna-alueita ei vertailukuvassa ole ollenkaan. Vertailun tehtiin näyttämään erot valaistussuunnitelmien välillä.

Ensimmäiseksi tein liitteen 4 mukaisen lähtö mallinuksen käyttämällä vertailutilassa Ledistys Oy:n valmistamaa Moduled 401 valaisinta. Ledistys Oy nimeää valaisimensa runkotyyppin ja valaisimesta saatavan valovirran mukaan. Nimestä voidaan päätellä myös valaisimen kuvun materiaali ja numeroyhdistelmästä valaisimien rinnakkaislukumäärän. Esimerkiksi Moduled 401 tarkoittaa n. 4000 luumenia antavaa valaisinta. Numero 1 kertoo että yhdessä valaisimessa on vain yksi mainitsemani valaisin. Mikäli numero olisi 3, niin n. 4000 luumenin valovirtaa antavia valaisimia olisi kolme vierekkäin. Vertailuun kuuluu liitteet 4–13. Valaisimen nimeen voidaan liittää mallin numeron jälkeen lampukuvun täsmennys. Esimerkiksi Moduled 801 cl tarkoittaa Moduled mallin valaisinta, jonka valovirta on n. 8000 luumenia ja kyseisessä valaisimessa on maitolasikuvun sijasta kirkas kupu. Valoa saadaan tuolloin hieman enemmän ja kauemmaksi. Valaisimet ovat sijoiteltu tilaan DIALux:n automaatti sijoittelulla. Tavoite valaistusvoimakkuudeksi mittauskorkeudelle 0,80 metriä on asetettu 300 luksia. Liitteen 4 mukaisessa vertailutilanteessa on 42 valaisinta, jolla saadaan 322 luksin valaistusvoimakkuus ja tasaisuuden arvoksi 0,48. Vertailu tehtiin muuttamalla yhtä arvoa

siten että yksi valaisin rivi voidaan poistaa pitäen riittävä valaistus suunnitelman mukaan. Tositilanteessa yhden rivin valaisimia poistettaessa valaistuvoimakkuus mitauskorkeudella pienenee huomattavasti eikä tavoiteltu valaistusvoimakkuus 300 luksia täytyisi. Vertailumallinnukseen tarvittiin siis 42 valaisinta, jotta kolmensadan luksin keskimääräinen valaistusvoimakkuus saavutettaisiin.

### **Muutokset mallinnussuureisiin**

Seuraavaksi otin rivin valaisimia pois mallinnuksesta ja muutin pintojen heijastussuhteita siten että valaistusvoimakkuus olisi 300 luksia tai ylitse. Heijastussuhteita muutin ensiksi lattian kohdalla kahdellakymmenellä prosenttiyksiköllä. Lattian kautta tapahtuva heijastus vaikuttaa valaistusvoimakkuuden mitattuun arvoon eniten, sillä suurin valomäärä saavuttaa lattian, joka on lähellä mittaustasoa. Lattian heijastussuhteeksi asetin siis 40 %. Lisäksi nostin seinien heijastussuhdetta kymmenellä prosenttiyksiköllä 60 %:iin. Nostin myös mittauskorkeutta 20 senttimetrillä, mutta silloin kun valaisimet on asetettu neljän metrin korkeuteen, niin muutosta sain vain neljällä luksilla. Suurempi mittauskorkeuden muutos syntyy, kun matalassa tilassa nostetaan mittauskorkeutta valaisimien viereen. Heijastussuhteet ovat kuitenkin suurin muutostekijä tässä tapauksessa. Muutoksen jälkeen liitteen 5 valaistuslaskelmasta saatiin valaistusvoimakkuuden keskimääräiseksi arvoksi 334 luksia ja tasaisuuden arvoksi 0,51.

Heijastussuhteiden muutoksen jälkeen palautin asetukset vertailu mallinnuksen mukaisiksi. Tein samanlaiset järjestelyt ja otin pois rivin verran valaisimia, mutta muutinkin valon aleneman huoltokerrointa. Aiemmin mainitsemassani vertailukuvassa liitteessä 4 on käytetty huoltokerrointa 0,85 ledivalon alenemisen kompensoimiseksi, joten tässä tapauksessa liitteessä 6 käytän valon aleneman huoltokerrointa 1,00. Tulokseksi saatiin 316 luksia ja tasaisuudeksi 0,49. Mikäli huoltokerroin nostetaan liian ylös, ei valaistustehokkuus enää ole paikkansa pitävä yhden vuoden käytön jälkeen.

Reuna-alueiden muutoksen voi huomata helposti mallinnuskuvaa liitettä 7 katsottaessa. Laskenta-alueesta on jätetty metrin verran seinästä huomiotta. Reuna-alueita lisättäessä laskennasta jätetään pois yleensä seinien viereen jäävä hämärä alue, jolloin valaistussuunnitelma näyttää huomattavasti paremmalle. Tein vastaavanlaisen

valaistussuunnitelman vertailukuvan tilaan. Keskimääräiseksi valaistusvoimakkuudeksi sain 299 luksia ja tasaisuuden arvoksi 0,72. Tasaisuuden arvo on erittäin suuri, kun otetaan pois seinien viereen jäävät hämärät alueet.

Edellä mainituissa mallinuksissa muutin yhtä arvoa kerrallaan. Tein vielä lisäksi liitteen 8 mukaisen mallinnuksen, johon on laskettu tilanne vertailukuvan tilaan muuttaen hieman kaikkia arvoja. Tilanteessa heijastussuhteita on muutettu kymmenellä prosenttiyksiköllä, reuna-alueita lisätty 80 senttimetriä seinästä ja valon aleneman huoltokerroin on asetettu arvoon 1,00. Tilassa on saman verran valaisimia kuin vertailumallinnuksessa. Näitä kaikkia arvoja käyttäen valaistuslaskennasta tulokseksi saatiin 499 luksia ja tasaisuuden arvo on 0,76. Tulosten arvo nousee radikaalisti ylöspäin kaikilla osa-alueilla, vaikka todellisuudessa tila näyttäisi paljon hämärämmältä ja valaistusvoimakkuuden mittari näyttäisi huomattavasti pienempiä lukemia. Mallinnuskuvan vasemmalla puolella näkyvät valaistusvoimakkuuden käyrät eivät kuitenkaan näytä ollenkaan samalta kuin vertailukohteessa liitteessä 4. Päätin tehdä mallinnuksen siten, että valaistusvoimakkuuden käyrät näyttävät hieman samalta, vaikka keskimääräinen valaistusvoimakkuus muuttuikin. Tuloksena saatiin liitteen 9 mukaisen mallinnus. Keskimääräinen valaistusvoimakkuus hieman muuttui, mutta se on silti 25 % korkeampi kuin vertailu kohteessa. Tulokseksi saatiin 427 luksia ja tasaisuus on 0,74. Suurin ero tulee tasaisuuden arvosta, jonka muutos vertailutilanteeseen on 35 %.

Tehokkaaseen tilan valaistukseen liittyy vahvasti valaisimien sijoittelu tilassa ja valaisimien valovirta. Teollisuuden sekä maatalouden tiloissa on yleensä varjostavia tekijöitä esimerkiksi koneita, kaiteita ja eläimiä. Nämä varjostavat tekijät on otettava huomioon valaisinten sijoittelussa. Sijoitteluun liittyy vahvasti valaisimien valovirta. Suuren valovirran valaisimilla saadaan nopeasti nostettua valaistusvoimakkuuden arvo korkeaksi vain muutamalla valaisimella, mutta tuolloin valo ei jakaudu tasaisesti tilaan. Toisekseen pieni valovirtaisia valaisimia käytettäessä saadaan tasaisesti jakautuva valo.

### **Varjostava tekijä suunnittelussa**

Seuraavissa liitteissä 10–13 tarkastelin ruokintapöydän aiheuttamia varjoja, kun valaisimet ovat neljän metrin korkeudessa ja käytän eri valovirtaisia valaisimia. Valaisimina käytettiin Ledistys Oy:n Moduled sarjan 401, 801 cl, 1ja 1601 LED-valaisimia. Parhain ratkaisu todettiin saatavan pieni valovirtaisilla valaisimilla. Valaisimet, jotka antavat n. 4000 luumenia antoivat valon tasaisuuden puolesta parhaimman ratkaisun. Valaisimia on mallinnuksessani liitteessä 10 sijoitettu tasaisesti molemmin puolin ruokintapöytää. Laskennan tulokseksi sain 319 luksia ja tasaisuus 0,66. Valaisimia tarvittiin kuitenkin suuri määrä, jotta päästäisiin 300:n luksin keskiarvo tavoitteeseen tilassa. Tilaan tarvittiin 35 valaisinta. Valaisimet ovat edelleen neljän metrin korkeudessa. Päätin tehdä mallinnuksen myös hieman suuremman valovirran antavilla valaisimilla.

Liitteen 11 mukaan tehtiin mallinnus samaan tilaan Moduled 801 cl valaisimilla. Valaisimien kupu on mallimerkinnän ”cl” mukaan kirkas, joten valovirta on hieman suurempi kuin mallimerkinnän ”80” 8000 luumenia. Kirkkaalla kuvalla kyseinen valaisin antaa 9995 luumenin valovirran (MODULED MDL801 MITAT JA TEKNISET TIEDOT 2020.). Mallintaessa huomasin, ettei valaisimia tarvitse ollenkaan niin suurta määrää, jotta 300 luksin keskimääräinen valaistusvoimakkuus saavutettaisiin. Jo 20 valaisinta riitti pääsemään 310:n luksiin keskimääräisesti. Valaistuksen tasaisuus kuitenkin laski 18 %:lla 0,54:ään. Tasaisuuden lukema on kuitenkin oikein hyvä kyseiseen tilaan. Olettaen, että kyseinen tila on karjarakennus, tilaan vaatimus riittävän tasaiselle valaistusvoimakkuudelle on 0,4 (SFS EN 12464-2011). Päätin seuraavaksi myös tehdä mallinnuksen myös vielä suuremman valovirran antavilla valaisimilla.

