Juha Ala-Tainio

VALAISTUKSEN SÄÄSTÖMAHDOLLISUUDET

Premec Oy

Opinnäytetyö
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Lokakuu 2012

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Ylivieska	**Aika** Lokakuu 2012	**Tekijä/tekijät** Juha Ala-Tainio
Koulutusohjelma Sähkötekniikka		
Työn nimi VALAISTUKSEN SÄÄSTÖMAHDOLLISUUDET, Premec Oy		
Työn ohjaaja Yliopettaja Jari Halme		**Sivumäärä** 31 + 20
Työelämäohjaaja Sähköteknikko Mika Pajukoski		

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Ylivieskassa toimiva, vuonna 2002 perustettu, ohutlevymekaniikan sopimusvalmistaja Premec Oy. Työnä vertailtiin eri mahdollisuuksia saavuttaa energian säästöä ja parantaa valon laatua tehdashallin valaistuksessa. Tutkimukseen valittiin led-, induktio- ja monimetallivalaisin. Nykyinen valaistus on toteutettu suurpaine- ja monimetallivalasimilla. Lisäksi tutkittiin nykyisen valaistuksen säätöä ja ohjauksen parantamista. Eri ratkaisuja vertailtiin valon laadun, valotehokkuuden, energiankulutuksen, kokonaisinvestoinnin, takaisinmaksuajan ja saavutettavien säästöjen kautta. Työn tavoite saavutettiin ja yritykselle luovutetaan opinnäytetyö, joka esittää induktiovalaistukseen siirtymistä. Toisena vaihtoehtona esitetään nykyisen valaistuksen ohjauksen parantamista, kunnes led-tekniikka on kehittynyt tarpeeksi ollakseen kilpailukykyinen.

Opinnäytetyö rajattiin koskemaan vuonna 1999 valmistunutta 3100 m^2 tuotantotilaa. Työssä tarkasteltiin teollisuushallin valaistuksen suunnittelua ja eri valolähteiden sopivuutta nykyaikaisen tuotantotilan valaistukseen. Opinnäytetyön tekijän kannalta oli tärkeätä ymmärtää valaistuksen suunnittelua, eri valonlähteiden ominaisuuksia ja valon laadun vaikutusta ihmisten näkötarkkuuteen. Todettiin että valaistussuunnitelmassa, jossa otetaan huomioon vain valovirta ja valaistustehokkuus ei saavuteta parasta mahdollista näkötarkkuutta, eikä energiatehokkainta valaistusta. Silmän toiminta tulisi ottaa huomioon nykyaikaista valaistusta suunniteltaessa. Valaistuksen avulla voidaan parantaa työntekijöiden viihtyvyyttä, vireystasoa ja nääntarkkuutta. Tämä auttaa ikääntyviä työntekijöitä jaksamaan töissä paremmin.

Asiasanat
Energiansäästö, induktio, led, monimetalli, suurpainenatrium, teollisuushalli, valaistus.

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	**Date** October 2012	**Author** Juha Ala-Tainio
Degree programme Electrical engineering		
Name of thesis SAVINGS POTENTIAL IN LIGHTING, Premec Oy		
Instructor Jari Halme, principal lectuer		**Pages** 31 + 20
Supervisor Electrician Mika Pajukoski		

This thesis was commissioned by Premec OY, a sheet metal mechanics contractor operating in Ylivieska and founded in 2002. The purpose was to compare the different opportunities to improve the energy efficiency and the quality of lighting in the factory premises. Led, induction and metal halide lamp were selected. Current lighting consists of high pressure and metal halide lamps. In addition, the adjustment of the current lighting was studied as well as the possibilities to improve the control. Different solutions were compared in terms of their light quality, luminous efficiency, energy consumption, total investment, payback period and savings achieved through using that particular alternative. The target of the thesis was reached, and the company receives a thesis that suggests changing over to induction lighting. An alternative suggestion is to improve the existing lighting control until the Led technology is advanced enough to be competitive.

The thesis was limited to deal with only production premises built in 1999, covering 3100 m^2. The study examined industrial lighting design and the suitability of various light sources in the lighting of a modern production facility. From The author's point of view, it was important to understand the lighting design, the various properties of the light sources and the effect of lighting on the accuracy of people's eyesight. It was found out that a lighting plan that takes into account only the luminous flux and luminous efficiency does not lead to the best possible results in terms of the accuracy of eyesight or energy-efficiency. How the eye works should be taken into account when designing modern lighting. Lighting can be used to improve employees' well-being as well as their alertness and the accuracy of their eyesight. This enables older employees to cope with their work better.

Key words
energy saving, high pressure, industrial building, induction, led, metal halide, lightning

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Valovoima I	Kuvaa valonlähteestä tiettyyn suuntaan säteilevän valon voimakkuutta, intensiteettiä. Yksikkö kandela [cd].
Valovirta Φ	Valovirta on silmän spektriherkkyydellä painotettu valonlähteen näkyvän valon alueen säteilyteho. Yksikkö luumen [lm]
Valaistusvoimakkuus E	Tietylle pinnalle saapuvaa valovirran tiheyttä kutsutaan valaistusvoimakkuudeksi. Yksikkö luksi [lx].
Värilämpötila T	Säteilyspektrin vastaavuus ns. mustan kappaleen säteilyyn. Yksikkönä kelvin [K].
Näkötehtävä	Työtehtävään sisältyvät näkemistä edellyttävät tekijät.
Värintoistoindeksi Ra	Valolähteen kyky toistaa värejä verrattuna ihanteelliseen valonlähteeseen eli mustaan kappaleeseen.
Valotehokkuus K	Ilmaisee lampun antaman valovirran suhteessa kulutettuun sähkötehoon. Yksikkönä luumen per Wattia [lm/W].
Fotooppinen	Päivännäkemisen spektriherkkyyskäyrä.
Skotooppinen	Hämäränäkemisen spektriherkkyyskäyrä.
ipRGC	Valoherkkä reseptorisolu.

ESIPUHE

Kiitän työnantajaani Premec Oy:tä mahdollisuudesta saada toteuttaa tämä opinnäytetyö. Suuret kiitokset menevät työelämäohjaajalleni sähköteknikko Mika Pajukoskelle työn käytännönopastuksesta ja materiaalin antamisesta. Kiitän opinnäytetyön ohjaajaa, yliopettaja Jari Halmetta sekä yliopettaja Maarit Tammistoa Keskipohjanmaan Ammattikorkeakoulusta opinnäytetyön kirjallisen osuuden ohjaamisesta, sekä kaikkia opiskelutovereitani jotka ovat auttaneet työni onnistumisessa.

Lopuksi haluan vielä antaa suurimmat kiitokseni omalle puolisolleni kaikesta siitä kärsivällisyydestä, kannustamisesta, jaksamisesta ja tukena olemisesta koko opiskeluni ajan.

Kannuksessa 31.10.12

Juha Ala-Tainio

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
ESIPUHE
SISÄLLYS

1 JOHDANTO 1

2 PREMEC OY 2

3 VALON RAKENNE 3
3.1 Mitä valo on 3
3.2 Miten silmä toimii 5
3.3 Valonhallinnan periaatteet 8
3.4 Työympäristön vaatimukset valaisulle 9

4 NYKYINEN VALAISTUS 14

5 RATKAISUMALLIT 17
5.1 Ratkaisumalli 1: Nykyisen valaistuksen säätö 17
5.2 Ratkaisumalli 2: NorSave-järjestelmä 19
5.3 Ratkaisumalli 3: Led-valaisimet 20
5.4 Ratkaisumalli 4: Induktiovalaisimet 22
5.5 Ratkaisumalli 5: Monimetallivalaisimet 23
5.6 Ratkaisumallien vertailu 25

6 TULOKSET JA JATKOSUUNNITELMA 28

LÄHTEET 29
LIITTEET 31

KUVIOT
KUVIO 1. Premec Oy:n organisaatiokaavio 2
KUVIO 2. Silmän rakenne 5
KUVIO 3. Silmän suhteellinen herkkyys 6
KUVIO 4. Valaisimen tyyppikilpi 15
KUVIO 5. Levytyöstökeskuksen työkalujen vaihto ja valaistusvoimakkuus 16
KUVIO 6. Eri ratkaisumallien sähkönkulutus 10 vuoden aikajaksolla 25
KUVIO 7. 10 vuoden aikana eri vaihtoehtojen euromääräiset kustannukset 26
KUVIO 8. Valolähteiden valotehokkuus 27
KUVIO 9. Valolähteiden skotooppiset arvot 27

TAULUKOT
TAULUKKO 1. Sähkömagneettisen säteilyn spektri 4
TAULUKKO 2. Keskeisempien värien aallonpituudet 4
TAULUKKO 3. Lumen arvoja 7
TAULUKKO 4. Suositeltava valaistusvoimakkuus 10
TAULUKKO 5. Valaistuksen vuosikustannus 15
TAULUKKO 6. Kokoonpanohallin valaistuksen vuosikustannus 17

TAULUKKO 7. Kokoonpanohallin valaistuksen sähkönkulutuksen arvio vuodessa ohjauksen säädöllä 18
TAULUKKO 8. Takaisinmaksuaika ohjauksen säädöllä 18
TAULUKKO 9. Takaisinmaksuaika NorSave-järjestelmällä 20
TAULUKKO 10. Led-valaisimien kokonaisinvestointi 21
TAULUKKO 11. Led-valaistuksen sähkönkulutuksen arvio vuodessa 21
TAULUKKO 12. Takaisinmaksuaika led-valaisimilla 21
TAULUKKO 13. Induktiovalaisimien kokonaisinvestointi 22
TAULUKKO 14. Induktiovalaisimien sähkönkulutuksen arvio vuodessa 22
TAULUKKO 15. Takaisinmaksuaika induktiovalaisimilla 23
TAULUKKO 16. Monimetallivalaisimien kokonaisinvestointi 23
TAULUKKO 17. Monimetallivalaisimien sähkönkulutuksen arvio vuodessa 24
TAULUKKO 18. Takaisinmaksuaika monimetallivalaisimilla 24

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä kuvataan, miten teollisuushallin valaistusta voidaan parantaa ja samalla saavuttaa energiansäästöä. Opinnäytetyön tekijä joutui miettimään 3100 m^2 tuotantotilojen valolähteiden kannattavuutta ja tehokkuutta. Tässä työssä asiaan paneuduttiin energiatehokkuuden lisäksi myös tuotantotilojen valaistuksen parantamisen näkökulmasta. Työn päätavoitteena oli tehdä yritykselle tutkimus, jota voi käyttää pohjana valaistusta uusittaessa.

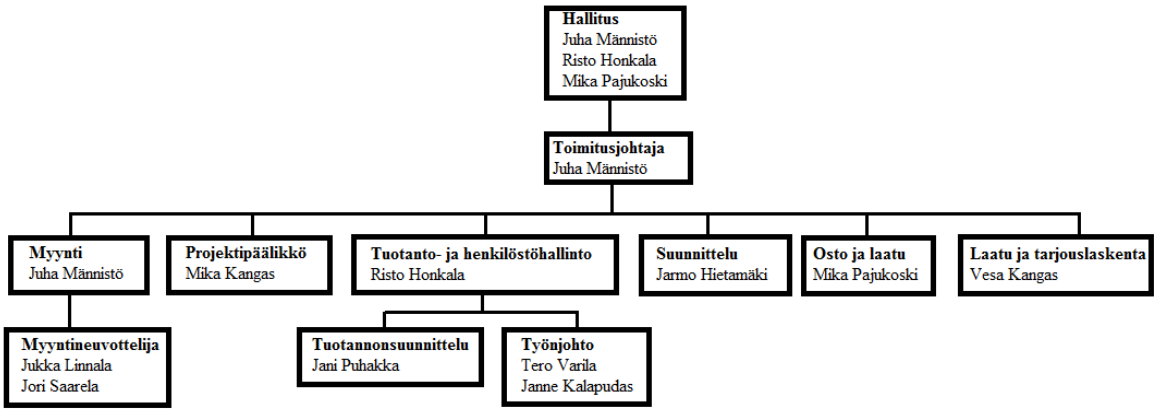
Työn toimeksiantajana on Premec Oy. Ylivieskassa sijaitsevan yrityksen ydinosaamista ovat ohutlevymekaniikan sopimusvalmistus, suunnittelu ja tuotekehitys. Yritys on perustettu vuonna 2002 ja sillä on 75 työntekijää. Premec Oy:llä on laaja eri toimialoilta tuleva asiakaspohja. Asiakkaille yritys tarjoaa suunnittelua, materiaalihallintoa, osavalmistusta ja loppukokoonpanoa halutulle asteelle.

Opinnäytetyö rajattiin koskemaan vuonna 1999 rakennettuja toimitiloja. Näiden tilojen valaistuksessa koettiin olevan parhaat mahdollisuudet saavuttaa merkittävää säästöä. Lisäksi näiden tilojen valaistuksen laatu ei täytä vaativan mekaniikan kokoonpanossa ja valmistuksessa tarvittavaa laatua. Opinnäytetyön tekijän kannalta haastavinta on ollut löytää sellaiset ratkaisut, joilla saavutetaan valon laadun ja tehon paraneminen sekä saadaan säästöä energian kulutuksessa.

Tällä opinnäytetyöllä osoitetaan, että keskikokoisissakin yrityksissä valaistuksen uusinnalla on saavutettavissa merkittävää hyötyä. Nyt tehty vertailututkimus näyttää, että siirryttäessä induktiovalaisimiin tai led-valaistukseen voidaan työympäristöä parantaa ja samalla säästää. Osoitetaan myös, että jo paremmin suunnittelulla valaistuksen ohjauksella voidaan säästää vuodessa paljon. Tässä työssä päälähteinä on käytetty Halonen & Lehtovaara, Valaistustekniikka ja Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry & Suomen Valoteknillinen Seura ry, Lamput ja valaisimet.

2. PREMEC OY

Premec Oy on vuonna 2002 perustettu ohutlevymekaniikan sopimusvalmistaja Ylivieskassa. Yritys valmistaa vaativia mekaniikan osia ja osakokonaisuuksia eri asiakkaille. Yrityksen ydinosaamisalueita ovat ohutlevymekaaniset kokonaisuudet, suunnittelu, tuotekehitys sekä verkosto-osaaminen. Kuviossa 1 esitellään yrityksen organisaatio.



KUVIO 1. Premec Oy:n organisaatiokaavio

Premec Oy:n hallituksen muodostavat sen omistajat Juha Männistö, Risto Honkala ja Mika Pajukoski. Hallituksesta seuraavana on toimitusjohtaja, jonka alaisuudessa toimivat eri toimihenkilöt vastuualueittain. Työnjohdon alaisuudessa ovat tuotannon työntekijät, joita syksyllä 2012 on noin 75 henkilöä.

Yrityksen tuotantotilat sijaitsevat Ylivieskassa osoitteessa Kettukallionkatu 4. Ne on rakennettu vuonna 1999, ja niitä on laajennettu viime vuosina. Teollisuushallia laajennettiin 1134 m^2, ja lisäksi rakennettiin 150 m^2 kylmävarasto. Lisäksi yhtiö vuokrasi naapuriin rakennetusta teollisuuskiinteistöstä 1700 m^2 tilat uudelle maalaamolle. Uusi pulverimaalaamo otettiin käyttöön kesällä 2011. Opinnäytetyö rajattiin koskemaan alkuperäistä vuonna 1999 rakennettua teollisuuskiinteistöä ja sen 3100 m^2 tuotantotiloja.

3. VALON RAKENNE

Valo on kaikkialla ympärillämme, näemme sen näköaistillamme, mutta harvemmin tulemme miettineeksi mitä valo on. Tuskin mikään muu on muuttanut elämäämme niin suuresti kuin keinovalo. Esi-isiemme vuorokausirytmiä sääteli valo, tulen myötä saatiin vähän valoa pimeyteen ja turvaa pedoilta. Seuraavaksi kerättiin pihkaa puukepin päähän ja sidottiin useampi puukeppi yhteen, jolloin syntyi ensimmäinen kannettava valaisin. Esihistorialliset ihmiset valmistivat lamppuja saatavilla olevista materiaaleista kuten kivestä, simpukankuorista ja sarvista, jotka oli täytetty rasvalla. Lascaux'n luolista Ranskasta on löydetty tällaisia lamppuja, joiden iäksi on arvioitu 17 000 vuotta.

Leonardo da Vinci tutki 1400 luvun lopulla mm. valon luonnetta, heijastumista ja taittumista. Pariisissa otettiin käyttöön ensimmäiset katuvalaistukset 1650-luvulla, jolloin lyhyiden katujen molemmissa päissä oli öljylyhdyt. Kaasun käyttö valaisuun alkoi Euroopassa 1800-luvulla, kun tuli kivihiilikaasulla toimiva kaasulamppu. Kaasun käyttö oli kuitenkin räjähdysherkkyyden ja tulipalojen vuoksi vaarallista. Yhdysvaltalainen Alva Edison keksi hehkulampun 1800-luvun lopulla ja ensimmäinen suurempi valaistus järjestettiin 1879 New Jerseyn Menlo Parkissa. Tästä lähti sähkövalon voittokulku ja Suomessa oltiin edelläkävijämaita Euroopassa. Finlaysonin tehtaalla Tampereella sytytettiin 150 hehkulamppua 15.3.1882. (Halonen & Eloholma 2005.) Nykyaikana olemme täysin riippuvaisia valosta ja teollisuudessa etenkin hyvä valaistus on tärkeää. Viime vuosina on alettu huomioimaan myös valon laatu ja energiatehokkuus.

3.1. Mitä valo on

Tärkein valonlähteemme on aurinko, josta säteilevä energia on peräisin auringossa tapahtuvista fuusioreaktioista. Valo on sähkömagneettista säteilyä, jonka välittäjähiukkasina toimivat fotonit. Fotonilla ei ole massaa eikä varausta. (Ledtriks 2012.) Taulukossa 1 on esitetty täydellinen sähkömagneettisen säteilyn spektri. Aallonpituusalue on hyvin laaja ulottuen erittäin lyhytaaltoisesta kosmisesta säteilystä aina sähkönjakelujärjestelmissä käytettyyn taajuuteen 50...60 Hz.

