

**Teollisuushallin valaistuksen suunnittelu, energiatehokkuuden
arviointi ja investointilaskelma**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Valkeakoski, Automaatiotekniikan koulutusohjelma

syksy, 2016

Jari Aho

Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Valkeakoski

Tekijä Jari Aho **Vuosi** 2016

Työn nimi Teollisuushallin valaistuksen suunnittelu

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö tehtiin TKM TTT Finland Oy:lle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä valaistussuunnitelma 2500m² tuotantotilaan, sekä tutkia mahdollisesti saavutettavaa energian- ja huoltokustannusten säästöä. Näiden tulosten perusteella oli tarkoitus tutkia mahdollisen investoinnin kannattavuutta. Tutkimusmenetelmiksi valittiin nykyarvomenetelmä ja takaisinmaksuajan menetelmä.

Työssä käsiteltiin valaistuksen teoriaa ja valaistukseen liittyviä käsitteitä, sekä valaistusta koskevaa standardia. Valaistussuunnitelma tehtiin Dialux –suunnitteluohjelmistolla. Työssä käsiteltiin myös erilaisia valaistuksen ohjaustapoja ja tutkittiin erilaisia investointilaskentamenetelmiä.

Tämän tutkimustyön lopputuloksena syntyi tuotantotilan valaistussuunnitelma ja investointilaskelma. Lisäksi esiteltiin mahdollisuutta lisäsäästöihin erilaisilla valaistuksenohjauksilla.

Avainsanat investointilaskelma, LED-valaistus, valaistussuunnitelma, teollisuus

Sivut 30 sivua, joista liitteitä 8 sivua

Degree Programme in Automation Engineering
Valkeakoski

Author	Jari Aho	Year 2016
Subject	Lighting plan for a factory building	

ABSTRACT

This thesis was made for TKM TTT Finland Oy. The purpose of this thesis was to conduct a lighting plan for a 2500m² production building and examine the potential reduction in the energy and maintenance costs there. Based on these results a feasibility study was carried out using the present value and payback time methods.

In this thesis the theory of lighting, the concept of lighting and the standards on lighting are examined. A lighting plan was made by using the Dialux –light planning software. Additionally, different possibilities of lighting control and different investment methods were studied.

The results of this thesis included a new lighting plan for the production building and an investment calculation on it. Additionally, possibilities of cost reduction by using different kind of lighting control were examined in the project

Keywords industrial, investment calculation, LED-lighting, lighting plan

Pages 30 pages including appendices 8 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	TYÖN TARKOITUS JA TAVOITE	2
3	VALAISTUS	3
3.1	Keskeisiä käsitteitä	4
3.1.1	Valonlähde.....	4
3.1.2	Valaisin.....	4
3.1.3	Liitäntälaite	4
3.1.4	Valovirta Φ	4
3.1.5	Luminanssi L	5
3.1.6	Valovoima I	5
3.1.7	Valaistusvoimakkuus E	5
3.1.8	Heijastumissuhde p	5
3.1.9	Häikäisyindeksi UGR	5
3.1.10	Väriämpötila	5
3.1.11	Värintoisto	6
3.1.12	LENI-luku.....	6
3.2	IP-Luokitus.....	6
3.3	Mittaaminen.....	7
4	VALAISTUKSEN SUUNNITTELU.....	9
4.1	Hyötysuhdemenetelmä.....	9
4.2	Valonlähteet	10
4.2.1	Hehkulamppu	10
4.2.2	Halogeenilamppu	10
4.2.3	Energiansäästölamppu	10
4.2.4	Loisteputki	11
4.2.5	Monimetallilamppu	11
4.2.6	Pienpainenatriumlamppu.....	11
4.2.7	Suurpainenatriumlamppu	11
4.2.8	LED-lamput	11
4.2.9	Induktiolamppu	12
4.3	Valaistuksen ohjaus.....	12
4.3.1	Valaistuksen käyttöajan ohjaus.....	12
4.3.2	Valaistuksen määrällinen ohjaus.....	12
4.3.3	Älykäs valaistuksen ohjaus	12
4.4	Dialux.....	13
5	NYKYISEN VALAISTUKSEN DOKUMENTOINTI	14
6	VALAISTUSSUUNNITELMAN TULOKSET	15
7	INVESTOINTILASKELMA	16
7.1	Nykyarvomenetelmä	16

7.2	Takaisinmaksuajan menetelmä.....	17
7.3	Herkkyysanalyysi	17
7.4	Investointikustannus	17
7.5	Huoltokustannukset	18
7.6	Investointilaskelmien tulokset	18
8	YHTEENVETO	19
	LÄHTEET	21

Liitteet

Liite 1	Ylähallin valaistuksen energiamittaukset
Liite 2	IP-Luokitukset
Liite 3	Valaistussuunnitelma
Liite 4	Investointilaskelma nykyarvomenetelmällä
Liite 5	Investoinnin takaisinmaksuaikalaskelma
Liite 6	Investointikustannuslaskelma
Liite 7	Valaistusvaatimustaulukko -Metalliteollisuus
Liite 8	Herkkyysanalyysi

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii TKM TTT Finland Oy Akaasta. Yritys valmistaa erilaisia teriä teollisuuden tarpeisiin. Yrityksen kiinteistökannan ikääntyessä alkaa valaistuksen uusiminen olla ajankohtaista. Työn tarkoituksena on tutkia mahdollisesti saavutettavia säästöjä energiankulutuksen ja huoltokustannusten osalta valaistuksen uusimisella nykyaikaiseen LED-valaistukseen, sekä järjeistämällä valaistuksen käyttöä mahdollisilla valaistuksen ohjauksilla.

Tässä työssä keskitytään nykyisen valaistuksen dokumentoinnissa valaistuksen kuluttamaan sähkötehon selvittämiseen ja valaistusvoimakkuuden mittaamiseen. Lisäksi työntekijähaastatteluin selvitetään työntekijöiden omia kokemuksia valaistustasosta ja/tai sen puutteista ja hyödyistä. Haastattelujen tueksi tehdään aina myös ko. paikalla valaistusvoimakkuusmittaukset ja verrataan saatua tulosta standardin SFS-EN 12464-1 antamiin suosituksiin, kuitenkin pitäen pääpainon työntekijöiden omien kokemusten ja halujen mukaisena standardin toimiessa ohjaavana tietona.

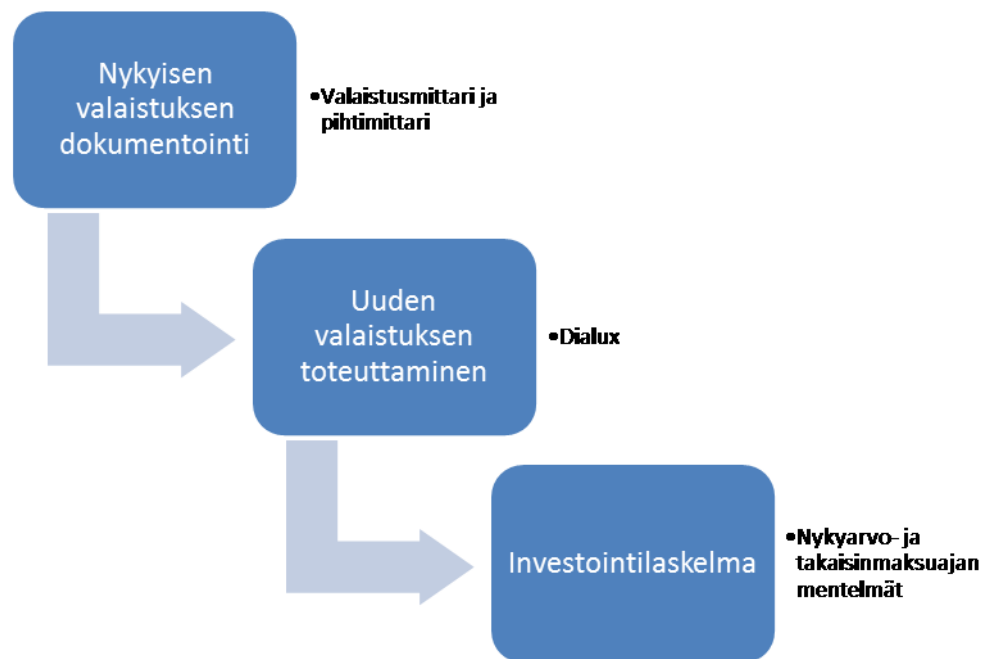
Tutkimuksessa käsitellään valaistukseen liittyviä käsitteitä ja valaistuksen perusteita. Lisäksi dokumentoidaan nykyisen valaistuksen käyttämä energia mittaamalla ja arvioidaan huoltokustannuksia keskiarvoisesti vuositasolla. Uuden valaistussuunnitelman tekoon käytetään Dialux Evo –suunnitteluohjelmistoa. Ohjelmiston avulla mallinnetaan tuotantotilat ja suunnitellaan uusi valaistus. Lisäksi arvioidaan mahdollisesti saavutettavia lisäsäästöjä valaistussuunnitelmasta saatuun uuden valaistuksen energiankulutukseen erilaisilla läsnäolotunnistimilla ja muilla ohjauksilla.

Lopuksi tutkitaan investoinnin teoriaa ja erilaisia kannattavuuslaskelmia. Lopuksi tehdään kannattavuuslaskelmat nykyarvomenetelmällä ja takaisinmaksuajan menetelmällä.