Liitteen 12 mukaisessa mallinnuksessa käytettiin Ledistys Oy:n suurinta valaisinta Moduled 1601:stä. Valaisin siis antaa n. 16 000 luumenia valovirtaa. Vertailutilaani ei tarvinnut montaa valaisinta laittoa, jotta 300 luksin keskimääräinen arvo saavutettaisiin. Mallinnukseeni tuli tässä tapauksessa 12 valaisinta ja laskennan tulokseksi sain 423 luksia keskimäärin ja tasaisuudeksi 0,56. Molemmat arvot näyttävät hyvin riittäville ja kertovat myös siitä, että tilassa vaadittu valaistuksen taso pysyy pitkään. Valaistuksen tasolla tarkoitan keskimääräistä valaistusvoimakkuutta ja -tasaisuutta.

Mallinnuksessa ja asennuksessa on tärkeä tarkastella valaisimien asennuspaikat. Mallinsin liitteen 13 mukaan esimerkin, missä valaisimet on asetettu aivan tilan keskelle, jolloin ruokintapöytä jää varjoon. Halusin tarkastella näiden tilanteiden vaikutusta valaistuksen tasaisuuteen ja myös keskimääräiseen valaistusvoimakkuuteen, siten että tilassa käytetään vain optimaalinen määrä valaisimia tavoite valaistusvoimakkuuden saavuttamiseksi. Mallinsin tilaan valaistuksen ottaen vain huomioon valaistusvoimakkuuden. Käytin Moduled 1601 valaisinta, jolloin saadaan mahdollisimman suuri valaistusvoimakkuuden arvo. Valaisimet ovat asennettu siten että valoa ei tule suoraan ruokintapöydän päältä vaan tilan keskiosasta. Laskennasta tulokseksi saatiin 306 luksia ja tasaisuus 0,42. Mallinnukseen tuli yhteensä 8 valaisinta. Mikäli toteutus mallinnuksesta tehtäisiin, niin valaisimien hinta olisi parhaimman mahdollisen toteutuksen alapuolella, mutta valaistuksen tehokkuus olisi heikko. Ruokintapöytä jää lehmän pään korkeudelta varjoon, koska ruokintapöydän puolella valaistusvoimakkuus on alle keskimäärän: noin 150–200 luksia. Eläimet havaitsevat suuret erot liikkueensa tilan keskeltä ruokintapöydän ääreen. Valaisimien ja ruokintapöydän välinen ero on 63 %. Valaisimien alla on vertailutilanteessa 550 luksia ja ruokintapöydän oletetun ruuan kohdalla parhaimmassa tapauksessa 200 luksia. Tilanne ei ole otollinen eläimelle ja vaikuttaa ruokahaluun laskevasti.

### 3.5 Valaistusohteen laadun varmentaminen

Yritykset on valittu ympäri Suomen. Tällä on pyritty varmistamaan oma tietoisuus, sekä poistamaan tietyltä alueelta mahdolliset vaikutteet. Kyselyssä on mukana myös useita asiantuntijoita toimeksiantajan osalta, sekä muista yrityksistä. Työn väittämiä on ollut varmistamassa monta tahoa: mukaan lukien valaistusratkaisun tehneet yritykset, asiantuntijayritykset sekä valaisin laitevalmistajat. Tietoa on kerätty heiltä itseltään puhelimitse ja internetistä. Väitettyjä tietoja on perusteltu vähintään kolmelta taholta ennen kuin sisällytin väittämän.

## 4 Työn tulokset

### 4.1 Saadun tiedon hyödyntäminen

Saadusta tiedosta huomattiin, että eri asiat vaikuttavat eri ympäristössä. Maatalouden ympäristössä ei ole niin suurta vaikutusta valon värillä tai värintoistokertoimella. Teollisuudessa puolestaan valaisimien paloturvallisuus ei ole niin suuressa asemassa kuin se on maataloilla. Kyselyn perusteella maataloudessa valaisimien vaihdon syynä on muun muassa paloturvallisuus. Kyselystä saatiin monia valaistuksen uusimisen päätökseen vaikuttavia tekijöitä. Tekijät huomioon ottaen tehtiin liitteen 14 mukaisen Excel-taulukko, jossa näkyy eri vaikuttavat tekijät vertailtuna uuteen valaistukseen. Taulukkoon tein erotuslaskurin, joka laskee eron nykyiseen valaistukseen sekä eron kahden uuden valaistuksen välillä. Muiksi valaisimiksi valitsin myös muita kuin tyypillisimmät valaisintyypit. Valaisintyyppejä vertailutaulukkoon tehtiin: loisteputket, monimetalli-, elohopeahöyry-, suurpainenatrium-, energiansäästö-, halogeeni-, hehku- ja ledivalaisimien välillä. Tyypillisimmät valaisintyypit maataloudessa ja teollisuudessa ovat loisteputki-, suurpainenatrium- ja monimetallivalaisimet. Kyselyni perusteella totesin myös, että edellä mainitsemani valaisimet alkavat olla vanhaa tekniikkaa ja ledivalaisimet ovat jo tällä hetkellä suosituin valaisintyyppi.

Vertailutaulukosta tehtiin pisteytystaulukko, jossa käytettiin saatua tietoa määrittämään palo- ja työturvallisuuden, tuotannollisten hyötyjen ja ohjauksen painoarvon kohdeympäristöissä. Pisteytystaulukko tehtiin erilleen vertailutaulukosta. Pisteytystaulukkoja on kaksi: toinen maatalouden painotuksilla ja toinen teollisuuden painotuksilla. Pistetaulukosta liitteistä 15 ja 16 voidaan nähdä erilainen painotus kummallekin alalle. Painotus löytyy pisteytystaulukon keskeltä. Painotus on arvioitu asian tärkeyden puolesta tekemäni kyselyn mukaan. Painotuksessa on käytetty kolmea arvoa. Kolme ollen erittäin isossa asemassa ja arvo 1 ollen ei tärkeä. Esimerkiksi metalli- ja autoteollisuudessa ei ole niin merkitystä, jos jokin valaisin katossa lämpenee liikaa. Valaisimet ovat usein korkealla ja roikkuvat katosta, jolloin vaaraa ei aiheudu. Metsäteollisuudessa asian on toisin. Lämpenevä valaisin voi aiheuttaa tulipalon. Samanlailla maataloudessa valaisimet ovat usein lähellä työtiloja ja kuivaa heinää on ilmassa.

Heinä saattaa hyvin helposti syttyä vikaantuneesta valaisimesta. Jotkin asiat ovat tärkeitä molemmissa ympäristöissä, kuten keskimääräinen valaistusvoimakkuus ja valaistusvoimakkuuden tasaisuus. Keskimääräinen valaistusvoimakkuus ja keskimääräinen tasaisuus ovat molemmissa painotettu arvolla 3.

## 4.2 Vertailutaulukko

Vertailutaulukoissa käytin arvoja, joita oli internet-lähteistä saatavilla. Vanhemmista valaisintyypeistä, kuten hehkulampusta, ei ollut saatavilla nykyaikaisia tuotetietoja, joten taulukossa käytettiin hypoteesiarvoja hehkulamppuvalaisimelle. Vertailussa tärkeimmät valaisintyypit mainitsin aikaisemmin. Tärkeimpien valaisintyyppien kohdalla on saatu tuoretta tietoa tuotteiden jälleenmyyjiltä. Taulukoihin koottiin tärkeimmät tekijät valaistuksessa. Tärkeimpiä tekijöitä tehokkaan valaistuksen saavuttamiseksi lueteltiin taulukkoon seuraavat tekijät: keskimääräinen valaistusvoimakkuus, valovirta valaisinta kohden, teho valaisinta kohden, luumenia wattia kohden energiatehokkuus, valon värilämpötila, värintoistokerroin  $R_a$ , valaisimen käyttöikä tunteina sekä muutettuna vuosiksi, työ- ja paloturvallisuus, ohjauksen mahdollisuudet valaisintyyppille, terveydelliset vaikutukset, tuotannolliset hyödyt, suunnitelman tarkkuus ja vertailtavuus muistutuksena, valaistusvoimakkuuden tasaisuus ja valaisimien lukumäärä. Arvojen listaamisessa ensiksi tulee keskimääräinen valaistusvoimakkuus, sillä se on helpoin ymmärtää ja se on vaikuttavin tekijä valaistussuunnittelussa. Kyselyiden aikana huomattiin yritysten olevan epätietoisia omien tilojen keskimääräisestä valaistusvoimakkuudesta. Taulukkoon tehtiin laskuri, joka laskee valaisimien lukumäärän pinta-alaa kohden avulla tilan keskimääräisen valaistusvoimakkuuden, mikäli valaisimet olisivat uusia. Kyselyiden mukaan toisena helppona ymmärrettävänä asiana on valaistustehokkuus luumenia wattia kohden. Monet kyselyyn osallistuneista oli hyvin tietoisia ledivalaisimen tehosta tuottaa valoa vähäisemmällä energiamäärällä. Paloturvallisuus ja ohjauksen mahdollisuudet tulivat muutaman kerran esille. Muista lisäämistäni tehokkaan valaistuksen tekevästä kohdista oli vähemmän tietoa. Lisäsin ne kuitenkin taulukkoon antamaan ymmärrystä valaistuksella tehtävillä hyödyistä.

