

Oskari Toivola

Tuotantolaitoksen valaistuksen sähköenergian kulutuksen määrittäminen ja vähentäminen

Opinnäytetyö
Sähkötekniikka

2018



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Tekijä/Tekijät

Tutkinto

Aika

Oskari Toivola

Sähkötekniikan insi-
nööri

Tammikuu 2018

Opinnäytetyön nimi

Tuotantolaitoksen valaistuksen sähköenergian kulutuksen
määritys ja vähentäminen

23 sivua
2 liitesivua

Toimeksiantaja

Hartwall Oy

Ohjaaja

Hannu Honkanen

Tiivistelmä

Valaistusenergiansäästö on ajankohtaista niin teollisuudessa kuin kotitalouksissa. Sen avulla voidaan omalta osaltamme vaikuttaa ilmastonmuutoksen hillitsemiseen. Valaistusenergian vähentämisen avulla on lisäksi mahdollista säästää rahaa. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli vähentää valaistusenergian kulutusta pienen investoinnin avulla, jonka takaisinmaksuaika olisi lyhyt. Tarkoituksena oli luoda valaistusenergiankulutuksen vähentämissuunnitelma, joka auttaa laskemaan valaistusenergian kulutusta ja sitä kautta kustannuksia tuotantolaitoksessa.

Opinnäytetyön lähteinä on käytetty tutkimustietoa, alan kirjallisuutta ja lehtiä sekä internet-lähteitä. Työn teoriaosuus käsittelee teoriaa valaistusenergian muodoista sekä sen vähentämisestä ja suunnittelusta. Työn empiirisessä osuudessa keskitytään valaistusenergian kulutuksen laskemiseen sekä valaistusenergian vähentämiseen liiketunnistimilla.

Opinnäytetyön lopputuloksena oli valaistusenergiankulutuksen vähentämissuunnitelma tuotantolaitoksen varastotiloissa. Sen toteutukseen vaadittavat investoinnit olivat edullisia toteuttaa ja niiden takaisinmaksuaika oli lyhyt.

Asiasanat

Sähköenergia, sähkön kulutuksen vähentäminen, tuotantolaitos

Author (authors)

Oskari Toivola

Degree

Bachelor of electrical
engineering

Time

January 2018

Thesis title

The determination and reduction of the consumption of electrical
energy in the production plant

23 pages

2 pages of appendices

Commissioned by

Hartwall Oy

Supervisor

Hannu Honkanen

Abstract

Saving lighting energy is timely both in the industry and in households. It, however, helps us to influence the climate change mitigation. Reducing light energy also makes it possible to save money.

The aim of this thesis was to reduce the consumption of lighting energy with a small investment with a short payback period. The purpose of this thesis was to create a lighting energy reduction plan that helps to reduce the lighting energy consumption and thus the cost of the production plant.

The sources of thesis work include research data, literature in the electric field, magazines and internet sources.

The theoretical part of this thesis describes lighting energy forms, as well as its reduction and design. The empirical part of the thesis focuses on calculating the consumption of lighting energy and reducing lighting energy.

The key result of the thesis was a reduction plan for lighting energy consumption in production plant's storage facilities. The energy-saving plan was the result of the development project.

Keywords

Electric energy, reducing the consumption of electricity, production plant

Haluan kiittää Hartwall Oy:tä mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyö valaistusenergian suunnitteluun liittyen. Hartwallin Sami Pohjasta haluan kiittää opinnäytetyön tilaamisesta ja työhön liittyvien tietojen selvittämisestä sekä Essi Frondeliusta opinnäytetyön rakenteen ohjauksesta.

Lahdessa 2018, Oskari Toivola

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY	1
2.1	Hartwall Lahti.....	1
2.2	Hartwallin historia	2
3	SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT JA VAATIMUKSET	3
3.1	Omat ja toimeksiantajan vaatimukset	3
3.2	Luotettavuus.....	3
4	VALAISTUSENERGIA.....	4
4.1	Lampputyypit ja niiden toiminta energiansäästön kannalta	5
4.2	Energiansäästötavat valaistuksessa.....	10
4.3	Valaistusenergian säästön suunnittelu kustannuslaskennan avulla	11
5	PROSESSIN PARANTAMISMENELMÄ.....	12
6	VALAISTUSENERGIAN KÄYTÖN VÄHENTÄMISEN SUUNNITTELUPROSESSI....	13
6.1	Kohde.....	13
6.2	Lähtötilanteen kartoitus ja ongelman tunnistaminen	13
6.3	Valaistusenergiankulutuksen analysointi	15
6.3.1	Energiansäästökohteiden valinta	16
6.4	Energiansäästösuunnitelma	17
7	TULOKSET	20
8	POHDINTA.....	21
	LÄHTEET	22

LIITTEET

Liite 1. Suureet, yksiköt sekä niiden merkitys

Liite 2. Laskentataulukko

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutos puhuttaa kaikkialla ja yrityksille on tärkeää toimia kestävällä tavalla ympäristöä säästäen. Vuorinen (2013, 1) huomauttaa, että jokaisella sähköenergian käyttäjällä on mahdollisuus vaikuttaa kasvihuoneilmiön etenemiseen. Energiansäästö on keino hillitä ilmastonmuutosta (Vuorinen 2013, 206), minkä vuoksi sähköenergian kulutuksen vähentäminen on hyvin ajankohtaista.

Sähkötekniikan kehittyessä markkinoille on tullut yhä edullisempia valaistustekniikoita. Näiden avulla saadaan pienennettyä kulutusta samaan aikaan, kun yritys toimii entistä kestävämmiin ja vastuullisemmin. Kestävän kehityksen mukana kulkeminen voi tuoda yritykselle taloudellisia säästöjä.

Tehtaiden sähköenergian kulutus on saanut liian vähän huomiota osakseen, vaikka yhteiskunta kannustaa ekologisiin valintoihin. Jotta isoissa tehtaissa sähköenergiankulutusta voisi pienentää, on ensin tutkittava, kuinka paljon nykyinen valaistus kuluttaa energiaa. Tämän tiedon avulla voidaan löytää uusia ratkaisuja energiankulutuksen pienentämiseen.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on vähentää valaistusenergian kulutusta pienen investoinnin avulla, jonka takaisinmaksuaika olisi lyhyt. Tarkoituksena on luoda valaistusenergiankulutuksen vähentämissuunnitelma, joka auttaa laskemaan valaistusenergian kulutusta ja sitä kautta kustannuksia tuotantolaitoksessa.

2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY

2.1 Hartwall Lahti

Työn toimeksiantajana toimii Lahdessa sijaitseva Hartwallin tuotantolaitos. Hartwall Lahti on huippumoderni tuotantolaitos ja logistiikkakeskus, jonka rakentaminen aloitettiin maaliskuussa 1992 (Kangas, 2004). Ensimmäisessä vaiheessa rakennettiin tuotanto- ja jakeluväri, joka valmistui lokakuussa

1993. Vuosien 1994–1999 välisenä aikana tilat laajenivat muun muassa truk-kivaraston laajennuksen ja automaattisen korkeavaraston myötä. Lisäksi tilat laajenivat vielä 2000–2003 välisenä aikana pakkaamolla ja vieraiden vastaanotto- ja palvelurakennuksella. (Kangas, 2004.)

Kokonaisuudessaan Hartwall Lahti otettiin käyttöön keväällä 2003. Tuotantolaitos kuuluu 234 miljoonan euron kokonaisarvolla Suomen elintarviketeollisuuden suurimpiin investointeihin. Valmiissa tuotantolaitoksessa on kerrosalaa 150 000 neliometriä ja ulkoseinän ympärimitta on 1600 metriä. (Kangas, 2004.)

Hartwall Lahden tuotantolaitos sijaitsee lähellä Lahden keskustaa ja alueelta on erinomaiset liikenneyhteydet valtateille. Tuotantolaitoksen piha-alueella järjestetään myös suurelle yleisölle avoinna olevia tapahtumia.

2.2 Hartwallin historia

Hartwall perustettiin Victor Hartwallin toimesta vuonna 1836 (Hartwall s.a). Toiminta aloitettiin valmistamalla ja myymällä kivennäisvesiä Sederholmin talossa Helsingin Senaatintorilla. 1865 vuodesta lähtien vesiä myytiin ensin erillisistä vaunuista, joista myöhemmin siirryttiin vesikioskeihin. Tällöin syntyivät myös ensimmäiset virvoitusjuomat. 1800-luvun lopulta alkaen siirryttiin käsitöstä teollisuudeksi ja kysynnän lisääntyessä on tuotantolaitoksia jouduttu uudistamaan ja rakentamaan lisää. (Hartwall s.a.)

Toisen maailmansodan jälkeen alettiin jälleen kehittää uusia juomia ja 1949 syntyikin Hartwall Jaffa, joka on edelleen markkinoiden ykkönen hedelmävirvoitusjuomien tuote-ryhmässään. Helsingin olympialaisiin 1952 valmistui Hartwall Original Long Drink, joka suosionsa takia jäi markkinoille ja on pysynyt siellä tähän päivään asti. Panimoalalle Hartwall siirtyi 1966, kun se osti Karjala-olutta valmistavan Lappeenranta-Lauritsala -panimon. Lahden Mallasjuoman osto 1988 mahdollisti Hartwallin laajenemisen ulkomaille. Hartwallin uusi tuotanto- ja logistiikkakeskus valmistui Lahteen vuonna 2003. Isobritannialainen Scottish & Newcastle hankki Hartwallin omistukseensa 2002, josta

se siirtyi Heinekenin omistukseen 2008, Heinekenin ja Carlsbergin ostettua Scottish & Newcastlen. Tanskalainen Royal Unibrew osti Hartwallin elokuussa 2013. (Hartwall s.a.)