Investoinnin kannattavuutta ja elinkaarikustannuksia tutkittaessa lähtökohtana pidetään investoinnille 30 vuoden teknistä elinikää.

2 TYÖN TARKOITUS JA TAVOITE

Tämän työn tarkoituksena on suunnitella valaistuksen uusiminen tehdashalliin ja laskea onko valaistuksen uusiminen kannattava investointi. Nykyinen valaistus dokumentoidaan valaistusmittarilla ja pihtivirtamittarilla. Uuden valaistuksen suunnittelu tehdään Dialux- ohjelmiston avulla ja investointilaskelmissa käytetään apuna nykyarvon menetelmää ja takaisinmaksuajan menetelmää. Työn eteneminen on kuvattu kuviossa 1.



Kuvio 1. Opinnäytteen viitekehys

3 VALAISTUS

Hyvällä valaistuksella saavutetaan viihtyvyyttä ja turvallisuutta. Valaistuksen avulla voidaan myös saavuttaa parempaa tuottavuutta, jossa esimerkiksi silmien rasituserit, kuten silmien kuivuminen vähenevät. Hyvän valaistuksen saavuttamiseksi tarvitaan riittävä ja tasainen valaistusvoimakkuus, valon lähde ei heijastele työtason yms. pinnasta, osu suoraan näkökenttään eikä katselijan ja katseen kohteen välillä ole heijastavia pintoja. Tilan hahmottamisessa auttavat myös luminanssierot eri pintojen välillä. Tilan hahmottamiseen liittyviä tekijöitä ovat myös pintojen valaistusvoimakkuus, heijastumissuhteet ja väri. (TTL / 1 2014.)

Valon värillä pystytään vaikuttamaan ympäristöstä saatavan informaatioon. Valolla ja värillä on myös mielentilaan vaikuttavuuden kautta korrelaatio työtehoon. Valaistusta suunniteltaessa on myös syytä kiinnittää huomiota valaistuksen oikeaan suuntaukseen, jolla saadaan eliminoitua varjot tärkeimmistä kohteista. Myös liian suuria varjoja on syytä välttää suuria kappaleita käsiteltävissä tiloissa ja kulkureiteillä. (TTL / 1 2014.)

Hyvän valaistuksen tulisi myös olla muunneltavissa työntekijän mukaan. 60-vuotiaan näkö tarkkuus on enää keskimäärin puolet 20-vuotiaan näkö tarkkuudesta. Saadakseen saman näkövaikutelman 20-vuotiaan kanssa tarvitsee 60-vuotias 12-kertaisen valaistusvoimakkuuden. (TTL / 1 2014.)

Työpaikalle valaistusta suunnitellessa on myös apuna ja ohjaavana tietolähteenä standardi SFS-EN 12464-1, josta löytyy suosituksia eri työtehtäviä varten esimerkiksi ylläpidettävästä valaistusvoimakkuudesta ja valaistusvoimakkuuden tasaisuudesta. Standardin mukaan oleellista hyvässä valaistuksessa on vaaditun valaistusvoimakkuuden lisäksi määrällisten ja laadullisten tarpeiden tyydytys. Standardi määrittelee valaistusvaatimusten täyttymisen kolmella perustarpeella, jotka esitellään alla olevassa taulukossa 1.

Taulukko 1. Valaistusvaatimukset kolmen perustarpeen täyttymisenä (SFS-EN 12464-1 2011, 14).

Perustarve	Selite
Näkömukavuus	Työntekijä kokee valaistuksen vaikuttavan positiivisesti hyvinvointiinsa; tämä johtaa epäsuorasti myös parempaan tuottavuuteen ja työn laatuun.
Näkötehokkuus	Työntekijät pystyvät suoriutumaan näkötehtävästään myös vaativissa olosuhteissa ja pitempien jaksojen aikana.
Turvallisuus	

Sama yllä mainittu standardi luettelee myös tärkeimmät näköympäristön tekijät suhteessa keino- ja päivänvaloon (taulukko 2).

Taulukko 2. Tärkeimmät näköympäristön tekijät suhteessa keino- ja päivänvaloon (SFS-EN 12464-1 2011, 14).

Luminanssijakauma
Valaistusvoimakkuus
Valon suuntaus, sisätilan valaisu
Valon vaihtelevuus (valon tasot ja värit)
Valon väri ja sen värintoisto-ominaisuudet
Häikäisy
Välkyntä

Yllä esiteltävien taulukoiden asiatekstit ovat suoria lainauksia mainitusta standardista.

3.1 Keskeisiä käsitteitä

Tässä kappaleessa avataan valaistukseen liittyviä käsitteitä.

3.1.1 Valonlähde

Valonlähteeksi nimitetään LED-paneelia, loisteputkea, lamppua tai vastaavaa (Pro Agria n.d., 1).

3.1.2 Valaisin

Laitetta jossa valonlähde on kiinni, kutsutaan valaisimeksi. Sillä suojataan valonlähde ympäristövaikutuksilta ja saadaan aikaan haluttu valonjako. (Pro Agria n.d., 1.)

3.1.3 Liitäntälaitte

Liitäntälaitteella kytketään valonlähde valaisimeen (Pro Agria n.d., 1).

3.1.4 Valovirta Φ

Luumen (lm) on valovirran yksikkö. Valovirta on säteilytehoa valolähteestä. Säteilyteho painotetaan silmän spektriherkkyyskäyrällä. (Tiensuu 2010, 7.)

3.1.5 Luminanssi **L**

Yksikkönä luminanssille on cd/m^2 . Kohteesta heijastunutta valoa kutsutaan luminanssiksi. Pinnan heijastusominaisuuksien ja valaistusvoimakkuuden perusteella määräytyy luminanssi. Valon suunnalla ja heijastuskulmalla on oleellinen vaikutus pinnan kirkkauden kokemiseen. Luminanssijakauma määrää näkökentässä silmien sopeutumistason, mikä vaikuttaa kohteen näkyvyyteen. Luminanssien suuria muutoksia on vältettävä. (Tiensuu 2010, 7.)

3.1.6 Valovoima **I**

Candela (cd) on valovoiman yksikkö. Valovoima on valovirta avaruuskulmassa. (Tiensuu 2010, 7.)

3.1.7 Valaistusvoimakkuus **E**

Yksikkönä valaistusvoimakkuudella on luksi (lx). Valaistusvoimakkuus E kuvaa tietylle pinta-alalle kohtisuoraan tulevan valovirran määrää $E=\Phi/A$. Valaistusvoimakkuudella kuvataan valaistusolosuhteiden laadukkuutta. Valaistusvoimakkuudella ja sen jakautumisella työalueella ja lähiympäristössä on merkittävä vaikutus näkötehtävän hahmottamiseen ja siitä suoriutumiseen. (Tiensuu 2010, 7.)

3.1.8 Heijastumissuhde **ρ**

Heijastumissuhde kuvaa pinnalta heijastuvan valovirran suhdetta sille saapuvaan valovirtaan. Pinnaltaan valkoiseksi maalatun tason heijastumissuhde on $> 0,9$ ja tiepäällysteen $< 0,1$. (Tiensuu 2010, 8.)

3.1.9 Häikäisyindeksi **UGR**

Häikäisyindeksi UGR (Unified Glare Rating) kuvaa sisätilojen valaistuksen aiheuttamaa kiusahäikäisyä. Kiusahäikäisy, eli häikäisy joka ei heikennä näkemistä mutta aiheuttaa epämiellyttävän tunteen, tulee määrittää CIE:n kehittämää UGR-menetelmää käyttäen. Standardi SFS-EN 12464-1 ottaa mm. kantaa eri tilojen maksimi UGR-arvolle. (TTL / 2 2010.)

3.1.10 Värilämpötila

Lampun värivaikutelmalla tarkoitetaan lampun säteilevän valon näkyvää väriä. Lämpimänä värivaikutelmaltaan pidetään alle 3000 Kelvinin värilämpötilan valoa, neutraalina 3300 – 5300 Kelvinin värilämpötilaa ja kylmänä yli 5300 Kelvinin värilämpötilaa. (Tiensuu 2010, 7.)

3.1.11 Värintoisto

Ympäristön ja siinä olevien kohteiden on tärkeää toistua luonnollisena näkötehokkuuden ja hyvinvoinnin kannalta. Lisäksi turvavärien on aina toistuttava oikein. Yleinen värintoistoindeksi Ra on kehitetty valonlähteiden värintoisto-ominaisuuksien määrittämiseksi tasapuolisesti. Värintoistoindeksin suurin arvo on 100. Indeksien arvo pienenee sen mukaan mitä heikompi on värintoisto-ominaisuus valonlähteellä. Standardissa SFS-EN 12464-1 annetaan värintoistoindeksin minimiarvot erityyppisille tiloille, toiminnoille ja tehtäville. (Tiensuu 2010, 7.)

3.1.12 LENI-luku

LENI-luku (Lighting Energy Numeric Indicator) kuvaa rakennuksessa käytettyä vuotuista valaistusenergiankulutusta. LENI-luku esitetään kilowattitunteina per neliömetri vuodessa (kWh/m²/vuosi). Luvussa huomioidaan valaistuksen asennustehon lisäksi valaistuksen lepokulutus ja ohjauksen vaikutus kokonaisenergiankulutukseen. Standardissa SFS-EN 15193 esitellään kaksi vaihtoehtoa LENI-luvun laskemiseksi. Näitä vaihtoehtoja ovat tarkkalaskentamenetelmä ja pikalaskentamenetelmä. Käytettäessä pikalaskentamenetelmää saadaan energiankulutukselle korkeampi LENI-luku verrattuna tarkkaan laskentamenetelmään. (Ympäristöministeriö 2015, 17.)