Aikaisemmin mainittu pisteytystaulukko luotiin hahmottamaan valaisintyyppien eroja selkeämmin. Esimerkiksi valon väriämpötilan merkitystä yksinkertaistettiin siten, että asetin väriämpötilan antamaan arvon kaksi, yhdestä kymmeneen asteikolla, mikäli väriämpötila jää alle 2800 kelvinin lämpimän värisen valon. Tämä arvostelu johdetaan väriämpötilan vaikuttamaan suuresti työntekoon ja näkyvään valaistusvoimakkuuteen. Mitä punaisempi valo, niin sitä vähemmän ihminen näkee valoa (Uimonen 2018.). Vaikka suurpainenaatrium antaa hyvän valaistusvoimakkuuden, ei se näytä silmälle yhtä kirkkaana kuin esimerkiksi ledivalaisimesta saatava 4000 kelvinin kirkas valo. Väriämpötilaan liittyy vahvasti myös värintoistoindeksi ( $R_a$ ). Värintoistoindeksi tärkeys on painotettu teollisuudessa vahvemmin, sillä teollisuuden aloilla on pystyttävä erottamaan värit selkeästi työskentely-ympäristössä, sillä vaarallisia ja huomioitavia laitteita maalataan erilaisilla väreillä nostoen havaittavuutta. Mikäli värit erottuvat valaistuksen vuoksi huonosti, työturvallisuus heikkenee huomattavasti. Kyselyn perusteella teollisuudessa työturvallisuus on erittäin tärkeä yksittäinen tekijä. Värintoistoindeksiä ei kuitenkaan päätetty sisällyttää näkyväksi pisteytysargumentiksi, sillä sen ajateltiin tekevän taulukko haastavammaksi luettavaksi. Pisteytystaulukosta tehtiin mahdollisimman helposti ymmärrettävä ja luettava. Muita piilotettuja arvoja värintoistokerroimen ( $R_a$ ) lisäksi ovat maatalouden taulukossa: työturvallisuus, terveydelliset vaikutukset, valaistusvoimakkuuden tasaisuus, ohjauksen mahdollisuudet ja suunnitelman tarkkuus. Teollisuuden taulukosta jätettiin pois paloturvallisuus, terveydelliset vaikutukset, ohjauksen mahdollisuudet, tuotannolliset hyödyt, suunnitelman tarkkuus, valaistusvoimakkuuden tasaisuus ja värintoistokerroin. Pois jätetyt kertoimet kuitenkin vaikuttavat pistelaskentaan taustalla mutta kyseisiä tekijöitä ei ole näkyvissä.

Tärkeimmät tekijät kyselyn perusteella olivat molemmissa aloissa keskimääräinen valaistusvoimakkuus. Luksien määrä on myös helposti ymmärrettävissä ja vaikuttaa suuresti valaistuksen tehokkuuteen. Toiseksi suureksi asiaksi molempiin taulukkoihin sisällytetty valaisimien energiatehokkuus. Yritykset kertoivat hyvin usein valaistusremontin syyksi ledivalaisimien energiatehokkuuden olevan parempi kuin aikaisempi valaistus. Energiatehokkuuden painotus ei kuitenkaan ole maksimi 3 koska ledivalaistuksella voidaan usein saada suurempia säästöjä aikaiseksi kuin pienempi sähkölasku. Energiatehokkuuden painoarvoa päätettiin laskea pienemmäksi, sillä kyselyiden

mukaan teollisuuden työkoneet kuluttavat huomattavasti enemmän sähköenergiaa kuin valaistus, joten valaisimien energiatehokkuus ei ole suuri asia. Suurempia hyötyjä ovat teollisuudessa terveemmät työntekijät ja noussut työtehokkuus. Maataloudessa työkoneet eivät vie niin suurta osaa koko maatalon sähköenergiankäytöstä, joten painotus on nostettu arvoon kolme. Kolmantena pisteytettynä arvona taulukossa on molemmissa valaisimen valon värilämpötila. Värilämpötila ei kyselyiden mukaan ollut tärkeä, mutta Ledistys Oy:n asiantuntijoiden mukaan lämpimän värisen valon valaistusvoimakkuus ei vastaa kirkkaan 4000 kelvinin valoa. Painotuksen laitoin numeron kaksi koska teollisuudessa kirkas värinen valo on tärkeä turvallisuuden ja tehokkuuden kannalta. Maataloudessa on sama painotus numero kaksi. Aikaisemmin mainitsemani lehmän tehokkuus riippuu valaistusvoimakkuudesta ja kirkkaasta valon väristä. Valaistuksen valonväri ei kuitenkaan ole kaikista tärkeimmässä päässä arvoitusta, sillä sitä ei mainittu kertaakaan yrityksiin tehdyissä kyselyissä. Lopuksi jätin teollisuuden pisteytystaulukkoon käyttöiän ja työturvallisuuden pisteytyksen. Teollisuuden yritysten kyselyissä monissa tärkeänä asiana oli työturvallisuus, joten se on painotettu kertoimella kolme. Kyselyiden mukaan työturvallisuutta lisää tasainen ja tehokkaasti rakennettu valaistus. Käyttöikä kertoo hieman kustannuksien lisääntymisestä takuuajan jälkeen. Käyttöikäero ei kuitenkaan ole eri ledivalaisimissa kovinkaan suuri, joten se on painotettu arvolla kaksi. Maatalouden ympäristössä valaisimen käyttöiän loppupuolella valaisin voi vikaantua ja lämmitä voimakkaasti. Vikaantumisen seurauksena voi olla tulipalo. Maataloudessa käyttöikä on painotettu myös arvolla kaksi. Paloturvallisuus ja tuotannolliset hyödyt ovatkin maatalouden taulukossa painotettu maksimi arvolla kolme. Tuotannolliset hyödyt saadaan kirkkaalla valonväriellä ja hyvällä ohjattavuudella. Tuotannolliset hyödyt ovat maatalous puolella suurin tekijä ja helpoiten huomattavissa kaikista.

### 4.3 Tavoitteet

Tavoitteena oli ottaa selvää suomalaisten yritysten tietoisuudesta valaistuksella tehtävistä hyödyistä. Tietoisuutta haluttiin selvittää kyselyllä. Kyselystä saatujen tietojen avulla pystyttäisiin päättämään yritysten tietoisuus valaistuksesta. Saatujen vas-

tausten perusteella määriteltäisiin valaistussuunnittelussa huomioon otettavien tekijöiden esille tuominen. Kyselyn perusteella tehtäisiin kattava ohjeistus, jolla asiakas voi itse vertailla eri valaistustekniikoita. Tavoitteena oli myös saada tietoa viimeisimmistä valaistuksen avulla saatavista hyödyistä, jotta voitaisiin kehittää tämänhetkistä valaistussuunnittelua.

## 5 Pohdinta

### 5.1 Miten opinnäytetyö onnistui

Työn tavoitteena oli etsiä tietoa yrityksiltä ja kartoittaa heidän toiveitaan valaistukselle. Valaistusalan asiantuntioilta oli tarkoitus löytää uusia kehityskohteita sekä varmistusta saatuihin tietoihin yritysten haastatteluista. Kysely tehtiin avoimena, jotta voitaisiin saada kokemuksia uudesta valaistuksesta verrattuna vanhaan. Mikäli vastaukset olisivat laadittu valmiiksi, en olisi voinut itse pohtia kaikkia mahdollisia vastausvaihtoehtoja. Näillä keinoin pystyttiin ottamaan mahdollisimman monta asiaa mukaan tehokkaan valaistuksen ohjeistukseen. Haastateltavia yrityksiä valitsin kymmenen sekä teollisuuden että maatalouden yrityksiä. Suurin osa maatalouden yrityksistä oli maitotiloja, ja teollisuuden yritykset jakautuivat tasaisesti usealle eri toimialalle. Yrityksiä valittiin Ledistys Oy:n asiakaslistalta ja toimeksiantajan tietämyksestä ledivalaistusremontin tehneistä yrityksistä. Asiantuntijat olivat valaistuksen tehokkuuteen liittyvien internet-artikkeleiden kirjoittajia ja valaisinvalmistaja yritysten tekniikan asiantuntijoita.

Kyselyt yrityksille antoivat parhaan kuvan tietämyksestä valaistus asioista. Huomasin että kysely aiheutti, joissain yrityksissä paljon kiinnostusta ja toisille kyselyni oli enemmänkin aikaa vievä asia, johon ei haluttu panostaa. Enimmäkseen oli yrityksiä, jotka halusivat olla kaikella parhaalla mahdollisella osaamisellaan mukana tutkimuksessani. Heiltä sain parhaimmat vinkit tehokkaan valaistuksen rakentamiseen. Puolet kysymyksistäni olivat hyödyllisiä ja veivät työtäni eteenpäin, mutta jotkin kysymyksis-

täni eivät vieneet haastattelua tavoitetta kohti vaan antoivat lisätietoa asian ulkopuolelta. Esimerkiksi kysymys asiantuntijoille tulevaisuuden teknisistä kehitysideoista ei tuottanut tulosta kuin yhdessä haastattelussa. Haastatteluiden kysymysten rakentamiseen olisi tarvinnut kohdentaa paremmin. Yhteensä tein 26 kyselyä yhteensä. Kyselyiden määrä olisi täytynyt olla suurempi, jotta olisi voitu luoda varmemmat tulokset.

Tuloksena syntyi kaksi Excel-taulukkoa kummallekin toimialalle ja tärkeiden kohtien ohjeistus, millä saadaan toimitettua tehokas valaistus. Taulukoihin sisällytettiin niin monta vertailtavaa arvoa kuin oli mahdollisuus. Arvot täsmäämällä valaistuksesta tulee tehokas, mutta arvojen lukeminen voi olla haastavaa valaistuksen arvoista tietämättömälle. Pisteytystaulukkoa yksinkertaistin hieman ottamalla pisteytykseen näkyväksi vain tärkeimmät arvot. Muut arvot kuitenkin pidettiin pisteiden laskennassa mukana, sillä ne ovat tärkeitä arvoja. Muut tärkeät arvot jätin pois näkyvistä, sillä sellittäminen ja asiakkaan sekoittaminen hänelle oudoin termein ei auta kaupan tekoa. Pisteytystaulukkoa olisi voinut toki testata itse kaupan teossa. Pisteytystaulukko on vain arvioitu asiantuntijoiden puolesta toimeksiantajan kanssa.