TAULUKKO 1. Sähkömagneettisen säteilyn spektri (Halonen & Lehtovaara 1992)

λ (m)	SÄHKÖMAGNEETTINEN SÄTEILY	W (J)
10^{-14}	Kosmiset säteet	$2\cdot^{-11}$
	Gamma säteet	
	Röntgen säteet	
10^{-8}	Ultraviolettisäteily	$2 \cdot ^{-17}$
$3.8 \cdot 10^{-7}$	Näkyvä valo	$0.5 \cdot 10^{-18}$
$7.8 \cdot 10^{-7}$	Infrapunasäteily	$0.25 \cdot 10^{-18}$
10^{-5}	Mikroaallot	$2 \cdot 10^{-20}$
	Televisio ja FM- radio	
	AM- radio	
10^{6}	Sähkönjakelu	$2 \cdot 10^{-31}$

Taulukosta 1 voidaan havaita, että sähkömagneettista säteilyä, jonka aallonpituus on 380 – 780 nm välillä, kutsutaan näkyväksi valoksi. Näkyvä valo on vain pieni osa auringon lähettämästä valosta. Esim. lyhytaaltoisempaa säteilyä kutsutaan ultravioletiksi ja pidempiaaltoista infrapunaksi.

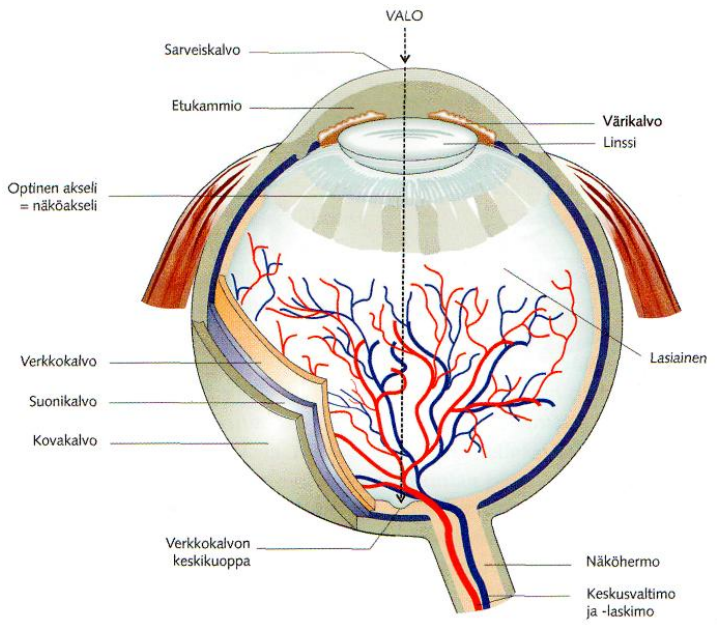
Yleisesti näkyvän valon spektrin käsitetään jakautuvan kuuteen väriin (TAULUKKO 2). Nämä värit eivät ole selvästi erillisiä vyöhykkeitä vaan rajoiltaan sekoittuneita keskenään. Tämä kapea aallonpituusalue on kuitenkin tärkeä, koska ihmissilmä on herkkä vain näille aallonpituuksille. (Halonen & Lehtovaara 1992, 29.)

TAULUKKO 2. Keskeisempien värien aallonpituudet (Halonen & Lehtovaara 1992)

VÄRI	AALLONPITUUS
Violetti	380–450 nm
Sininen	450–490 nm
Vihreä	490–560 nm
Keltainen	560–590 nm
Oranssi	590–630 nm
Punainen	630–780 nm

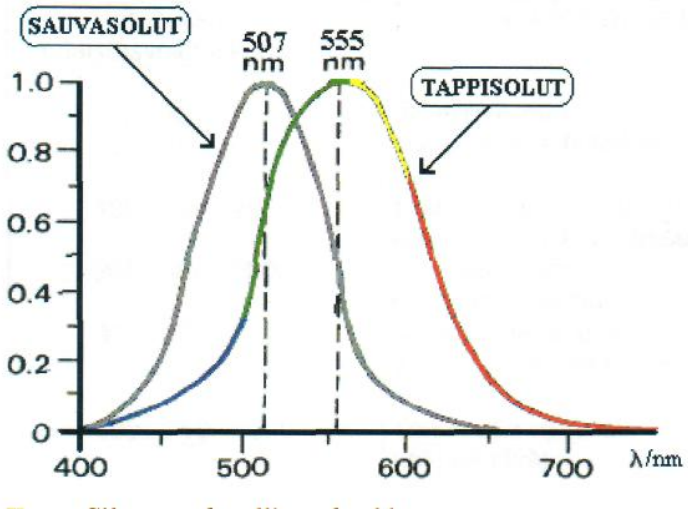
3.2. Miten silmä toimii

Silmät sijaitsevat aivokopan ja kasvojen luiden muodostamissa silmäkuopissa. Silmää suojelevat silmäluomet, silmäripset, kyynelrauhaset ja kyynelkanavat. Valon tullessa silmään se taittuu sarveiskalvon, etukammion, linssin ja lasiaisen läpi verkkokalvolle. Täällä reseptorisolut muuttavat valon hermoimpulsseiksi, jotka johtuvat näköhermoa pitkin aivoihin. Linssi toimii silmässä siten, että se taittaa valoa yhdessä sarveiskalvon kanssa, jotta verkkokalvolle muodostuisi tarkka kuva katsottavasta kohteesta. Linssin kuperuutta säätelemällä voidaan muuttaa silmän taitto-ominaisuuksia. Linssistä lähtee säteittäin ripustinsiteitä sädelihakseen. Kauas katsottaessa sädelihas rentoutuu, ripustinsiteet kiristyvät ja vetävät linssiä litteäksi. Litteä linssi taittaa valoa vähemmän ja mahdollistaa tarkasti kauas näkemisen. Katsottaessa lähelle sädelihas supistuu, ripustinsiteet löystyvät ja linssi muuttuu kuperammaksi. Kupera linssi taittaa valoa enemmän ja tarkkuus lähelle paranee. Lähelle katsottaessa sädelihas joutuu rasitukseen ja väsyy. Iän myötä linssin kimmoisuus vähenee ja sädelihas rasittuu nopeammin, lähelle katsominen vaikeutuu. (Karhumäki, Lehtonen, Nieminen & Syrjäkallio-Ylitalo 2009, 151–153.) Iäkkäällä ihmisellä valon määrän tarve myös lisääntyy.



KUVIO 2. Silmän rakenne (Karhunmäki ym. 2009, 152)

Valo taittuu linssin läpi verkkokalvolle, johon se pysähtyy. Verkkokalvon alimmassa kerroksessa sijaitsevat näköaistin reseptorisolut eli sauvat ja tapit. Sauvasoluja on verkkokalvolla noin 125 miljoonaa kappaletta. Ne aistivat valoisuutta ja toimivat myös pimeässä. Tappisoluja, jotka aistivat värejä, on huomattavasti vähemmän, noin seitsemän miljoonaa. Valon eri aallonpituudet värit, aiheuttavat kemiallisia muutoksia tappisolujen väriaineissa, joita on punaiselle, siniselle ja vihreälle valolle. Pimeässä ja hämärässä tappisolut eivät toimi. (Karhunmäki ym. 2009, 153.) Kuviossa 3. näkyy silmän suhteellinen herkkyys eri aallonpituuksille.



KUVIO 3. Silmän suhteellinen herkkyys (Honkanen 2009)

On oletettu vain tappi- ja sauvasolujen olevan valoherkkiä silmässä. Vuonna 2002 Brownin yliopistossa Yhdysvalloissa löydettiin silmän verkkokalvolta uusi valoherkkä reseptorisolu ipRGC eli intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cell. Tämä solu ei välitä näköhavaintoja, vaan ainoastaan valveillaoloa ja hyvinvointia ohjaavia valoimpulsseja. Philadelphian yliopistossa on tutkittu valon spektrin vaikutusta ipRGC reseptoriin ja minkä tyyppinen valo vaikuttaa kaikkein tehokkaimmin meihin. Tutkimuksessa todettiin, että valo aallonpituudella 460 – 480 nm eli sininen väri, lopettaa nopeammin unihormonin erityksen verenkiertoon, kuin kellertävä valo aallonpituudella 555 nm. Vuosikymmeniä on käytetty kodeissa ja työpaikoilla lämminsävyistä kellertävää valoa. Uuden tutkimuksen ansiosta meidän tulee tarkastella valon biologisia vaikutuksia ihmiseen ja ihmisen vireystilaan. Tämän takia ei valonlähteitä ja valaistusmenetelmiä kannata arvioida pelkästään näöntarkkuuden perusteella.

Tutkijat Kaliforniassa Berkleyn laboratoriossa ovat havainneet, että skotooppinen käyrä on silmän pupillille tärkeämpi kuin fotooppinen. Valon määrän lisääntyminen aiheuttaa pupillin pienentymistä. Skotooppisesti suuntautunut valo, jonka spektrissä on sinivoittoista valoa, pienentää pupillia enemmän kuin fotooppinen valo, vaikka valomäärä olisi sama. Mitä pienempi on pupilli, sitä parempi näöntarkkuus. Monet ihmiset siristävät silmiään nähdäkseen paremmin, tällöin pupillin koko pienenee. Täyden spektrin päivänvalolampun valossa on enemmän sinistä kuin keinovalossa, jolloin valonmäärä saa pienentyä jopa 30 % näöntarkkuuden kärsimättä. Tutkimuksissa on lisäksi selvinnyt, että koehenkilöt havaitsevat skotooppisesti hyvän valon kirkkaampana, vaikka sitä olisi 30 % vähemmän mitattuna valaistusmittarilla. Näiden tutkimustulosten perusteella voidaan säästää huomattavasti energiaa, kun siirrytään kellertävästä valosta skotooppiseen suuntaan. (Adlux 2012.) Berkleyn laboratoriossa kehitettiin skotooppisten lumenien käsite. S / P suhdelaskelma auttaa perinteisten lumenien kääntämisen lumeneiksi, jotka silmä havaitsee samanvertaisissa olosuhteissa ja antaa siten tarkemman arvon valon määrästä. (HR Light 2012) Taulukossa 3 on vertailtu erityyppisiä lamppuja ja niiden lumen arvoja.

$\Phi\ [\ (S / P)^{0,78}]$ Kaava 1. Skotooppiset lumenit

TAULUKKO 3. Lumen arvoja

Valonlähde	Teho W	Lumenit (Φ)	Fotooppiset lumenit (lm/W)	S / P suhde	Skotooppiset lumenit	Skotooppiset lumenit / W
Suurpainenatrium	250	28 000	112	0,62	19 285	77
Monimetalli	150	15 000	100	1,49	20 473	136
T8 loisteputki	36	2 800	78	1,13	48 960	85
Led	15	1 500	100	1,9	3 475	165
Induktio	200	16000	80	2,05	28 000	140

Taulukon ensimmäinen sarake kertoo lampputyypin. Toisessa sarakkeessa on teho. Kolmas sarake kertoo valovirran. Neljännessä sarakkeessa on valovirta jaettuna teholla eli valotehokkuus (fotooppiset lumenit). Viides sarake kertoo lampputyypille annetun S / P arvon. Kuudes sarake on skotooppiset lumenit. Seitsemännessä sarakkeessa on skotooppiset lumenit wattia kohden. Taulukosta voidaan huomata, että

suurpainenatriumlamppu, jolla on korkein valotehokkuus (112 lm/W) on huonoin skotooppinen lumen arvo wattia kohden. Vaikka suurpainenatriumlamppujen valotehokkuus on suurempi kuin led-lamppujen (100 lm/W) tai induktiolamppujen (80 lm/W), on näöntarkkuus parempi led- ja induktiovalaisimilla.

3.3. Valonhallinnan periaatteet

Valaisimella on kaksi tehtävää. Ensimmäinen tehtävä on valonlähteiden valonjaon esittäminen toivotulla tavalla. Toinen tehtävä on tarvittavan suojan antaminen lampulle sekä muille valaisimen sähköisille osille kosketusta ja ympäristön vaikutuksia vastaan. Valonjaon säätely ja ohjaaminen voivat tapahtua käyttäen hyväksi heijastumisen ja läpäisyn eri muotoja, suunta-, haja- ja sekaheijastumista tai -läpäisyä, tai joissakin tapauksissa tarkoituksellista imeyttämistä. Peruskäsitteet joita käytetään tarkasteltaessa valaisinten valonhallintaa, määritellään seuraavasti:

Valaisimen käyttöhyötysuhde saadaan kun yhteen lasketaan kullekin lampulle määräolosuhteissa mitatut valovirrat. Tämän valovirran suhde siihen valovirtaan, joka poistuu valaisimesta tietyissä käyttöolosuhteissa lamppujen ollessa kytkettynä sen omiin liitäntälaitteisiin on käyttöhyötysuhde eli lyhyesti hyötysuhde. Käyttölämpötila vaikuttaa merkittävästi loistelamppujen valontuottoon. Tämä vaikuttaa loistelamppuvalaisimien hyötysuhteisiin. Luettelotietoina esitetyt hyötysuhteet määritetään 25 ± 2° ympäristön lämpötilassa siten, että lampulle menevänä valovirtana käytetään niiden valaisimen ulkopuolella säteilemää valovirtaa, lampun ollessa liitäntälaitteisiin kytkettyinä (~ nimellisvalovirta). Lämpenemisen vaihtelut aiheuttavat eroja esimerkiksi samantyyppisillä 36 W ja 58 W lampuilla varustettujen valaisinten hyötysuhteisiin. Suljetuilla valaisimilla lämpeneminen voi aiheuttaa huomattavaa lamppujen valontuoton heikkenemistä ja siten huonontaa myös hyötysuhdetta. Valaistuksen tehokkuuskriteerinä valaisimen hyötysuhde on käyttökelpoinen vain sillä edellytyksellä, että varsinaiselle valonhallinnalle, valonjakotavalle, asetetut vaatimukset on täytetty. (Lamput ja valaisimet 1999, 169.) Nimellisvalovirta on yksi tekijä määritellessä tässä opinnäytetyössä vertailtuja valaisimia.

Korkeissa teollisuustiloissa suurempi merkitys on valaisimen heijastimien valonhallinta, joka mahdollistaa valovirran suuntaamisen tietylle alueelle. Optiikan avulla yritetään suunnata mahdollisimman paljon lampusta lähtevää valoa valaistavaan kohteeseen. Paras optinen hyötysuhde saadaan valaisimesta, jossa heijastin eli optiikka on muodoltaan akselinsa ympäri pyörähtänyt paraabeli ja on peili. Valolähteen eli lampun pitää olla pistemäinen. Lamppu sijoitetaan tällaisen optiikkaan polttopisteeseen. Näin saavutetaan ihanteellinen heijastimen tai valaisimen muoto. Paraabelin avauskulmaa muuttamalla saadaan valaisimelle erilaisia valonjakokäyriä. (Kivelä 2009.) Tässä opinnäytetyössä olevissa valaisimissa tällainen heijastin on induktiovalaisimessa ja optiikkaa käytetään led-valaisimessa suuntamaan valoa.

3.4. Työympäristön vaatimukset valaistukselle

Työympäristö asettaa tietysti erilaisia vaatimuksia valaistukselle, kuin asuinkäyttöön tarkoitetut tilat. Valaistuksen suunnittelun lähtökohtana tulee olla tulevan kohteen käyttötarkoitus sekä sen asettamat tekniset ja taloudelliset vaatimukset. Esteettiset seikat on syytä myös ottaa huomioon. Valaisimien valinnassa on myös mietittävä käyttöikää ja kierrätettävyyttä. Elohopeahöyrylamput poistuvat EcoDesign-asetuksen myötä markkinoilta, huhtikuussa 2015.

Asetus rajoittaa myös laadukkaimpien suurpainenatrium lamppujen saatavuutta ja tilalle tuleva ”suurpainenatrium plus” lamppu ei värintoistoltaan eikä värilämpötilaltaan vastaa nykyisiä parempilaatuisia suurpainenatrium lamppuja. (Siiroinen 2012.) Usein teollisuudessa ei kiinnitetä tarpeeksi huomiota valaistukseen. Valaisimet ovat vanhoja ja huonokuntoisia. Niiden valaistusteho on heikentynyt ja energiatehokkuus heikko. Työntekijätkin ikääntyvät vuosi vuodelta ja valontarve tämän takia lisääntyy.

Valaisimien huolto ja uusiminen on myös monesti laiminlyöty. Huonokuntoisten sytyttimien takia syttyminen on hidasta, tai valaisin räpsyttelee päälle ja pois. Valaisimet kuluttavat tällöin huomattavasti enemmän virtaa kuin toimintakuntoiset, ja räpsyvät valot rasittavat silmiä. Suositeltava valaistusvoimakkuus eri tiloissa on esitetty taulukossa 4. Valaistusvoimakkuuden yksikkö on lx [luksi], joka kuvaa valaistavalle pinnalle tulevaa valon määrää.

TAULUKKO 4. Suositeltava valaistusvoimakkuus (Honkanen 2009)

SUOSITELTAVA VALAISTUSVOIMAKKUUS	TYÖSKENTELY OLOSUHDE TAI TILA	ESIMERKKEJÄ
20 – 50 lx	Ulkoalueiden yleisvalaistus	
50 -100 lx	Kulkuväylät, lyhytaikainen oleskelu	
100 – 200 lx	Tilat, joita ei käytetä jatkuvasti työskentelyssä	Eteiset, aulat, käytävät, varastot
200 – 500 lx	Yksinkertaisten näkötehtävien tilat	Paperikonesalit, maalaamot, karkea kone- ja penkkityö
500 – 1000 lx	Tarkkuutta vaativat näkötehtävät	Pankkien asiakaspalvelu, avotoimistot, melko tarkka kone- ja penkkityö esim. automaatiokoneet ja valvomot
750 – 1500 lx	Suurta tarkkuutta vaativat näkötehtävät	Tarkkuutta vaativa toimistotyö, värintarkastus
1000 – 2000 lx	Erittäin suurta tarkkuutta vaativat näkötehtävät	Värinmäärittely, tarkka kone- ja penkkityö, tarkka piirustustyö
1000 – 3000 lx	Pitkäaikaiset erittäin vaativat näkötehtävät	Mikroelektroniikka, käsinkaiverrus, mikroskopointi

Niin kuin yllä olevasta taulukosta voidaan havaita, yksinkertaisetkin näkötehtävät vaativat vähintään 200 lx ja tarkkuutta vaativat näkötehtävät sijoittuvat 500–1000 lx välille.