Huomioitava on myös, että ”LENI-lukua voidaan käyttää verratessa keskenään eri rakennusten valaistuksen energian kulutusta silloin, kun rakennusten käyttötarkoitus on yhtäläinen, mutta ne ovat erikokoisia ja/tai ne ovat rakenteeltaan erilaisia.” (SFS-EN 15193 2008, 16.)

3.2 IP-Luokitus

Valaisinkotelon yksi tehtävä on suojata valonlähde kosteutta ja pölyä vastaan. Valaisimien kotelointiluokat ilmoitetaan IP-luokituksella (International Protection). Kuten liitteenä 2 olevasta taulukosta käy ilmi on IP -merkinnässä kaksi numeroa ja mahdolliset lisäkirjaimet. Numeroparin ensimmäinen numero kertoo suojauksen pölyä ja pieniä esineitä vastaan 0 – 6 asteikolla. Jälkimmäinen numero kertoo kosteudenkestävyyden 0 – 8 asteikolla. IP-luokituksen lisäksi käytössä on IK-luokitus, jonka asteikko on 00 – 10. IK-luokituksella ilmoitetaan valaisimen iskunkestävyys 0 – 20 Joulen iskuenergiaa vastaan. IK-luokitus voidaan myös ilmoittaa suoraan IP-luokan yhteydessä kolmantena numerona tai erikseen IK-lukuna. (Pro Agria n.d., 3.)

3.3 Mittaaminen

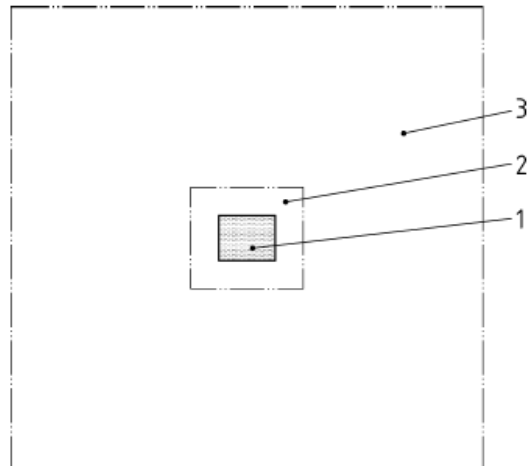
Mitattaessa työtilojen valaistusvoimakkuutta mitataan tasaisuutta ja voimakkuutta yleisvalaistuksesta ja työpisteiden kohdevalaistuksesta. Tähän tarkoitukseen käytetään esimerkiksi kuvassa 1. esiteltyä luksimittaria eli valaistusvoimakkuusmittaria. Luksimittari koostuu valokennosta, kosin korjaimesta, virtamittarista ja värikorjaussuotimesta. (TTL / 2 2014.)

Työpisteessä kohdevalaistusta mitattaessa asetetaan luksimittari työtasolle ja luetan mittausarvo. Valaistusvoimakkuus mitataan myös kauempaa työpisteestä, että voidaan arvioida valaistuksen tasaisuutta. Mittauskorkeus on istumatyössä 75 cm ja seisomatyössä 90 cm. (TTL / 2 2014.)



Kuva 1. Luksimittari (Valostore.fi).

Standardi 12464-1 ottaa kantaa työalueen määrittelyyn joka on esitelty kuvassa 2.



Selite

- 1 työalue
- 2 välitön lähiympäristö (vähintään 0,5 m leveä vyöhyke näkökentässä työalueen ympärillä)
- 3 tausta-alue (vähintään 3 m leveä välitöntä lähiympäristöä ympäröivä alue tilan asettamissa rajoissa)

Kuva 2. Välittömän lähiympäristön ja tausta-alueen minimimitat verrattuna työ-alueeseen (SFS-EN 12464-1 2011, 20).

Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus on myös tärkeää, koska työalueen lähiympäristön suurien valonvoimakkuuksien vaihteluista seurauksena saattaa olla silmien väsymystä ja/tai epämukavuuden tunnetta (SFS-EN 12464-1, 20). Standardissa on myös määritelmät taulukon 3. mukaiset määritelmät työalueen ja välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuksien suhteen.

Taulukko 3. Työalueen ja välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuuksien suhde (SFS-EN 12464-1 2011, 20).

Työalueen valaistusvoimakkuus E_{task} lx	Välittömän lähiympäristön Valaistusvoimakkuus Lx
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	E_{task}
100	E_{task}
≤ 50	E_{task}

Energiankulutuksen osalta mittaus toteutettiin mittaamalla Fluke 337 pihtivirtamittarilla ampeeriarvot valaistuksen ohjaukseen käytettävien kontaktorien lähdöistä. Saaduista arvoista laskettiin kokonaiskulutus alla esitettävällä kaavalla.

$$P = U * I$$

(Pelkonen, Perkiö & Vierinen 2012, 277).

Nykyisen valaistuksen dokumentointi -kappaleessa esitellyistä laskuista ja mittaustuloksista saatiin valaistuksen verkosta ottama kokonaisteho laskemalla yhteen laskennalliset tehot. Mittaus- ja laskentatuloksissa on mukana loistehokomponentti.

4 VALAISTUKSEN SUUNNITTELU

Valaistussuunnittelijan tehtäviin kuuluu kartoittaa asiakkaan valaistustarpeet ja määrittellä valaistusvaatimukset. Hankkeen alussa on selvitettävä tarpeellinen taso valaistukselle, jolla saavutetaan riittävä toiminnan ja turvallisuuden taso. (Tiensuu 2010, 21.)

4.1 Hyötysuhdemenetelmä

Arvioitaessa valon määrän tarvetta tietyn alueen valaistukseen, voidaan alustavasti käyttää alla esiteltävää ns. hyötysuhdemenetelmää tarvittavan valovirran arvioimiseen. (Tiensuu 2010, 21.)

$$\Theta = \frac{E * A}{\eta_L * \eta_V}$$

Kaavassa Θ kertoo kohteessa tarvittavan lamppujen tuottaman yhteisen valovirran, E alueen tavoitellun valaistusvoimakkuuden, A valaistavan alueen pinta-alan m^2 , η_L valaisimien hyötysuhteen ja η_V valaistuksen hyötysuhteen. (Tiensuu 2010, 21.)

Lähteen mukaan isoilla alueilla voidaan käyttää $(\eta_L * \eta_V) = 0,4 \dots 0,5$ ja julkisivuvalaistuksessa tai pienillä alueilla $(\eta_L * \eta_V) = 0,3$ (Tiensuu 2010, 21.)

Jos esimerkiksi tavoitellaan 35 x 15m:n alueella 10lx:n valaistusvoimakkuutta tarvittava valovirta on tällöin

$$\Theta = (10 \times 525) / (0,4) = 13\,125 \text{ lm.}$$

Kyseinen valovirta saadaan esimerkiksi neljällä 35 W:n (á 3300lm) monimetallilampulla. (Tiensuu 2010, 21.)

4.2 Valonlähteet

Käyttöön otettavien lamppujen valotehokkuus korreloi suoraan valaistuksen energiatehokkuuteen. Merkittävää energiankulutuksen kannalta on myös oikea tehonmitoitus ja lamppujen oikea-aikainen käyttö. Lamppuja valittaessa eri valaistustilanteisiin ovat niiden erilaiset ominaisuudet vaikuttavia tekijöitä. Esimerkiksi liiketunnistimella ohjattavalla lampulla ei voi olla pitkä syttymisaika, tai ulos valittavalla lampulla huono kylmän kesto ja niin edelleen. (Tiensuu 2010, 29.)

Alla on esiteltynä erilaisia lampputyyppejä ominaisuuksineen.

4.2.1 Hehkulamppu

Laajasti aiemmin käytetty valonlähde. Valotehokkuuden heikkoudesta johtuen sen käyttö on vähentynyt. Hehkulamppun markkinoille tuominen kiellettiin EU-alueella vuodesta 2012. Hehkulamppun kuluttamasta energiasta yli 95% muuttuu lämmöksi. Lamppu on myös lyhytikäinen. Hehkulamppun Hyviä ominaisuuksia ovat nopea syttyminen, hyvä värintoistokyky, halpa hinta ja helppo himmennettävyys. (Pro Agria n.d., 5.)

4.2.2 Halogeenilamppu

Halogeenilamppua on käytetty paljon kohdevalaistuksessa ja suurempia valovirtoja tarvitsevissa paikoissa. Halogeenilamppun ominaisuudet ja toimintaperiaate ovat samat kuin hehkulamppussa sillä erotuksella, että halogeenilamppun lanka palaa suojakaasussa ja hyvin kuumana. Halogeenilamppua ei pidä käyttää palovaarallisissa paikoissa. (Pro Agria n.d., 5.)