Työntuloksissa tavoitteena oli saada selkeä ohjeistus asiakkaalle siten, että hän osaisi päättää, mitä kaikkea valaistukselta vaaditaan. Ohjeistuksessa ei kuitenkaan suoraan kerrota, mitä kaikkea jokainen arvo tarkoittaa. Halutessaan taulukoihin olisi voitu lisätä selitykset jokaisesta arvosta ja siitä mitä se tarkoittaa.

## 5.2 Tulosten luotettavuus

Taulukot luotiin 26 haastattelun sekä oman kokemuksen perusteella. Omaa kokemustani on vain kerrytetty kuukauden verran. Yritykset ovat kokoluokaltaan vaihtelevia, mutta useimmat suuria yrityksiä katsottaessa liikevaihtoa. Kuitenkin tuo aika riittää hieman kartoittamaan kaupantekotilannetta yritysmarkkina myynnissä. Haastatteluita tulisi olla lukumääräisesti enemmän, jotta voitaisiin olla erittäin varmoja tuloksista. Useimmista haastatteluista sain kuitenkin samankaltaisia vastauksia ja yksit-

täiset mielipiteet on jätetty pois, mikäli mielipide ei saanut miltään taholta vahvistusta. Taulukoita voidaan käyttää ennen valaistussaneerausta suurimmissa ja pienemmissä kohteissa. Lähteenä tutkimuksen aloittaneeseen artikkeliin toimi vuodelta 1997. Tutkimus lypsykarjan oloista tulisi tehdä uudestaan, jotta saataisiin uutta tietoa eläinten käyttäytymisestä, kun asetetaan kahdeksan tuntia unta ja 16 tuntia työtä. Onko se sittenkään optimi? Nykyään olisi tarkemmat testit mittaamaan eläinten oloja. Tutkimukset ovat tehty englannin kielellä ja käännösvirheitä saattaa tulla. Valaisimien ominaisuudet ovat tarkasteltu usealta eri taholta ja ne on varmistettu olevan samaa mieltä tietyistä ominaisuuksista, joita työhön lisäsin.

### 5.3 Jatkokehitysehdotukset

Tutkimuksessa mukana oli 26 haastateltavaa ja kymmenen molemmilta tutkimusympäristöistä teollisuudesta ja maataloudesta. Loput ovat alan asiantuntijoita konsultointiyrityksistä ja valaisinvalmistaja yrityksistä. Kysely voitaisiin esittää useammalle taholle, jotta saataisiin varmempi tulos. Kysely voitaisiin tehdä myös tasaisesti koko Suomen mittakaavassa. Kyselyyn vastanneiden yritysten joukossa oli vain muutama yritys, joka sijaitsee Itä-Suomessa ja Etelä-Suomessa. Pohjois-Suomessa valonsaanti ulkona on erilaista kuin etelässä vuoden aikana.

Opinnäytetyöni kyselyiden aikana huomasin suurimman osan maitotilojen tehneen myös ilmastointi remontin ja jotkut tehneet kokonaan uuden navettarakennuksen. Kokonaan uudistetussa navetassa ei voida suoraan verrata valaistusta vanhan ja uuden välillä, sillä tuloksiin jää tulkinnan varaa. Tutkimukseen saataisi tarkkuutta, mikäli valittaisiin tutkimuskohde, jota seurataan pitkän tarkastelujakson ylitse. Tutkimuskohde voisi olla esimerkiksi maitotila, jonne tehdään vain valaistusremontti navetaan. Tarkastelujakson aikana tarkkailtaisi eläinten vointia ja tuotantolukuja.

## Lähteet

Citizen tunable white led. N. d. PDF-dokumentin enfrichin verkkosivuilla. Viitattu 22.6.2020.

<https://www.endrich.com/sixcms/media.php/2474/CITIZEN%20TUNABLE%20WHITE%20LEDS.pdf>.

CLO ja L100 – ympäristöystävällinen ja taloudellinen valinta. N. d. Artikkelin nettisivuilla. Viitattu 18.6.2020.

<https://www.fagerhult.com/fi/osaamiskeskus/LED/clo-ja-l100/>.

Glare and UGR. 2018. Sylvania lightingin julkaisema PDF-tiedosto. Viitattu 20.5.2020.

[https://www.sylvania-lighting.com/media/5032/sylvania\\_white\\_paper\\_glare\\_ugr\\_03.pdf](https://www.sylvania-lighting.com/media/5032/sylvania_white_paper_glare_ugr_03.pdf).

Dahl G.E., Elsasser T.H., Capuco A.V., Erdman R.A. & Peters R.R. 1997. Effects of a Long Daily Photoperiod on Milk Yield and Circulating Concentrations of Insulin-Like Growth Factor-I. Julkaistu sciencedirectin verkkosivuilla. Viitattu 17.5.2020

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030297762416>.

Jahnke, U. 2020 Samsung Electronics Unveils Its First Family of 'Human-centric' LED Components to Enhance Indoor Lifestyles. 2020. Artikkelin Business Wiren verkkosivuilla. 2020. Viitattu 19.5.2020. <https://www.sttinfo.fi/tiedote/samsung-electronics-unveils-its-first-family-of-human-centric-led-components-to-enhance-indoor-lifestyles?publisherId=58763726&releaseId=69876585>.

LDT Editor is the tool for viewing and editing basic data in LDT-files, n.d.

Ohjelmistokuvaus DIALuxin verkkosivuilla. Viitattu 22.5.2020.

<https://www.dialux.com/en-GB/ldt-editor>.

Matikainen, T. n.d. Tunable White – yhdellä ledimoduulilla väriämpötila 2700K – 6500K. Blokkikirjoitus Arrant-Light nettisivuilla. Viitattu 9.6.2020.

<http://www.light.fi/blog/fi/tunable-white-module-fi/>.

Moduled MDL801 mitat ja tekniset tiedot. 2020. PDF-tiedosto Ledistys Oy:n nettisivuilla. Viitattu 29.7.2020. [https://ledistys.fi/wp-content/uploads/2020/07/Ledistys-Moduled\\_801.pdf](https://ledistys.fi/wp-content/uploads/2020/07/Ledistys-Moduled_801.pdf).

Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas : miten kirjoitan kehittämistutkimuksen vaihe vaiheelta. E-kirja. Viitattu 17.5.2020.

Karlström, T. 2019. Tiina Karlström: Lehmä tarvitsee pitkän työpäivän ja lyhyen yön.

Viitattu 20.5.2020. <https://www.proagriaoulu.fi/fi/valoa-karjalle/>.

Kopperoinen, M. 2020. Ihmiskeskeisen valaistuksen suunnittelu erilaisissa kohteissa. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Viitattu 18.6.2020.

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/333889/Mikael%20Kopperoinen%20Opinn%20a4ytety%c3%b6.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

Perustietoa valaistustekniikasta. n.d. Proagria PDF-tiedosto. Viitattu 21.5.2020. [https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/perustietoa\\_valaistustekniikasta.pdf](https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/perustietoa_valaistustekniikasta.pdf).

Photoperiod Management of Dairy Cattle. 2016. Julkaisu Ontarion ruokinnan, maatalouden ja maaseudun asioiden ministeriöltä. Viitattu 18.5.2020 [http://www.omafr.gov.on.ca/english/livestock/dairy/facts/info\\_photoperiod.htm#top](http://www.omafr.gov.on.ca/english/livestock/dairy/facts/info_photoperiod.htm#top).

Power over Ethernet. n.d. Tuote-esittely Bccsolutions:n verkkosivuilla. Viitattu 23.5.2020. <https://www.bccsolutions.fi/tuote-osasto/power-over-ethernet/>.

ST 57.40 2017. Valaistustekniikan perussuureet ja määritelmät. Sähköinfo Oy:n julkaisu severi-palvelussa. Vahvistettu 25.4.2017. Viitattu 20.5.2020. <https://severi.sahkoinfo.fi/item/6532>.

Salmela, S. 2017. Mitä eroa on CRI ja Ra-arvolla ledien värintoistossa. Artikkelit Led Storen sivuilla. Viitattu 20.5.2020. <https://ledstore.fi/blog/2017/04/28/mita-eroa-on-cri-ja-ra-arvolla/>.

Tavoitteena onnellinen umpilehmä. 2018. Artikkelit Maakaistan verkkosivulla. Viitattu 18.5.2020 <https://maakaista.fi/uutiset/maatalous/item/1503-tavoitteena-onnellinen-umpilehma>.

Understanding LED Drivers and How To Choose the Right One. 2020. Valaisintoimittajan opas draivereille. Viitattu 20.6.2020. <https://www.ledsupply.com/blog/understanding-led-drivers/>.

Uimonen, N. 2018. Ulkovalaistuksen uudistaminen tehdaskiinteistössä. Insinööriyö. Metropolia ammattikorkeakoulu sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Viitattu 1.8.2020. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/147586/Uimonen\\_Niko.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/147586/Uimonen_Niko.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Vuorio. 2020. Ledistys Oy:n tekninen johtaja. Haastattelu 7.5.2020.

What is the difference between lux and lumens? n. d. Artikkelit Wave froming lightingin verkkosivuilla. Viitattu 19.5.2020. <https://www.waveformlighting.com/home-residential/what-is-the-difference-between-lux-and-lumens>.

What is human centric lighting? n.d. Artikkelit Glamox-valaisimien tukkuliikkeen verkkosivuilla. Viitattu 22.5.2020. <https://glamox.com/gsx/human-centric-lighting#what>.