Teollisuustilojen valaistuksessa käytetään monenlaisia valaisimia. Yksinkertaisista runkovalaisimista teollisuustiloihin suunniteltuihin syväsäteilyvalaisimiin ja räjähdysvaarallisten tilojen erikoisvalaisimiin. Tarkkuutta vaativa teollisuustyö esim. elektroniikkateollisuudessa on asettanut uusia vaatimuksia valaistukselle ja valaisimille. Valonlähteenä ovat tyypillisesti loistelamput, elohopeahöyry-, monimetalli- ja suurpainenatriumlamput. (Lamput ja valaisimet 1999, 300.) Tilojen käyttötarkoituksen muutokset nykyaikaisessa teollisuudessa ovat nopeita ja tämä asettaa valaistuksen joustavuudelle vaatimuksia, jottei koko valaistusta joutuisi uusimaan muuttuneen käytön takia.

Teollisuusloistevalaisimet ovat runkoloistevalaisimen tyyppisiä avoimia, erilaisilla heijastimilla varustettuja pintavalaisimia tai korkea kotelointiluokan suljettuja, prisma- tai opaalimuovihäikäisysuojalla varustettuja kotelomaisia valaisimia. Loistevalaisimia käytetään tavallisesti matalammissa tiloissa, kuin purkauslamppu- ja syväsäteilyvalaisimia. Loistelampuilla on parempi värintoisto. Tehot ovat tyypillisesti 36 W ja 58 W. T5-loistelammpujen etuja ovat valaisimien pienempi koko ja suurempi käyttöhyötysuhde erityisesti häikäisysuojalla varustetuissa tai suljetuissa malleissa.(Lamput ja valaisimet 1999, 301–303.) Tässä työssä loistevalaisimia on käytetty kulkuvaloina.

Suurimmassa osassa korkeista teollisuustiloista valolle ei ole asetettu värintoistovaatimuksia, joten suurpainenatriumlamput ovat suuren valotehokkuuden ja pitkän polttoikänsä ansiosta suosittuja valonlähteitä. Tavallisimmat tehot ovat 250 W ja 400 W. Monimetallilamppujen käyttö on lisääntynyt hyvien värintoisto ominaisuuksien takia vaativissa tiloissa, kuten paperikonesaleissa sekä tekstiili- ja graafisessa teollisuudessa. Käytetyimmät tehot on 250 W ja 400 W. Elohopealamppujen käyttö on vähentynyt, heikomman valotehokkuuden takia. Laaja- ja syväsäteilyvalaisimia käytetään tavallisesti yli 8 m korkeissa teollisuustiloissa, joskin joidenkin tyyppien käyttö on mahdollista jo 5 m alkaen. Tyypillisiä käyttökohteita ovat paperikonesalit, turbiinihallit, kirjapainot, telakkahallit, kaapelitehtaat ja suuret konepajat. (Lamput ja valaisimet 1999, 301–303.) Premec Oy:llä on hallin valaistuksessa on käytössä I-Valon 6231 laajasäteilijä.

Kaasupurkauslamput tarvitsevat kuristimen, jotta virta lampun läpi ei kasvaisi liikaa ja useimmat purkauslamput tarvitsevat myös sytyttimen. Tyypiltään ja tehoiltaan erilaisilla lampuilla on omat kuristimet. Samaa kuristinta voidaan käyttää eri teholuokissa jos

ulosottoja on monta. Jotkut suurpainenatrium- ja monimetallilamput ovat vaihdettavissa samoihin liitäntälaitteisiin, jos teho pysyy samana. Suurpainepurkauslampuissa kuparikäämikuristin on suosituin virranrajoittaja. Sen eliniän kesto on noin 30 vuotta erilaisissa käyttöolosuhteissa, eikä sen kestoikä tai toiminta muutu ympäristön muuttuessa. Suurin ongelma ovat kuristimen isot tehohäviöt. Isotehoisissa purkauslamppuvalaisimissa on liitäntälaitteiden lisäksi kompensointikondensaattori, joka kompensoi kuristimen käyttämän loistehon. (Sippola 2010.) I-Valon 6231 laajasäteilijässä voidaan käyttää suurpainenatrium- tai monimetallilamppuja, samoilla liitäntälaitteilla.

Induktiolampun toiminta perustuu kahteen periaatteeseen. Sähkömagneettisessa induktiossa ensiökelan läpi johdettu sähkövirta aikaan saa toisiokelassa sähkövirran ja metalli- ja ferriittisydän tehostaa sähkövirran syntyä. Kaasupurkauksessa sähkövirta ionisoi kaasutäytöksessä olevat atomit, jolloin syntyy ultraviolettisäteilyä. Loisteaineet, jota on lampun sisäseinällä muuttavat säteilyn näkyväksi valoksi. Induktiolampussa on yhdistetty sähkömagneettinen induktio ja kaasupurkaus. Suurtaajuinen sähkövirta kelassa indusoi sähkövirran lampun kaasutäytteessä ja aikaan saa ionisoitumisen. Muuntajan toisiokelana toimii kaasutäytös. (Nurmi 2007.) Induktiolamppujen kehityksen ansiosta näistä on tullut varteenotettava vaihtoehto teollisuustilojen valaistukselle. Hinta induktiolampuilla on korkea verrattuna muihin purkauslamppuihin, mutta pitkä elinikä ja alhaiset huoltokustannukset tekevät siitä yhden lamppumallin, jota vertailtiin tässä opinnäytetyössä.

Led-valaistus on yksi energiatehokkaimmista ja monipuolisimmista valaistuksen muodoista. Sillä voidaan saavuttaa huomattavia säästöjä energiatehokkuudessa. Led on puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirta. Ledit ovat valonlähteenä pienikokoisia ja mekaanisesti kestäviä. Pienen kokonsa takia niitä tarvitaan lampussa tai led-putkessa useita riittävän valaistuksen aikaan saamiseksi. Uusien peilioptiikkasovellutuksien ansiosta on markkinoille tullut valaisin, joka sopii erityisesti teollisuuteen ja varastotiloihin. Se on taloudellinen, kestävä ja siinä on jopa parempi valoteho kuin loisteputkivalaisimessa. (Led-valaistus säästää energiaa ja rahaa 2012.) Led valojen valovirta ja valaistusvoimakkuus eivät vielä yllä purkauslamppujen tasolle, mutta kehitys on tässä suhteessa nopeaa. Näiden lamppujen energiatehokkuuden takia otettiin yksi led-valaisin mukaan vertailuun.

Lampun elinikä kertoo lampun keskimääräisen paloajan testiolosuhteissa. Aika, jonka kuluttua puolet testiin laitetuista lampuista on palanut, on keskimääräinen elinikä. Led-lampuilla tämä voi olla jopa 100 000 tuntia. Led-valo on puolijohde, eikä se sisällä hehkulankaa, joka jatkuvasti lämpenisi ja jäähtyisi. Tämä jatkuva lämpötilojen muutos on yksi yleisimmistä syistä miksi lamppu palaa. Lisäksi Led-valo on lähes immuuni mekaanisille rasituksille, kuten tärinälle. Led-valon värilämpötila on lähellä 5 000 K, joka on lähellä päivänvaloa. (Limic Oy 2012.)

Led-siru säteilee valoa joka suuntaa, mutta komponentin aihion ja kiinnitysalustan vuoksi valo suuntautuu n. 120° kulmaan. Led-valaisimissa valonjako toteutetaan usein linsseillä, joita voi olla useampia päällekkäin. Komponentin päällä oleva linssi toimii tällöin sekä mekaanisena suojana, että suuntaa valoa haluttuun suuntaan. Komponentit voidaan myös sijoittaa alustaan siten, että ne voidaan suunnata haluttuun kulmaan. Tällöin voidaan käyttää myös heijastimia optiikan apuna. (Sippola 2010.) Tässä työssä mukana olleessa led-valaisimessa optiikka on 120º, mutta valaisinta on saatavissa myös 60, 80 ja 100 asteen optiikalla. Hallin korkeuden takia valaisimessa käytetään 80º optiikkaa.

Purkauslamput, loisteputket ja moottorit ottavat verkosta induktiivistä loistehoa. Kotien sähkönkäytössä tätä ei tarvitse ottaa huomioon, sen sijaan suuremmat sähkönkäyttäjät joutuvat miettimään myös loistehoa. Teollisuudessa loisenergia mitataan kVAr/h-mittareilla ja sillä on oma tariffinsa. Loisteho ei pysty tekemään työtä, siis tuottamaan lämpöä tai valoa, eikä se pysty pyörittämään moottoria. Tähän pystyy se osa sähkötehosta, joka on synnytetty käyttämällä energiaa. Tätä osaa sähkölaitteen käyttämästä tehosta kutsutaan *pätötehoksi* [P]. Loisteho synnytetään tavallisesti lähellä kulutuskohteita, siirtohäviöiden välttämiseksi. Tähän käytetään tavallisesti kondensaattoriparistoja, jotka tarvitsevat kapasitiivistä loistehoa. Kapasitiivinen loisteho kumoaa induktiivisen loistehon. Kondensaattoriparisto pyritään mitoittamaan siten, että kulutuskohteeseen ei tarvitse siirtää, eikä se tuota mitään loistehoa. (Stek 2012.) Premec Oy:n hallissa valaisimet on kompensoitu ja lisäksi sähköpääkeskuksessa on toimiva 275 kvar automaatti kondensaattoriparisto, joten loistehoa ei pääse sähköverkkoon.

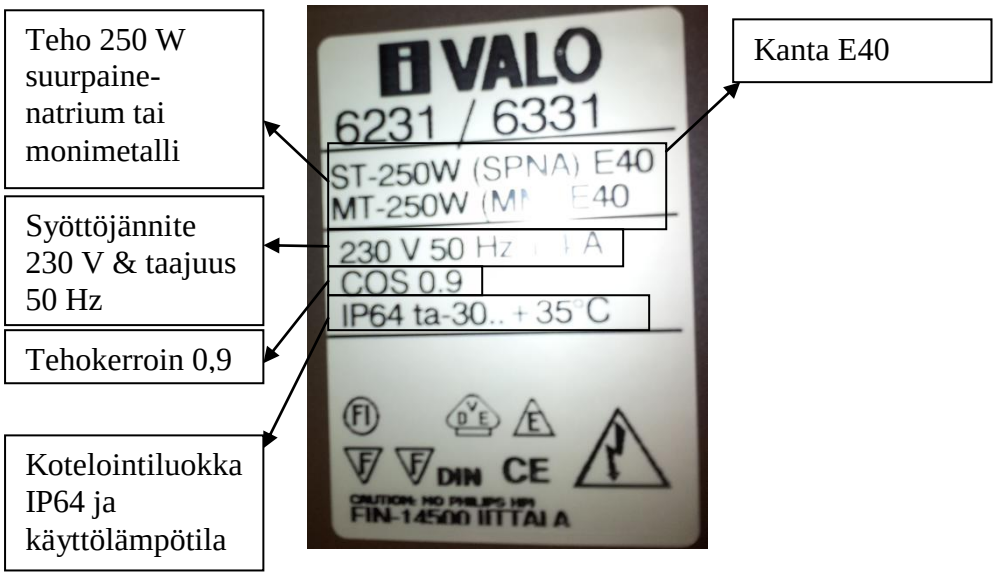
4. NYKYINEN VALAISTUS

Vuonna 1999 valmistuneen hallin koko on 3 520 m^2. Halli on 27 m leveä ja 123 m pitkä ja sen pohjoisen puoleisessa päädyssä sijaitsevat toimisto ja sosiaalitilat. Tuotantotiloja on noin 3 100 m^2, jotka on jaettu kahteen yhtäsuureen osaan. Pohjoisen puoleisessa osassa ovat kokoonpano, lopputarkastus, hitsaamo ja kiuaskokoonpano (LIITE 1). Eteläinen pää hallia on varattu levytyöstökeskuksille, särmäyskoneille ja roboteille (LIITE 2).

Nykyisen valaistuksen ongelmat ovat lähinnä energiatehottomuus, värintoiston heikkous ja valaistuksen joustamattomuus tuotantotilojen käytön tarpeille. Kokoonpanopuoli, lopputarkastus, hitsaamo ja kiuaskokoonpano työskentelevät päivävuorossa. Työaika on joko 06.00–14.30 tai 07.00–15.30. Suurin osa tulee kuudeksi ja puoli kolmen jälkeen halli on hiljainen. Eteläinen puoli hallista on kahdessa vuorossa ja sen työaika on 06.00–14.00 ja 14.00–22.00. Ruokala ja pukuhuone sijaitsevat pohjoisessa päädyssä, joten kulkuvalot on pakko olla päällä pohjoisen puoleisessa osassa koko illan. Halliin on asennettu 6 kpl Elektroskandian 2 x 58 W T8- valaisinta kulkuvaloiksi, kuten selviää liitteistä 1 ja 2. Niiden ohjaus on toteutettu painonapeilla, joiden käyttö on havaittu hankalaksi ja useimmiten iltavalaistuksena ovat 250 W laajasäteilijät.

Nykyinen valaistus on toteutettu tuotantotiloissa 250 W I-Valon laajasäteilijävalaisimilla, joita on 151 kpl. Näissä valaisimissa voidaan käyttää joko suurpainenatrium- tai monimetallilamppuja, samoilla liitäntälaitteilla. Suurpainenatriumlamppujen hyviin ominaisuuksiin kuuluu hyvä valoteho. Nykyisillä lampuilla se on 112 lm/W, nimellisen valovirran ollessa 28 000 lm sekä pitkä elinikä, jopa 40 000 h. Huonoja puolia ovat heikko värintoistoindeksi 29 Ra ja värilämpötila 2 000 K. Valo on kellertävää, mikä heikentää värien toistoa ja tätä kautta tarkasti näkemistä.

Eteläiseen päähän hallia on asennettu Philips Master HPI-T Plus 250 W-monimetallilamput, joiden värintoistoindeksi Ra on 65 ja värilämpötila 4 500 K (LIITE 3). Monimetallilamppujen valoteho on hyvä. Näillä lampuilla se on 84 lm/W, nimellisen valovirran ollessa 21 000 lm, mutta niillä on huonompi elinikä: vain 20 000 h.



KUVIO 4. Valaisimen tyyppikilpi

250 W I-Valon valaisimelle annetaan seuraavat arvot: Pätöteho 278 W, nimellisvirta kompensoitu 1,4 A, syttymisvirta kompensoitu 2,3 A, nimellisvirta ei kompensoitu 3,0 A, syttymisvirta ei kompensoitu 4,5 A ja kondensaattori 32 µF. (I-Valo, 2000.)
Laskettaessa valaistuksen vuosikustannusta C_E käytetään kaavaa:

$C_E = P_{kok} \cdot n \cdot T \cdot e$ Kaava 2. Valaistuksen vuosikustannus

P_{kok} = valaisimien pätöteho (kW)
n = valaisinten lukumäärä
T = Polttotunnit
e = Energian hinta

Valaistuksen sähkönkulutuksen arvio vuodessa on 13 970 €.

TAULUKKO 5. Valaistuksen vuosikustannus

Valaisimien pätöteho kW	Valaisimia kpl	Tunnit h / v	Hinta € / kWh	Kulutus W kWh / vuosi	Kustannus C eur / vuosi
0,278	151	4160	0,08	174 628	13 970

Tämä arvio on laskettu 16 tunnin käytön mukaan eli tässä laskelmassa on ajateltu hallin olevan kokonaan valaistu klo. 06.00–22.00 välisen ajan. Liiketunnistimien lisääminen nykyiseen valaistukseen ei ole kovin järkevää, sillä suupainenatrium- ja monimetallilampun syttymisaika täyteen valoon on n. 3 minuuttia syttymisestä.

Valaisimien tuottama valaistusvoimakkuus mitattiin eri pisteistä hallia (LIITE 4 ja 5). Valaistusvoimakkuus vaihteli 500–1000 lx. Kokoonpanohallin puolella oli valaistusvoimakkuus suurimmaksi osaksi hyvää tasoa eli yli 500 lx, mutta johtuen suurpainenatriumlamppujen heikosta värintoistoindeksistä ja värilämpötilasta on selkeästi havaittavissa vaikeuksia nähdä tarkasti. Tästä johtuen on joidenkin työpöytien päälle asennettu erikseen loisteputkivalaisimia.

Alin arvo 320 lx mitattiin kohdasta, jossa suurpainenatriumlamppu oli palanut. Eteläisessä päässä hallia on asennettu monimetallilamput ja valo on selkeästi valkoisempaa ja miellyttävämpää. Valaistusvoimakkuus vaihteli eri puolilla hallia ja esimerkiksi levytyöstökeskuksen työkalujen vaihtokohdassa oli vain 502 lx, joka tällaisessa tarkassa työvaiheessa saisi olla korkeampi (KUVIO 5).

KUVIO 5. Levytyöstökeskuksen työkalujen vaihto ja valaistusvoimakkuus

Monimetallilamppujen tuottama valo on värilämpötilaltaan niin paljon parempaa, että esimerkiksi särmäyksessä valaistusvoimakkuus on työntekijöiden mielestä riittävä, vaikka mittaustulokset olivat 530–590 lx välillä.

5 RATKAISUMALLIT

Kappaleessa 5 käsitellään eri vaihtoehtoja, joilla saavutettaisiin valotehon paraneminen ja energiansäästö. Varmasti muitakin ratkaisuja on olemassa, mutta opinnäytetyön tekijän aika ja resurssit riittivät vain näiden ratkaisujen tutkimiseen. Pakostakin asennustyöt ja niihin kuluva aika ovat vain arvioita ja voivat poiketa todellisuudesta. Näihin kuluva rahamäärä ei ole kuitenkaan ratkaisevassa asemassa mietittäessä lopullista investointia ja sen kannattavuutta.

5.1. Ratkaisumalli 1: Nykyisen valaistuksen säätö

Ensimmäinen vaihtoehto on, että nykyisen valaistuksen ohjaus toteutettaisiin paremmin. Valokytkimet on sijoitettu ohjaintauluun OT 1, joka on sijoitettu hallin pohjoispäähän käyntioven viereen (LIITE 8). Kulkuvalojen painikkeet (6 kpl) on sijoitettu eri puolille hallia, mutta johtuen hyllyistä ja koneista on niiden luokse pääsy vaikeaa. Kulkuvalojen painikkeet tulisi sijoittaa myös ohjaintauluun OT 1 ja merkitä selvästi, jolloin niiden käyttö olisi helpompaa. Lasketaan kokoonpanohallin valaistuksen vuosikustannus 16 tunnin käytön mukaan.