4.2.3 Energiansäästölamppu

Energiansäästölamppua on kehitetty korvaamaan hehkulamppua. Laatuominaisuuksiltaan energiansäästölamppun valo on hyvä ja lamppu sopii sisätilojen yleisvalaistukseen. Ulkokäyttöön energiansäästölamppu ei kuitenkaan sovi huonon pakkasenkeston takia. Muita huonoja ominaisuuksia ovat mm. hidas syttyminen, rajoitettu himmennettävyys ja lamppun ”kuluminen” sytytyksissä, jonka tähden lamppun jatkuvaa päälle / pois kytkemistä on syytä välttää. (Pro Agria n.d., 5.)

4.2.4 Loisteputki

Loisteputkea on käytetty kauan yleisvalaistukseen erilaisissa tiloissa. Loisteputket ovat käyttöikältään noin 20-kertaiset hehkulamppuun verrattuna. Myös valon laatuominaisuudet ovat hyvät. Nykyisillä elektronisilla liitäntälaitteilla on saatu poistettua vanhojen liitäntälaitteiden mahdollisesti aiheuttamaa suuritaajuista välkkymistä. Loisteputkea voidaan himmentää erillisellä liitäntälaitteella. (Pro Agria n.d., 6.)

4.2.5 Monimetallilamppu

Monimetallilamppu on sopiva ratkaisu suurempiin, isoja valovirtoja ja hyviä valon laatuominaisuuksia vaativiin tiloihin. Lamppu soveltuu sisä- ja ulkotiloihin ja on hyvä valotehokkuudeltaan. Huonoja puolia vastaavasti ovat hidas syttyminen ja kuumana lamppu ei syty uudestaan vaan lampun täytyy ensin jäähtyä. Myöskään lampun himmentämistä ei suositella ja lampun pirstaloitumisvaaran takia lampun kanssa on aina käytettävä asian mukaista suojakupua. (Pro Agria n.d., 6.)

4.2.6 Pienpainenaatriumlamppu

Lamppu tuottaa monokromaattista keltaista valoa joka on värintoistokyvyltään erittäin huono. Pienpainenaatriumlamppua on käytetty paljon moottoriteiden ja vastaavien paikkojen valaistukseen. Lamppu on korvattu nykyään toisilla lampputyypeillä. Hyvät ominaisuudet energiatehokkuudessa ja suurien valovirtojen tuottamisessa. Huonoina puolina vastaavasti hidas syttyminen, kuumana uudestaan syttyminen ja lamppua ei voida himmentää. (Pro Agria n.d., 6.)

4.2.7 Suurpainenaatriumlamppu

Tuottaa punaruskeaa tai kellertävää valoa. Soveltuu hyvin käytettäväksi laajoissa sisätiloissa, joissa tarvitaan suuria valovirtoja, eikä erityisiä vaatimuksia värintoistokyvylle ole. Energiatehokkuudeltaan hyvä lamppu. Huonoja puolia ovat huonot syttymisajat ja himmennystä ei suositella. (Pro Agria n.d., 6.)

4.2.8 LED-lamput

Lamput soveltuvat hyvin sisä- ja ulkovalaistukseen. LED-lamput ovat energiatehokkaita ja valonlaadultaan hyviä. LED-lamput ovat myös pitkäikäisiä, sopivat himmentämiseen ja nopeasti syttyviä. Huonoja puolia ovat mm. huono lämmönsietokyky. (Pro Agria n.d., 6.)

4.2.9 Induktiolamppu

Induktiolamppu perustuu kaasupurkauksen, joka aiheutetaan sähkömagneettisella induktiolla. Huonona puolena induktiolamppua ei voida himmentää. (Pro Agria n.d., 6.)

4.3 Valaistuksen ohjaus

Valaistuksen ohjauksella saadaan toimiva, joustava ja oikea valaistus erilaisiin tilanteisiin. Ohjauksen tuomat edut ovat siis merkittäviä.

Ohjausta käyttäen energiaa säästyy tyypillisesti vähintään puolet kiinteään valaistukseen verrattuna. Lisää säästöä on saavutettavissa tarkalla valaistuksen ryhmittelyllä, sensoroinnilla ja kellokäytöillä. Lisäksi ledivalaistuksella on merkittävästi monipuolisemmat ohjaustavat verrattuna aiemmin käytettyihin valaistusratkaisuihin. (Valaistustieto n.d.)

4.3.1 Valaistuksen käyttöajan ohjaus

Valaistusta ohjattaessa käyttöajan mukaan saadaan valaistus päälle/pois käyttötarpeen mukaisesti. Käyttöajan mukaan valaistusta voidaan ohjata esimerkiksi hämäräkytkimellä, läsnä- tai poissaolo-ohjauksella, kellolla ns. porraskäyttöautomaatilla ja avainkorttilukijoilla. (Valaistustieto n.d.)

4.3.2 Valaistuksen määrällinen ohjaus

Valaistuksen määrällinen ohjaus on valaistuksen tarpeen mukaista säätämistä. Määrällisellä ohjauksella pyritään käyttämään valaistusta vain halutun valaistuvaatimuksen verran. Määrällisen ohjauksen menetelmiä ovat esimerkiksi manuaalinen himmennys, tilanneohjaukset, vakio-/päivänvalo-ohjaukset ja poissaolovalaistus. Poissaolovalaistuksessa himmennetään valaistus esim. läsnäolotiedon perusteella pienemmälle tasolle, jos tilassa ei oleskella. (Valaistustieto n.d.)

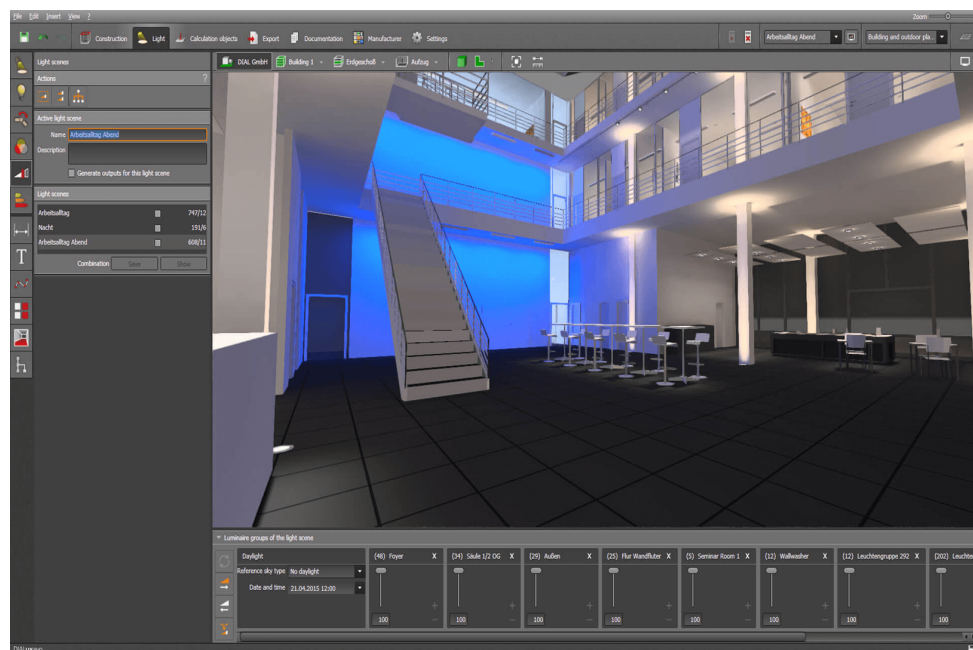
4.3.3 Älykäs valaistuksen ohjaus

Valaistuksen laatua, mukavuutta ja energiansäästöä saadaan parannettua älykkäillä valaistuksen ohjausjärjestelmillä, jotka huomioivat mahdollisesti päivänvalon muutokset, tunnistavat liikkeen ja läsnäolon. Älykkyyden mahdollistaa valaistustilanteiden monipuolisen hallinnan ja energiaa säästävän käyttämisen. Langattomalla ohjausjärjestelmällä saavutetaan lisäksi joustavuutta, helpotetaan ohjauksen muokkaamista ja laajentamista, sekä saavutetaan huomattavia säästöjä asennuskustannuksissa. Langattomat ohjausjärjestelmät ovat lisäksi hyvä vaihtoehto erityisesti saaneerauskohteissa valaistusta uusittaessa. (Valaistustieto n.d.)

4.4 Dialux

Dialux on valaistussuunnittelun ammattilaisten käyttämä ilmaisohjelma. Ohjelmalla voidaan suunnitella, laskea ja visualisoida erilaisia valaistus-skenaarioita yhden huoneen osalta, kokonaisen rakennuksen ja ulkova-laistuksen osalta. Dialuxille on myös johtavien valaisinvalmistajien tuki, ja ohjelmasta löytyykin valaisinvalmistajien tuoteluettelot. Ohjelmisto on myös yhteensopiva muiden CAD-tiedostoja käyttävien ohjelmien kanssa, eli ohjelmassa voidaan avata suoraan rakennuksesta mahdollisesti löytyvä sähköinen pohjapiirustus. (dial.de.)

Alla olevassa kuvassa 3 esitellään DiaLux:n käyttöliittymää. Liitteessä 3 on pyöröterähalliin tehty valaistussuunnitelma.



Kuva 3. Dialux -suunnitteluohjelmiston ikkunanäkymä (DiaLux n.d.).