What Makes an LED Bulb Flicker and How to Solve the LED Flicker Effect. n.d. Artikkelit valaisinliikkeen internet-sivulla. Viitattu 17.6.2020. <https://www.premierltg.com/what-makes-an-led-bulb-flicker-how-to-solve-led-flicker/>.

## Liitteet

Liite 1.

Nopea ohje tehokkaalle valaistukselle

<b>Ohjeistus tehokkaalle valaistukselle</b>	
<b>1. Esiksi tarkastetaan paljonko tarvitaan keskimäärin lukseja ja valon tasaisuutta</b>	
Keskimääräiset luksit	Keskimääräinen tasaisuus
<b>2. Valaisimien sijoittelu ja kytkentätapa</b>	
Vanhat	Uudet
<b>3. Vaaditaan mahdollisimman vertailukelpoiset suunnitelmat</b>	
Mittauskorkeus	Valon aleneman huoltokerroin
Heijastus suhteet	Suurimmat varjostavat tekijät otettu huomioon
<b>4. Kilpailutetaan valaisintoimittajat</b>	
Vertailutaulukko -->>	
<b>5. Vaaditaan valaistuksen riittävyyden tarkastuskäynti</b>	
Aika	Päivämäärä

## Liite 2.

## Ote standardista SFS EN 12464-2011

Tila	Työtehtävä	$E_m$ (lux)	UGR <sub>L</sub>	R <sub>s</sub>	Huomioitavaa
Aloneuvojen valmistus	Korin valmistus ja kokoonpano	50	22	80	
Aloneuvojen valmistus	Maalaus, maalauskammiot, kiillotus	750	22	80	
Aloneuvojen valmistus	Lopputarkastus	1000	19	80	
Aloneuvojen valmistus	Verhoilun valmistus (miehitetty)	1000	19	80	
Aloneuvojen valmistus	Maalaus: korjaus, tarkastus	1000	19	90	Tcp>400K
Maatalous	Karjarakennukset	50	-	40	
Maatalous	Rehunkäsittely; maitohuoneet; laitteiden puhdistus	200	25	80	
Maatalous	Sairasleäkarsinat, vasikoita	200	25	80	
Maatalous	Tavaroiden lastaus ja käsittely, laitteiden ja koneiden käsittely	200	23	80	
Voimalaitokset	Kytkinlaitteet ulkona	20		20	Tunnaväritulee olla tunnistettavissa
Voimalaitokset	Polttoainekenttä	50		20	Tunnaväritulee olla tunnistettavissa
Voimalaitokset	Kattilarakennus	100	28	40	
Voimalaitokset	Aputilat, esim. pumppuhuoneet, lauhdutushuoneet jne.; jakokeskukset (sisätiloissa)	200	25	60	
Voimalaitokset	Konehallit	200	25	80	
Voimalaitokset	Valvomot	500	16	80	

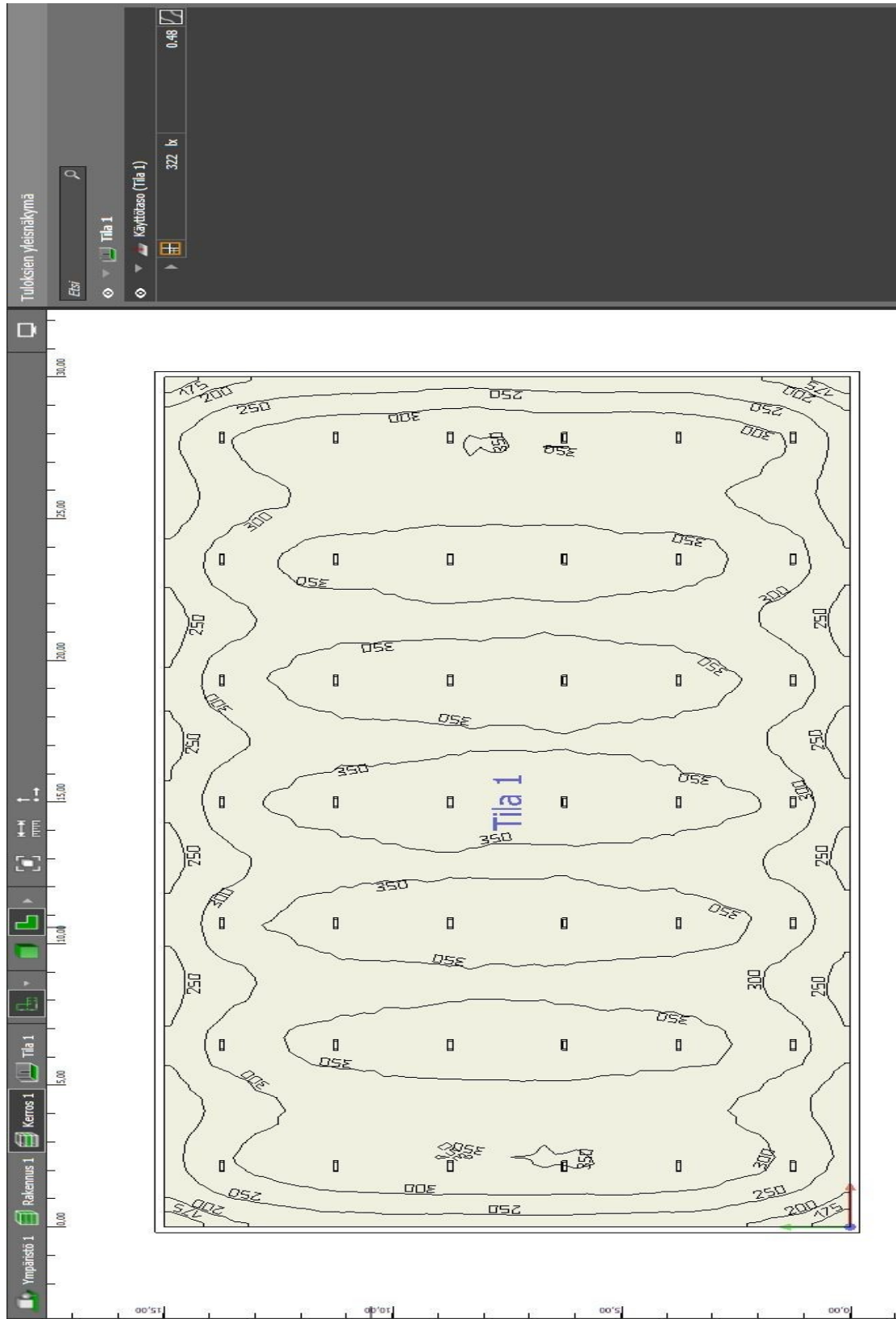
## Liite 3.

## Kyselyt

Teollisuuden yritykset	
1.	Millainen oli valaistusremonttia edeltävä valaistus?
2.	Miten remontti vaikutti valon määrään?
3.	Minkälaisia vaikutuksia uudella valaistuksella on ollut?
4.	Onko huomattu mieleen tai mielialaan vaikuttavia tekijöitä?
5.	Minkälaisilla teknisillä uudistuksilla valaistusteknologiaa voitaisiin viedä eteenpäin?
6.	Miten ovat tämänhetkiset valaisimet toimineet?
Asiantuntijat	
1.	Minkälaisia uudistuksia on tapahtunut viimeisen kymmenen vuoden aikana?
2.	Millaisia vaatimuksia valaistukselle oli silloin verrattuna nykyhetkeen?
3.	Millaisia hyötyjä voidaan saavuttaa hyvällä valaistuksella, jotka eivät liity sähköenergiantehokkuuteen?
4.	Mitkä tekijät saavat yrityksen vaihtamaan valaistuksen uuteen?
5.	Minkälaisilla teknisillä uudistuksilla valaistusteknologiaa voitaisiin viedä eteenpäin?
Maatalouden yritykset	
1.	Millainen oli valaistusremonttia edeltävä valaistus?
2.	Miten remontti vaikutti valon määrään?
3.	Minkälaisia vaikutuksia uudella valaistuksella on ollut?
4.	Onko huomattu eläinten vointiin tulleita muutoksia?
5.	Onko huomattu maidontuotantoon olevan vaikutusta?
6.	Miten ovat tämänhetkiset valaisimet toimineet?