3 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT JA VAATIMUKSET

3.1 Omat ja toimeksiantajan vaatimukset

Toimeksiantajan tavoitteena oli sähköenergian kulutuksen vähentäminen valaistuksessa. Heidän tavoitteenaan oli myös saada tieto, kuinka paljon energiaa kuluu valaistuksessa. Toimeksiantaja ohjeisti keskittymään pieniin tiloihin, joissa sähköasennuksen muutokset olisivat edullisesti toteutettavissa. Toisin sanoen toimeksiantaja toivoi, että investoinnit olisivat pieniä ja niiden takaisinmaksuaika olisi mahdollisimman lyhyt.

Oma tavoitteeni oli luoda ratkaisu, joka on taloudellisesti kestävä ja mahdollista toteuttaa. Tavoitteenani oli oppia keräämään tietoa tehokkaasti ja luotettavasti siitä, kuinka paljon valaistus kuluttaa energiaa. Tämän tiedon kerääminen on tärkeä pohja kaikille valaistusenergian suunnittelutyölle.

3.2 Luotettavuus

Tässä opinnäytetyössä jokainen työvaihe on dokumentoitu läpinäkyvyyden lisäämiseksi. Teoriaosuudessa olen järjestelmällisesti esittänyt suunnitelman lähtökohdat ja rakentanut suunnitelman vaihe vaiheelta siten, että lukija ymmärtää kuinka olen päässyt lopputulokseen. Olen pyrkinyt erottamaan teoreettisen viitekehyksen empiirisestä osuudesta, jotta kokonaisuudesta tulisi selkeää ja looginen.

Työssä käytettävät lähteet olivat monipuolisia. Ne sisälsivät ainakin ammattilehtien artikkeleita, tutkimustietoa, internetlähteitä sekä alan kirjallisuutta. Kun etsin tietoa useista eri lähteistä tavoitteena oli valita mahdollisimman luotettavat aineistot, mutta myös ajankohtaisuus painoi valinnoissa. Esimerkiksi läh-

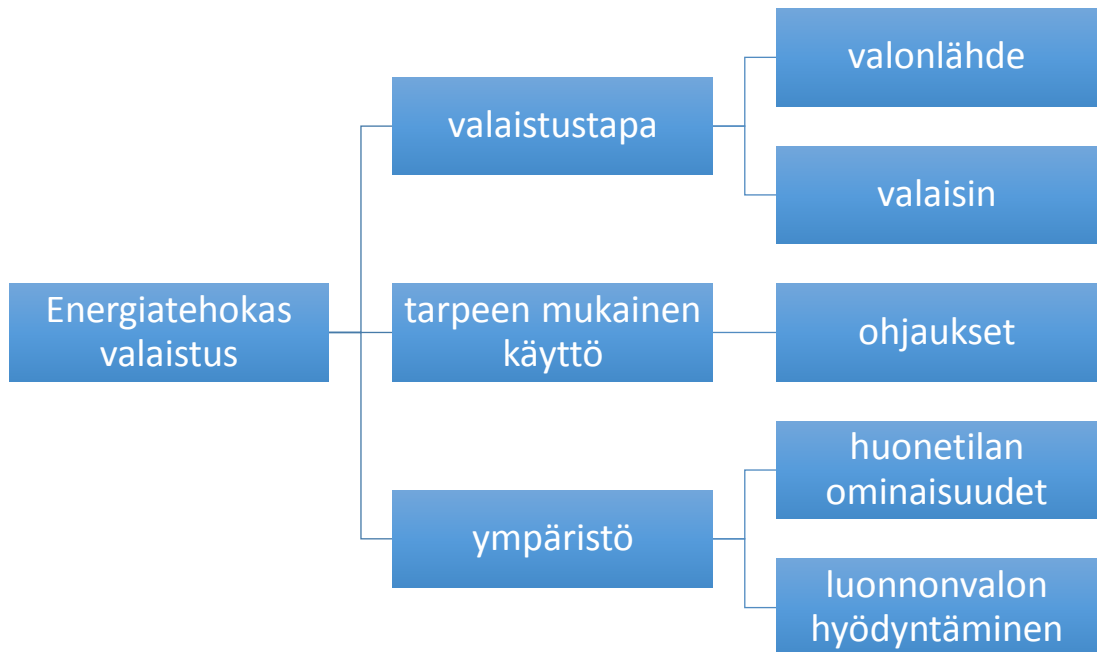
teen luotettavuutta voidaan arvioida siinä käytettävän sävyn ja tyylin perusteella (Vilkkä & Airaksinen 2003, 73).

4 VALAISTUSENERGIA

Valo on sähkömagneettista värähtelyliikettä, jonka taajuus on noin $10^{14} - 10^{16}$ Hz. Näkyvä valo sijaitsee sähkömagneettisten värähtelyjen kirjossa välillä 400 nm – 700 nm. Näkyvä valo jakaantuu eri väreihin, joilla on erilaiset aaltopi- tuudet. Silmä tunnistaa parhaiten vihreät ja vihreän kaltaiset valonsäteet. Esimerkiksi hehkulampun säteilemästä kokonaisenergiasta on vain noin 10 % näkyvällä taajuudella ja noin 90 prosenttia siitä on muun muassa näkymätöntä lämpösäteilyä.

Valovoima on valonlähteen valoenergian säteilykyky. Mittayksikkö on yksi kandela (cd) on määrätyn suuruisen valonlähteen valovoima. Esimerkiksi hehkulampun valon säteilykyky voidaan ilmoittaa kandeloina, watteina tai lumenena. Lumenet on yleisimmin käytössä eri valonlähteitä vertailtaessa.

Ensisijaisesti valaistuksen tehtävä on tuottaa riittävän paljon laadullisesti hyvää valoa erilaisten toimintojen suorittamiseen. Mahdollisimman alhainen energiankulutus on tavoitteena energiatehokkaassa valaistuksessa. Valais- tuksen energiatehokkuuteen vaikuttavat valaistuksen käyttö ja valaistusratkai- su, kuten valonlähteet, valaistuksen toteutustapa ja valaisimet (ks. Kuva 1). (Teknologiateollisuus 2016, 5.)



Kuva 1. (Valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä (muokattu Suomen valoteknillinen seura ry 2008, 24)

Sähkövalonlähteet voidaan jakaa kolmeen pääryhmään, jotka ovat hehkulamput, purkauslamput ja LED-lamput. Näistä esimerkiksi hehkulamput ovat lämpösäteilijöitä ja purkauslamput ovat luminanssi- eli kylmäsäteilijöitä.

4.1 Lamputyypit ja niiden toiminta energiansäästön kannalta

Hehkulamppu

Hehkulamppu tuottaa valoa, kun hehkulanka kuumennetaan sähkövirralla riittävän korkeaan lämpötilaan. Tällöin se alkaa säteillä energiaa näkyvän valon aallonpituuksilla. Hehkulanka, joka on tehty volframista, on kuvun sisällä, josta valmistuksen aikana on happi imetty hyvin tarkoin pois ja korvattu joko kaasutäytöksellä tai jätetty tyhjäksi. Hehkulamppujen valotehokkuus on noin 8 - 20 lm/W ja keskimääräinen käyttöikä on noin 1000 tuntia. Pieni valotehokkuus aiheutuu hehkulamppujen tehonkäytöstä, jolloin 95 % lampun ottamasta tehosta muuttuu lämmöksi. (Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry & Suomen Valoteknillinen Seura ry. 1998, 16.) Hehkulamppujen tehonkulutus on korkea,

eivätkä ne täytä EU:n säästödirektiiviä. Tämän vuoksi niitä ei enää ole saatavilla.

Halogeenilamppu

Halogeenilamput ovat hehkulampun muunnoksia, joissa käytetään halogeenikaasua palauttamaan hehkulangasta höyrystyneet volframiatomit takaisin hehkulankaan. Lisäksi polttimossa on korkea paine, joka auttaa volframiatomien palautumista. Halogeenilamppujen valotehokkuus on 16–22 lm/W ja keskimääräinen käyttöikä noin 2000 tuntia. (Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry & Suomen Valoteknillinen Seura ry. 1998, 27.) Halogeenilamput noudattavat lähestulkoon samaa tekniikkaa kuin hehkulamput. Ne ovat myös poistumassa markkinoilta, minkä vuoksi ne eivät ole optimaalinen ratkaisu.

Loistelamppu

Loistelampun toiminta perustuu sähköpurkaukseen. Lampun päissä olevien elektrodien välille tehty sähköpurkaus elohopea- ja jalokaasuseoksessa tuottaa näkyvää ja ultraviolettivaloa. Lampun kuvun sisäpinnalla oleva loisteaine kerros absorboi ja muuttaa ultraviolettivalon mahdollisimman hyvin näkyvänvalon aallonpituuksille. (Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry & Suomen Valoteknillinen Seura ry 1998, 34.)

Loistelamppuja on useaa eri mallia ja kokoa, tehtaissa olevista 1500 mm pitkistä suorista putkista nykyisiin kierrekantaisiin energiansäästölamppuihin. Loistelamppuja ei voi kytkeä suoraan tavalliseen jännitelähteeseen, koska silloin virta kasvaa jatkuvasti aiheuttaen lopulta johdinten sulamisen tai lampun rikkoontumisen. Tästä johtuen loisteputket varustetaan ulkoisella kytkentäpiirillä, jonka tehtävä on rajoittaa virran kulkua lampussa. (Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry & Suomen Valoteknillinen Seura ry 1998, 34.)