Kokoonpanohallin valaistuksen sähkönkulutuksen arvio vuodessa on 6 753 €.

TAULUKKO 6. Kokoonpanohallin valaistuksen vuosikustannus

Valaisimien pätöteho kW	Valaisimia kpl	Tunnit h / v	Hinta € / kWh	Kulutus W kWh / vuosi	Kustannus C eur / vuosi
0,278	73	4160	0,08	84 423	6 753

Kokoonpanohallin kulkuvalot ja laajasäteilijät voitaisiin ajastaa kytkinkellolla niin, että laajasäteilijät syttyisivät 05.30 ja sammuisivat klo. 15.00. Tarvittaessa voitaisiin ajastus kytkeä pois ja ohjata valoja normaalisti kytkimillä. Klo. 15.00 jälkeen toimisivat kulkuvalot (3 kpl), joita ohjattaisiin liiketunnistimilla (2 kpl). Loistevalaisimet soveltuvat hyvin liiketunnistimilla ohjaukseen, koska ne syttyvät nopeasti ilman jäähtymisaikoja. Tärkeätä on määrittää loistevalaisimille minimipolttoaika. Elinikä lyhenee, jos ne sammutetaan liian nopeasti. Tämä voidaan toteuttaa aikareleellä, johon asetetaan sopiva aika, noin 12 minuuttia. Kokonaisinvestointiin lasketaan asennustyötä 8 h, kytkinkello, liiketunnistimet, vetorele ja kytkimet. Kokonaisinvestointi 1 400€ (alv 0 %). Arvioidaan loistevalaisimien toimintoajaksi 2 h/vrk.

TAULUKKO 7. Kokoonpanohallin valaistuksen sähkönkulutuksen arvio vuodessa ohjauksen säädöllä

Valaisimen tyyppi	Valaisimien pätöteho kW	Valaisimia kpl	Tunnit h / v	Hinta € / kWh	Kulutus W kWh / vuosi	Kustannus C eur / vuosi
I-valo	0,278	73	2470	0,08	50 126	4010
Elektro-skandia	0,116	3	520	0,08	101	14

Ohjauksen säädöllä kokoonpanohallin valaistuksen sähkönkulutuksen arvio vuodessa on 4 024 €.

TAULUKKO 8. Takaisinmaksuaika ohjauksen säädöllä

Kokonais-investointi/ eur	Teho kW	Säästö kW	Säästö kWh/vuosi	Säästö eur/vuosi	Aika a
1 400	20,3	25	34 116	2 729	0,5

Takaisinmaksuajaksi tulee puoli vuotta. Taulukosta voidaan havaita kuinka suureen energian säästöön on mahdollista päästä karsimalla turhaa valaistusta iltaisin. Kyseessä on

kuitenkin ” worst case skenario” eli otettu huomioon pahin mahdollinen tilanne. Todellisuudessa tilanne ei ole aivan näin yksiselitteinen. Työnjohto sammuttaa iltaisin osan valoista kokoonpanohallin puolelta, mutta välillä saattavat jäädä valot palamaan koko illaksi. Tämän takia olisi valaistuksen ohjaus tarpeellinen.

5.2. Ratkaisumalli 2: NorSave-järjestelmä

Nykyiseen valaistukseen voidaan liittää säätöjärjestelmä, kuten esimerkiksi Norelcon markkinoima NorSave-järjestelmä (LIITE 6). Tällä järjestelmällä voidaan säästää energiaa valaistuksessa niinä aikoina, kun valaistuksen tarve on pieni. Toiminta perustuu siihen, että sähköpääkeskuksessa pääkontaktorilta ja valaistuslähdöille kulkeva yhteys käännetään kulkemaan saneerauskeskuksen säästömuuntajayksikön kautta (LIITE 7). Suurpainenatriumlampun polttimon lämpeneminen kestää 5–10 minuuttia, jonka aikana sen vastus ja palamisjännite kasvavat. Tällä järjestelmällä ei sammuteta lamppuja ja sytytetä uudelleen, vaan lasketaan lampuille tuleva jännitettä 5–10 %. Suurpainenatriumlamppujen hyötysuhde on parempi verkon nimellisjännitettä pienemmällä jännitteellä. Toimintaa voidaan ohjata kytkinkellolla, jolloin voidaan säätää esimerkiksi kokoonpanohallin valaistuksen jännitettä alemmaksi maanantaista perjantaihin kello 14.00 – 22.00.

Hankintahinta NorSave 15 kW saneerauskeskuksella on 1 800 € (alv 0 %). Asennustyö ja kellokytkimet n. 200 €. Kokonaisinvestointi 2 000 € (alv 0 %). Takaisinmaksulaskelmassa otetaan huomioon kokoonpanohallin 73 kpl valaisimia.

Kokoonpanohallin valaistuksen sähkönkulutuksen arvio vuodessa on 6 753 €.
Tästä lasketaan 8h aikana saavutettava säästö, joka tällä järjestelmällä on 40 %.
Vuoden aikana saavutettava säästö on 1 350 €.

TAULUKKO 9. Takaisinmaksuaika NorSave-järjestelmällä

Kokonais-investointi/eur	Teho kW	Säästö kW	Säästö kWh/vuosi	Säästö eur / vuosi	Aika a
2 000	20,3	8,118	16 885	1 351	1,5

Taulukosta huomataan, että takaisinmaksuaika tällä järjestelmällä on 1,5 vuotta. Laskelma on tehty huomioiden pahin mahdollinen tilanne.

5.3. Ratkaisumalli 3: Led-valaisimet

Jos nykyiset 151 kpl suurpainenatrium- ja monimetallivalaisinta korvattaisiin Led-valaisimilla, tarvittaisiin niitä kaksinkertainen määrä eli 302 kpl. Valovirta yhdessä Greenledin G-lite ECO PLUS 50 W – valaisimessa (LIITE 9) on 4 540 lm ja kahdella valaisimella saavutetaan 9 080 lm. Värintoistoindeksi on 70–80 Ra ja värilämpötila 5200 K, jolloin saavutettaisiin miellyttävä ja neutraali valaistus. Optiikka on 80°, jolloin saavutetaan tarvittava valoteho. Valaisimien eliniäksi ilmoitetaan 50 000 h käyttölämpötilassa 25°. Valaisimen pituus on 1 530 mm ja paino on 2,5kg. Hankintahinta on 180 € /kpl (alv 0 %).

Lasketaan valaisimien asennuskustannukset A_E.

$A_E = A_K \cdot A_H \cdot n$ Kaava 3. Valaisimen asennuskustannus

A_K = asennuskorkeus kerroin (LIITE 10)
A_H = asennushinta (LIITE 10)
n = valaisimien määrä

TAULUKKO 10. Led-valaisimien kokonaisinvestointi

Asennuskorkeus kerroin (4 – 7 m)	Asennushinta valaisinripustus-kiskoon	Valaisimia kpl	Asennus-kustannus eur	Valaisimien hinta eur	Kokonais-investointi eur
1,15	4,11	302	1 429	180	55 789

Kiinnitettäessä valaisin valaisinripustuskiskoon tai vastaavaan ilman porauksia hinnoitellaan työ sarakkeen puu mukaisesti. Valaisimen asennushinnan perusteena on valaisimen paino ja suurimman sivun pituus (LIITE 10).

TAULUKKO 11. Led-valaistuksen sähkönkulutuksen arvio vuodessa

Valaisimien pätöteho kW	Valaisimia kpl	Tunnit h / v	Hinta € / kWh	Kulutus W kWh / vuosi	Kustannus C eur / vuosi
0,05	302	4160	0,08	62 816	5 025

Led-valaistuksen sähkönkulutuksen arvio vuodessa on 5 025 €.

TAULUKKO 12. Takaisinmaksuaika Led-valaisimilla

Kokonais-investointi/eur	Teho kW	Säästö kW	Säästö kWh/vuosi	Säästö eur / vuosi	Aika a
55 789	15,1	26,9	111 812	8 945	6,25

Taulukosta voidaan havaita, että led-valaisimien investointikustannukset ovat suuret ja valovirta valaisimesta sen verran heikko, että valaisimia tarvitaan kaksinkertainen määrä. Tämä nosti takaisinmaksuajan yli 6 vuoteen. Tässä laskelmassa ei ole otettu huomioon, että led-valaistukseen voidaan lisätä liiketunnistimet, sillä ne syttyvät täyteen tehoonsa alle sekunnissa. Kun työskentely päättyy ja työntekijät poistuvat tiloista voidaan valot ohjelmoida sammumaan esim. 15 min kuluttua. Tällä tavalla päästään jopa suurempaan säästöön vuositasolla, kuin yllä olevassa taulukossa on esitetty.

5.4. Ratkaisumalli 4: Induktiovalaisimet

Induktiovalaisimeksi valittiin Energosave ES-GK0301 valaisin (LIITE 11). Valaisimen teho on 200 W ja niitä tarvitaan 100 kpl. Dialux laskelmasta (LIITE 12) huomataan, että valaistusvoimakkuus parhaimmillaan on 435 lx ja keskiarvo on 385 lx. Induktiovalaisimilla on hyvä värintoistoindeksi Ra, yli 80 ja värilämpötila on valittavissa välillä 3000–6000 K. Pätöteho on 205 W ja valovirta yhdestä valaisimesta 80 lm/W. Lamppujen eliniäksi ilmoitetaan 100 000 h. Valaisimen korkeus on 685 mm ja paino on 8 kg. Hankintahinta on 300 € /kpl (alv 0 %).

TAULUKKO 13. Induktiovalaisimien kokonaisinvestointi

Asennuskorkeus kerroin (4 – 7 m)	Asennushinta valaisinripustus-kiskoon	Valaisimia kpl	Asennus-kustannus eur	Valaisimien hinta eur	Kokonais-investointi eur
1,15	6.70	100	770	300	37 770

Taulukosta voidaan havaita, että kokonaisinvestointi on pienempi kuin led-valaisimilla.

TAULUKKO 14. Induktiovalaisimien sähkönkulutuksen arvio vuodessa

Valaisimien pätöteho kW	Valaisimia kpl	Tunnit h / v	Hinta € / kWh	Kulutus W kWh / vuosi	Kustannus C eur / vuosi
0,205	100	4160	0,08	86 280	6 822

Valaistuksen sähkönkulutuksen arvio vuodessa on 6 822 €.

TAULUKKO 15. Takaisinmaksuaika induktiovalaisimilla

Kokonais-investointi/eur	Teho kW	Säästö kW	Säästö kWh/vuosi	Säästö eur / vuosi	Aika a
37 770	20,5	21,5	89 348	7 148	5,3

Tästä taulukosta nähdään, että induktiovalaisimien takaisinmaksuaika on yli 5 vuotta. Energian säästö vuodessa on kuitenkin huomattava verrattuna nykyiseen valaistukseen.

5.5. Ratkaisumalli 5: Monimetallivalaisimet

Monimetallivalaisimeksi valittiin I-Valon 9339 R3 ViVO-laajasäteilijä (LIITE 13). Valaisimen teho on 150 W ja niitä tarvitaan 162 kpl. Dialux laskelmasta (LIITE 13) huomataan, että valaistusvoimakkuus parhaimmillaan on 897 lx ja keskiarvo on 500 lx. Monimetallilampuilla on hyvä värintoistoindeksi Ra, yli 65 ja värilämpötila on 4500 K. Pätöteho on 157 W ja valoteho yhdestä valaisimesta 100 lm/W. Lamppujen eliniäksi ilmoitetaan 22 000 h. Valaisimen pituus on 358 mm ja paino on 4 kg. Hankintahinta on 260 € /kpl (alv 0 %).

TAULUKKO 16. Monimetallivalaisimien kokonaisinvestointi

Asennuskorkeus kerroin (4 – 7 m)	Asennushinta valaisinripustus-kiskoon	Valaisimia kpl	Asennus-kustannus eur	Valaisimien hinta eur	Kokonais-investointi eur
1,15	5,62	162	1 047	260	43 167

Monimetallivalaisimien kokonaisinvestointi on pienempi kuin led-valaisimien, mutta suurempi kuin induktiovalaisimilla.

TAULUKKO 17. Monimetallivalaisimien sähkönkulutuksen arvio vuodessa

Valaisimien pätöteho kW	Valaisimia kpl	Tunnit h / v	Hinta € / kWh	Kulutus W kWh / vuosi	Kustannus C eur / vuosi
0,157	162	4160	0,08	105 805	8 464

Valaistuksen sähkönkulutuksen arvio vuodessa on 8 464 €

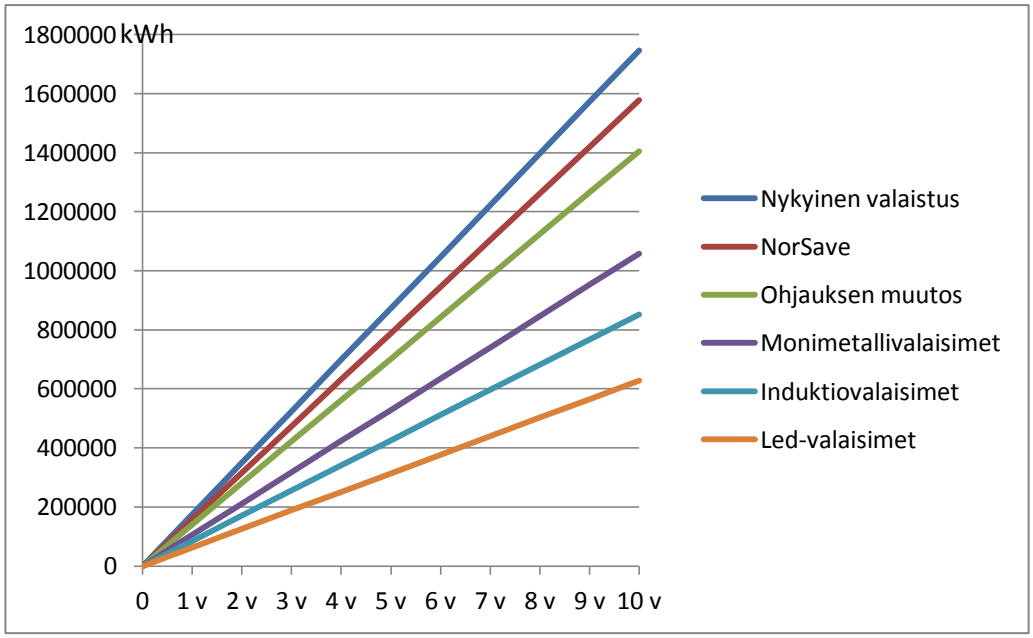
TAULUKKO 18. Takaisinmaksuaika monimetallivalaisimilla

Kokonais-investointi/eur	Teho kW	Säästö kW	Säästö kWh/vuosi	Säästö eur / vuosi	Aika a
43 167	25,4	16.6	68 823	5506	7,8

I-Valon 9339 R3 ViVO-laajasäteilijä varustettuna HCI-T 150/830 WDL PB monimetallilampulla tuottaa kaikkein parhaimman valaistusvoimakkuuden mutta huonoimman takaisinmaksuajan melkein 8 vuotta.

5.6. Ratkaisumallien vertailu

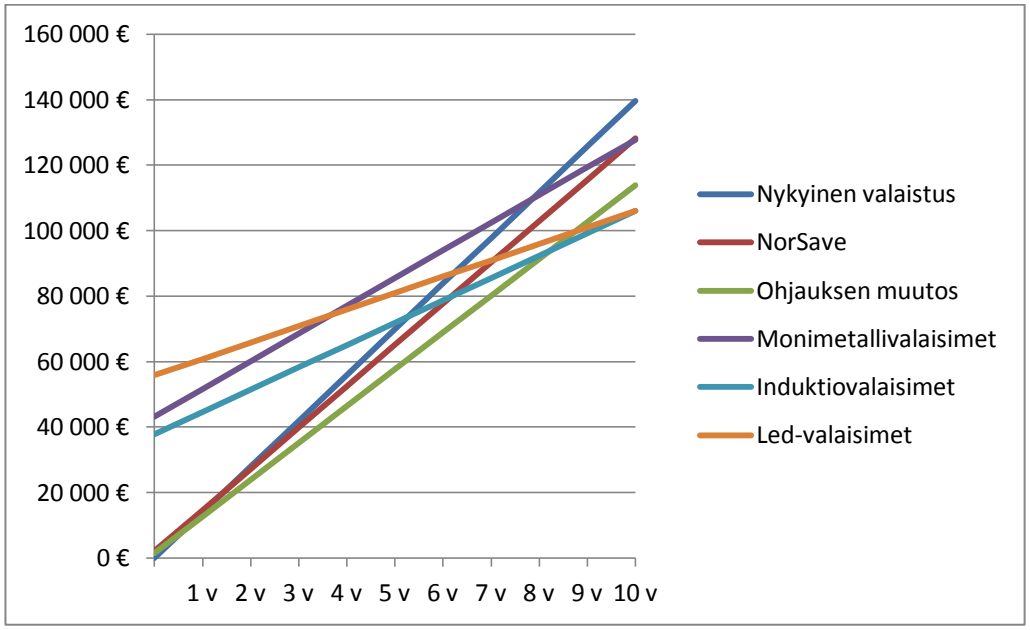
Ratkaisumallien vertailu aloitetaan tutkimalla eri vaihtoehtojen sähkön vuosikulutusta 10 vuoden periodin aikana. Nykyisessä valaistuksessa on 151 kpl I-Valon 250 W-laajasäteilijää. NorSave järjestelmässä valaisimien määrä ei muutu, vain kokoonpanohallin valaisimien jännitettä tiputetaan hiljaisempana aikana. Ohjauksen muutoksella otetaan käyttöön kulkuvalot, liiketunnistimet ja kytkinkellot. Monimetallivalaisimia tarvitaan 162 kpl 150 W-laajasäteilijää. Induktiovalaisimia on 100 kpl ja niiden teho on 200 W. Led-valaistuksessa valaisimia on 302 kpl ja tehoa valaisimessa on 50 W.



KUVIO 6. Eri ratkaisumallien sähkönkulutus 10 vuoden aikajaksolla

Kuviosta 6 voidaan helposti havaita led-valaistuksen energiatehokkuus 10 vuoden aikajaksolla. Toiseksi pienin energiankulutus on induktiovalaisimilla ennen monimetallivalaisimia. Yllättävän hyvän tuloksen antaa myös ohjauksen muutos, jopa paremman kuin NorSave säätöjärjestelmän asennus.