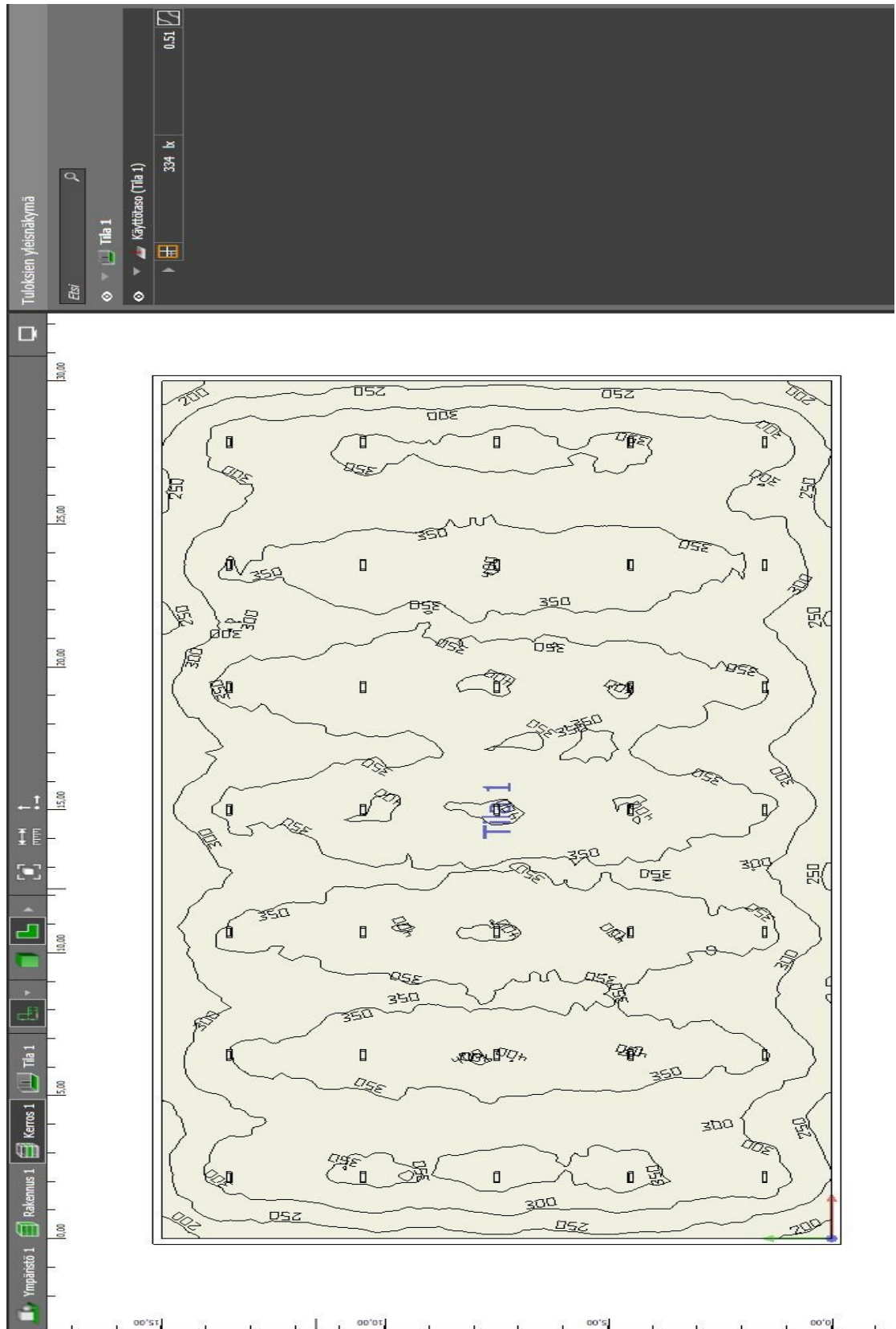
Liite 4.

Vertailumallinnus



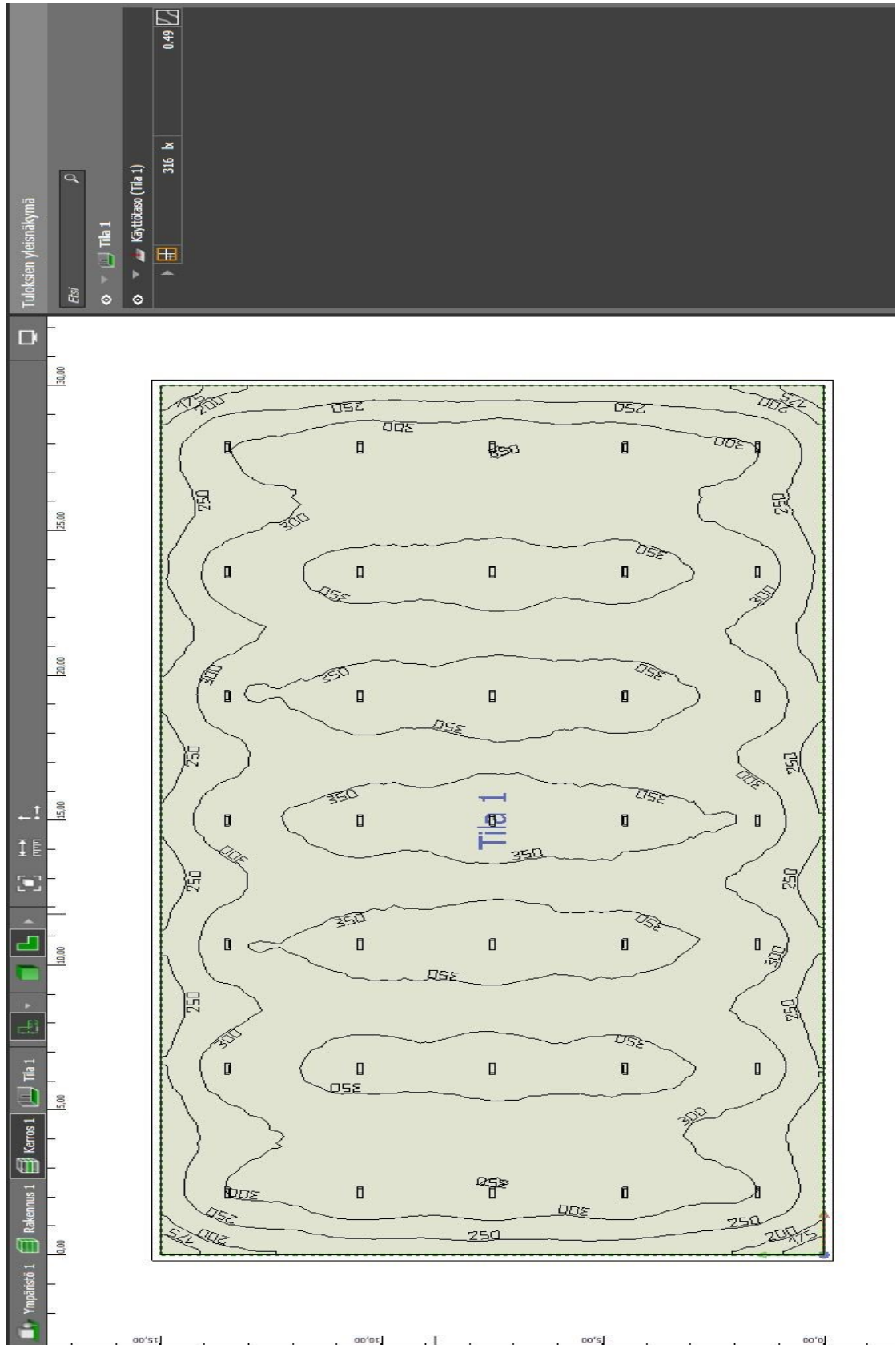
Liite 5.

Heijastussuhteiden muutos



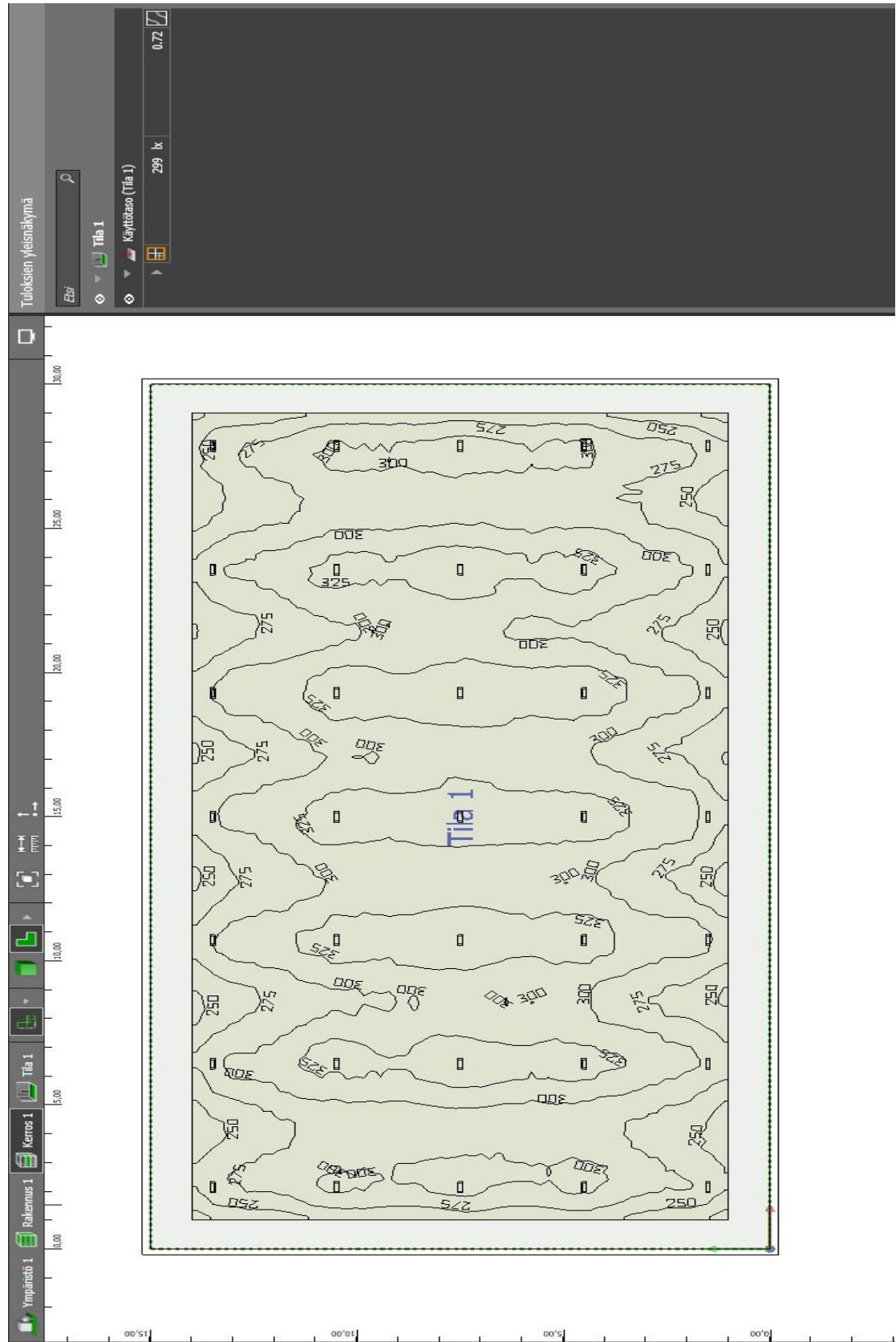
Liite 6.