Kytkentäpiiri aiheuttaa tehohäviöitä lampussa, joten esim. suoraputkinen 58 W loistelamppu kuluttaa yhteensä noin 64 W tehoa. Loistelamppujen valotehokkuus myös laskee ajan kuluessa lampun sisäpinnalle kertyvien epäpuhtauksien takia. Suorien loistelamppujen valotehokkuus on noin 75–94 lm/W, ja nii-

den keskimääräinen käyttöikä on noin 6000–90000 tuntia. Pienoisloistelampujen valotehokkuus on 30–80 lm/W ja keskimääräinen käyttöikä on noin 15000 tuntia. Käyttöiän suuri hajonta riippuu käyttötavasta, sillä paljon palava lamppu kestää kauemmin kuin lamppu jota sytytetään ja sammutetaan jatkuvasti. (Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry & Suomen Valoteknillinen Seura ry 1998, 34.)

Loistavat ovat optimaalisia tehdasolosuhteisiin, joissa ne palavat jatkuvasti. Valaistus energiatehokkuuden kannalta niiden heikkous on kolotehokkuuden väheneminen ajan kuluessa ja niiden käyttöikään vaikuttavat myös sytytys- ja sammutuskerrat.

Elohopealamppu

Elohopealamppussa elohopeahöyryä sisältävän polttimon kautta johdetaan suuri virta, joka nostaa höyryn paineen useaan ilmakehään. Tällöin höyry alkaa lähettää sähköpurkauksessa pääasiassa näkyvää valoa. Elohopealamppu tarvitsee toimiakseen ulkoisen kytkentäpiirin, joka rajoittaa virran kulkua lamppussa, aivan kuten loistelamppu. Elohopealamput ovat suunniteltu juuri alueille, missä niitä ei sammuteta käytönaikana, koska ne eivät syty heti uudestaan sammuttamisen jälkeen, vaan niiden pitää antaa jäähtyä muutaman minuutin. Tästä johtuen elohopealamppujen yleisimpiä käyttökohteita ovat katu- ja tievalaistus sekä teollisuusalueet. Elohopealamppujen valotehokkuus on 40–60 lm/W ja käyttöikä vaihtelee 8000–16000 tunnin välillä. Elohopealamput toimivat vielä 16000 tunnin jälkeenkin, mutta sen valoteho pienenee koko ajan. Valotehokkuuden pienuudesta ja käyttöajan lyhydestä johtuen EU on päättänyt kieltää elohopealamppujen valmistuksen vuonna 2015. (Valoa design S.a., 3; Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry & Suomen Valoteknillinen Seura ry. 1998, 47.) Näin ollen elohopealamput ovat myös poistuneet markkinoilta.

Monimetallilamppu

Monimetallilampun toiminta pohjautuu elohopealamppuun. Monimetallilampuissa elohopeaa sisältävään polttimoon on lisätty muiden metallien jodideja.

Nämä jodidit hajoavat sähköpurkauksessa, jolloin ne alkavat tuottaa niille ominaista valon väriä. Lampun syttyminen vaatii erityisen sytytyslaitteen, joka antaa polttimon elektrodien välille useiden kilovolttien jännitteen. Lisäksi monimetallilamppu vaatii 2 - 10 minuutin ajan sytytyksen jälkeen loistaakseen normaalilla valolla. Tämä johtuu jodidien eri höyrystymisajoista. Monimetallilamppuja käytetään samoissa paikoissa kuin elohopealamppuja, ja niillä tul- laan todennäköisimmin korvaamaan elohopealamput vuoden 2015 jälkeen. Monimetallilampun valotehokkuus on 65–120 lm/W ja käyttöikä on noin 12000 tuntia. (Valoa design S.a.), 4; Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry & Suomen Valoteknillinen Seura ry. 1998, 53.) Monimetallilamppuja käytetään pää- osin ulkovalaistuksessa tai isoissa tiloissa, joissa sytytys- ja sammutuskertoja ei tule kovin usein.

Suurpainenatriumlamppu

Suurpainenatriumlampussa natriummetallia sisältävän polttimon lävitse johde- taan niin suuri virta, että natriumhöyryn paine polttimon seinämän lämmitessä kasvaa 30–35 kilopascaliin. Tällöin höyry alkaa lähettää tehokkaasti valoa. Tämä valo on väriltään pääosin keltaisenvalkoista. Tavallinen suurpainenatri- umlamppu tarvitsee ulkoisen sytytinlaitteen, mutta eräissä lampputyypeissä sytytin on asennettu kiinteästi lamppuun. Energiatehokkuutensa takia suur- painenatriumlamppuja käytetään paljon katu- ja tievalaistuksissa. Suur- painenatriumlamppujen valotehokkuus on 60–150 lm/W ja käyttöaika normaali- leissa käyttöolosuhteissa on 12000–16000 tuntia. (Valoa design S.a., 3; Suo- men Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry & Suomen Valoteknillinen Seura ry. 1998, 60.)

Induktiolamppu

Induktiolampussa valontuotto perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Kaasujen ja elohopean atomit viritetään induktiomenetelmällä, jolloin kaasuseos alkaa loistaa ultraviolettivaloa. Tämä UV-säteily muuntuu lampun kuvunsisäpinnassa olevan loisteainekerroksen avulla näkyväksi valoksi. Tämä toimintatapa on samanlainen kuin loistelampuissa. Koska induktiolampussa ei ole hehkulankaa eikä kuluvia elektrodeja, päästään hyvin pitkiin, jopa 80000 tunnin käyttöaikoihin. Induktiolampun valotehokkuus on noin 60–80 lm/W. Induktiolampun käyttöä vähentää sen hinta ja huollon vaikeus, sillä lampun rikkoutuessa pitää koko valaisin vaihtaa. (Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry & Suomen Valoteknillinen Seura ry. 1998, 65.) Investointien kannalta induktiolamput eivät ole edullisin vaihtoehto.

LED-lamppu

LED on puolijohdekomponentti. Tämä tarkoittaa sitä, että LED-valaisimet alkavat loistaa valoa, kun niiden läpi johdetaan vaan virtaa. LED-lampuissa käytetään joko teholedejä tai monia perusledejä sarjaan kytkettynä.

Vaikka LED-lamput eivät säteile lämpöä samalla tavalla kuin esimerkiksi hehkulamput, ne lämpenevät kuitenkin käytön aikana runsaasti. 75 % LED:n kokonaistehosta menee lämmöntuottamiseen, toisin kuin hehkulamput, jotka käyttävät noin 90 - 95 % lämmöntuottamiseen.

LED-lamput eivät sovi kuumien tilojen valaistukseksi, koska korkea lämpötila voi aiheuttaa käyttöajan lyhenemistä (Sähköala.fi s.a.). LED-lamput ovat energiatehokkaita, ja niiden käyttöikä on pitkä. Lisäksi niiden vahvuuksiin kuuluu myös iskunkestävyys. LED-lamput kehittyvät nopeaa vauhtia. Nykyisin LED-valot täyttävät erittäin hyvin suurienkin työmaiden valaistusvaatimukset, sillä niiden valaistustehot ovat kasvaneet (Valli 2017, 23).

Todellista käyttöikää ei voida määrittellä ainoastaan ledien asteittaisella valon tuotannon alenemalla. Ledivalonlähdemoduuli ja ledivalaisin ovat tekninen

laite, joka koostuu monista erilaisista komponenteista. Ledivalaisimen todellisen käyttöiän määrittää sen heikoin komponentti (Suojanen 2017, 21).

4.2 Energiansäästötavat valaistuksessa

Attarin, Dekayn, Davidsonin ja de Bruin (2010) tutkimus osoitti, ettei esimerkiksi energiatehokkaita valaisimia mielletä tehokkaaksi sähköenergian säästötavaksi. Vastaajista suurin osa mainitsi esimerkiksi valojen sammuttamisen tehokkaaksi keinoksi vähentää sähköenergiankulutusta. Tutkimuksessa osoitettiin, kuinka vastaajat aliarvioivat energiankäytön ja säästöt. Tutkimuksessa nostettiin myös esiin suuren yleisön tietoisuuden lisäämistä energiankulutuksen ja säästöihin liittyen. (Attarin, Dekayn, Davidsonin & de Bruin 2010.)

Valaistuksen avulla energiaa voidaan säästää usealla eri tavalla, kuten esimerkiksi vaihtamalla valaisimet uusiin vähän energiakuluttaviin, kohdentamalla valo optiikan avulla oikeaan kohtaan, optimoimalla valaisinten sijoittelu sekä automatisoimalla valonohjaus. Automaattisen valonohjauksen avulla voidaan vähentää valaistuksen energian kulutusta esimerkiksi silloin, kun valolla ja tilalla ei ole käyttäjiä. (Motivan Hankintapalvelu 2016.)

Suunniteltaessa valaistushankintoja on suositeltavaa tarkastella valaistuksen koko elinkaarta aina suunnittelusta ylläpitoon saakka. Valaistuksen tuomiin kustannuksiin vaikuttaa esimerkiksi valaisimien ja lamppujen huollot ja vaihtovälit. (Motivan Hankintapalvelu 2016.)

Edelleen vuonna 2016 valaistuksessa oli suuri säästöpotentiaali. Kiinteistöjen energiankulutuksessa valaistus vie suuren osan heti lämmityksen jälkeen ja kuntatasolla valaistukseen kuluu kolmasosa. Nykyisin valaistushankinnoilla on takaisinmaksuajat. Monessa kiinteistössä, kaupungissa, kunnassa ja taloyhtiöissä valaistushankinnat ovat ajankohtaisia. Elinkaarikustannuksia vertailemalla löytyy edullisin ratkaisu. Energian säästön ja laadukkaan valaistuksen tuo hyvä valaistussuunnittelu, valaistuksen ohjaus ja energiatehokkaat valaisimet. Elinkaarikustannusten vertailussa huomioidaan hankintahinnan lisäksi huoltokustannukset ja käyttökustannukset. (Motiva Oy 2016).