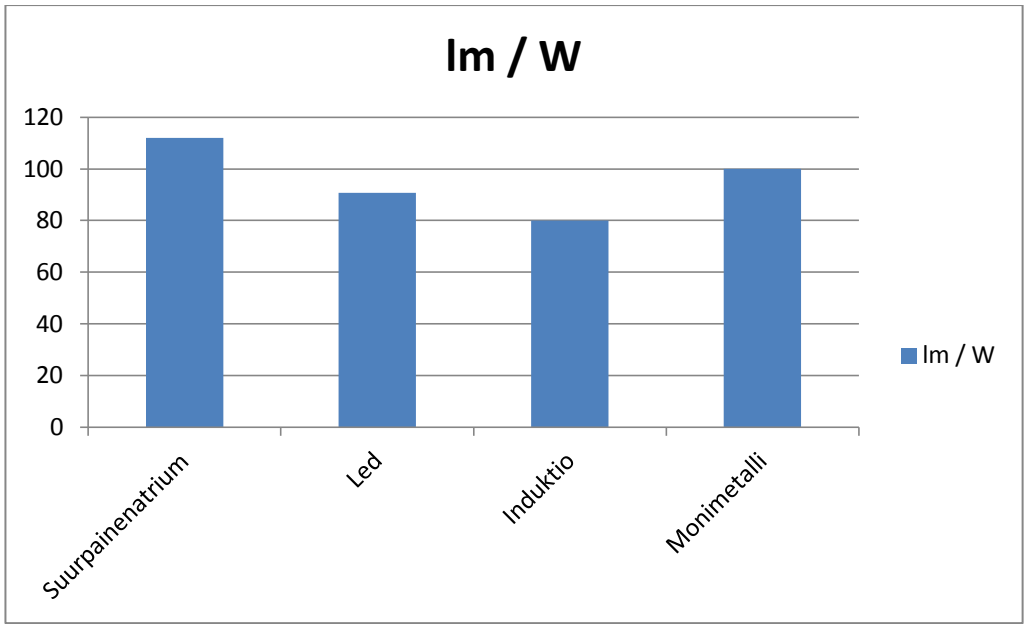
Lisätään kokonaisinvestointi sähkönkulutukseen ja tarkastellaan 10 vuoden aikajaksolla toteutuvia kustannuksia.



KUVIO 7. 10 vuoden aikana eri vaihtoehtojen euromääräiset kustannukset

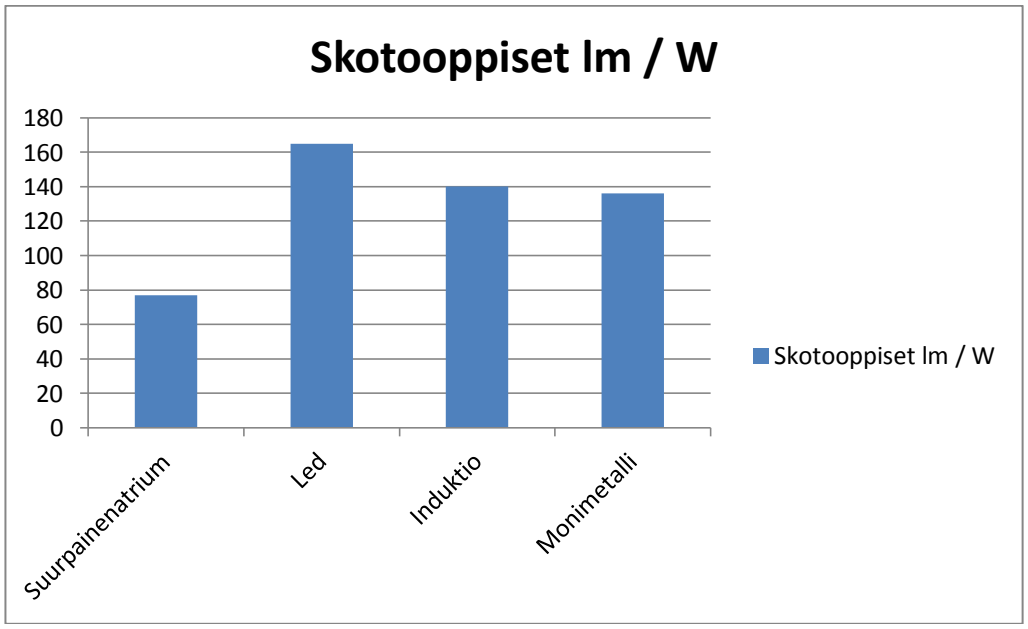
Tästä kuviosta voidaan havaita, että huolimatta alkuinvestoinneista on induktiovalaistus ja led-valaistus 10 vuodessa yli 30 000 euroa edullisempi kuin nykyinen valaistus. Ohjauksen muutoksella päästään 10 vuodessa noin 25 000 euron säästöön. Monimetallivalaisimet ja NorSave säästivät 10 vuodessa noin 11 000 euroa. Tässä laskelmassa ei ole otettu huomioon huoltokustannuksia, jotka muuttaisivat tilannetta lisää led- ja induktiovalaisimien eduksi. Nykyiset valaisimet ovat 13 vuotta vanhoja. Vaikka niihin on lamppuja uusittu, alkavat sytyttimet ja kondensaattorit olla uusimisen tarpeessa. Monimetallilamppujen eliniäksi ilmoitetaan 22 000 h, joka on noin 5 vuotta tällä käytöllä. Led-valaisimet kestävät 50 000 h eli 12 vuotta, jonka jälkeen komponentit tarkistetaan ja tarvittaessa vaihdetaan. Induktiolamput kestävät 100 000 h, joka on 24 vuotta.

Tutkitaan vielä eri valolähteiden valotehokkuutta.



KUVIO 8. Valolähteiden valotehokkuus

Kuviosta 8 havaitaan suurpainenatriumlampun tuottama hyvä valoteho verrattuna induktiolamppuihin. Tilanne ei ole kuitenkaan näin yksikertainen, vaan alla olevassa kuviossa on eri valonlähteiden skotooppiset lumen arvot.



KUVIO 9. Valolähteiden skotooppiset arvot

6 TULOKSET JA JATKOSUUNNITELMA

Opinnäytetyö on tehty Premec Oy:lle ja siinä on tutkittu eri vaihtoehtoja saada energiansäästöä ja parantaa valon laatua. Tavoitteena oli löytää toteuttamiskelpoisia ratkaisuja jotka parantavat tuotantohallin valaistusta. Jos pelkän energiansäästön kannalta vertaa tuloksia, on led-valaistus paras vaihtoehto. Toisaalta niiden hankintahinta oli vertailun korkein ja takaisinmaksuaika oli toiseksi heikoin. Energiatehokkuus on kuitenkin niin hyvä, että 10 vuodessa säästöä syntyy 33 000 euroa verrattuna nykyiseen valaistukseen. Valon laatu on myös hyvää, mutta valotehokkuus ei vielä yllä purkauslamppujen tasolle. Tekniikka on kuitenkin vielä niin nuorta ja kehittymätöntä, että joka vuosi led-tekniikassa edetään isoin harppauksin. Jos led-valaistukseen halutaan siirtyä niin kannattaa odottaa muutama vuosi, kunnes nykyisten valaisimien käyttöikä on täynnä.

Induktiovalaistus on energiatehokas ja tuo yhtä suuret säästöt 10 vuoden aikana kuin led-valaistus. Lisäksi induktiovalaisimien tuottama valo on laadullisesti hyvää ja lamppujen elinikä pisin. Tässä vertailussa mukana olleista valaisimista induktiovalaisin on paras. Monimetallilamppujen elinikä ja valaisimien takaisinmaksuaika oli vertailun heikoin. Nykyisen valaistuksen säädöllä päästään yllättävän suuriin säästöihin vuositasolla, mutta valaistuksen laatuun ja tehokkuuteen se ei tuo muutosta. NorSave-järjestelmällä saadaan säästöjä vähemmän kuin ohjauksen muutoksella. Molemmissa tapauksissa kokonaisinvestointi on pieni ja takaisinmaksuaika lyhyt, mutta lisäkustannuksia tuo nykyisien valaisimien vaatimat huollot.

Yritykselle kaikki vaihtoehdot ovat hyviä, huonoin vaihtoehto on olla tekemättä mitään. Tulen esittämään Premec Oy:n omistajille induktiovalaistukseen siirtymistä ensimmäisenä vaihtoehtona. Toinen vaihtoehto on nykyisen valaistuksen ohjauksen muutos, jolla saadaan säästöjä siihen asti, kunnes led-tekniikka on kehittynyt tarpeeksi ollakseen kustannuksiltaan ja valoteholtaan kilpailukykyinen.

LÄHTEET.

Adlux. 2012. Laadukkaassa valossa näet paremmin. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.adlux.fi/public/tyo/laadukasvalaistusberman.html
Luettu. 1.10.2012.

Halonen, L. & Eloholma, M. Keinovalon historia. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.duodecimlehti.fi/web/guest/arkisto?p_p_id=dlehtihaku_view_article_WAR_dlehtihaku&p_p_action=1&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_dlehtihaku_view_article_WAR_dlehtihaku__spage=%2Fportlet_action%2Fdlehtihakuartikkeli%2Fviewarticle%2Faction&_dlehtihaku_view_article_WAR_dlehtihaku_tunnus=duo95374&_dlehtihaku_view_article_WAR_dlehtihaku_p_frompage=uusinnumero.
Luettu 15.9.2012.

Halonen, L. & Lehtovaara, J. 1992. Valaistustekniikka. Espoo: Otatieto.

HR Light. 2012. Kannattaako katuvalojen vaihtaminen LED-valoihin. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.hrlight.fi/index.php?page=pl-sl.
Luettu. 28.10.2012.

Honkanen, H. 2009. Valaistustekniikka. Www-dokumentti. Saatavissa: http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/STEK_Valaistustekniikka.pdf.
Luettu 15.8.2012.

I-Valo. 2000. Teollisuusvalaisimet. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.i-valo.com/files/4/13/documents/navi/Teollisuusvalaisimet.pdf
Luettu 10.9.2012.

Karhumäki, E., Lehtonen, M., Nieminen, K. & Syrjäkallio-Ylitalo, M. Päästä varpaisiin. 4., uudistettu painos. Helsinki: Edita.

Kivelä, J. 2009. Hehkulamppujen kieltämisen vaikutukset energian käytössä. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma.

Ledtriks. 2012. Led-teknologian osaamispankki. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.ledtriks.fi/index.php/perustietoa/mitae-valo-on.
Luettu 3.9.2012.

Led-valaistus säästää energiaa ja rahaa. 2012. Kalajokilaakso 3.9.2012, 5.

Limic OY. 2012. Kestäviä ja turvallisia Led-valoja. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.limic.fi/html/led-tx.htm
Luettu 17.9.2012.

Nurmi, T. 2007. Valaistustekniikka. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/13valaistustekniikka.pdf
Luettu 26.9.2012.

Sippola, V. 2010. Eco-desing direktiivin täytäntöönpanotoimenpiteiden vuoksi poistuvien lamppujen korvaamine ulkovalaistuksessa. Www-dokumentti. Saatavissa:

http://lib.tkk.fi/Dipl/2010/urn100148.pdf
Luettu 21.9.2012.

Stek. 2012. Loisteho, mitä se on? Www-dokumentti. Saatavissa:
http://www.stek.fi/oikopolut/sahkoa_monessa_muodossa/fi_FI/loisteho_mita_se_on/
Luettu 29.09.2012.

Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry & Suomen Valoteknillinen Seura ry. 1999. Lamput ja valaisimet. Jyväskylä: Gummerus.

LIITTEET.

LIITE 1. Hallin pohjoispuoli

LIITE 2. Hallin eteläpuoli

LIITE 3. Monimetallilamppu

LIITE 4. Mittaustulokset hallin pohjoispuolesta

LIITE 5. Mittaustulokset hallin eteläpuolesta

LIITE 6. NorSave-järjestelmä

LIITE 7. Keskuskaavio NorSave-järjestelmästä

LIITE 8. Ohjaintaulu 1

LIITE 9. Led-valaisin

LIITE 10. Urakkahinnoittelu taulukko

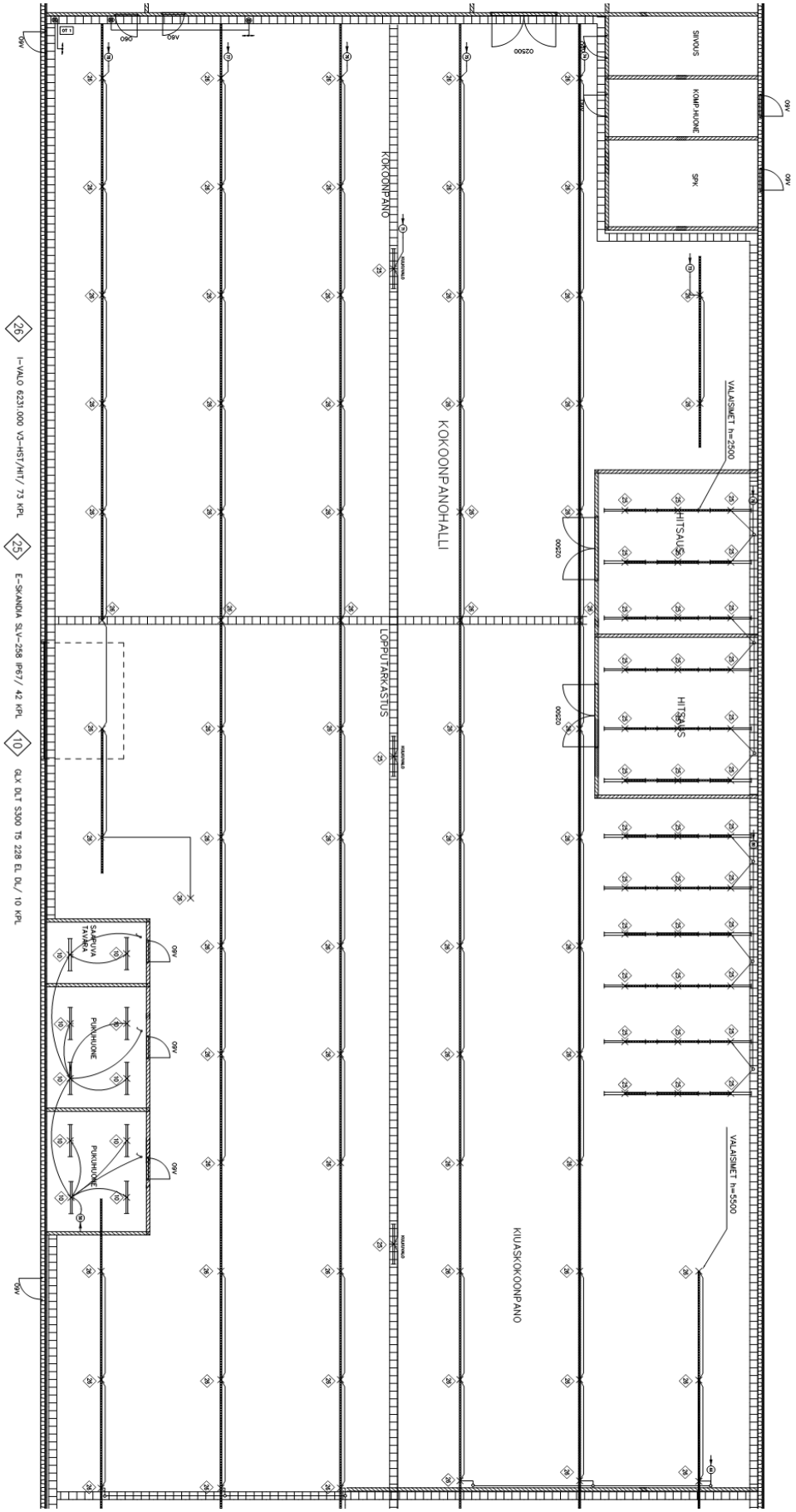
LIITE 11. Induktiovalaisin

LIITE 12. Induktiovalaisimen Dialux-tulosteet

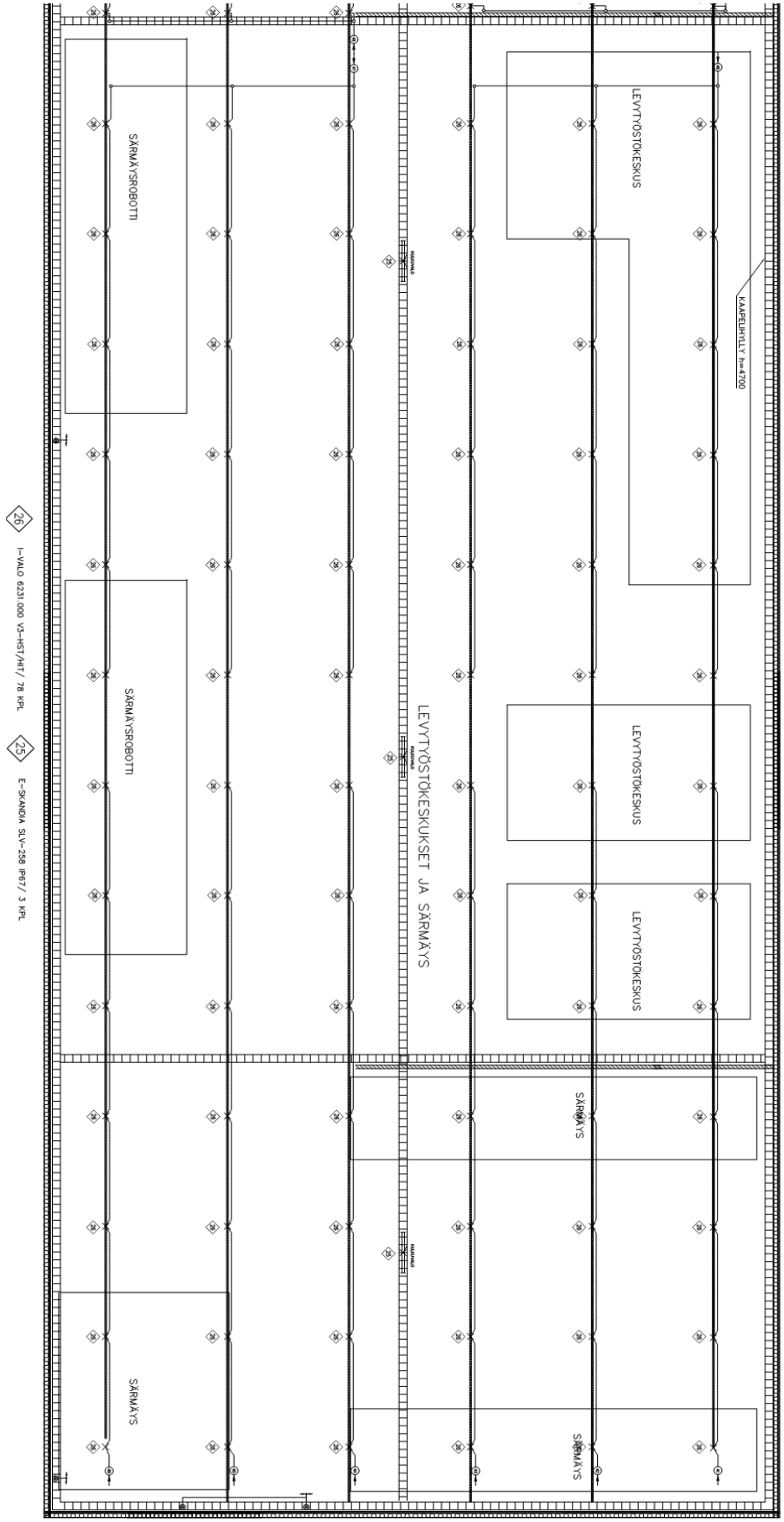
LIITE 13. Monimetallivalaisimen Dialux-tulosteet