Valon aleneman korjauskertoimen muutos



Liite 7.

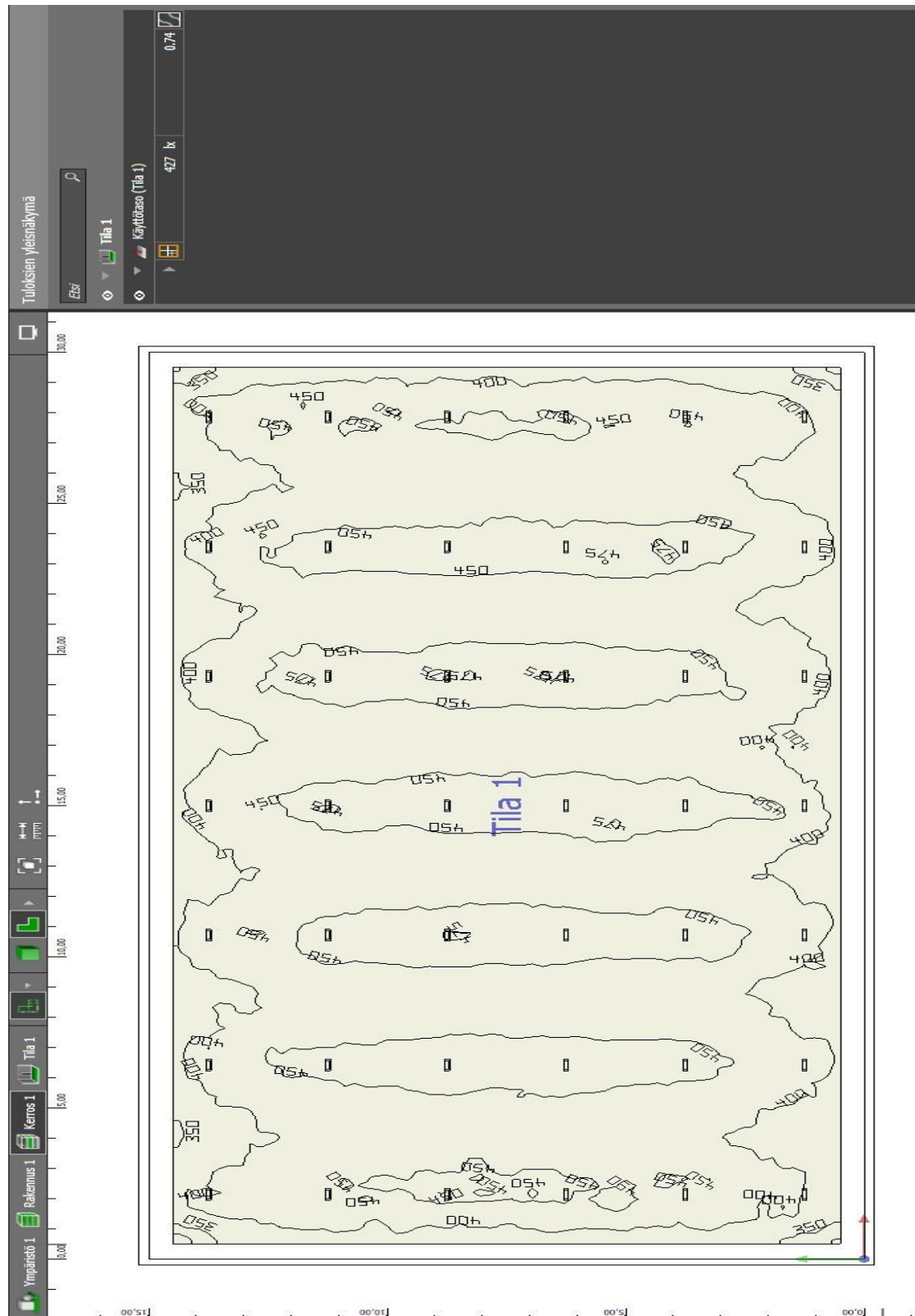
Reuna-alueiden muutos





## Liite 9.

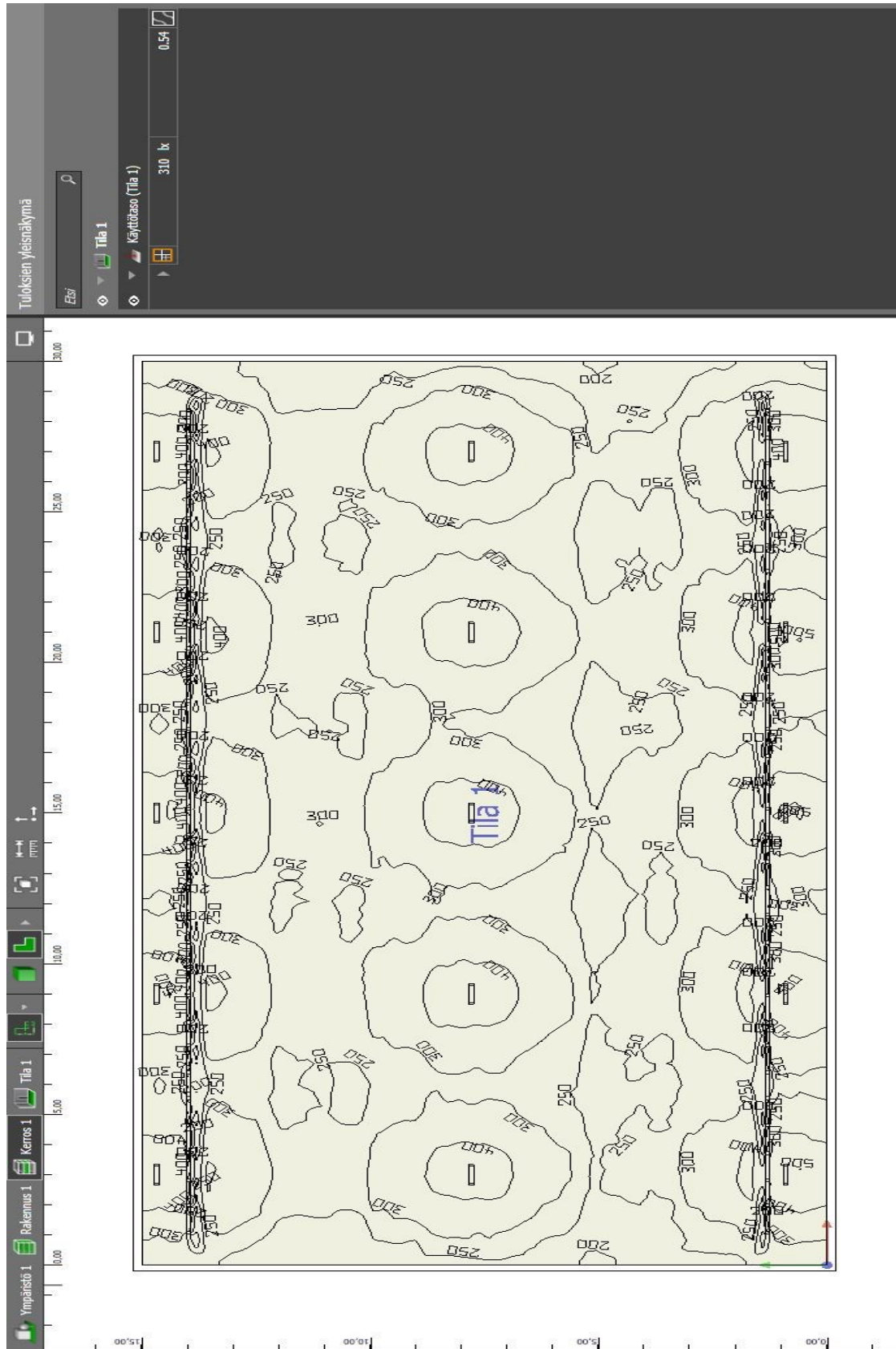
Valaistuskäyrät samalla tavalla, kuin vertailumallinnuksessa