Valaistukseen vaikuttaa myös investoitavan pääoman suuruus. Esimerkiksi muutama vuosi sitten led-valaisimien kustannus oli huomattava verrattuna nykyiseen hintatasoon.

4.3 Valaistusenergiansäästön suunnittelu kustannuslaskennan avulla

Jokaisessa organisaatiossa on tärkeää selvittää kustannukset. Kustannuslaskennasta saatava informaatio antaa yrityksen asiantuntijoille ja johdolle tärkeää tietoa esimerkiksi tuotekehitykseen liittyvää päätöksentekoa varten. (Jormakka 2009, 193.)

Kustannuslaskennassa tärkeää on määrittää kustannukset riittävän tarkasti, aiheuttamisperiaatetta noudattaen. Siinä kustannukset kohdistetaan esimerkiksi prosessille tai toiminnalle sekä kustannuspaikalle. Useat kustannuserät on mahdollista saada tietoon kirjanpidon kustannuseristä tilikauden päätyttyä. Tästä huolimatta tuotteita on hinnoiteltava ja kustannuksia on laskettava tilikauden aikana, minkä vuoksi niitä on seurattava seurantajärjestelmän avulla. (Jormakka 2009, 193.)

Kustannuslajeihin kuuluvat muun muassa raaka-ainekustannukset, työkustannukset ja muut tuotantotekijäkustannukset, kuten esimerkiksi kuljetus- ja tilakustannukset (Jormakka 2009, 194).

Koska tämän opinnäytetyön tarkoituksena on luoda valaistusenergiankulutuksen vähentämissuunnitelma, joka auttaa laskemaan valaistusenergian kulu- tusta ja sitä kautta kustannuksia tuotantolaitoksessa, hyödynnän kustannuslaskentaa selvittääkseni valaistusenergian kustannuserän. Tavoitteenani on laskea ensin tämänhetkiset sähköenergian aiheuttamat kustannukset, minkä jälkeen luon suunnitelman niiden pienentämiseksi. Valaistusenergia kuuluu yrityksen muuttuviin kustannuseriin, ja se kuuluu välillisiin tuotantokustannuksiin.

Kustannukset voidaan jakaa kiinteisiin kustannuksiin ja muuttuviin kustannuksiin. Tämän lisäksi ne voidaan jakaa välillisiin ja välittömiin kustannuksiin. Muuttuvien kustannusten tunnusmerkki on se, että ne vähenevät tai lisäänty-

vät suoraan myynnin tai tuotannon määrän mukaan. Kiinteät kustannukset eivät suoraan ole sidoksissa myynnin tai tuotannon määriin. Niitä ovat esimerkiksi korot, vakuutukset ja poistot. Välilliset kustannukset voivat olla joko kiinteitä tai muuttuvia kustannuksia. Esimerkiksi välillisiin kustannuksiin kuuluvat puhelin, sähkö ja koneiden huolto. (Jormakka 2009, 148–149.)

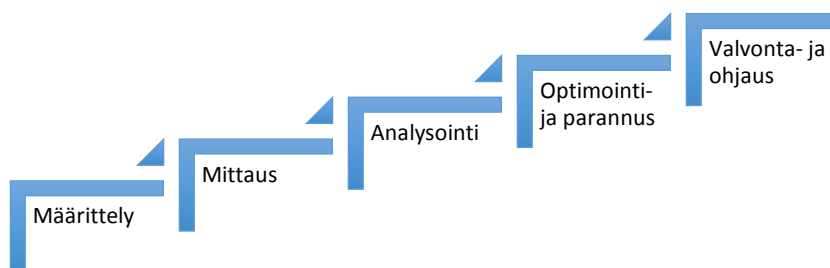
5 PROSESSIN PARANTAMISMENELMÄ

Hyödynsin opinnäytetyöni taustalla DMAIC-prosessin parantamismenetelmää. DMAIC tulee englanninkielisistä sanoista define, measure, analyse, improve ja control, mikä tarkoittaa suomeksi määrittely, mittaus, analysointi, parannus ja ohjaus (Quality Knowhow Karjalainen Oy s.a.). DMAIC on Lean Six Sigman ongelmanratkaisumenetelmä, jonka avulla on mahdollista löytää systeemistä prosessin suorituskykyä parantavat tekijät (Quality Knowhow Karjalainen Oy s.a.). DMAIC-vaiheet antavat hyvän peruspohjan sähköenergian suunnittelulle.

Määrittelyvaiheessa tavoitteena on tunnistaa, rajata sekä antaa tavoite.

Mittausvaiheessa ongelma vahvistetaan, tunnistetaan potentiaaliset ongelman aiheuttajat ja varmistetaan datan laatu. *Analysointivaiheessa* kerätyn datan avulla selvitetään, mitkä prosessin tekijät ovat ongelman aiheuttajia.

Optimointi- ja parannusvaiheessa ratkaistaan ongelma sekä testataan tekijöitä kokeellisesti. *Valvonta ja ohjausvaiheessa* luodaan järjestelmä, jonka avulla varmistetaan saavutetun tavoitetilan säilyttäminen parannusprojektin jälkeen. (Quality Knowhow Karjalainen Oy s.a.) (ks. Kuva 2).



Kuva 2. DMAIC-vaiheet (Quality Knowhow Karjalainen Oy s.a.)

Tässä opinnäytetyössä keskitytään määrittelyyn, mittaukseen, analysointiin sekä optimointi- ja parannusvaiheeseen. Tarkoituksena on soveltavaa tämä malli käytäntöön ja tukemaan valaistusenergian vähentämisen suunnitteluprosessia.

6 VALAISTUSENERGIAN KÄYTÖN VÄHENTÄMISEN SUUNNITTELUPROSESSI

6.1 Kohde

Tuotantolaitoksen tuotantotilat ovat laajat. Lähtötilanteen kartoituksen jälkeen suunnitelma tehtiin ja toteutettiin erikokoisissa tuotanto- ja varastotiloissa sekä käytävillä ja työntekijöiden taukotiloissa, joissa ei vaadittu yhtäjaksoista valaistusta. Näissä tiloissa käytössä oli pääasiallisesti loisteputkivalaisimia. Toisin sanoen tässä suunnitelmassa ei keskitytä varsinaisiin tuotantotiloihin, joissa työ tapahtuu. Alkukartoituksen sekä suunnittelun jälkeen ulkopuolinen urakoitsija toteutti muutostyöt näissä valituissa kohteissa.

Isoissa tuotantolaitoksissa ongelmana on, ettei kaikkia tiloja käytetä yhtäjaksoisesti, minkä vuoksi valaistus saattaa olla turhaan päällä pitkiä yhtäjaksoisia aikoja. Vuodessa on mahdollista saada suuretkin säästöt, kun valaistusta optimoidaan.

6.2 Lähtötilanteen kartoitus ja ongelman tunnistaminen

Toimeksiantajan Lahden tuotantolaitoksen tilat on rakennettu vuosien 1992 ja 2003 välillä, ja siellä on ollut useita eri sähköasennusyrityksiä tekemässä valaistus lisäyksiä ja muutoksia. Tästä johtuen toimeksiantajalla ei ollut tarkkaa tietoa siitä, kuinka monta ja minkälaisia valaisimia siellä on. Toimeksiantajalla ei myöskään ollut tarkkaa tietoa, kuinka paljon energiaa valaistus kuluttaa.

Sähköä on mahdollista mitata tuntimittareiden avulla (Vuorinen 2013, 183). Käytännössä tämä vaatisi kuitenkin erillisten mittareiden asentamisen jokai-

seen valaistusryhmään, minkä vuoksi en voinut mitata valaistuksen energiankulutusta suoraan.

Tästä johtuen työni ensimmäinen vaihe olikin laskea, kuinka monta valaisinta tehtaassa on ja kuinka paljon energiaa ne kuluttavat. Tämä laskenta tehtiin pääosin paperikuvista ja paikan päällä katosta laskemalla, koska eri tilat on helpompi hahmottaa paikan päällä kuin tietokoneen näytöltä. Tällöin myös pystyin jo selvittämään helpoimpia energiansäästökohteita.

Laskentavaiheen aikana selvisi, että tuotantolaitoksen valaistus on toteutettu suurissa hallitiloissa monimetallilamppuvalaisimilla ja loisteputkivalaisimilla, pienissä varastoissa käytetään loisteputkivalaisimia. Lisäksi siellä on vieraiden vastaanottorakennus ja erilaisia sosiaali- ja ruokailutiloja, joista löytyy myös halogeeni- ja pienloisteputkivalaisimia.

Tuotantolaitoksessa on yli 11000 kappaletta valaisinta, joista 2*58 W loisteputkivalaisimia on noin 7800 kappaletta ja 400 W monimetallivalaisimia noin 1100 kappaletta (ks. Kuva 3). Loput valaisimet ovat eritehoisia monimetalli-, loisteputki-, pienloisteputki- ja halogeenivalaisimia. Valaistuksen kokonaisteho on noin 1700 kW ja vuosikulutus noin 8900 MWh (ks. Kuva 4). Vuosikulutus saadaan, kun kiinteistön kaikkien valaisimien kuluttama sähköenergia laskeaan yhteen.

Lampputyyppi	W	Kpl
Loisteputki	2* 58	7.800
Monimetallivalaisin	400	1.100
Muut (arvio)	10-1000	2100

Kuva 3. Pääasialliset lampputyypit

Valaistuksen kokonaisteho	1700 kW
Valaistuksen vuosikulutus	8900 MWh

Kuva 4. Valaistuksen kokonaisteholaskelma

Hallitilojen valaistus on päällä sunnuntai-illasta perjantai-iltaan eli viitenä päivänä viikossa ja varastojen valo-ohjaukset ovat painonappien tai kytkimien takana. Vain osa hallien yleisvalaistuksesta ja ulkovalaistus on toteutettu automatiikalla ja eri ohjausmenetelmillä.