LIITE 14. Taulukot kulutuksesta ja kustannuksista 10 v aikana

LIITE 1. Hallin pohjoispuoli



LIITE 2. Hallin eteläpuoli



MASTER HPI-T Plus

MASTER HPI-T Plus 250W/645 E40 1SL

Kvartsilasinen monimetallilamppu kirkkaalla ulkokuvulla

Tuotetiedot

• Yleiset ominaisuudet

Järjestelmän kuvaus	ei sov. [Ei sovellettavissa]
Kanta	E40
Kupu	T46 [T 46mm]
Kuvun pinta	Kirkas
Polttoasento	p20 [Poikittainen+/-20ast tai vaaka(HOR)]
5% kuolleisuus	5000 hr
Elinikä 10 % kuoll.	7500 hr
20% kuolleisuus	11000 hr
50% kuolleisuus	20000 hr
LSF EM 20000h nim., 12h jakso	50 %
LSF EM 16000h nim., 12h jakso	63 %
LSF EM 12000h nim., 12h jakso	76 %
LSF EM 8000h nim., 12h jakso	88 %
LSF EM 6000h nim., 12h jakso	93 %
LSF EM 4000h nim., 12h jakso	96 %
LSF EM 2000h nim., 12h jakso	99 %

• Valotekniset ominaisuudet

Värikoodi	645 [CCT of 4500K]
Värintoistoindeksi	65 Ra8
Valon väri (nimitys)	Viileä valkea
Värilämpötila	4500 K
Tekn. värilämpötila	4440 K
Värikoordinaatti X	365 -
Värikoordinaatti Y	377 -
Nimellisvalotehokkuus EM 25°C	84 Lm/W
LLMF EM 20000h nimellinen	60 %
LLMF EM 16000h nimellinen	63 %
LLMF EM 12000h nimellinen	68 %
LLMF EM 8000h nimellinen	73 %
LLMF EM 6000h nimellinen	77 %
LLMF EM 4000h nimellinen	82 %
LLMF EM 2000h nimellinen	90 %
Valovirta EM 25°C, nim.	20500 Lm

• Sähkötekniset ominaisuudet

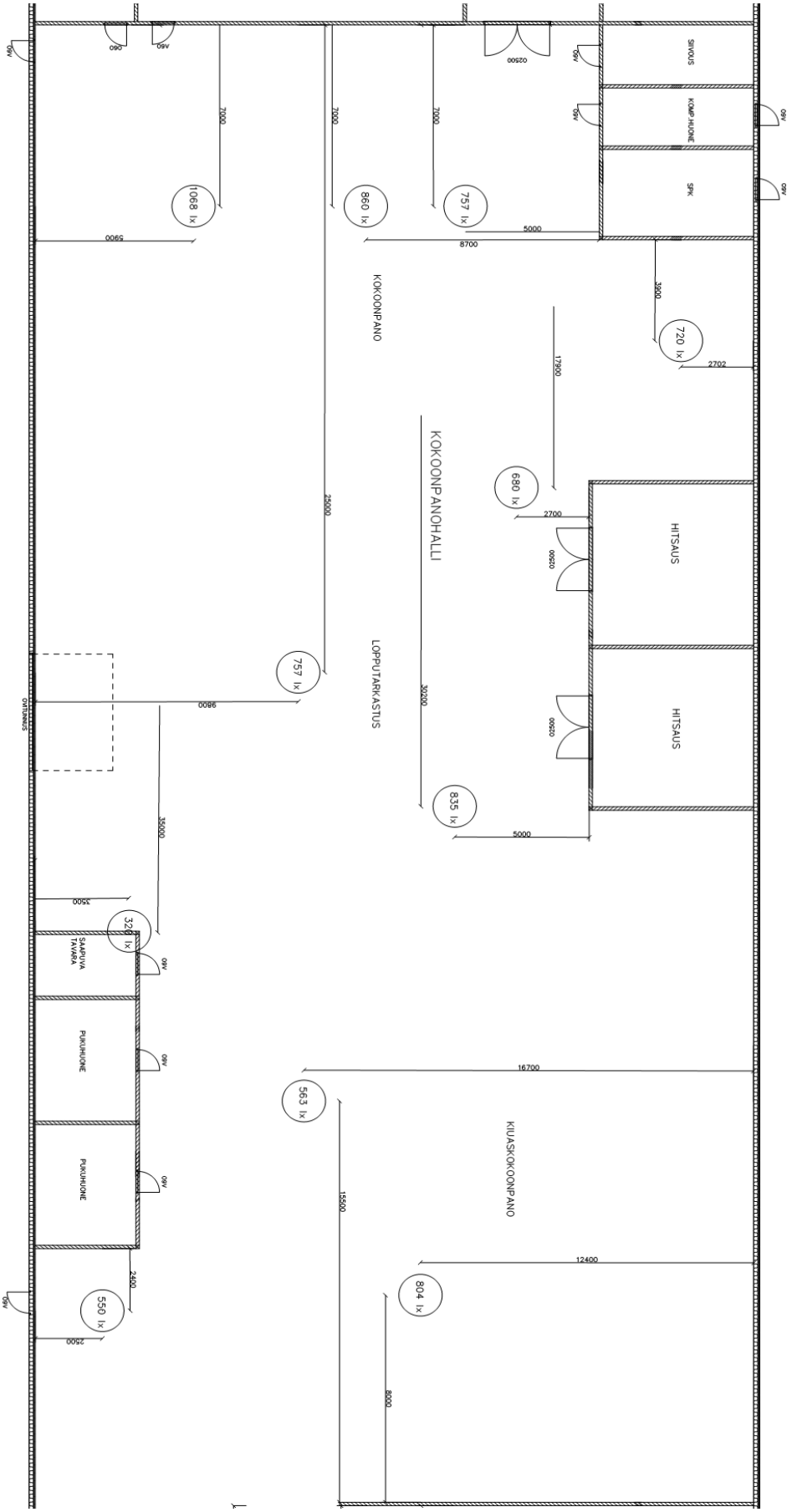
Lampun nimellisteho	250 W
Lamppujännite	128 V
Lamppuvirta EM	2.10 A
Syttymisaika	30 (max) s
Himmennettävissä	Ei
Lampun teho EM 25°C, nim.	245 W
Lampun teho EM 25°C, nim.	250 W
Ratio scotopic/photopic lumens	1.50 -

• Ympäristömerkinnät

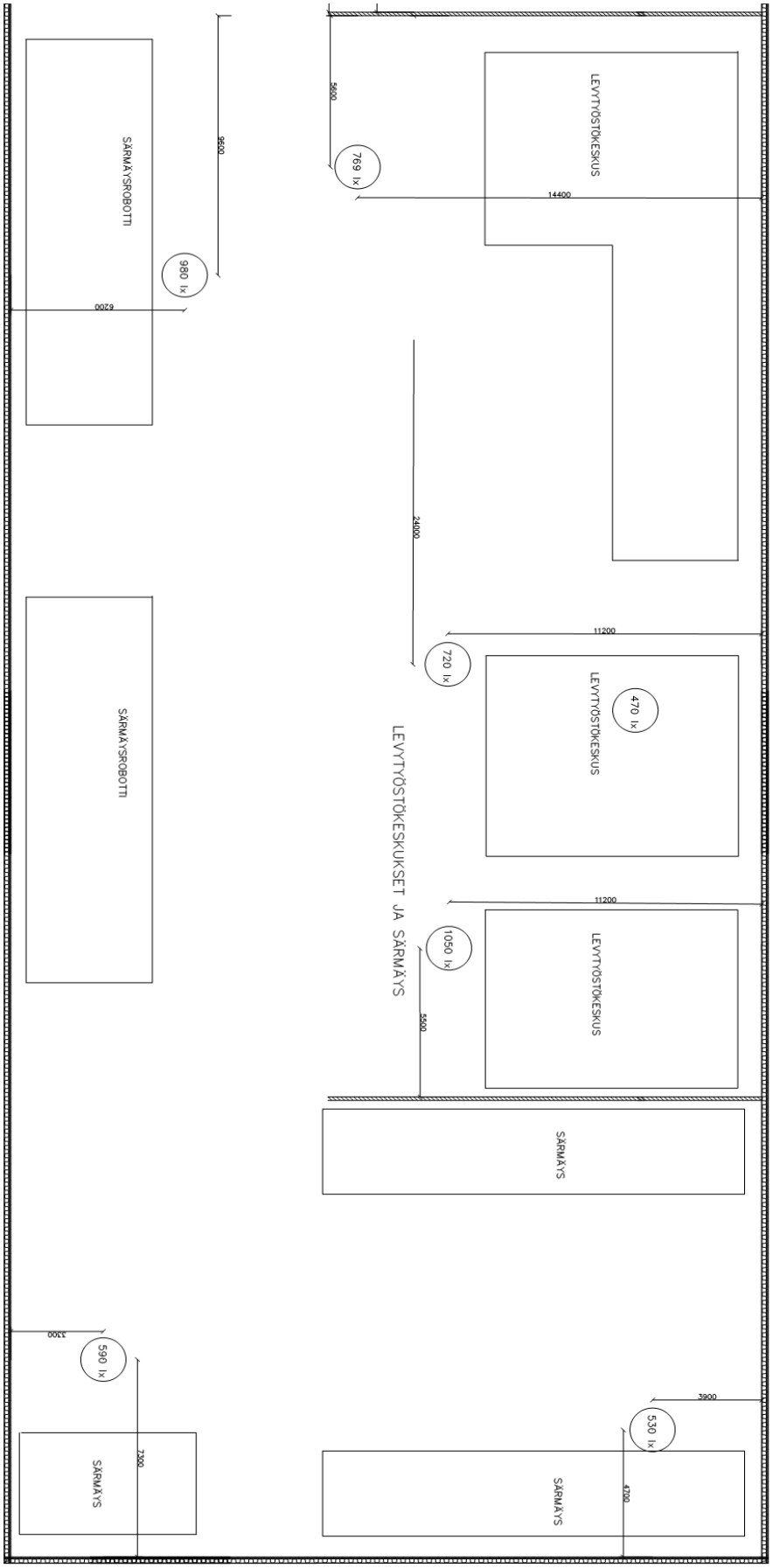
Bohopeamäärä (Hg)	33 mg

PHILIPS
sense and simplicity

LIITE 4. Mittaustulokset hallin pohjoispuolesta



LIITE 5. Mittaustulokset hallin eteläpuolesta



NorSave-valaistuksensäätö-järjestelmä säästää energiaa

NorSave- järjestelmän avulla voidaan säästää tie- ja katuvalaistuksen energiankulutuksessa jopa 40%. Tyypillinen takaisinmaksuaika on alle vuosi. Sopii sekä uusiin että saneerauskohteisiin.

NorSave sopii sekä sekä vanhoihin että uusiin kohteisiin. Järjestelmän avulla himmennetään katu- tai aluevalaistusta niinä aikoina, jolloin liikenne- tai käyttäjämäärät ovat pienet. Himmennys tapahtuu alentamalla lamppujen jännitettä. Sytyttäminen tapahtuu aina täydellä jännitteellä. Soveltuu monimetalli-, elohopea- että suurpainenatriumlampuille sekä loisteputkivalaistuksen säätöön.

NorSave asennetaan kotelokeskukseen, joka voidaan asentaa seinälle, pylvääseen tai Norelcon N8MAO kaapelijakokaappiin. Järjestelmää on saatavilla neljällä eri teholla. Säädettäviä jänniteportaita on viisi.

Riittävä valaistus energiaa säästäen

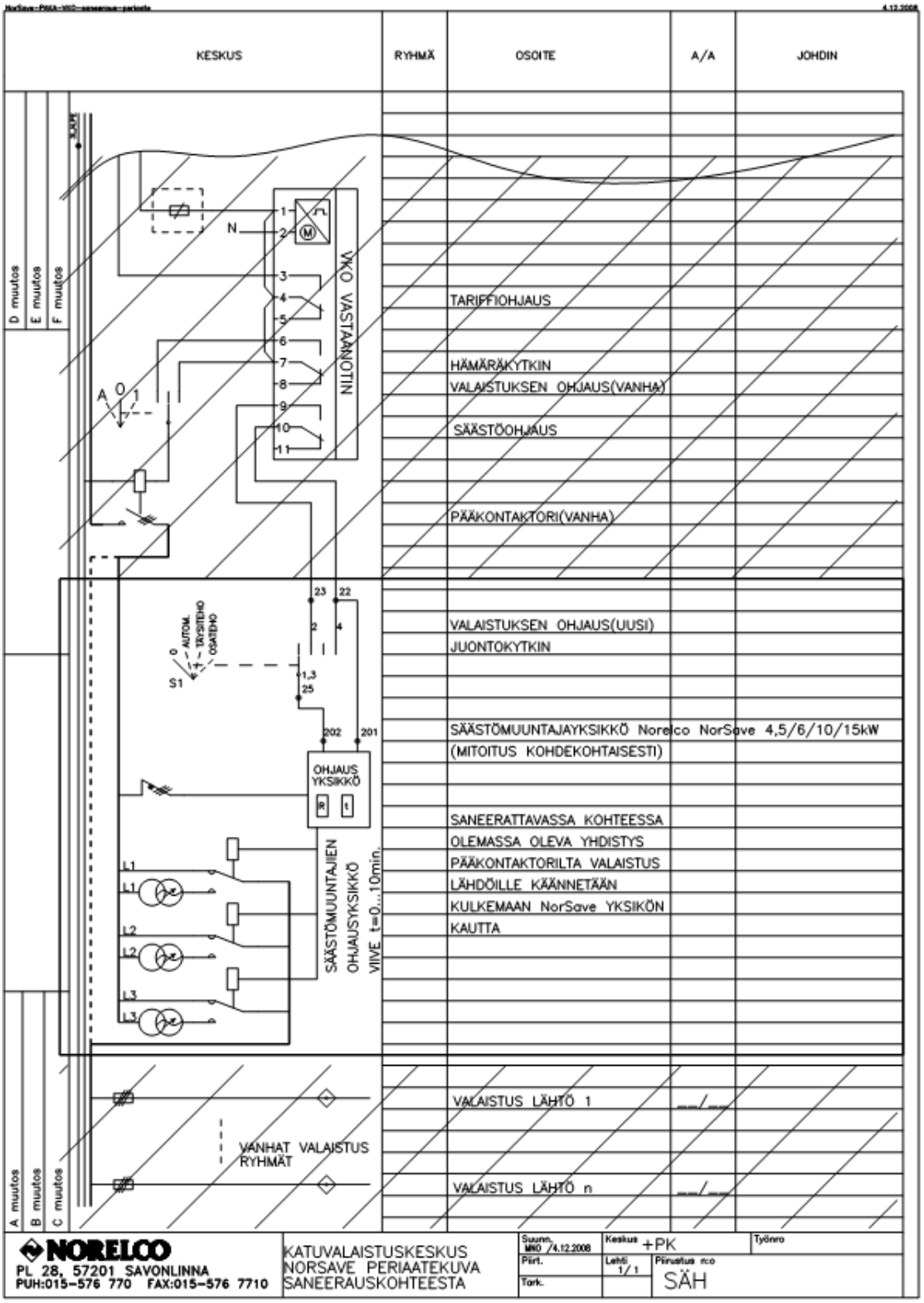
- toiminta perustuu siihen että lampun hyötysuhde on parempi verkon nimellisjännitettä matalammalla jännitteellä
- tyypillisiä sovelluskohteita ovat katuvalaistus, pysäkointihallit, tehdashallit, urheilusalit ja marketit
- säästöt energiankulutuksessa ovat jopa 40%
- eri jänniteportaiden avulla voidaan virittää optimitasoon
- ohjausosa voidaan hankkia erillisenä ja asentaa vanhan kaapelijakokaapin viereen
- helppo asentaa
- ei vaadi investointeja valaisimiin eikä kaapelointeihin

Useita teknisiä vaihtoehtoja

- viisi säädettävää syöttöjännite-tasoa
- neljä eri tehoista järjestelmää:
  - 4.5 kW / vaihe
  - 6 kW / vaihe
  - 10 kW / vaihe
  - 15 kW / vaihe
- valaistuksen tasaisuus säilyy ennallaan
- toimintaa voidaan ohjata myös hämäräkytkimellä, kytkinkellolla, verkkokäskylaitteella tai vyöryntäohjauksella

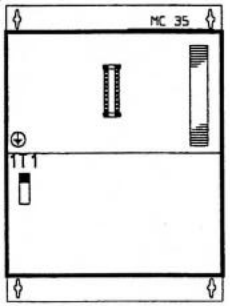
NORELCO
Laatua kaikissa vaiheissa
PL 28, 57201 SAVONLINNA
Puh: 015-576 770, Fax: 015-576 7710
www.norelco.fi