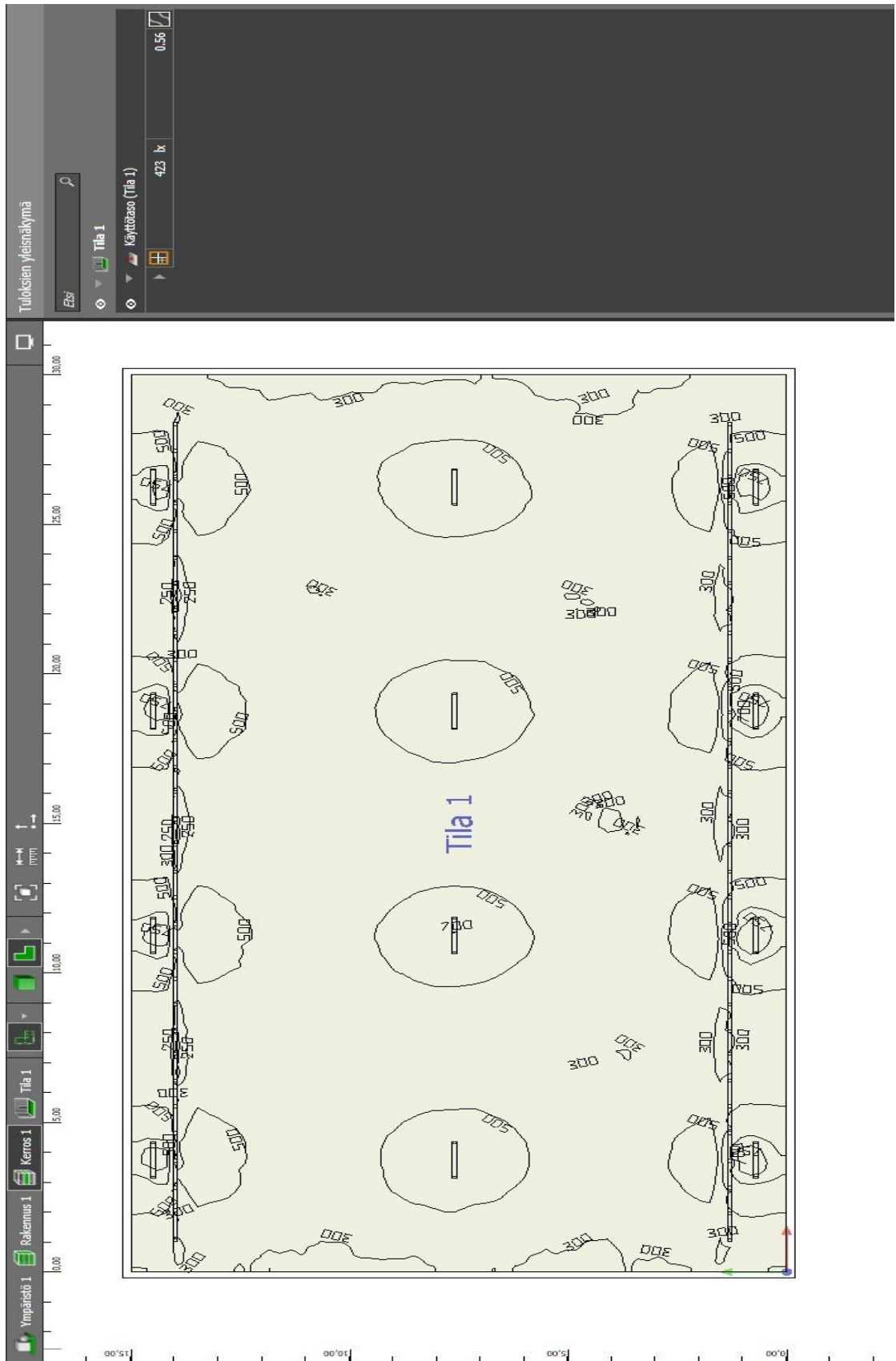
## Liite 11.

## Varjostava tekijä, 10000 luumenin valaisimet



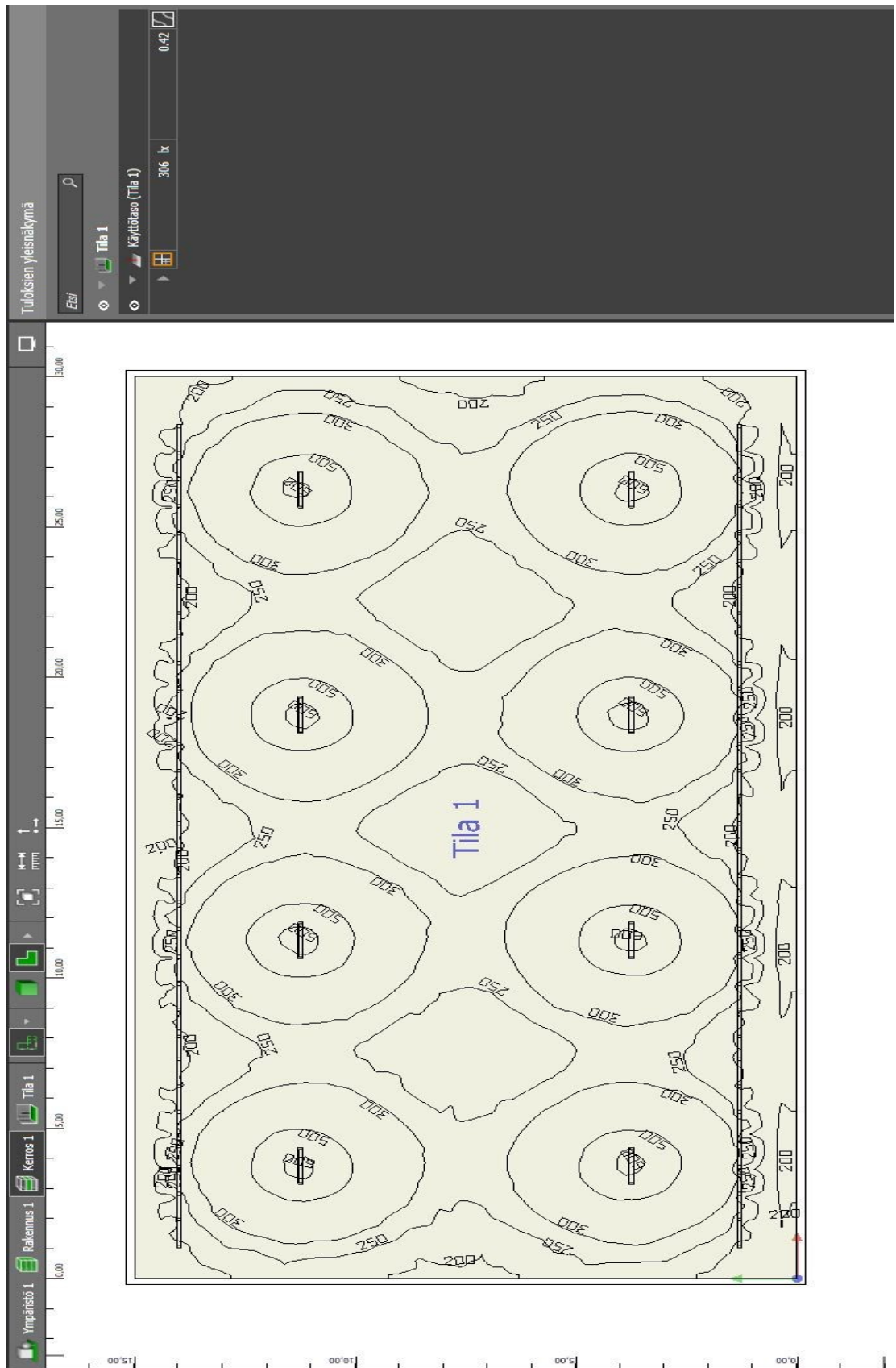
Liite 12.

Varjostava tekijä, 16000 luumenin valaisimet



Liite 13.

Varjostava tekijä, asennus keskelle tilaa



Liite 14.

Vertailtävien arvojen taulukko

Valaistusvertailu taulukko valaistussuunnittelulle	Vaadittava valaistus SFS-EN-12464-1	Nykyhetken valaistus tilanne	Valaistusvaihtoehto nro 1	Valaistusvaihtoehto nro 2	ERO VANHA-UUSI	ERO UUSIEN VÄLILLÄ
Column1	Column2	Column3	Column4	Column5	Column6	Column7
		<b>Loisteputki</b>	<b>LED valaisin</b>	<b>Monimetalli</b>		
Keskimääräinen valaistusvoimakkuus (lux)	500	250	502	350	252	-152
Valovirta(lm/valaisin)		5200	8690	36000	3490	27310
Teho (W/valaisin)		58	73	400	15	327
lm/W Energiatehokkuus		90	119	90	29,38592348	-29,04109589
Väriämpötila (K)	4000	3000	2700;4000;5000	4200		
Värintoistokerroin (R <sub>a</sub> )	>60	79	80	90	1	10
Käyttöikä (h)		20000	100000	15000	80000	-85000
Vuosina		2,3	11,4	1,7	9,132420091	-9,703196347
Työtunallisuus/Palotunallisuus	ON	2	10	5	8	-5
Ohjaus	ON	3	10	3	7	-7
Terveydelliset vaikutukset		2	7	4	5	-3
Tuotannonolliset hyödyt		3	9	3	6	-6
Suunnitelman tarkkuus:	Kaikissa samanlainen	Tarkasta tasavertaisuus	Tarkasta tasavertaisuus	Tarkasta tasavertaisuus	ON / EI	ON / EI
U <sub>0</sub> tasaisuus	0,4	0,4	0,5478	0,4952	0,1478	-0,0526
Valaisimien kappale määrä		80	40	45	40	5

## Liite 15.

## Pistetaulukko maatalouden kohteisiin

Pisteet (1-10)	Nykyhetken valaistus tilanne	Valaistusvaihtoehto (NRO 1)	Valaistusvaihtoehto (NRO 2)	Keroin (1-3)	Yhteensä nykyhetki (Pisteet)	Yhteensä vaihtoehto NRO 1 (Pisteet)	Yhteensä vaihtoehto NRO 2 (Pisteet)
Column1	Column2	Column3	Column4	Column5	Column6	Column7	Column8
	<b>Loisteputki</b>	<b>LED valaisin</b>	<b>Monimetalli</b>		<b>Loisteputki</b>	<b>LED valaisin</b>	<b>Monimetalli</b>
Keskimääräinen valaistusvoimakkuus (lux)	2	10	3	3	6	30	3
lm/W Energiatehokkuus	8	10	5	3	24	30	5
Väriämpötila (K)	8	8	8	2	16	16	8
Värintoistokerroin (R <sub>a</sub> )	6	8	8	1	6	8	8
Käyttöikä (h)	2	9	5	2	4	18	5
Työturvallisuus	2	8	8	1	2	8	8
Ohjaus	2	8	8	3	6	24	8
Terveelliset vaikutukset	2	8	8	1	2	8	8
Paloturvallisuus	2	8	8	3	6	24	8
Tuotannonliset hyödyt	3	9	9	3	9	27	9
Suunnitelman tarkkuus:	2	7	7	2	4	14	7
U <sub>0</sub> tasaisuus	0,2	0,5	0,5	2	0,4	1	0,5
					<b>85,4</b>	<b>208</b>	<b>77,5</b>