Tuotantolaitoksen valaistuksen vahvuuksiin kuuluu se, että asennuksista on tehty asianmukaiset sähköpiirustukset ja sähköasennukset on rakennettu asianmukaisesti. Haasteena kuitenkin on, että parannuskohteita löytyy paljon. Sen sijaan LED-lamppujen avulla on mahdollista saada enemmän säästöjä tulevaisuudessa.

6.3 Valaistusenergiankulutuksen analysointi

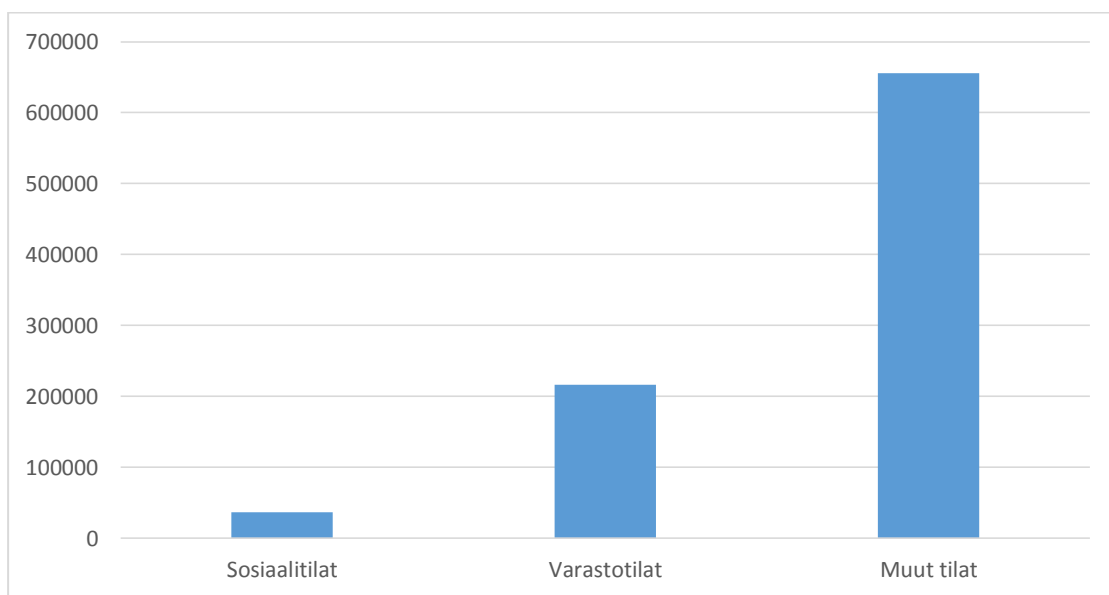
Valaistusenergia kuluttaa huomattavia määriä muun muassa siksi, että valaistusta ei ole optimoitu tai automatisoitu monissakaan kohteissa. Koska kohde on erittäin laaja, erilaiset varastotilat sekä sosiaalitalat olivat pääasiallinen kohde työlle. Ne muodostivat helpon kokonaisuuden, johon oli luontevaa suunnitella valaistusenergian vähentämissuunnitelma. Muut tilat olivat hyvin erilaisia, ja niille olisi tullut tehdä hyvin yksilöity suunnitelma valaistusenergian vähentämiselle (ks. Kuva 5).

Sosiaali- ja varastotilat kuluttavat yhteensä energiaa noin 253000 kWh vuoden aikana. Muihin tiloihin kuului muun muassa käytäväalueita, laitehuollon tiloja, henkilöstön kokoustiloja sekä toimistotiloja (ks. Kuva 6). Nämä tilat kuluttavat yhteensä noin 909 000 kWh vuodessa. Tämä tulos saadaan, kun lasketaan liiketunnistimilla varustetut valaisimet.

Määrä Yhteisteho W Päällä h/vrk Päällä h/a kWh/a €/vuosi

Sosiaalitilat	9	5843	24/5	49920	36460	2534
Varastotilat	19	34692	24/5	118560	216478	15045
Muut tilat	44	105062	24/5	274560	655587	45563
Yhteensä	72	145597	24/5	443040	908525	63143

Kuva 5. Valaistusenergian kulutusmäärät ja kustannukset



Kuva 6. Valaistusenergian kulutus tiloittain (kWh/a)

Tämä ympäristö on erinomainen valaistusenergiankulutuksen vähentämiseksi. Yllä olevista taulukoista on mahdollista havaita, että valaistusenergian vähentämiseen ei ole panostettu niin paljon kuin olisi voitu. Tämän osoittaa jo se, että valaistus on päällä kaikkina vuorokauden aikoina arkipäivinä jokaisessa tarkastelun kohteena olevassa tilassa. Valaistusta oli automaattisesti vähennetty ainoastaan silloin, kun henkilökunta oli vapaalla.

6.3.1 Energiansäästökohteiden valinta

Säästökohteita oli mahdollista havaita useampia, mutta niiden toteutuskustannukset vaihtelivat. Esimerkiksi valaistusta olisi voitu muuttaa vaihtamalla lampputyyppejä, mutta hankintakustannukset olisivat nousseet korkeammiksi.

Tilaaajan toiveesta keskityin kohteisiin, joiden takaisinmaksuaika olisi mahdollisimman lyhyt. Säästökohteet valikoituivat laskelmieni perusteella, joissa selvitettiin, kuinka paljon energiaa valaistus kuluttaa tällä hetkellä ja kuinka nopeasti muutokset maksaisivat itsensä takaisin.

Laskin säästökohteet valaisimien päälläoloajan mukaan. Laskelmissa otin huomioon myös muun muassa lampputyypit ja niiden sähköenergian kulutuksen. Tavoitteena oli löytää kohteet, missä olisi helpointa ja halvinta toteuttaa tarvittavat sähköasennusten muutostyöt.

6.4 Energiansäästösuunnitelma

Pienet varasto- ja tuotantohuoneet eivät vaadi jatkuvaa valaistusta, minkä vuoksi niihin sopii erinomaisesti liike- ja läsnäolotunnistimet. Pienet tilat takaavat myös sen, että tunnistimia ei tarvitse asentaa kovin montaa. Kun tilat eivät ole käytössä, tunnistimet katkaisevat automaattisesti sähköt ja säästävät näin sähköenergiaa.

Liiketunnistin ovat hyvä valinta myös siksi, että ne ovat edullisia hankkia ja asentaa. Esimerkiksi valaisinten vaihto uusiin maksaisi enemmän. Tämän vuoksi ne sopivat erinomaisesti Hartwall Lahden tehtaalle, sillä heidän toiveenaan oli, että pienen investoinnin takaisinmaksuaika olisi lyhyt.

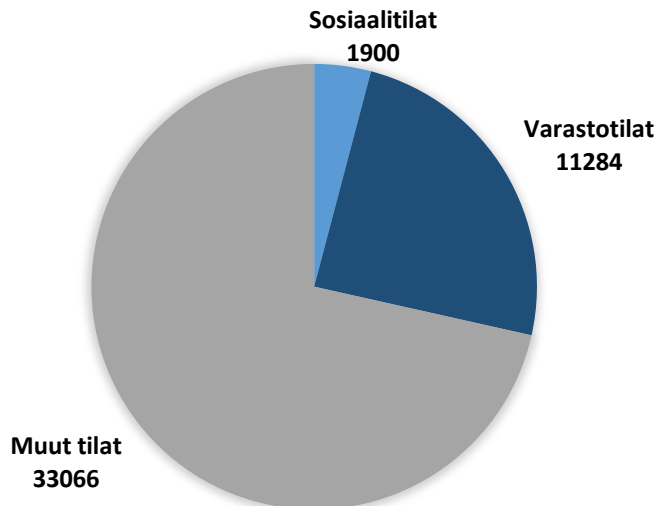
Liiketunnistimien tuomaa säästöä oli haastava laskea, sillä tilojen käyttöastetta ei ollut selvitetty etukäteen. Liiketunnistimet olivat kuitenkin edullisin ja yksinkertaisin toteutustapa, minkä vuoksi ne sopivat kohteeseen erinomaisesti.

Työn tilaaajan mukaan pääasiallisesti esimerkiksi varastotiloissa viivytään ai-noastaan noin viisitoista minuuttia tunnin aikana. Tämä tarkoittaa, että vuoro-kauden aikana varastotiloissa valaistusta vaadittaisiin vain kuuden tunnin ajan. Ilman liiketunnistimia valaistus on päällä viitenä päivänä viikossa eli vuoden aikana 6240 tuntia. Liiketunnistimet säästävät vuodessa yhteensä 4680 tuntia valaistuksen käyttöaikaa.