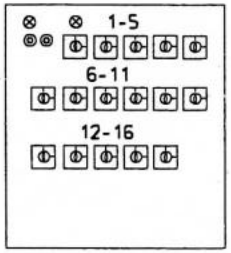
LIITE 7. Keskuskaavio NorSave-järjestelmästä



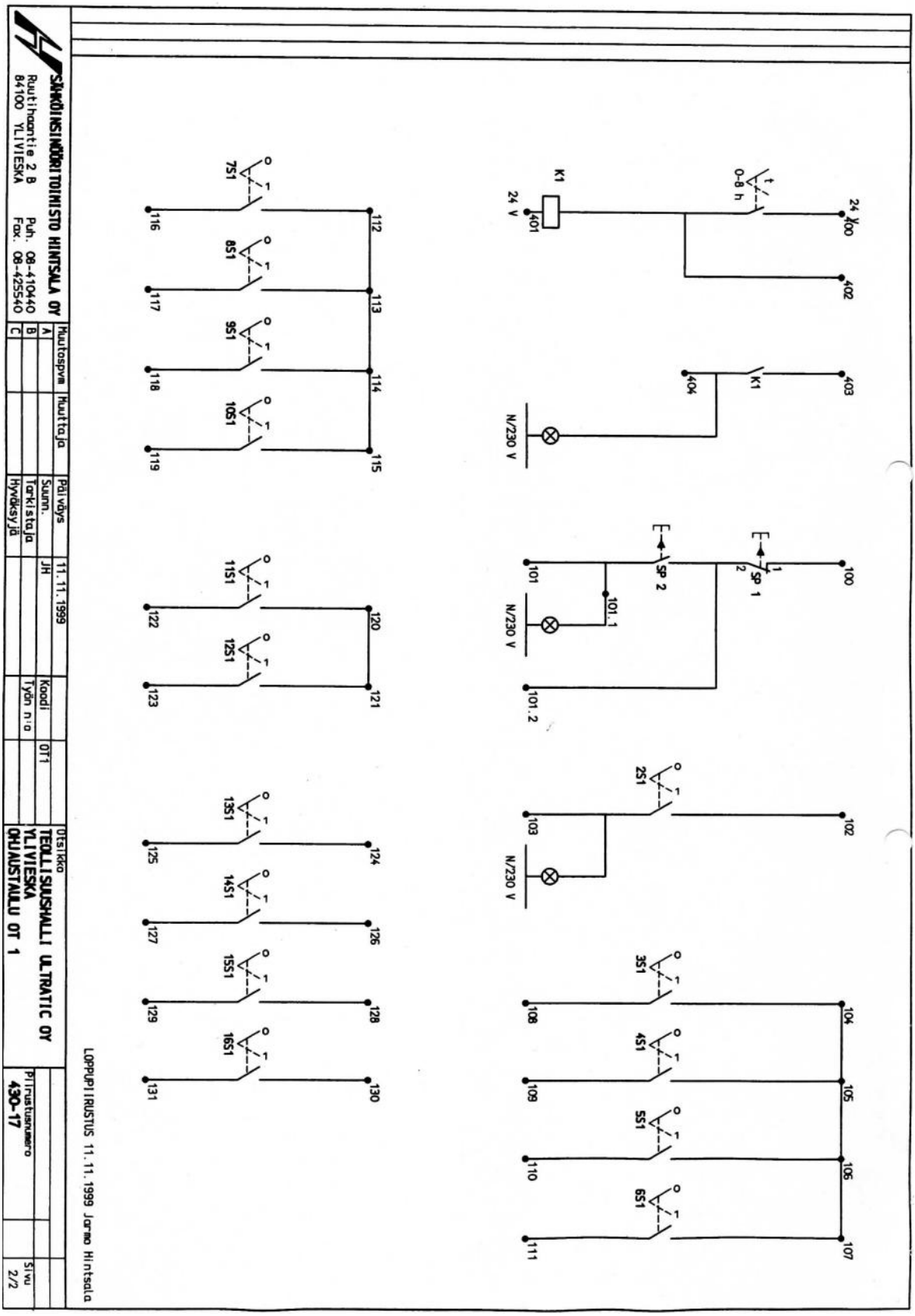
OVELLA

TAKALEVYLLÄ





PIELISEN OMA-KESKUS OY PL 150 83900 JUUKA Puh 013 -27 27 500 fax 013 -27 27 550 Sähköposti: omakeskusekolumbus.fi	Type P0KR1 No 4059/10 Un 230 V In A fn 50 Hz I1s kA IP 34 Idyn kA	Mitat mm Leveys Korkeus Syvyys Keskus 500 560 200 Kaappi Asentaja Koestus Lähetys	Suhde A3 1:10 A4 1:14	Kuvat 0T 1 Piirt 060799AT Muut	Merkki TEOLLISUUSHALLI ULTRATIC OY KETTUKALLIONTIE 3 84100 YLIVIESKA Tilaaja URA-ASENNUS OY OULAISTENKATU 21 86300 OULAINEN			



SÄHKÖINSINÖÖRITOIMISTO HINTSALA OY
Ruutihaantie 2 B
84100 YLIVIESKA
Puh. 08-410440
Fax. 08-425540

	Muutospvm	Muuttaja
A		
B		
C		

Päivätty 11.11.1999
Suunn. JH
Tarkistaja
Hyväksyjä

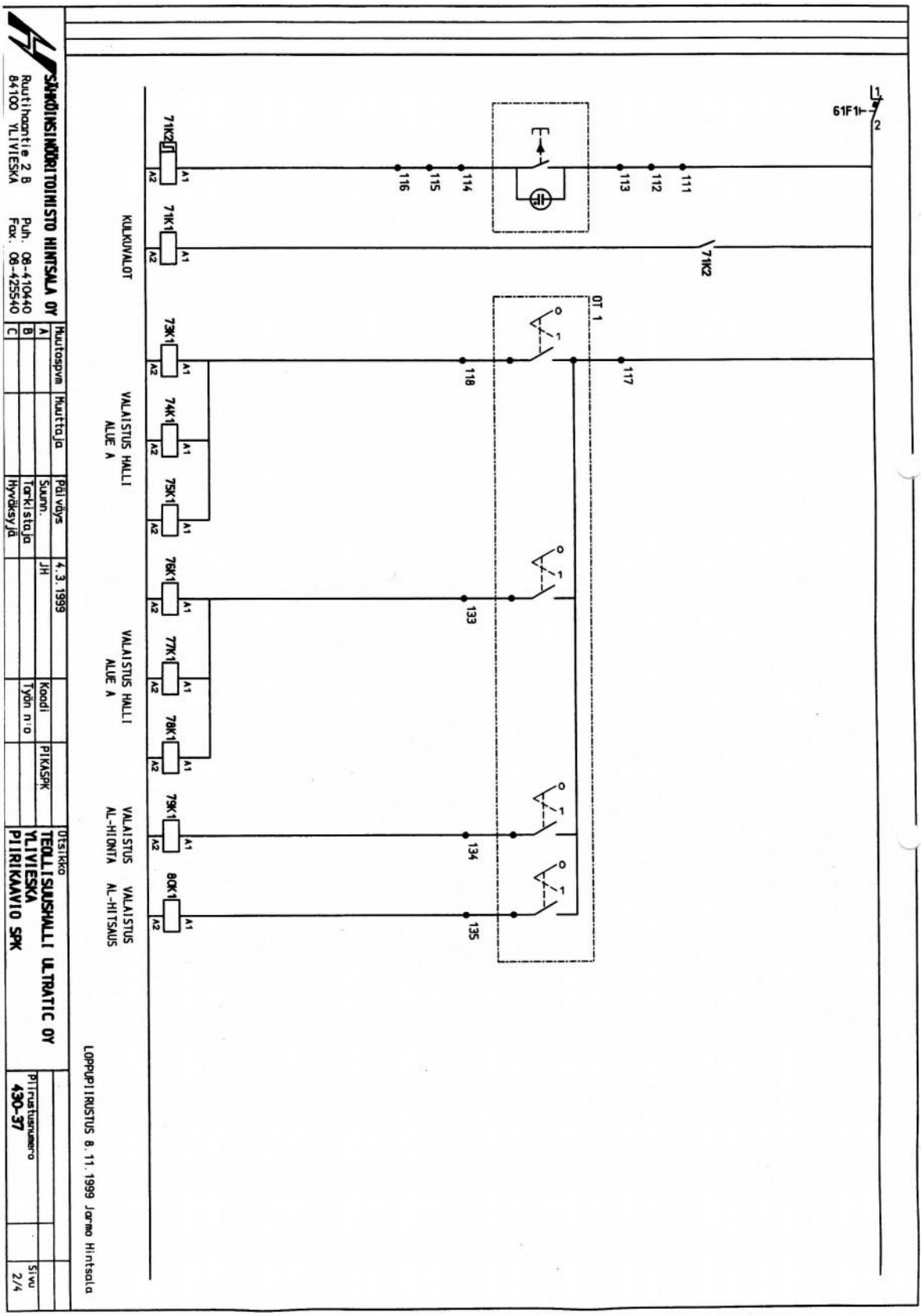
Koodi OT1
Työn nro

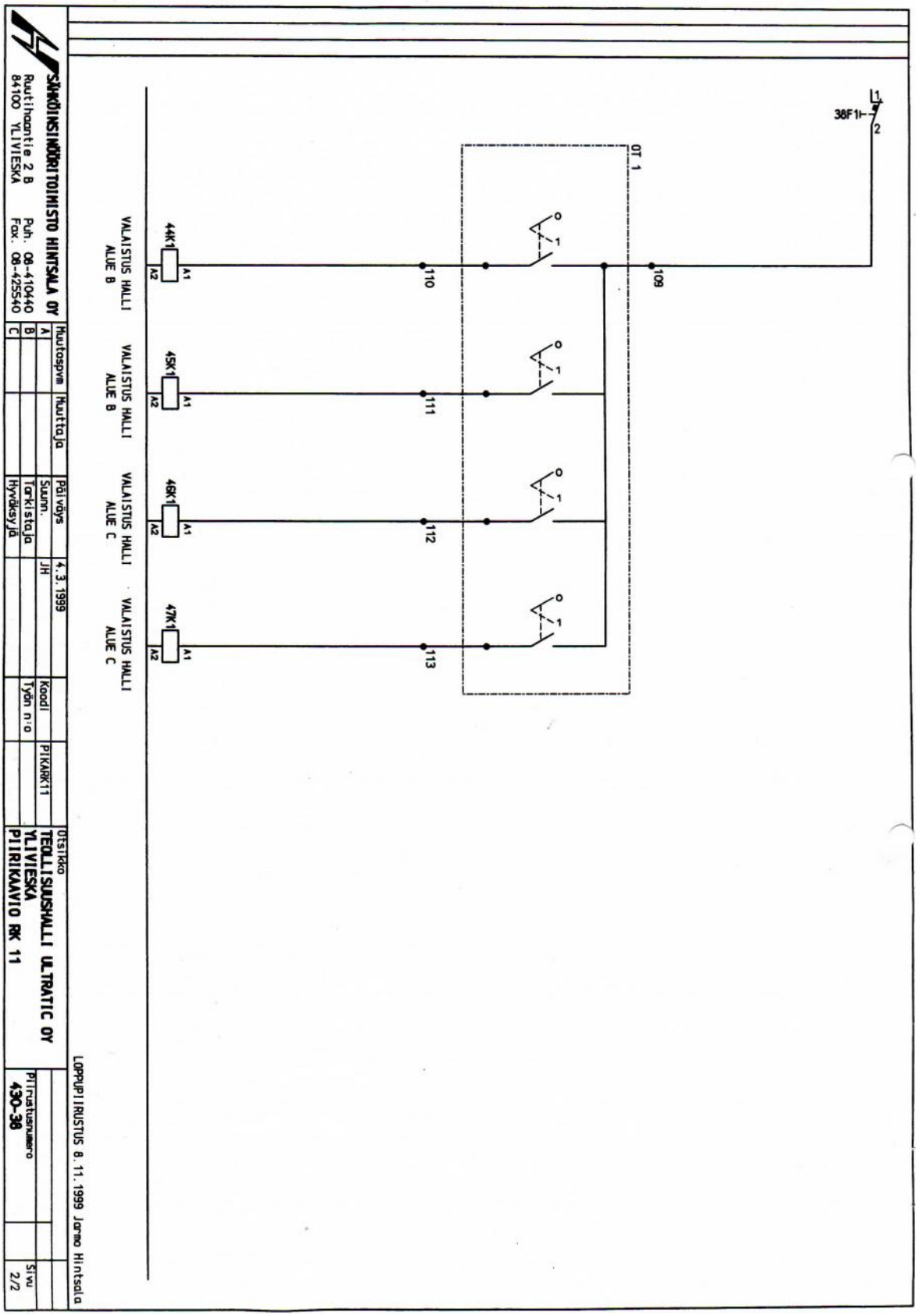
Otsikko
TEOLLISUUSHALLI ULTRATIC OY
YLIVIESKA
OHJAUSTAULU OT 1

Piirustusnumero 430-17

Sivu 2/2

LOPPUPIIRUSTUS 11.11.1999 Jarmo Hintsala


61F1
71K2
71K1
73K1
74K1
75K1
76K1
77K1
78K1
79K1
80K1
KULKUVALOT
VALAISTUS HALLI ALUE A
VALAISTUS HALLI ALUE A
VALAISTUS AL-HIONTA
VALAISTUS AL-HITSAUS
LOPPUPIIRUSTUS 8.11.1999 Jarmo Hintsala
SÄHKÖINSINÖÖRITOIMISTO HINTSALA OY
Ruutihaantie 2 B
84100 YLIVIESKA
Puh. 08-410440
Fax. 08-425540
Muutospvm
Muuttaja
Pääv'dys
4.3.1999
JH
Suunn.
Tarkistaja
Hyväksyjä
Koodi
PIKASPK
Työn n:o
OTSIKKO
TEOLLISUUSHALLI ULTRATIC OY
YLIVIESKA
PIIRIKAAVIO SPK
Piirustusnumero
430-37
Sivu
2/4



SÄHKÖINSINÖÖRITOIMISTO HINTSALA OY
Ruutihaantie 2 B
84100 YLIVIESKA
Puh. 08-410440
Fax. 08-425540

	Muutospvm	Muuttaja
A		
B		
C		

Päiväys	4.3.1999
Suunn.	JH
Tarkistaja	
Hyväksyjä	

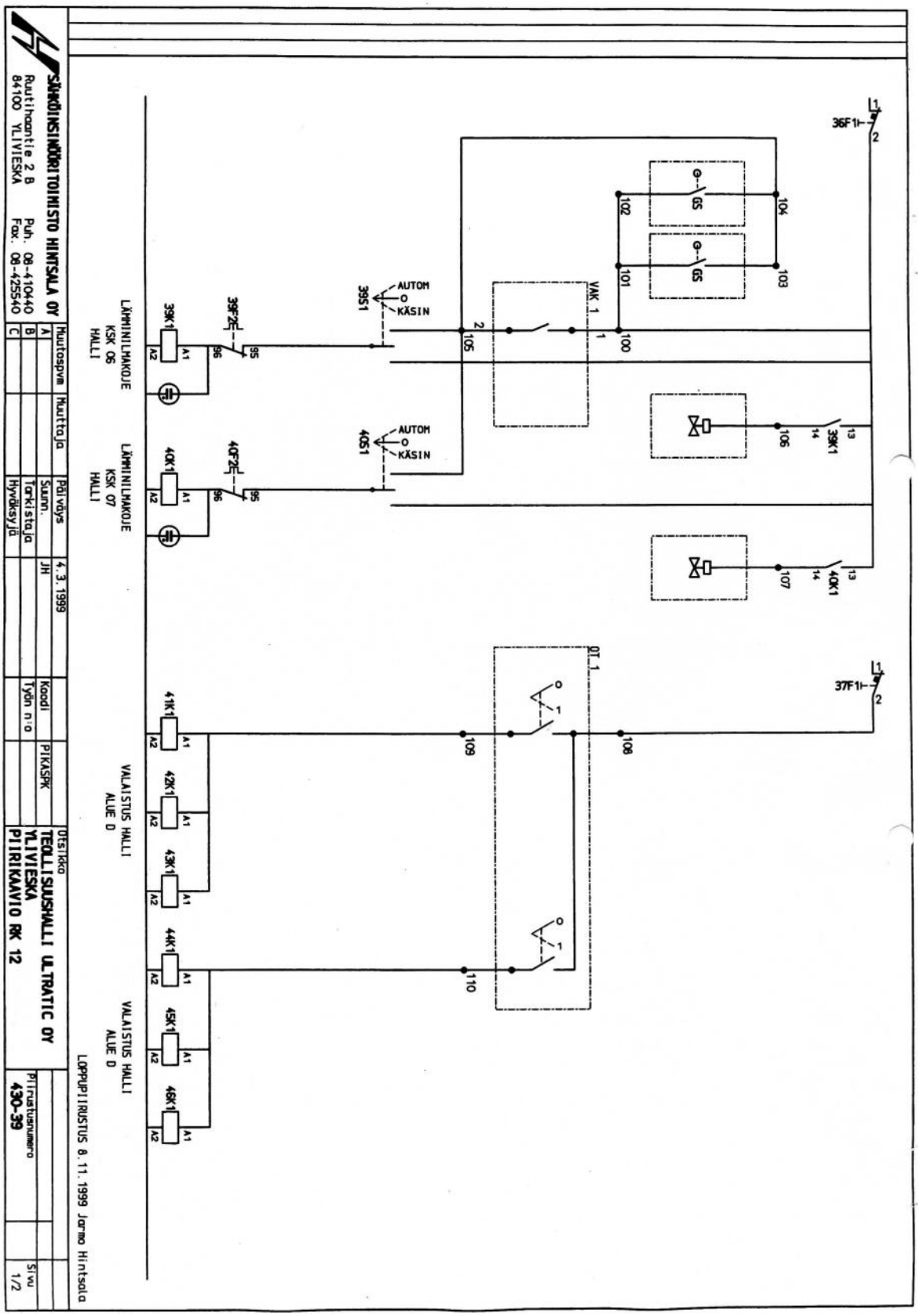
Koodi	PIKAAR11
Työn n:o	

Ulkomitat

TEOLLISUUSHALLI ULTRATIC OY
YLIVIESKA
PIIRIKAAVIO RK 11

LOPPUPIIRUSTUS 8.11.1999 Jarmo Hintsala

Piirustusnumero	430-38
Sivu	2/2


SÄHKÖINSINÖÖRITOIMISTO HINTSALA OY
Ruutihaantie 2 B
84100 YLIVIESKA
Puh. 08-410440
Fax. 08-425540
Muutospvm
Muuttaja
Päivväys
Suunn.
Tarkistaja
Hyväksyjä
4.3.1999
JH
Koodi
Työn n:o
PIKASPK
Otsikko
TEOLLISUUSHALLI ULTRATIC OY
YLIVIESKA
PIIRIKAAVIO RK 12
Piirustusnumero
430-39
Sivu
1/2
LÄMMINILMAKOJE
KSK 06
HALLI
LÄMMINILMAKOJE
KSK 07
HALLI
VALAISTUS HALLI
ALUE D
VALAISTUS HALLI
ALUE D
LOPPUPIIRUSTUS 8.11.1999 Jarmo Hintsala
36F1
37F1
39K1
40K1
41K1
42K1
43K1
44K1
45K1
46K1
39F2
40F2
AUTOM
KÄSIN
VAK 1
QT 1
GS