5 NYKYISEN VALAISTUKSEN DOKUMENTOINTI

Yhtenä keskeisenä kiinnostuksen kohteena työntilaaajalla oli valaistuksen muutoksella saavutettava energia- ja käyttökustannusten säästö. Tästä johtuen nykyinen valaistus dokumentoitiin mahdollisimman kattavasti ja tarkasti energian kulutuksen osalta.

Pyöröterähallin valaistuksen verkosta ottaman tehon mittaustulokset esitellään liitteestä 1 löytyvässä Excel -taulukossa. Mittaustuloksissa on mukana loistehokomponentti.

Pyöröterähallin työaikamuodosta johtuen hallissa on valot päällä 72 tuntia viikossa ja erinäisistä tuotantokatkoksista johtuen keskimäärin 49 viikkoa vuodessa. Näin saatiin valaisimien vuosittaiseksi käyttöajaksi 3528 tuntia vuodessa (72h*49vko).

Energiankulutus vuodessa valaistuksen osalta on näin ollen 128207,52 kWh (3528h*36,34 kW). Kun huomioitiin pimeänä olevat valaisimet mukaan kulutuslaskelmiin, saatiin valaistuksen vuosikulutusarvioksi 140188 kWh (3528h*39,74 kW).

Jakamalla vuotuinen energiankulutus 140188 kWh tuotantotilojen kokonaisneliöillä 2511,8 m² saatiin puolestaan LENI-luvuksi 56. LENI-luvun laskennassa huomioitavaa valaistuksen lepokulutusta ja ohjauksen vaikutusta kokonaisenergiaan ei huomioitu, koska valaistusta ohjataan päälle/pois-periaatteella ohjaamalla suoraan valaistuksen kontaktoreilta.

Lisäksi valonvoimakkuuksia mitattaessa oli valaistuksen tasaisuudessa huomattavaa vaihtelua ja osassa tuotantotiloja havaittiin riittämätön valaistus. Toisaalta osassa varastotiloja oli oikein hyvä noin 650 luksin yleisvalaistus, joka olisi riittävä valaistus useisiin työtehtäviin metalliteollisuudessa. Tilat joissa tuotantoa on, vaihtelivat mitatut arvot 100 ja 1000 luksin välillä.

6 VALAISTUSSUUNNITELMAN TULOKSET

Pyöröterähallin uuden valaistuksen suunnittelussa valaisimien valintaa rajojasi työn tilaajan halukkuus vaihtaa nykyinen valaistus LED-valaistukseen. Lisäksi jo aiemmin tehdyn alahallin valaisinremontin investointipäätöksen johdosta päätettiin toteuttaa pyöröterähallin valaistus samalla Snep Linear M -mallin valaisimella. Tästä johtuen valaisimien osalta tutkimus rajattiin koskemaan haluttavaa valaistusvoimakkuutta ja -tasaisuutta, valaistuksen energian kulutusta, huollon tarvetta, huollon hintaa ja Investoinnin takaisinmaksuaikaa.

Hallin valaistuksen väriämpötilaksi päätettiin 4000 K, sekä yleisvalaistuksen tasoksi haettiin 650 luxin valaistusta. Valaistuksen voimakkuuden ja tasaisuuden osalta päätöksentekoa ohjasivat alahallista saadut käyttökokemukset sekä työntekijähaastattelut standardin SFS-EN 12464-1 toimituksessa ohjaavana tietona. Standardin vaatimukset metalliteollisuuden osalta esitellään liitteessä 7.

Valaistussuunnitelma tehtiin Dialux -ohjelmistolla. ohjelmisto on käyttötarkoitukseensa sopiva työkalu, mutta kaikkien viritysmahdollisuuksien oppiminen vaatii joko paljon aikaa tai vaihtoehtoisesti kouluttautumista. Ohjelmisto on joka tapauksessa hyvä apuväline ja helpottaa työtä huomattavasti. Pääsääntöisesti myös eri valaisinvalmistajat jakavat verkkosivuillaan Dialuxissa tarvittavia valonjakotiedostoja. Joka tapauksessa Dialux on vain yksi osa kokonaissuunnitelmasta, joten turhaa hinkkaamista ja viilaamista esimerkiksi kohteen mallinnuksen ulkoasuun vältettiin. Dialuxilla tehty valaistussuunnitelma esitellään liitteessä 3. Valaistussuunnitelma on vertailun helpottamiseksi tehty samoilla käyttötunneilla ja tavoilla kuin nykyisenkin valaistuksen käyttö. Valaistussuunnitelmasta käy ilmi, että Snep Linear M -valaisimilla tehdyn suunnitelman mukaan valaistus paranee osittain huomattavasti ja varsinkin tuotantotilojen osalta yleisvalaistuksessa saavutetaan hyvä noin 650 luxin yleisvalaistus.

Muutos on merkittävä nykyiseen valaistustasoon verrattuna. Energian kulutukseksi ohjelma arvioi suunnitelmassa 65580 kWh/a. Säästöä voidaan pitää merkittävänä verrattuna nykyvalaistukseen (140188 kWh/a) ilman valaistuksen käytön järjeistämistäkin.

Saatua valaistussuunnitelman kulutusarviota saatiin vielä pienennettyä arvioidulla käyttökertoimella 0,7. Tähän kertoimeen päädyttiin lisäämällä varastotiloihin liiketunnistimet ja arvioimalla ko. tilojen käytön olevan noin 10 -20 % luokkaa. Lisäksi osassa tuotantotiloja ei tehdä vuorotyötä, jolloin näissä tiloissa voidaan valaistus vähentää 30 % valaistusteholle, joko läsnäolotunnistimien avulla tai ajastettuna. Näin uuden valaistuksen vuosittaiseksi tehonkulutusarvioksi saatiin noin 46 130 kWh/a. Vastaavasti suunnitellun valaistuksen LENI-luvuksi saadaan 18. Kulutus saadaan

näin kolmannekseen nykyisestä vaihtamalla LED-valaistukseen ja lisäämällä erilaisia ohjauksia valaistukseen.

7 INVESTOINTILASKELMA

Investointilaskelmalla pyritään tutkimaan investoinnin kannattavuutta ja järkevyyttä. Laskelma ulotetaan koko investoinnin pitoajalle. Erityisen hyödyllisiä laskelmat ovat useampaa investointivaihtoehtoa tutkittaessa, sekä vaihtoehtoja paremmuusjärjestykseen aseteltaessa. Laskelmia tehtäessä tulee huomiota kiinnittää toteutuskustannuksiin, tuottoihin ja eri rahoitusvaihtoehtoihin. (Investoinnin laskenta 2015).

Useimmiten investointilaskelmissa vaikeita ja tärkeitä ovat kauaskantoiset päätökset, joissa päätöksentekijän harkinnan merkitys on suuri suhteessa tosiasiatietoihin. Syinä tähän ovat pitkän aikajänteen aiheuttama monimutkaisuus, lisääntyvä määrä huomioonotettavia tekijöitä ja epätäydellisempi käytettävissä oleva tieto. (Pellinen 2006, 170.)

Investoinnin kannattavuutta arvioidessa tulee arvioida investointia vähintään kahdella viidestä menetelmästä, joita ovat

- Nykyarvomenetelmä
- Sisäisen korkokannan menetelmä
- Takaisinmaksuajan menetelmä
- Annuiteettimenetelmä
- Pääoman tuottoaste-menetelmä

(Cursor Oy 2015.)

Tässä opinnäytetyössä investoinnin kannattavuutta keskityttiin tutkimaan nykyarvomenetelmällä ja takaisinmaksuajan menetelmällä. Nykyarvomenetelmässä diskonttaus korkona käytettiin yrityksen talousosastolta saatua arvoa 2,5 %. Laskelmissa investoinnin tekniseksi iäksi arvioitiin 30 vuotta. Lisäksi tehtiin myös herkkyyksianalyysi. Analyysi toteutettiin tutkimalla nykyarvomenetelmällä investoinnin kannattavuutta 5 % ja 7,5 % diskonttauskoroilla.

7.1 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmässä (Net Present Value, NPV) diskonttataan nykyhetken laskentakoron avulla kaikki nettotulot (tulot - maksut), mitä investoinnista on odotettavissa. Näistä tuloista vähentämällä hankintameno saadaan investoinnin nettonykyarvo (NNA). (Martikainen 1998, 25.)

Nykyarvomenetelmällä tehty investointilaskelma on esitelty liitteessä 4. Nettonykyarvoksi investoinnille saatiin 149 853,18 €. Tulos saatiin 30

vuoden laskennalla ja käyttämällä talousosastolta saatua diskonttauskor-
koa 2,5 %.

7.2 Takaisinmaksuajan menetelmä

Investoinnin takaisinmaksuajan menetelmä (payback period) kertoo ajan mitä kestää investoinnin maksaa itsensä takaisin. Perusajatuksena takaisinmaksuajan menetelmässä on, että mitä lyhyempi takaisinmaksuaika on, sitä kannattavampi investointi on. Puutteena menetelmässä on, että siinä ei huomioida takaisinmaksuajan jälkeisiä nettotuloja tai huomioida rahan aika-arvoa. Matemaattisena kaavana takaisinmaksuajan menetelmä on: investointi / vuosittaiset nettotuotot. (Martikainen 1998, 32.)

Investoinnin takaisinmaksuajan menetelmällä toteutettu tutkimus löytyy liitteestä 5. Takaisinmaksuajaksi laskelmassa saatiin 7,1 vuotta. Tulos saatiin jakamalla investointikustannus 76 370 € investoinnin tuomilla energia- ja huoltokustannusten säästöodotuksilla 10 808,41 € vuosi.