	Investointi työ	Investointi ilmaisimet	Investointi kok. €	Säästö aika	Säästö kWh	Säästö €	Takaisin- maksuaika
Sosiaalitilat	1320	1205	2525	37440	27345	1900	1,33
Varastotilat	2560	2906	5466	88920	162359	11284	0,48
Muut tilat	9640	11237	20877	200720	475765	33066	0,63
Yhteensä	13520	15348	28868	327080	665469	46250	0,62

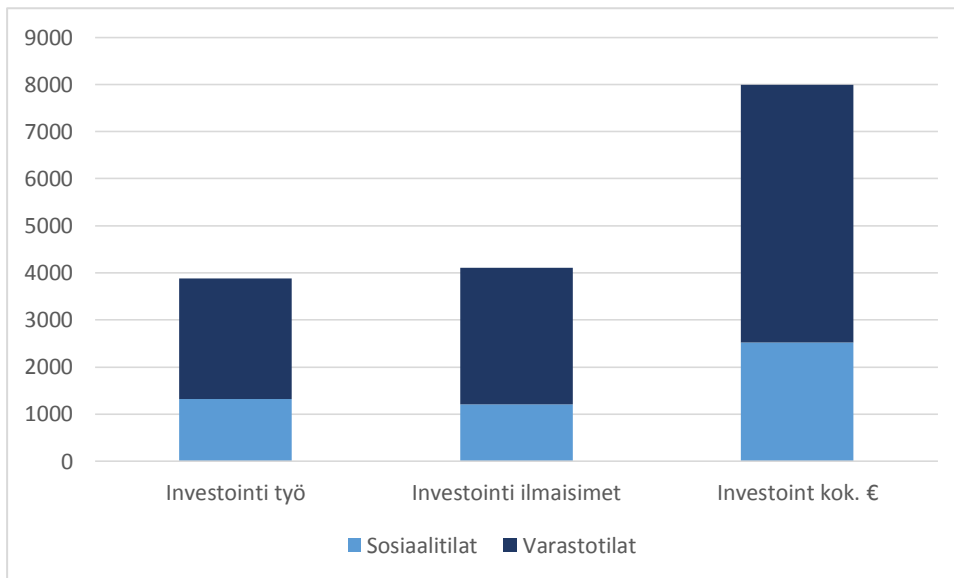
Kuva 7. Investointikustannukset, säästö ja takaisinmaksuajat

Euromääräisiin kustannuksiin vaikuttavat huonetilojen pinta-alat ja valaisimien määrä. Koska varastotiloja on useita ja niissä käytetään useita valonlähteitä, niiden kautta saadaan huomattava säästö valaistusenergian vähentämisen avulla. Sosiaalituloista saatavat säästöt ovat tämän vuoksi pienempiä (ks. Kuva 8).



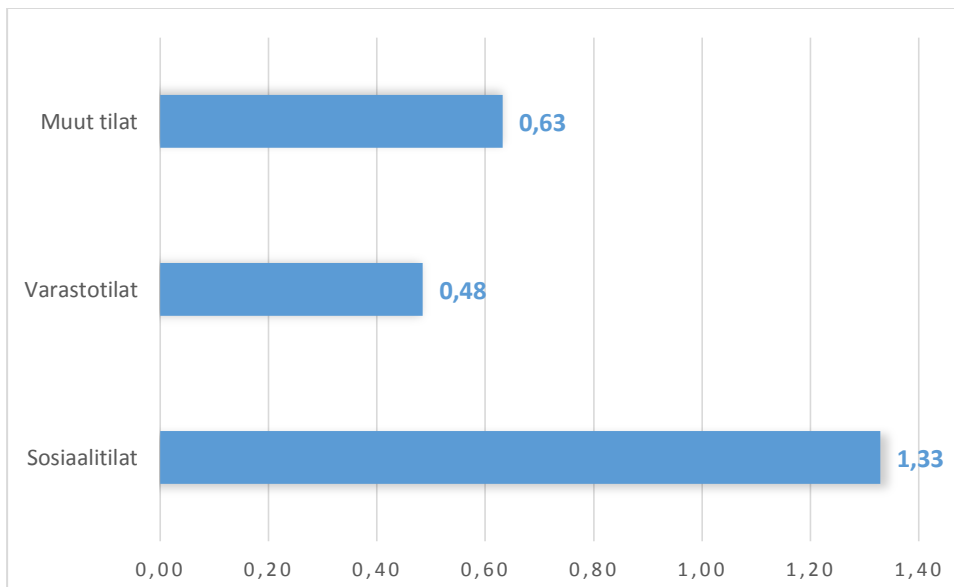
Kuva 8. Valaistusenergian vähennyksestä saatavat kustannussäästöt tilaryhmittäin (euroa)

Liiketunnistimet kilpailutettiin, ja tässä työssä käytettävä liiketunnistimien euromääräinen kustannus perustuu toimeksiantajan saamiin tarjouksiin. Alla olevista kuvioista voidaan havaita, että liiketunnistimien kustannukset ovat lähes samaa luokkaa työosuuden kanssa. Työn osuus sosiaalitulojen investoinneissa on jopa hivenen suurempi kuin liiketunnistimien osuus (ks. Kuva 9).



Kuva 9. Investoinnin suuruus

Nopein investoinnin takaisinmaksuaika on varastotiloissa, sillä ne ovat pinta-alaltaan isoja (Kuva 10), missä on paljon valaisimia sekä missä on vain yksi sisäänkäynti. Sen takia investointikustannukset ovat pieniä, mikä lyhentää takaisinmaksuaikaa. Kaikista pisin investoinnin takaisinmaksuaika on sosiaalityloissa, joissa investointi maksaa itsensä takaisin keskimäärin reilussa vuodessa (1 v 4 kk).



Kuva 10. Takaisinmaksuaika vuosina

On suositeltavaa asentaa liiketunnistimia erityisesti varastotiloihin. Niissä investoinnin takaisinmaksuaika on vajaa puoli vuotta ja investoinnista saatava hyöty on sosiaalityötiloihin nähden huomattava (11 284 euroa). Kokonaisuudessaan valaistusenergiankulutus vähenee huomattavasti jo yhdessä vuodessa.

Toteutettaessa niin sosiaali- kuin varastotilojenkin valaistusenergian muutostyöt säästöjä syntyy vuodessa arviolta 189 700 kWh. Esimerkiksi sähkölämmitteinen omakotitalo kuluttaa 18 480 kWh vuodessa (Vattenfall 2017). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että säästetyllä energiamäärällä on mahdollista lämmittää kymmenen sähkölämmitteistä omakotitaloa yhden vuoden ajan.

7 TULOKSET

Opinnäytetyön lopputuloksena oli valaistusenergiankulutuksen vähentämissuunnitelma, jonka toteutukseen vaadittavat investoinnit olivat edullisia toteuttaa ja niiden takaisinmaksuaika oli lyhyt.

Otin valaistuksen elinkaarikustannuksen huomioon: liiketunnistimet eivät nosta huoltokustannuksia merkittävästi asennettaessa se nykyiseen valaistukseen ja koska nykyinen valaistus ei ollut vielä elinkaarensa päässä, ei nykyisen valaistuksen vaihtaminen ollut kustannustehokasta.

Liike- ja läsnäolotunnistimet maksavat itsensä takaisin sosiaalityötiloissa reilussa vuodessa ja varastotiloissa jo puolen vuoden kuluessa. Tässä arvioissa ei ole otettu huomioon lamppujen käyttöiän pidennystä. Koska liiketunnistimet säästävät sähköä vain katkaisemalla sähkövirran, on suositeltavaa harkita tulevaisuudessa valaisimien vaihtamista energiatehokkaammiksi. Tällä tavoin saadaan suurempi hyöty ja säästö, kun hyödynnetään kaikkia tarjolla olevia valaistusenergian vähennys- sekä optimointimuotoja.

Opinnäytetyön tuloksena oli valaistusenergian energiansäästösuunnitelma. Suunnitelman jälkeen Hartwallin Lahden tuotantolaitokseen asennettiin liike- ja läsnäolotunnistimia pieniin varasto- ja tuotantohuoneisiin. Suunnitelman

toteutti ulkopuolinen urakoitsija ja suunnitelman toteutuksesta vastasi Hartwall Lahden tuotantolaitos.

8 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön päätavoitteena oli laskea valaistusenergian kulutusta. Toimeksiantajan tavoitteena oli sähköenergian kulutuksen vähentäminen valaistuksessa. Heidän tavoitteenaan oli myös saada tieto, kuinka paljon energiaa kuluu. Oma tavoitteeni oli luoda ratkaisu, joka on taloudellisesti kestävä ja mahdollista toteuttaa. Tavoitteenani oli oppia keräämään tietoa tehokkaasti ja luotettavasti siitä, kuinka paljon valaistus kuluttaa energiaa.

Tarkoituksena oli luoda valaistusenergiankulutuksen vähentämissuunnitelma, joka auttaa laskemaan valaistusenergian kulutusta ja sitä kautta kustannuksia tuotantolaitoksessa. Tässä opinnäytetyössä selvitettiin tehtaan valaistuksen sähköenergiankulutus kokonaisuudessaan ja laadittiin suunnitelma, jonka toteutti ulkopuolinen urakoitsija.

Opinnäytetyön lopputuloksena oli valaistusenergiankulutuksen vähentämissuunnitelma, jonka toteutukseen vaadittavat investoinnit olivat edullisia toteuttaa ja niiden takaisinmaksuaika oli lyhyt. Koska toimeksiantaja toivoi kustannuksiltaan pientä investointia, joka maksaisi itsensä nopeasti takaisin, tästä johtuen säästötavaksi valikoitui liike- ja läsnäolotunnistimet. Ne olivat edullisia investointeja.

Tulevaisuudessa, nykyisten valaisimien tullessa elinkaarensa päähän, kannattaa niiden tilalle vaihtaa LED-valaisimet ja asentaa niille kunnollinen automaatio ohjaus. Tällöin energiankulutus pienenee huomattavasti ja samalla säästöt kasvavat.

Työssä opin selvittämään ja analysoimaan, kuinka paljon sähköenergiaa valaistus kuluttaa ja miten sen kulutusta on mahdollista vähentää jo asennetuissa valaisimissa. Lisäksi opin luomaan kehityssuunnitelman analyysin avulla.

LÄHTEET

Attari, S. Z., DeKay, M. L., Davidson, C. I., & de Bruin, W. B. (2010). Public perceptions of energy consumption and savings. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(37), 16054-16059.