GREENLED™ Paras tapa tehdä valoa

G-Lite™

G-Lite™ ECO 50W -valaisin

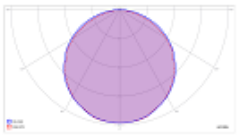
Valovoimaisin ja energiatehokkain valaisin kaikkiin tiloihin

OLEMASSA OLEVIIN KIINTEISTÖIHIN SEKÄ UUDISRAKENNUKSIIN:

- Teollisuus- ja tuotantotilat
- Elintarvike- ja muut hygieniatilat
- Kaupat ja marketit
- Kauppakeskukset
- Varastot ja logistiikkakeskukset
- Parkkihallit
- Autokorjaamot
- Liikenneasemat
- Toimisto-, liike-, sekä palvelukiinteistöt

ECO vs. T5 jopa **40 %** Energiatehok-kaampi

ECO vs. T8 jopa **65 %** Energiatehok-kaampi



Asennus	Asennetaan ripustettuna, suoraan valaisinkiskoon tai kattopintaan. Optiona pikakiinnike kiskoasennukseen.
Kytkentä	Kytkentärasiassa, Wago –asennusjärjestelmällä tai vastaavalla
Rakenne	Runko pinnoitettua alumiinia, kupu polykarbonaattia (PC), IP 22tai67
Valonlähde	G-lite™ ECO 50W -valaisin - Valovirta: 4540 lm - Nimellisvalotehokkuus 100lm/W - Järjestelmävalotehokkuus: 93 lm/W - Värintoistoindeksi: (CRI) 80, vähintään 70 - Optiikka: 120° (saatavilla myös OPAALI kuvulla) - Värilämpötila: 4000– 4200°K, (3000– 3200°K, 5000– 5200°K) - Himmennettävyys: optiona - Elinikä: L90/ 30.000 L70/50.000 käyttötuntia Ta25°C - Hyötysuhde: PF 96 % - THD: < 18 % - Toimintajännite: 220 - 250V/50 - 60HZ - Toimintalämpötila: -30°C - + 60°C - Ympäristö: Kaikki materiaalit kierrätettävissä (täyttää RoHS- ja WEEE -direktiivin) - Takuu: Greenled™ -sopimuksen mukainen (36kk, optiona 48-60 kk)
Ohjausjärjestelmät	- Manuaalinen (ON/OFF), analoginen 1-10V -järjestelmä, digitaalinen (DSI) sekä DALI

G-lite™ ECO 50W -valaisin

Pituus	1500/1530 mm
Korkeus	38 mm
Leveys	38 mm
Paino	2.5 kg

Kaikki mitat ja painot ilman liitäntälaitteita ja kiinnikkeitä

Tuotekoodi: GLX11450XXXX

CE RoHS

IP 22/67

2202	SIIRRETTÄVÄT TELINEET
11	Siirrettävällä telineellä tarkoitetaan vakio-osista koottua kevytrakenteista vapaasti seisovaa telinettä. Telineessä on oltava siirtoalustaan nähden sopivat, kääntyvät ja lukittavat pyörät sekä työsuoritus huomioon ottaen riittävä työskentelytaso.
12	Konevoimalla toimivalla telineellä tarkoitetaan telinettä, jonka työtason nosto, lasku ja siirto tapahtuu työtasolta ajaen ja varsinainen telineen siirto telineellä työskentelevän työryhmän toimesta.
13	Taulukon 2210 kertoimella korotettuun asennushintaan sisältyy seuraavat työt: - telinetarpeen ilmoittaminen, - telineelle nouseminen ja laskeutuminen, - kohtien 11 - 12 mukaisten telineiden siirto vaakatasossa esteistä vapaalla betoni- tai vastaavalla alustalla telineellä työskentelevän työryhmän toimesta, - telineen siirron yhteydessä kaiteiden ja tukijalkojen asettelu.

2210	SIIRRETTÄVILTÄ TELINEILTÄ SUORITETTAVAT TYÖT	
	Valmiin asennuksen yksikköhintoja (metri, kappale, tms.)	
11	Asennus korkeudelle alle 4 m	1.00
12	Asennus korkeudelle 4 - 7 m	1.15
13	Asennus korkeudelle 7 - 9 m	1.25
14	Asennus korkeudelle yli 9 m	sovitaan erikseen
20	Korkeuden mittaus suoritetaan siltä tasolta, jolla teline asennusaikana on.	
21	Em. korotukset ovat korvausta telineiden siirron ja niille nousun tms. aiheuttamasta ajanhukasta.	
22	Taulukon 2210 kertoimista voidaan paikallisesti sopia toisin, kun käytettävissä olevia konevoimalla toimivia telineitä on enemmän ja laadullisesti parempia kuin taulukon 2202 rivin 12 määrittelemät telineet ja joiden vaikutuksesta työ oleellisesti nopeutuu. Sopimuksen mukainen kerroin ei voi kuitenkaan olla taulukon 2210 rivin 11 kerrointa pienempi.	

2910	VALAISIMEN ASENNUS			
	Suurin sivupituus 175 cm	1	2	3
	Valaisimen kiinnityskohtien lukumäärä 1-4	**Puu**	**Kivi Metalli**	**Kiinnittämättä**
	€/kpl			
11	Paino enintään 3 kg	4,11	4,75	1,94
12	Paino enintään 6 kg	5,62	7,13	2,81
13	Paino enintään 12 kg	6,70	8,21	3,46
14	Erillinen seinävarsi/ levy	1,74	3,18	
		1		
21	Ylittävän painon lisähinta aina alkavaa 5 kg kohti	1,30		
22	Ylittävän pituuden lisähinta aina alkavaa 50 cm kohti	1,38		
23	Ylimenevät kiinnityskohdat	1,18		

2911	VALAISIMEN ASENNUKSEEN LIITTYVIÄ LISÄTÖITÄ	
	€/kpl	1
11	Ryhmäjohdon jatkaminen enintään 2,5 mm² johdolla	1,77
12	" " 4-6 mm² johdolla	2,55
13	MCMK- johdon pään kytkentäkuntoon valmistaminen	2,67
14	Lisähinta rakenteeseen upotettavasta valaisimesta	0,53
15	Rakenteeseen upotettavan valaisinsyvennyksen tai pintaan asennettavan valaisimen kiinnitysalustan mitoitus ja/tai teon valvonta	0,86
16	Lisähinta valaisimesta, jossa on myös pistorasia/ kytkin	1,16
17	Lumi- tai tippuvesisuojan asennus	1,08
18	Ylimenevät osat	0,39
19	Valaisimen alle asennettavan kiskon asennus ja katkaisu/m	2,95
20	Lisähinta loistelampun asennuksesta vesitiiviisiin pitimiin	0,67
21	Valaisinkohtainen johtimien sukitus	0,88
22	Ripustustangon, ketjun tai vaijerin katkaisu ja valmistaminen	0,59

ENERGOSAVE

QUOTATION

ITEM	PHOTO	DESCRIPTION
ES-GK0301		1.Voltage: 90V-305V, power factor >0.99 7. CE,CCC, UL certification 3.Working temperature:-35℃ to +55℃ 4. Main frequency: 230KHZ, input frequency:50Hz/65Hz 10.Ballast is protected from short-circuit, open-circuit, etc 6.Quality: 3 years' guarantee,100,000 hours lifespan 7.Size1: Φ417*H525(16") IP54 Size2: Φ547*H590(20") IP54 LAMPS:SIZE1:YH-80W SIZE2:YH-120W/150W/200W
ES-GK0302		1.Voltage: 90V-305V, power factor >0.99 7. CE,CCC, UL certification 3.Working temperature:-35℃ to +55℃ 4. Main frequency: 230KHZ, input frequency:50Hz/65Hz 10.Ballast is protected from short-circuit, open-circuit, etc 6.Quality: 3 years' guarantee,100,000 hours lifespan 7.Size1: Φ417*H525(16") IP54 Size2: Φ547*H590(20") IP54 SIZE3:20" LAMPS:SIZE1:YH-80W SIZE2:YH-120W/150W/200W SIZE3:YH-300W
ES-GK0303		1.Voltage: 90V-305V, power factor >0.99 7. CE,CCC, UL certification 3.Working temperature:-35℃ to +55℃ 4. Main frequency: 230KHZ, input frequency:50Hz/65Hz 10.Ballast is protected from short-circuit, open-circuit, etc 6.Quality: 3 years' guarantee,100,000 hours lifespan 7.Size1: Φ417*H525(16") IP54 Size2: Φ547*H590(20") IP54 LAMPS:SIZE1:YH-80W SIZE2:YH-120W/150W/200W
ES-GK0304		1.Voltage: 90V-305V, power factor >0.99 7. CE,CCC, UL certification 3.Working temperature:-35℃ to +55℃ 4. Main frequency: 230KHZ, input frequency:50Hz/65Hz 10.Ballast is protected from short-circuit, open-circuit, etc 6.Quality: 3 years' guarantee,100,000 hours lifespan 7.Size1: Φ417*H525(16") IP54 Size2: Φ547*H590(20") IP54 LAMPS:SIZE1:YH-80W SIZE2:YH-120W/150W/200W

Premec Oy

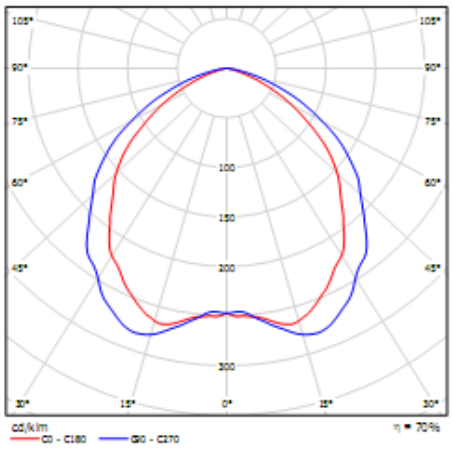
25.09.2012

Tekijä tp
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Energosave 0301 200W / Valaisintietoarkki

Löydät valaisimen kuvan valaisinluettelosta.

Valaistu alue 1:



Valaisinten luokittelu CIE: 100
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 54 87 99 100 71

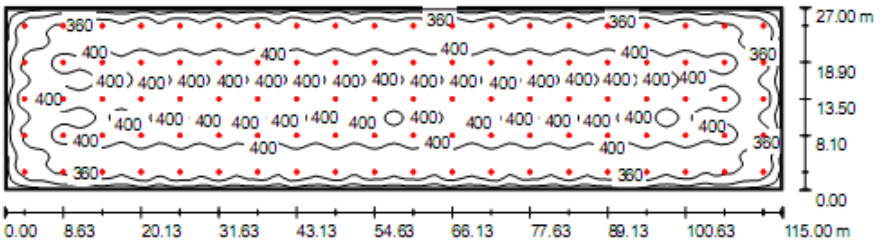
Puuttuvien symmetriaominaisuuksien takia ei tälle valaisimelle voida näyttää UGR-taulukkoa.

Premec Oy

25.09.2012

Tekijä tp
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Tila 1 / Yhteenveto



Tilan korkeus: 5.500 m, Asennuskorkeus: 5.500 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:823

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	385	247	431	0.640
Lattia	40	378	238	422	0.630
Katto	80	151	120	173	0.797
Seinät (4)	70	212	131	317	/

Käyttötaso:

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

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ [lm]	P [W]
1	100	Energosave 0301 200W (1.000)	16000	215.8
		Yhteensä:	1600000	21580.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: 6.95 W/m² = 1.80 W/m²/100 lx (Pohjapinta-ala: 3105.00 m²)

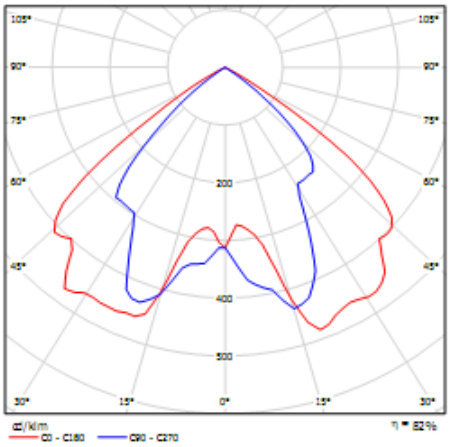
Projekti 1 DIALux

01.10.2012

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

IVALO 9339 R3 ViVO-laajasäteilijä / Valaisintietoarkki

Valaistu alue 1:



Valaisinten luokittelu CIE: 100
Elektroniikkakomponenttien valovirtakoodi: 69 99 100 100 82

Puuttuvien symmetriaominaisuuksien takia ei tälle valaisimelle voida näyttää UGR-taulukkoa.

Ta +40°C
IP66
Paino, kg 4,0

Rakenne
- Suljettu, Goretex-suodattimella varustettu ja painekoestettu valaisin
- Runko ja kansiosa epoksoitua alumiinivalua, väri harmaa (RAL 7011)
- Karkaistu tasolasi
- Sulkusalvat mustat (RAL 9005)
- Elektroninen liitäntälaite
- Mallirekisteröity

Asennus
- Pinta-asennus
- Valaisin voidaan asentaa valaisimen mukana tulevalla peruskiinnikkeellä kattopintaan, ripustuskiskoon tai Ø 60 mm:n valaisinvarteen

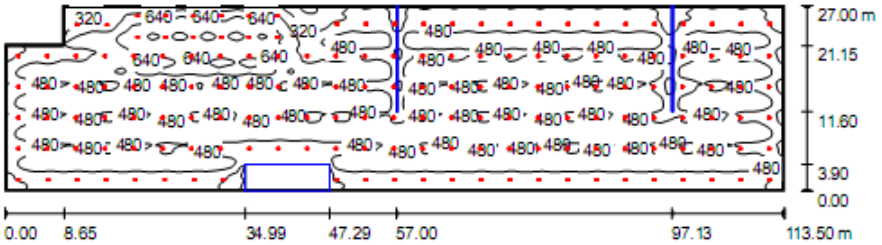
Kytkentä
- Holkkiliitokset 5 x 2,5 mm² tai 1,5 m:n liitosjohto ja pistotulppa

Tarvikkeet
- Seinäkiinnike 6010 (SSTL 44 024 00)
- Pyöräkiinnike yhdelle valaisimelle 6011 (SSTL 44 024 01)
- Pyöräkiinnike kahdelle valaisimelle 6012 (SSTL 44 024 02)

Lisätiedot
- Kolme eri tehoa ja neljä erilaista valonjakoa varmistavat kuhunkin käyttöpaikkaan parhaiten sopivan ja energiatehokkaan valaistuksen

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Tila 1 / Yhteenveto



Tilan korkeus: 5.500 m, Asennuskorkeus: 5.500 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:812

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	500	116	897	0.232
Lattia	20	474	4.22	859	0.009
Katto	20	81	29	112	0.359
Seinät (6)	20	166	7.10	714	/

Käyttötaso:

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

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	162	IVALO 9339 R3 ViVO-laajasäteilijä (1.000)	12255	15000	157.0
			Yhteensä: 1985292	Yhteensä: 2430000	25434.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: 8.43 W/m² = 1.69 W/m²/100 lx (Pohjapinta-ala: 3017.46 m²)

LIITE 14. Taulukot kulutuksesta ja kustannuksista 10 v aikana

Sähkönkulutus laskelma 10 v aikana

	Nykyinen valaistus /kWh	NorSave /kWh	Ohjauksen muutos /kWh	Led-valaisimet /kWh	Induktiovalaisimet /kWh	Monimetallivalaisimet /kWh
1 v	174 628	157 743	140 513	62 816	85 280	105 805
2 v	349 256	315 486	281 026	125 632	170 560	211 610
3 v	523 884	473 229	421 539	188 448	255 840	317 415
4 v	698 851	630 972	562 052	251 264	341 120	423 220
5 v	873 140	788 715	702 565	314 080	426 400	529 025
6 v	1 047 777	946 458	843 078	376 896	511 680	634 830
7 v	1 222 400	1 104 200	983 591	439 712	596 960	740 635
8 v	1 397 020	1 261 940	1 124 100	502 528	682 240	846 440
9 v	1 571 650	1 419 690	1 264 620	565 344	767 520	952 245
10 v	1 746 280	1 577 430	1 405 130	628 160	852 800	1 058 050

10 vuoden aikana eri vaihtoehtojen euromääräiset kustannukset

Sarake1	Nykyinen valaistus	NorSave	Ohjauksen muutos	Monimetallivalaisimet	Induktiovalaisimet	Led-valaisimet
Kokonais-investointi	0	2 000	1 400	43 167	37 770	55 789
1 v	13 970	14 620	12 641	51 631	44 592	60 814
2 v	27 940	27 240	23 882	60 095	51 414	65 839
3 v	41 910	39 860	35 123	68 559	58 236	70 864
4 v	55 880	52 480	46 364	77 023	65 058	75 889
5 v	69 850	65 100	57 605	85 487	71 880	80 914
6 v	83 820	77 720	68 846	93 951	78 702	85 939
7 v	97 790	90 340	80 087	102 415	85 524	90 964
8 v	111 760	102 960	91 328	110 879	92 346	95 989
9 v	125 730	115 580	102 569	119 343	99 168	101 014
10 v	139 700	128 200	113 810	127 807	105 990	106 039