7.3 Herkkyysanalyysi

Tulevaisuuteen liittyvien epävarmuustekijöiden tähden investoinnin laskentatiedot ovat aina epävarmoja. Tätä epävarmuutta voidaan analysoida herkkyysanalyysin avulla. Analyysissä investoinnin kannattavuutta tutkitaan, kun yhtä tai useampaa lähtötietoa laskennassa muutetaan. Jos kaikille investoinnin kannattavuuskomponentille tehdään analyysi, saadaan selvitettyä ne komponentit, joiden muutoksilla on suurin vaikutus investoinnin kannattavuuteen. (TTS n.d.)

Herkkyysanalyysillä tehty tutkimus löytyy liitteestä 8. Analyysissä tutkittiin nykyarvomenetelmällä investoinnin kannattavuutta käyttämällä diskonttauskorkeina 5 % ja 7,5 % korkoja. Nettonykyarvoksi 5 % korolla saatiin 89 781,75€ ja 7,5 % korolla 51 281,50€. Analyysi osoittaa investoinnin olevan kannattava jopa 3 kertaisella korolla.

7.4 Investointikustannus

Investoinnin hintaa arvioidessa apuna käytettiin yrityksen alahallin valaistusremontista saatua tarjousta / arviota. Tämän perusteella investoinnin kokonaiskustannukseksi saatiin 76 370 €. Kustannuksista 155 valaisimen osuus oli 51 150 €. Asennuskustannuksien osuudeksi jäi näin 25 220 €. Investointilaskelma esitellään liitteessä 6.

7.5 Huoltokustannukset

Huoltokustannuksiin arvioitiin menevän nykyisen valaistuksen osalta keskimäärin 4500 € / vuosi. Summa sisältää ulkoa ostetun sähkömiehen, nostimien vuokrat, vaihdettavat lamput ja muut tarvikkeet. Huoltotehtäviin ja vikakorjauksiin arvioitiin kuluvan keskimäärin viikon verran vuodessa. Uuden valaistuksen huoltokustannuksiksi arvioitiin 840 € / vuosi. Arvio perustuu 5 ensimmäisen vuoden takuulle ja noin 1000 € / vuosi huoltokustannuksille seuraavat 25 vuotta. Kokemuksia ledivalaistuksesta on kertynyt vielä sen verran vähän, että uuden valaistuksen huoltokustannusarvioon on syytä suhtautua varauksella. Valaisimille tehtävää vuosittaista puhdistusta ei laskelmissa huomioitu, koska valaisimien lukumäärä ei investoinnissa oleellisesti muutu ja puhdistus on tehtävä molemmissa vaihtoehtoissa.

7.6 Investointilaskelmien tulokset

Investointilaskelmien tulokset esitellään alla olevassa taulukossa 4. Lisäksi kaikki investointiin liittyvät luvut ja oletukset avataan yllä olevissa kappaleissa. Laskemat ja tulokset löytyvät myös liitteistä 4, 5 ja 6.

Taulukko 4. Investointilaskelmien tuloksia

Investointi	76 370 €
Tuotto-odotus (säästöt)	10 808,41 € / vuosi
Nettonykyarvotulos	149 853,18 € / 30 vuotta
Takaisinmaksuaika	7,1 vuotta.

8 YHTEENVETO

Tässä työssä dokumentointiin tehdashallin (2500 m²) nykyinen valaistus, mittaamalla valaistuksen energian kulutus valaistusta ohjaavilta kontaktoreilta pihtivirtamittarilla. Dokumentti löytyy liitteestä 1. Saaduista virta-arvoista saatiin laskennallinen kokonaistehon vuosikulutus nykyisen valaistuksen osalta. Laskennalliseksi sähkötehon kulutukseksi saatiin viimeinä oleva lamput kulutukseen huomioiden 140188kWh vuodessa.

Lisäksi tehtiin luksimittarilla valaistusvoimakkuusmittauksia ja tutkittiin työntekijähaastatteluin valaistuksen riittävyttä. Mittauksissa ilmeni, että valaistus on varsinkin loisteputkivalaisimin valaistussa osassa riittämätön ja valaistusvoimakkuuden vaihtelut yleisvalaistuksen ja työpistevalaistuksen välillä liian suuria. Työntekijähaastaluissa ilmeni, että valaistus koetaan pääsääntöisesti riittämättömäksi. Mittaustulokset tukivat mielipiteitä. Mitatut valaistusvoimakkuuden arvot vaihtelivat 100 – 1000 lx välillä.

Toisaalta nykyään varastotiloina toimivissa tiloissa valaistus oli mittausten mukaan hyvä. Yleisvalaistuksen ollessa noin 650 lx tasoa, joka on varastotilaan turhan hyvä valaistus. Huoltomiehen haastattelussa ilmeni myös, että loisteputkivalaisimet ovat teknisen iän päässä. Valaisimien arveltiin olevan tehtaan vanhimpia.

Tämän jälkeen tehdashalliin tehtiin uusi valaistussuunnitelma dialux -ohjelmistolla (liite 3). Valaisimiksi suunnitelmaan valikoitui Snep Linear M LED-valaisimet. Valaisimien valintaan vaikutti yrityksen alahalliin jo tehty investointipäätös valaisimien vaihtamisesta samoilla valaisimilla. Näin ollen koettiin luontevaksi pysyä samassa valaisimessa ja lisätä valaisimien ohjaukseen tarpeelliset läsnäolotunnistimet sekä RF-ohjaus valaisimiin. Valaistussuunnitelmassa valaistustaso saatiin yleisvalaistuksen osalta tuotantotiloissa hyvälle noin 650 lx tasolle. Energiankulutusarvion jäädessä kuitenkin nykyaikaisilla valaisimilla 65580 kWh vuodessa.

Lisäksi suunniteltiin lisättäväksi valaistuksen ohjauksia. Esimerkiksi varastotiloihin lisättävillä liiketunnistimilla, alentamalla valaistus 30% teholle työtiloissa joissa ei työskennellä esimerkiksi iltaisin. Valaistuksen ohjauksella arvoitiin saatavan käyttökertoimeksi 0,7. Valaistuksen käytön järjeistämällä vuosikulutukseksi arvoitiin 46 130 kWh vuodessa. Näin ollen vuosittainen kulutus saataisiin laskettua noin kolmannekseen nykyisestä valaistuksesta.

Lopuksi tehtiin investointilaskelmat. Laskelmat toteutettiin nykyarvomenetelmällä (liite 4), Ja takaisinmaksuajan menetelmällä (liite 5). Lisäksi investointikustannus, joka arvoitiin 76 370 € arvoiseksi, esitellään liitteessä 6. Takaisinmaksuajan laskelmaa esittelevään liitteeseen lisättiin vielä sellittävinä tekijöinä huoltokustannusarviolaskelma ja oletus kertyvistä vuotuisista säästöistä.

Laskelmissa huomioitavia asioita ovat uuteen valaistukseen liittyvien huoltokustannusten epävarmuus, joka johtuu kokemukseräisen tiedon puutteesta uuden valaistuksen suhteen sekä 30 vuoden teknisen elinai-kaadotteen muodostamasta pitkän aikajänteen epävarmuudesta. Lisäksi laskelmissa ei otettu huomioon inflaation vaikutuksia huolto- ja energia-kustannuksiin.

Nykyarvomenetelmällä investointia laskettaessa diskonttausarvona käytettiin yrityksen talousosastolta saatua arvoa 2,5 %. Laskelmissa netto-nykyarvoksi saatiin 149 851,93 € ja takaisimaksuajaksi 7,1 vuotta. Investoinnin kannattavuutta olisi mahdollista vielä parantaa mm. mahdollisella valtion energiatuella investoinnille.

Investointilaskelmia tarkasteltaessa vaikuttaa investointi kannattavalta toteuttaa. Huomioitavaa investoinnin kannalta on myös mahdolliset epäsuorat positiiviset tuotot. Valaistuksen oleellisella parantumisella on joissain tutkimuksissa löydetty korrelaatio työtehoon, laadunparanemiseen ja esimerkiksi sairauspoissaolojen vähenemiseen. Lisäksi investointia puoltaa nykyisten loisteputkivalaisimien ikääntyneisyys, jolta osin valaisinremontti tulisi joka tapauksessa ajankohtaiseksi lähitulevaisuudessa.

Laskelmiin liittyvistä epätarkkuuksista huomioitavia ovat mahdollisen tulevan valaistuksen huoltokustannusten arviointi, joka on parhaimmillaan-kin vain jonkinlainen arvaus. Syitä tähän ovat jo aiemmin tässä opinnäyte-työssä esitetyt aiheet, kuten kokemusten puute nykyaikaisesta LED-valaistuksesta ja pitkän aikajänteen tuomat epävarmuustekijät. Lisäksi laskelmissa ei ole huomioitu mahdollisia muutoksia energian- ja huolto-kustannusten hinnassa. Myöskin mahdolliset inflaation vaikutukset jätettiin laskelmissa huomioimatta.