Fagerhult. S.a. Valaistussuunnittelijan käsikirja. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://np.netpublicator.com/np/n30265811/tekniskinfo_FI_09.pdf [Viitattu 16.1.2018.]

Hartwall. S.a. Historia. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hartwall.fi/fi/yritys> [Viitattu 26.11.2017]

Jormakka, R., Koivusalo, K., Lappalainen, J. & Niskanen, M. 2009. Laskenta-toimi. Edita: Helsinki

Kangas, J. 2004. Hartwallin Lahden tehtaan rakennusprojekti vaativa. *Kehittyvä elintarvike 2/2004*. Verkkolehti. Saatavissa: <http://kehittyvaelintarvike.fi/teemajutut/8-hartwallin-lahden-tehtaan-rakennusprojekti-vaativa>. [Viitattu 26.11.2017]

Motivan Hankintapalvelu. 2016. Valaistus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.motivanhankintapalvelu.fi/tietopankki/valaistus>. [Viitattu 3.1.2018]

Motiva Oy.2016. Valaistuksessa edelleen huima säästöpotentiaali. Verkkolehti. Päivitetty 25.8.2016. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ajankohtaista/motivan_tiedotteet/2016/valaistuksessa_edelleen_huima_saastopotentiaali.9157.news. [Viitattu 26.11.2017]

Quality Knowhow Karjalainen Oy. S.a. Lean Six Sigma. WWW-dokumentti.
<http://www.sixsigma.fi/fi/etusivu> [Viitattu 2.12.2017]

Suojanen, J. 2017. Ledivalaisimien suorituskyky ja elinikä tuottavat päänvai-
vaa. Sähköala 5, 20-21.

Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry & Suomen Valoteknillinen Seura ry.
1998. Lamput ja valaisimet. Espoo: Gummerus.

Suomen valoteknillinen seura ry. 2008. Valaistushankintojen energiatehok-
kuus. Kauppa- teollisuusministeriön (Työ- ja elinkeinoministeriön) suositukset
julkisten hankintojen energiatehokkuudesta; valaistus osuuksien päivitys.
Taustaraportti. Version 4.0

Teknologiategollisuus 2016. Valaisin valmistajien toimialaryhmän opas ledien
maailmaan: Näin vertaillet ledi valaisimia 2.0.

Valli, M. 2017. Työmailla tarvitaan tehokasta ja turvallista valaistusta. *Sähkö-
ala* 11, 23-25.

*Valoa design. S.a. EuP-direktiivin vaikutusten arviointi: tie- ja katuvalaistus
sekä toimistovalaistus.* PDF-dokumentti. Saatavissa:
[http://www.motiva.fi/files/2648/EuP-direktiivin_vaikutusten_arviointi_Tie-
_ja_katuvalaistus_seka_toimistovalaistus.pdf](http://www.motiva.fi/files/2648/EuP-direktiivin_vaikutusten_arviointi_Tie-
_ja_katuvalaistus_seka_toimistovalaistus.pdf). [Viitattu 2.12.2017]

Vattenfall. 2017. Kodin sähkönkulutus. Päivitetty 29.5.2017. Saatavissa:
<https://www.vattenfall.fi/energianeuvonta/sahkonkulutus/>. [Viitattu 11.1.2018]

Vilkkä, H. & Airaksinen, T. 2003. Toiminnallinen opinnäytetyö. Helsinki: Tammi

Suureet, yksiköt sekä niiden merkitys (Fagerhult s.a.)

Suure/Käsite	Symboli	Yksikkö	Kaava	Selitys
Valovoima	I	kandela (cd)	$I = \Phi / \omega$	Valovoima kuvaa valonlähteestä tiettyyn suuntaan säteilevän valon voimakkuutta. Määritelmä: valovirta/avaruuskulma (ω)
Valaistusvoimakkuus	E (lx)	Luksi (lm/m ²)		Valaistusvoimakkuus ilmoittaa tietylle pinnalle osuvan valovirran määrän. Määritelmä: valovirta/pinta-alayksikkö (m ⁻²).
Luminanssi (valotiheys/pintakirkkaus)	L	(cd/m ²)	$L = I/A$ ($L = I/A \cos \alpha$)	Luminanssia kutsutaan myös valotiheydeksi. Mitä suurempi pinnan (esim. lampun, valaisimen, työkohteen) luminanssi on, sitä kirkkaammalta pinta näyttää.
Valovirta	Φ	lumen (lm)	$\Phi = I \cdot \omega$	Valovirta ilmoittaa valonlähteen tuottaman kokonaisvalomäärän, ja se tarkoittaa sitä osaa valon lähteen tuottamasta säteilyvirrasta, jolla on kyky tuottaa silmässä valoistimus. (V_{λ} -käyrä CIE:n mukaan).
Suunnittelulumen (Design lumen / laskentalumen)	Φ_g	lumen		Tarkoittaa valovirtaa, jonka valonlähde tuottaa ympäristön lämpötilan ollessa 25 °C. Toisinaan valovirta poikkeaa valonlähteen maksimivalovirrasta (esimerkiksi T5-loistelampuissa).
Valaistushyötysuhde (Light Output Ratio – LOR)	η_{λ}			Kertoo kuinka suuri osa valaisimen valonlähteen tuottamasta valovirrasta päätyy suoraan tai heijastusten kautta työtasolle. Valaistushyötysuhde määritellään tietyissä olosuhteissa valonlähteistä saatavan valovirran ja samojen valonlähteiden samoissa olosuhteissa valaisimessa tuottaman valovirran suhteena.
Valaisimen käyttöhyötysuhde	η_B			Valaistuslaskennassa käytettävä valaisimen hyötysuhde, jota käytetään yhdessä valonlähteen nimellisvalovirran kanssa. Käyttöhyötysuhde ottaa huomioon virranrajoittimen valovirtasuhteen (BLF): koska sekä valaisin että lamppu mitataan 25 °C ympäristön lämpötilassa, käyttöhyötysuhde voi ylittää 100 %, $\eta_B = \eta_{\text{mittaus}} \times \text{BLF}$.
Virranrajoittimen valovirtasuhte	BLF	–	–	Tarkoittaa tuotantovirranrajoittimella mitatun vertailulampun valovirran suhdetta saman lampun valovirtaan vertailukuristimella mitattuna ympäristön lämpötilan ollessa 25 °C.
Värlämpötila	–	kelvin (K)	CIE 17.4	Värlämpötila kuvaa valonlähteen väriaikeutelmää, ja tavallisesti lämpimäksi sävyiksi koetaan K<4000 ja kylmäksi K>4000 K. Värlämpötila ilmoitetaan absoluuttisesta nolapistestä lähtevällä Kelvin-asteikolla, jonka määritelmä on K=-273,17 °C / 0 °C = +273,17 K.
Värintoistoindeksi	Ra	R _a -indeksi	CIE 17.4	Mittaa valonlähteen kykyä toistaa tiettyjä testivärejä suhteessa annettuun vertailuvalonlähteeseen määrättyssä värlämpötilassa. Asteikkona käytetään R _a -indeksiä, joka voi CIE:n mukaan olla enintään 100 ja jonka tulee olla työtiloissa vähintään 80.
Valotehokkuus – valonlähde	H	(lm/W)	$\eta = \Phi / P$	Valonlähteen valotehokkuus tarkoittaa valonlähteen säteilemän valovirran suhdetta valonlähteen kuluttamaan sähkötehoon. Valotehokkuuden voidaan sanoa mittavaan valonlähteen hyötysuhdetta.
Valotehokkuus – järjestelmä (valonlähde + liitäntälaite)	H	(lm/W)	$\eta = \Phi / P$	Järjestelmän valotehokkuus tarkoittaa valonlähteen säteilemän valovirran suhdetta valonlähteen kuluttamaan sähkötehoon liitäntälaitteen aiheuttamat häviöt mukaan lukien.
Häikäisy			CIE- 31, 112, 117	Epämielellistä tai näkemistä heikentävä olosuhde, joka johtuu luminanssijauman tai -tason sopimattomuudesta tai voimakkaista kontrasteista. Häikäisy jaetaan tavallisesti kiusahäikäisyyteen (UGR/NB) ja estohäikäisyyteen (TI/GR).
Tasaisuus – valaistusvoimakkuus – luminanssi			$\frac{E_{\text{min}}/E_{\text{ka}}}{L_{\text{min}}/L_{\text{ka}}}$	Määriteltä pinnalta laskettu valaistusvoimakkuuden (tai luminanssin) minimiarvon suhde keskiarvoon, ellei muuta ilmoiteta.
Valaisimen luminanssi	–	–	–	Valaisimen valaisevien osien keskiluminanssin tulee olla mitattu ja/tai laskettu C-tasossa 15° välein, alkaen 0°:eesta ja γ -kulmien elevaation ollessa 65°, 75° ja 85°.
Rakenteellinen häikäisysojakuulma	–	–	–	Valaisimen vaakatasosta lähtien siihen rajaan laskettu kulma, josta paljas lamppu tai suuriluminanssin pinta alkaa näkyä.
Optinen häikäisysojakuulma; Valaisimen Cut-off-kulma	–	–	–	Kulma nadiirista ylöspäin lasketun pystysuoran akselin ja ensimmäisen tarkastelu-suunnan välillä, josta valonlähteet ja suuriluminanssiset pinnat eivät ole näkyvissä.
Avaruuskulma	ω	steradiaani (sr)	$\omega = A/r^2$	Valonsäteen tekemän kartion pallomaisen pohjan pinta-ala A suhteessa pallon säteen neliöön.
Keskimääräinen polttoikä – valonlähteet	–	tuntia (h)	–	Ilmoittaa valonlähteen polttotuntimäärän, jolloin puolet tutkittavasta suuresta lamppujoukosta on sammunut. (Hehku-, halogeeni- ja loistelamput).
Huoltopolttoikä – valonlähteet	–	tuntia (h)	–	Huoltopolttoikä ilmoittaa polttotuntimäärän, jolloin valonlähteiden kokonaisvalovirrasta on tavallisesti jäljellä enää 80 % johtuen lamppujen loppuunpalamisesta ja valovirran alenemasta.
Hyötöpolttoikä – valonlähteet	–	tuntia (h)	–	Hyötöpolttoikä ilmoittaa polttotuntimäärän, jolloin valaistusasennuksen kokonaisvalovirrasta on jäljellä enää 70 % johtuen lamppujen loppuunpalamisesta ja valovirran alenemasta.