LÄHTEET

Cursor Oy 2015. Investoinnin laskenta 2015. Viitattu 27.11.2016
<http://www.yritystulkki.fi/fi/alue/cursor/toimiva-yrittaja/investoinnin-laskenta/>

DiaLux. Lighting Design software. Viitattu 8.10.2016.
<https://www.dial.de/en/dialux/>

Luksimittari, Purelux LCD. Valostore.fi. Haettu 22.11.2016.
http://www.valostore.fi/tuote/luksimittari_purelux_lcd/

Martikainen, T. 1998. Rahoituksen perusteet. Helsinki: Werner Södrerström Osakeyhtiö.

Pellinen, J. 2006. Kustannuslaskenta ja kannattavuusajattelu. Helsinki: Gummerus Kirjapaino Oy.

Peltonen, H., Perkiö, J. & Vierinen, K. 2012. Insinöörin (AMK) Fysiikka osa 2. Saarijärvi: Lahden Teho-opetus Oy

Pro Agria. Perustietoa valaistustekniikasta n.d. Pro Agria Etelä-Pohjanmaa. Viitattu 20.10.2016.
https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/perustietoa_valaistustekniikasta.pdf

SFS-EN 15193 2008. Rakennusten energiatehokkuus. Valaistuksen energiatehokkuus. Haettu 8.11.2016.
<https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CEN/ID2/1/129701.html.stx>

SFS-EN 12464-1. 2011. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. Haettu 6.10.2016.
<https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFSsahko/CEN/ID2/1/174269.html.stx>

Tiensuu A. (2010). Uusi valaistuskirja. Helsinki: Ympäristöliitto ry.

TTL 2010. Valaistussuureita. Työterveyslaitos. Viitattu 6.10.2016.
<http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/valaistus/valaistussuureita/sivut/default.aspx>

TTL / 1. 2014. Valaistus. Työterveyslaitos. Viitattu 5.10.2016.
<http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/valaistus/Sivut/default.aspx>

TTL / 2. 2014. Valaistuksen mittaaminen ja arviointi. Työterveyslaitos. Viitattu 5.10.2016.
http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/valaistus/valaistuksen_mittaaminen/sivut/default.aspx

TTS n.d. Talousopas metsuri- ja metsäpalveluyrittäjille. Työtehoseura. Viitattu 1.12.2016. <http://www.tts.fi/index.php/talousopas/investoinnit>

Valaistustieto n.d. Valaistuksen ohjaus. Viitattu 17.11.2016.
<http://valaistustieto.fi/energiatehokas-valaistus/valaistuksen-ohjaus/>

Ympäristöministeriö 2015. D3 Laskentaopas. Valaistuksen tehontiheyden ja tarpeenmukaisuuden erillistarkastelut E-luvun laskennassa. Haettu 3.11.2016. <http://www.ym.fi/download/noname/%7B7912D4F8-E9C6-4E14-ADD8-81206BD007FC%7D/112291>

Ylähallin valaistuksen energiamittaukset

YLÄHALLIN VALAISTUKSEN ENERGIAMITTAUKSET																											
Aihe	Ison tilan oikea puoli			Ison tilan keskiosa			Ison tilan vasen puoli			Laserhalli			Varastohalli			Perähalli											
Valaisimet	Monimetaalivalaisimet Ø 250W 11 + 11 + 12 kpl									Kaksoisputkiset (Ø 58w) loisteputkivalaisimet Ø 116W 10 + 15 + 10 kpl			Kaksoisputkiset (Ø 58w) loisteputkivalaisimet Ø 116W 9 + 10 + 10 kpl			Kaksoisputkiset (Ø 58w) loisteputkivalaisimet Ø 116W 1 monimetalli 250W 15 + 13 kpl			Monimetaalivalaisimet Ø 400W 4 + 5 kpl			Monimetaalivalaisimet Ø 400W 5 + 5 kpl					
Asemus	Kiskoasennus 4m korkeus									Kiskoasennus 4m korkeus			Kiskoasennus 4m korkeus			Asemus kattoon 4m korkeus			Kiskoasennus 6,5m korkeus			Kiskoasennus 6,5m korkeus					
Pimeät valaisimet	4 valaisinta pimeänä 15m*40m*5,5m									3 valaisinta pimeänä 15m*40m*5,5m			5 valaisinta pimeänä 15m*40m*5,5m			1 loisteputkivalaisin pimeänä 8m*40m*4m			(-----) 8m*20m*7,5m			1 valaisinta pimeänä 8m*20m*7,5m					
Tila	JK-1									JK-1.1			PK2-6			PK-2			JK-5			JK-5					
Kontaktoren sijainti	JK-1									JK-1.1			PK2-6			PK-2			JK-5			JK-5					
Kontaktori	1-vaihe			2-vaihe			3-vaihe			1-vaihe			2-vaihe			3-vaihe			1-vaihe			2-vaihe			3-vaihe		
K1	4,1	3,8	3,8	5,1	6,1	2,1	1,8	3,1	0,7	1,4	2,4	4,4	3,4	8,9	5,9	4,4	2,2	4,0	4,0	2,1							
K2	5,4	4,1	3,8	3,8	0,2	13	0,2	2,8	2,6	4,9	3,1	4,9	6,0														
K3	5,0	5,2	3,0	3,9	2,8	0,8	1,5	1,1	6,2																		
Laskennallinen sähköteho kW	9,085									7,107			5,589			5,566			4,416			4,577					
Valaistuksen verkosta otama kokonaisteho (kW) (sisältää loisteho- komponentin)	36,34																										

Mittausluokset

+

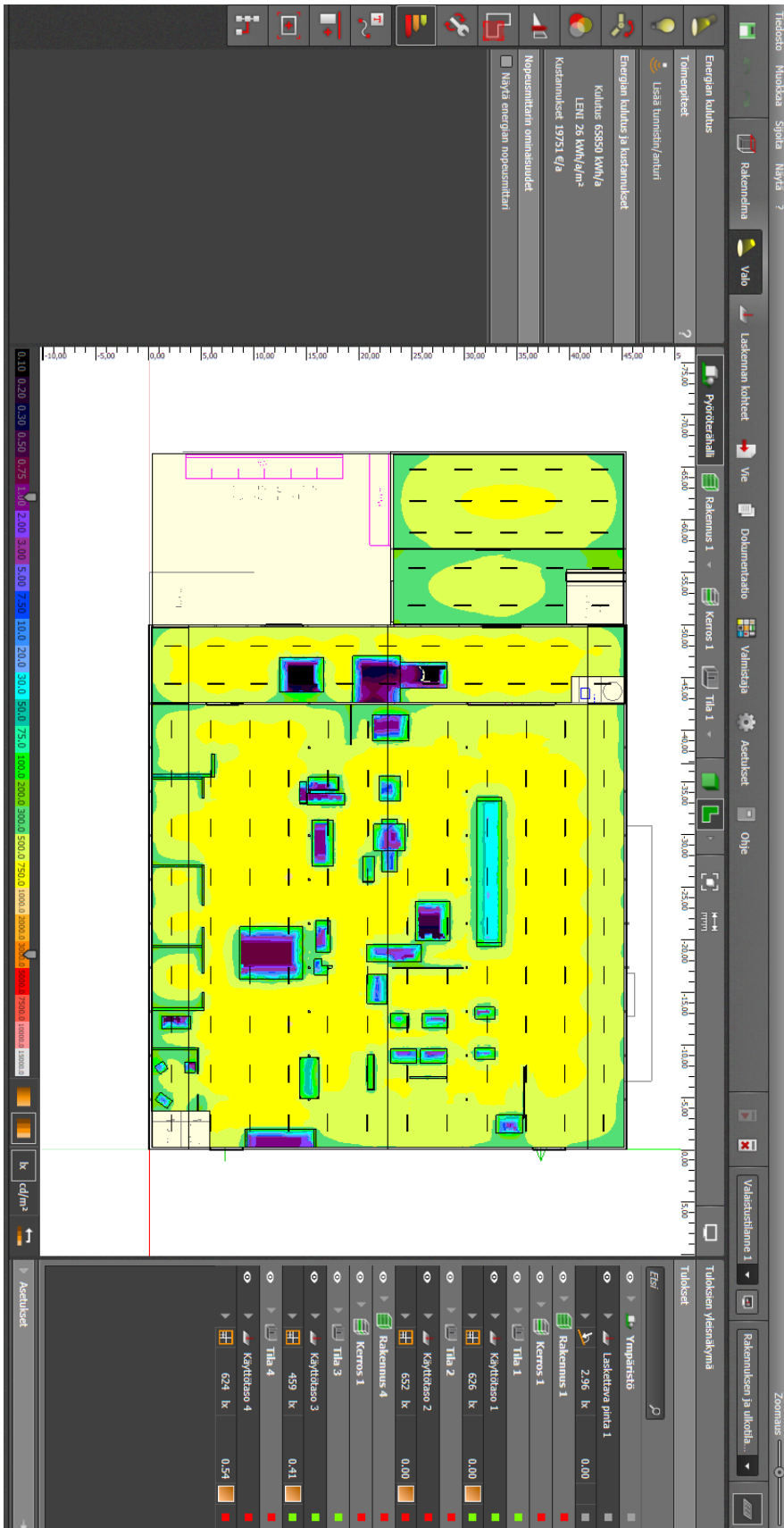
:

▶

IP-Luokitukset

IP-taulukointi			
Kotelointien IP-luokitus	Ensimmäinen numero	Toinen numero	
	Suojaus pienesineitä vastaan	Suojaus vettä ja kosteutta vastaan	
0 0	Ei suojausta	Ei suojausta	
1 1	Suuret, >50mm halk. Kappaleet	Suoraan ylhäältä tuleva vesi, pisarasuojaus	
2 2	Keskikokoiset, > 12,5mm halk. Kappaleet, esim. sormi	Suojaus ylhäältä +/-15 astetta tulevaa vettä vastaan	
3 3	Suojaus pieniä kappaleita vastaan, halkaisija yli 2,5mm	Suojaus ylhäältä +/-60 astetta tulevaa vettä vastaan. Sateenkestävä	
4 4	Suojaus erittäin pieniä kappaleita vastaan, halkaisija yli 1mm	Suojaus vesiroiskeita vastaan	
5 5	Suojattu pölyltä. Ei edellytä täydellistä tiiveyttä, mutta haitallisia pölykertymiä ei saa syntyä	Kestää vesisuihkun joka suunnasta.	
6 6	Täydellinen suojaus. Pölytiivis	Kestää suurella paineella tulevan ruiskun	
-7	-	Kestää hetkellisen upotuksen veteen	
-8	-	Kestää pysyvän upotuksen	

Valaistussuunnitelma



Investointilaskelma nykyarvomenetelmällä

	A	B	C	D	E
	Vuosi	Hankintameno (€)	Nettotuotto (St)	Diskont.tekijä i=2,5% $St * (1/(1+i)^n)$	Nettotuottojen nykyarvo
2					
3	0	76 370			
4	1		10 808,41	0,9756	10 544,79
5	2		10 808,41	0,9518	10 287,60
6	3		10 808,41	0,9286	10 036,68
7	4		10 808,41	0,9060	9 791,89
8	5		10 808,41	0,8839	9 553,06
9	6		10 808,41	0,8623	9 320,06
10	7		10 808,41	0,8413	9 092,74
11	8		10 808,41	0,8207	8 870,97
12	9		10 808,41	0,8007	8 654,60
13	10		10 808,41	0,7812	8 443,51
14	11		10 808,41	0,7621	8 237,57
15	12		10 808,41	0,7436	8 036,66
16	13		10 808,41	0,7254	7 840,64
17	14		10 808,41	0,7077	7 649,41
18	15		10 808,41	0,6905	7 462,83
19	16		10 808,41	0,6736	7 280,81
20	17		10 808,41	0,6572	7 103,23
21	18		10 808,41	0,6412	6 929,98
22	19		10 808,41	0,6255	6 760,96
23	20		10 808,41	0,6103	6 596,06
24	21		10 808,41	0,5954	6 435,18
25	22		10 808,41	0,5809	6 278,22
26	23		10 808,41	0,5667	6 125,10
27	24		10 808,41	0,5529	5 975,70
28	25		10 808,41	0,5394	5 829,95
29	26		10 808,41	0,5262	5 687,76
30	27		10 808,41	0,5134	5 549,03
31	28		10 808,41	0,5009	5 413,69
32	29		10 808,41	0,4887	5 281,65
33	30		10 808,41	0,4767	5 152,83
34					226 223,18
35	Nykyarvo	226 223,18	€		
36	Investointi	76 370	€		
37	Nettonykyarvo	149 853,18	€		

Investointikustannuslaskelma

10			
19	INVESTOINTIKUSTANNUKSET		
20	Valaisimet		
21	Valaisintyyppi		Nro 1
22	Valmistaja		
23	Tarkempi määrittely (esim. lamputyyppi, teho, ...)		LED
24	Lukumäärä	kpl	155
25	Yksikköhinta	eur/kpl	330
26	Valaisinkustannus	eur	51 150
27	Lamput		
28	Teho/lamppu mukaan lukien liitännälaitteen häviöt	W	120,5
29	Lukumäärä/valaisin	kpl	1
30	Yksikköhinta	eur/kpl	0
31	Lamppukustannus	eur	0
32	Asennus		
33	Materiaali- ja työkustannukset/valaisin	eur	100
34	Valaistuksen ohjaus	eur	1000
35	Muut kustannukset	eur	8720
36	Asennuskustannukset	eur	25 220
37			
38			
39	INVESTOINTIKUSTANNUKSET YHTEENSÄ	eur	76 370
40			

Valaistusvaatimustaulukko -Metalliteollisuus

Taulukko 5.18 Teollisuus ja käsityö -Metalliteollisuus ja metallien käsittely				
Tila, tehtävä tai toiminta	E_m lx	UGR_L	U_0	R_s
		--	--	--
Vapaataonta	200	25	0,60	80
Muottitakominen	300	25	0,60	80
Hitsaus	300	25	0,60	80
Karkea ja tavanomanen konetyö: toleranssit $\geq 0,1$ mm	300	22	0,60	80
Tarkkuuskonetyö, hiominen; toleranssit	500	19	0,70	80
Piirrotus, tarkastus	750	19	0,70	80
Langan ja putkien vetäminen; kylmämuokkaus	300	25	0,60	80
Levyntyöstö: paksuus ≥ 5 mm	200	25	0,60	80
Ohutlevytyö: paksuus < 5 mm	300	22	0,60	80
Työkaluvalmistus; leikkuuvälineiden valmistus	750	19	0,70	80
Kokoonpano:				
- karkea	200	25	0,6	80
- tavallinen	300	25	0,6	80
- hieno	500	22	0,6	80
- tarkkuustyö	750	19	0,7	80
Galvanointi	300	25	0,60	80
Pintakäsittely ja maalaus	750	25	0,70	80
Työkalujen, kaavaimien ja mallineiden	1000	19	0,70	80
(SFS-EN 12464-1 2011, 48).				
Merkkien selitykset:				
E_m = ylläpidettävä valaistusvoimakkuus				
UGR_L = UGR-häikäisyindeksin maksimiarvo				
U_0 = Valaistusvoimakkuuden tasaisuus				
R_s = pienin sallittu värinointoindeksi				

Herkkyysanalyysi

Vuosi	Hankintameno (€)	Nettotuotto (St)	Diskont tekijä i = 5 % $St \cdot (1/(1+i)^n)$	Nettotuottojen nykyarvo	Vuosi	Hankintameno (€)	Nettotuotto (St)	Diskont tekijä i = 7,5 % $St \cdot (1/(1+i)^n)$	Nettotuottojen nykyarvo
0	76 370				0	76 370			
1		10 808,41	0,9524	10 293,72	1		10 808,41	0,9302	10 054,33
2		10 808,41	0,9070	9 803,55	2		10 808,41	0,8653	9 352,87
3		10 808,41	0,8638	9 336,71	3		10 808,41	0,8050	8 700,34
4		10 808,41	0,8227	8 892,11	4		10 808,41	0,7488	8 093,34
5		10 808,41	0,7835	8 468,67	5		10 808,41	0,6966	7 528,69
6		10 808,41	0,7462	8 065,40	6		10 808,41	0,6480	7 003,43
7		10 808,41	0,7107	7 681,34	7		10 808,41	0,6028	6 514,82
8		10 808,41	0,6768	7 315,56	8		10 808,41	0,5607	6 060,30
9		10 808,41	0,6446	6 967,20	9		10 808,41	0,5216	5 637,49
10		10 808,41	0,6139	6 635,43	10		10 808,41	0,4852	5 244,17
11		10 808,41	0,5847	6 319,45	11		10 808,41	0,4513	4 878,30
12		10 808,41	0,5568	6 018,53	12		10 808,41	0,4199	4 537,96
13		10 808,41	0,5303	5 731,93	13		10 808,41	0,3906	4 221,35
14		10 808,41	0,5051	5 458,98	14		10 808,41	0,3633	3 926,84
15		10 808,41	0,4810	5 199,03	15		10 808,41	0,3380	3 652,88
16		10 808,41	0,4581	4 951,46	16		10 808,41	0,3144	3 398,02
17		10 808,41	0,4363	4 715,67	17		10 808,41	0,2925	3 160,95
18		10 808,41	0,4155	4 491,12	18		10 808,41	0,2720	2 940,42
19		10 808,41	0,3957	4 277,25	19		10 808,41	0,2531	2 735,27
20		10 808,41	0,3769	4 073,58	20		10 808,41	0,2354	2 544,44
21		10 808,41	0,3589	3 879,60	21		10 808,41	0,2190	2 366,92
22		10 808,41	0,3418	3 694,85	22		10 808,41	0,2037	2 201,79
23		10 808,41	0,3256	3 518,91	23		10 808,41	0,1895	2 048,18
24		10 808,41	0,3101	3 351,34	24		10 808,41	0,1763	1 905,28
25		10 808,41	0,2953	3 191,75	25		10 808,41	0,1640	1 772,35
26		10 808,41	0,2812	3 039,77	26		10 808,41	0,1525	1 648,70
27		10 808,41	0,2678	2 895,01	27		10 808,41	0,1419	1 533,67
28		10 808,41	0,2551	2 757,16	28		10 808,41	0,1320	1 426,67
29		10 808,41	0,2429	2 625,86	29		10 808,41	0,1228	1 327,14
30		10 808,41	0,2314	2 500,82	30		10 808,41	0,1142	1 234,55
Nykyarvo	166 151,75 €			166 151,75 €	Nykyarvo	127 651,50 €			127 651,50 €
Investointi	76 370 €				Investointi	76 370 €			
Nettonykyarvo 5 %	89 781,75 €				Nettonykyarvo 7,5 %	51 281,50 €			