Suureiden, yksiköiden ja käsitteiden standardisoidut määritelmät ja tarkemmat selitykset, ks. SFS EN 12 665 – Valaistusvaatimuksia tarkentavat perustermit ja kriteerit (EN 12 665 – Basic terms and criteria for specifying lighting requirements).

Laskentataulu

kaikki valaisimet
1009

Työn hinta
40,00 €

0,07 €

	Teho		Määrä		Yhteisteho		52		0,07 €		Löydetty säästökohteet		Investointi kok. €	Säästö aika	Säästö kWh	Säästö €	Paybacktime
	W	kpl	W	Päällä h	Päällä vrk	Päällä h/a	kWh/a	€/vuosi	Työ aika	Investointi työ	Investointi ilmaisimet						
Varasto	2*58W	125	14	1750	24	5	6240	10920	759 €	4	160,00 €	193,20 €	353,20 €	4 680	8190	569,21 €	0,63
varasto	2*58W	125	16	2000	24	5	6240	12480	867 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	9360	650,52 €	0,34
varasto	1*58W	64	3	192	24	5	6240	1198	83 €	3	120,00 €	90,40 €	210,40 €	4 680	898,56	62,45 €	3,42
Sosiaalitila	1*58W	64	12	768	24	5	6240	4792	333 €	8	320,00 €	361,60 €	681,60 €	4 680	3594,24	249,80 €	2,76
Sosiaalitila	2*58W	125	2	250	24	5	6240	1560	108 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	1170	81,32 €	2,70
Sosiaalitila	2*58W	125	4	500	24	5	6240	3120	217 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	2340	162,63 €	1,35
Sosiaalitila	2*58W	125	9	1125	24	5	6240	7020	488 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	5265	365,92 €	0,60
sosiaalitila	1*58W	64	6	384	24	5	6240	2396	167 €	3	120,00 €	95,90 €	215,90 €	4 680	1797,12	124,90 €	1,75
sosiaalitila	1*58W	64	6	384	24	5	6240	2396	167 €	3	120,00 €	95,90 €	215,90 €	4 680	1797,12	124,90 €	1,75
sosiaalitila	1*58W	64	23	1472	24	5	6240	9185	638 €	4	160,00 €	180,80 €	340,80 €	4 680	6888,96	478,78 €	0,72
sosiaalitila	1*58W	64	15	960	24	5	6240	5990	416 €	6	240,00 €	180,80 €	420,80 €	4 680	4492,8	312,25 €	1,37
muut tilat	2*58W	125	25	3125	24	5	6240	19500	1 355 €	6	240,00 €	451,70 €	691,70 €	4 680	14625	1 016,44 €	0,69
muut tilat	2*58W	125	23	2875	24	5	6240	17940	1 247 €	6	240,00 €	222,00 €	462,00 €	4 680	13455	935,12 €	0,50
muut tilat	2*58W	125	23	2875	24	5	6240	17940	1 247 €	5	200,00 €	222,00 €	422,00 €	4 680	13455	935,12 €	0,46
muut tilat	2*58W	125	38	4750	24	5	6240	29640	2 060 €	16	640,00 €	481,60 €	1 121,60 €	4 160	19760	1 373,32 €	0,83
muut tilat	2*58W	125	67	8375	24	5	6240	52260	3 632 €	26	1 040,00 €	1 538,70 €	2 578,70 €	4 680	39195	2 724,05 €	0,96
muut tilat	2*58W	125	44	5500	24	5	6240	34320	2 385 €	10	400,00 €	590,80 €	990,80 €	4 680	25740	1 788,93 €	0,56
muut tilat	2*58W	125	39	4875	24	5	6240	30420	2 114,19 €	8	320,00 €	314,20 €	634,20 €	4 680	22815	1 585,64 €	0,41
muut tilat	2*58W	125	12	1500	24	5	6240	9360	650,52 €	16	640,00 €	497,40 €	1 137,40 €	4 680	7020	487,89 €	2,36
muut tilat	2*58W	125	6	750	24	5	6240	4680	325 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	3510	243,95 €	0,90
muut tilat	2*58W	125	6	750	24	5	6240	4680	325 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	3510	243,95 €	0,90
muut tilat	2*58W	125	2	250	24	5	6240	1560	108 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	1170	81,32 €	2,70
muut tilat	2*58W	125	4	500	24	5	6240	3120	217 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	2340	162,63 €	1,35
muut tilat	2*58W	125	4	500	24	5	6240	3120	217 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	2340	162,63 €	1,35
muut tilat	2*58W	125	9	1125	24	5	6240	7020	488 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	5265	365,92 €	0,60
muut tilat	2*58W	125	2	250	24	5	6240	1560	108 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	1170	81,32 €	2,70
muut tilat	2*58W	125	9	1125	24	5	6240	7020	488 €	3	120,00 €	129,80 €	249,80 €	4 680	5265	365,92 €	0,69
muut tilat	2*58W	125	2	250	24	5	6240	1560	108 €	3	120,00 €	129,80 €	249,80 €	4 680	1170	81,32 €	3,11
muut tilat	2*58W	125	25	3125	24	5	6240	19500	1 355 €	4	160,00 €	193,20 €	353,20 €	4 680	14625	1 016,44 €	0,35
muut tilat	2*58W	125	44	5500	24	5	6240	34320	2 385 €	6	240,00 €	314,20 €	554,20 €	4 680	25740	1 788,93 €	0,31
muut tilat	2*58W	125	11	1375	24	5	6240	8580	596 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	6435	447,23 €	0,49
muut tilat	2*58W	125	4	500	24	5	6240	3120	217 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	2340	162,63 €	1,35
muut tilat	2*58W	125	2	250	24	5	6240	1560	108 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	1170	81,32 €	2,70
muut tilat	2*58W	125	39	4875	24	5	6240	30420	2 114 €	4	160,00 €	193,20 €	353,20 €	4 680	22815	1 585,64 €	0,23
muut tilat	2*58W	125	6	750	24	5	6240	4680	325 €	8	320,00 €	96,60 €	416,60 €	4 680	3510	243,95 €	1,74
muut tilat	2*58W	125	7	875	24	5	6240	5460	379 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	4095	284,60 €	0,77
muut tilat	2*58W	125	3	375	24	5	6240	2340	163 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	1755	121,97 €	1,80
muut tilat	2*58W	125	3	375	24	5	6240	2340	163 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	1755	121,97 €	1,80
muut tilat	2*58W	125	2	250	24	5	6240	1560	108 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	1170	81,32 €	2,70
muut tilat	2*58W	125	7	875	24	5	6240	5460	379 €	4	160,00 €	193,20 €	353,20 €	4 680	4095	284,60 €	1,26
muut tilat	2*58W	125	6	750	24	5	6240	4680	325 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	3510	243,95 €	0,90
muut tilat	2*58W	125	3	375	24	5	6240	2340	163 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	1755	121,97 €	1,80
muut tilat	2*58W	125	1	125	24	5	6240	780	54 €	3	120,00 €	96,60 €	216,60 €	4 680	585	40,66 €	5,40
muut tilat	2*58W	125	98	12250	24	5	6240	76440	5 313 €	10	400,00 €	867,40 €	1 267,40 €	4 680	57330	3 984,44 €	0,32
muut tilat	2*58W	125	9	1125	24	5	6240	7020	488 €	3	120,00 €	129,80 €	249,80 €	4 680	5265	365,92 €	0,69
muut tilat	1*58W	64	48	3072	24	5	6240	19169	1 332 €	4	160,00 €	222,00 €	382,00 €	4 680	14376,96	999,20 €	0,39
muut tilat	2*58W	125	19	2375	24	5	6240	14820	1 030 €	4	160,00 €	222,00 €	382,00 €	4 680	11115	772,49 €	0,50
muut tilat	2*58W	125	127	15875	24	5	6240	99060	6 885 €	16	640,00 €	1 110,00 €	1 750,00 €	4 680	74295	5 163,50 €	0,34
muut tilat	2*58W	125	6	750	24	5	6240	4680	325 €	3	120,00 €	129,80 €	249,80 €	4 680	3510	243,95 €	1,04
muut tilat	2*58W	125	2	250	24	5	6240	1560	108 €	3	120,00 €	129,80 €	249,80 €	4 680	1170	81,32 €	3,11
muut tilat	2*58W	125	7	875	24	5	6240	5460	379 €	3	120,00 €	129,80 €	249,80 €	4 680	4095	284,60 €	0,89
muut tilat	2*58W	125	37	4625	24	5	6240	28860	2 006 €	4	160,00 €	193,20 €	353,20 €	4 680	21645	1 504,33 €	0,24
muut tilat	1*36W	40	20	800	24	5	6240	4992	347 €	12	480,00 €	801,90 €	1 281,90 €	4 680	3744	260,21 €	4,97
muut tilat	1*36W	40	11	440	24	5	6240	2746	191 €	3	120,00 €	90,40 €	210,40 €	4 680	2059,2	143,11 €	1,49